

Научная статья
УДК 622.692.23

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ ЗАГРАДИТЕЛЬНЫХ ОБВАЛОВАНИЙ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ НЕФТИ

Е.В. Васильева^{1,*}, В.М. Федоров²

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

² Донской государственный аграрный университет, Новочеркасск, Россия

*E-mail: karalenka5@yandex.ru

Аннотация. В статье охарактеризованы аварийные разливы нефти и нефтепродуктов при повреждении резервуаров и нефтепроводов. Применяемые для купирования чрезвычайной ситуации замкнутые земляные обвалования не способны удерживать размывающий поток нефти и нефтепродуктов, что приводит к значительному экологическому ущербу, большим материальным и финансовым затратам, нарушает условия жизнедеятельности людей и производственную деятельность организаций. Предлагается, для минимизации экологического ущерба от аварийного разлива нефти и нефтепродуктов, заградительные обвалования выполнять не из грунта, а из грунтовой смеси, включающей грунтоцемент (смесь грунта и цемента) и улучшающие качество смеси добавки, обеспечивающие при затвердевании смеси повышенную прочность, водо- и морозостойкость. В качестве компонентов смеси рекомендованы следующие материалы: грунт (суглинок), цемент (марка 500), зола-унос с электрофильтров ГРЭС, высевка - отход камнедробления кварцита. Со временем, предложенная грунтовая смесь превращается в грунтобетон, обеспечивающий заградительному обвалованию повышенную прочность, устойчивость и противифльтрационную эффективность.

Ключевые слова: аварийный разлив нефти; резервуары и нефтепроводы; заградительное обвалование; грунты и грунтовые смеси; противифльтрационная эффективность; поток нефти; экологический ущерб; уравнение регрессии.

Для цитирования: Васильева Е.В., Федоров В.М. Повышение эксплуатационных качеств заградительных обвалований при аварийных разливах нефти // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2023. Т.9. № 4. С. 36–47.

Original article

INCREASING THE PERFORMANCE OF BARRIERS DAMPING DURING EMERGENCY OIL SPILLS

E.V. Vasilieva^{1,*}, V.M. Fedorov²

¹ South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russia

² Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russia

*E-mail: karalenka5@yandex.ru

Abstract. The article describes emergency spills of oil and oil products due to damage to tanks and oil pipelines. Closed earthen embankments used to stop an emergency situation are not capable of holding the eroding flow of oil and petroleum products, which leads to significant environmental damage, large material and financial costs, and disrupts the living conditions of people and the production activities of organizations. It is proposed, in order to minimize environmental damage from an emergency spill of oil and oil products, that barrier embankments should be made not from soil, but from a soil mixture, including soil cement (a mixture of soil and cement) and additives that improve the quality of the mixture, providing increased strength, water, and water when the mixture hardens. and frost resistance. The following materials are recommended as components of the mixture: soil (loam), cement (grade 500), fly ash from electric precipitators of state district power plants, seeding - waste from quartzite stone crushing. Over time, the proposed soil mixture turns into soil concrete, which provides the barrier embankment with increased strength, stability and anti-filtration efficiency.

Key words: *emergency oil spill; tanks and oil pipelines; barrier embankment; soils and soil mixtures; anti-filtration efficiency; oil flow; environmental damage; regression equation.*

For citation: Vasilieva E.V., Fedorov V.M. Increasing the performance of barriers damping during emergency oil spills. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2023. V. 9. No. 4. pp. 36–47.

Введение

Одним из наиболее опасных видов чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках является разлив нефти или нефтепродукта при разрушении вертикального стального резервуара (РВС). Площадь разлива хранимых продуктов при разрушениях резервуаров достигает сотен тысяч квадратных метров. По имеющимся статистическим данным примерно половина всех зарегистрированных аварий квалифицировалась как крупные или катастрофические [1-4]. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов наносят ущерб окружающей среде и приводят к значительным материальным и финансовым потерям, нарушают условия жизнедеятельности людей и производственной деятельности предприятий [5-7]. Зарубежные специалисты классифицируют аварийные разрушения резервуаров с нефтью и нефтепродуктами как промышленные катастрофы, а наше законодательство идентифицирует их как чрезвычайные ситуации [2,3,5]. Для защиты от растекания нефтепродуктов при авариях на РВС в отечественной и мировой практике широко применяются замкнутые земляные обвалования. Согласно нормативным документам такие преграды рассчитывают только на гидростатическое давление относительно медленно вытекающего из поврежденного РВС продукта, поэтому, относясь к малопрочным, они (земляные обвалования) не могут удержать размывающий их поток жидкости, образующийся при разрушении резервуара. Из-за низкой противодиффузионной эффективности такое обвалование подвержено ещё и просачиванию [1-3].

К категории опасных относятся и трубопроводные системы. Их отказы также сопряжены с аварийными ситуациями и значительным материальным и экологическим ущербом. Особую важность приобретает проблема экологической безопасности в системах магистрального трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. Отказ магистрального нефтепровода, проявляющийся в разгерметизации стенки трубы, стыков, трубных деталей или в общей потере прочности в результате разрушения, приводит к значительному экологическому ущербу с возможными большими потерями для окружающей среды [4-9].

Нефтегазовые смеси могут обладать высокой коррозионной агрессивностью по отношению к стальным трубопроводным системам. Коррозия их определяется высокой минерализацией пластовой воды, её кислой реакцией, повышенным содержанием углекислого газа. Для контроля коррозии могут использоваться ультразвуковая дефектоскопия или измерение толщины стенки трубопровода пропуском измеряющих

устройств. В качестве противокоррозионной меры предусматривается и битумно-полимерная изоляция подземных трубопроводов с дополнительной оберткой липкой лентой на участках выхода на поверхность. Однако, практика нефтедобычи показывает, что не всегда своевременно выявляются образование и распространение коррозии стальных нефтепроводов. Имеют место и некачественное строительство трубопроводных систем, не обоснованные изменения проектных решений, а также механические повреждения труб и трубных деталей. Все это создает аварийные ситуации, связанные с разливом нефти из-за разгерметизации нефтепроводов. Одним из этапов аварийных работ является локализация разлива нефти путем создания заградительного земляного обвалования. Но, как показывает практика, такое обвалование не обладает требуемой прочностью, устойчивостью и противодиффузионной эффективностью [8-11].

Для минимизации экологического ущерба от аварийного разлива нефти и нефтепродуктов, заградительные обвалования предлагается выполнять не из грунта, а из грунтовой смеси, включающей грунтосмесь (смесь грунта и цемента) и улучшающие качество смеси добавки, обеспечивающие при затвердевании смеси повышенную прочность, водо- и морозостойкость [10-12].

Исходные данные

Для приготовления грунтосмеси в предварительно измельченный грунт вносили цемент, смесь перемешивали и доувлажняли (с учетом содержащейся в грунте влаги) до оптимальной влажности. Затем, добавляли высевку и золу, полученную смесь снова тщательно перемешивали до однородного состояния и, при необходимости, доувлажняли. Завершив приготовление в специальном бункере грунтосмеси, приступали к изготовлению стандартных образцов, используя для этого полые цилиндрические прессформы (рис.1), с двумя стальными вкладышами. Цилиндрические образцы высотой и диаметром 50 мм (рис.2) подвергали испытаниям на прочность после 28 суток хранения и полного водонасыщения, а также после 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Изготавливали образцы-цилиндры прессованием, что соответствовало послойному уплотнению грунтосмеси катками при устройстве заградительного обвалования [10,11,13].



Рисунок 1 - Полая цилиндрическая прессформа

Исследования проводились с применением «активного» эксперимента в основу которого был положен двухфакторный [10,13,14] симплекс – суммируемый план типа правильного шестиугольника. В качестве варьируемых факторов были выбраны: расход цемента – Ц, % от массы грунтосмеси; расход (количество) грунта – ГР, в процентах от массы грунтосмеси.

Цель работы: Повышение эксплуатационных качеств заградительных обвалований за счет их устройства из грунтобетона с улучшающими добавками.

Задачи исследования. Раскрыть смысл использования предложенной грунтосмеси с добавлением высевки и золы-унос при устройстве заградительных защитных

обвалований, изучить закономерности взаимосвязи состава грунтовой смеси и основных свойств грунтобетона, объяснить повышенную сопротивляемость размыву при аварийном разливе нефти и нефтепродуктов/



Рисунок 2 - Стандартные образцы-цилиндры

Методика и результаты исследования

Расход цемента и количество грунта в плане эксперимента варьировались, соответственно, от 3,0 % до 15 % и от 40 % до 85 %, что соответствует результатам предварительных исследований и априорной информации о рациональном дозировании вышеуказанных компонентов грунтовой смеси [10-12].

Для приготовления грунтовых смесей использовались материалы со следующими показателями: Новороссийский портландцемент марки 500; грунт – лёгкий суглинок; высевка – отход камнедробления кварцита фракции 0-5 мм с модулем крупности $M_{кр} = 2,98$; зола-унос сухого отбора с электрофильтров Новочеркасской ГРЭС. При этом соблюдались соотношения: Ц + З = 15 %, ГР + Выс = 85 %, где: Ц, З, ГР, Выс, расходы, соответственно, цемента, золы, грунта, высевок в процентах.

Условия кодирования и варьирования факторов планируемого экспериментального исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Кодирование и варьирование факторов

Факторы	Код X_i	Основной уровень, X_0 , %	Интервал варьирования, ΔX_i	Нижний уровень, «-»	Верхний уровень, «+»
Цемент	X_1	9,0	6,0	3,0	15,0
Грунт	X_2	62,5	22,5	40,0	85,0

Графический план эксперимента представлен на рисунке 3. Из рисунка 3 видно, что точки принятого плана эксперимента имеют координаты вершин правильного шестиугольника, построенного в пределах варьирования факторов ± 1 в кодированной форме. Выбранный план удобен тем, что переход от кодированных значений факторов к натуральным и наоборот можно осуществить графически по соответственным осям.

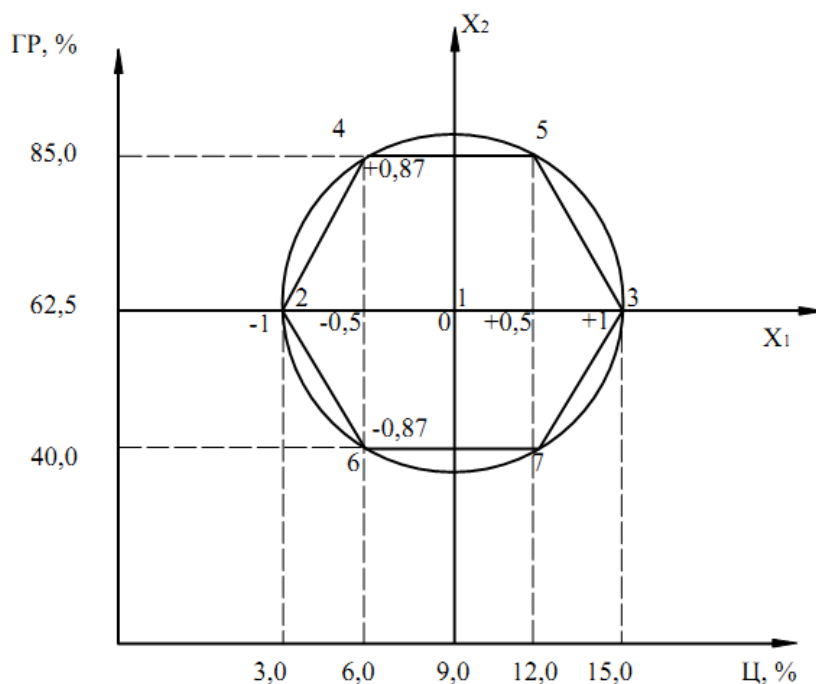


Рисунок 3 – План эксперимента на шестиугольнике

Затем вычисляются неизвестные коэффициенты уравнения регрессии второго порядка:

$$\hat{y}_R = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2,$$

$$b_0 = (0y) - \sum_{i=1}^k (i i y); \quad b_i = 1/3(i y); \quad b_{ij} = 4/3(i j y);$$

$$b_{ii} = 2/3(i i y) + 5/6 \sum_{i=1}^k (i i y) - (0y). \quad (1)$$

Матрица и результаты эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Реализация плана эксперимента

Номер опыта	План		X_1^2	X_2^2	$X_1 X_2$	Факторы		Прочность через 28 суток и полного водонасыщения	
	X_1	X_2				X_1 (Ц)	X_2 (ГР)	\bar{y}_R	\hat{y}_R
1	0	0	0	0	0	9,0	62,5	13,21	13,21
2	-1	0	1	0	0	3,0	62,5	5,49	5,11
3	1	0	1	0	0	15,0	62,5	14,53	14,91
4	-0,5	0,87	0,25	0,75	-0,43	6,0	85,0	6,25	6,62
5	0,5	0,87	0,25	0,75	0,43	12,0	85,0	12,62	12,23
6	-0,5	-0,87	0,25	0,75	0,43	6,0	40,0	10,58	10,96
7	0,5	-0,87	0,25	0,75	-0,43	12,0	40,0	15,51	15,15
$\Sigma x_i y_i$	14,69	-6,28	31,26	33,72	0,62			78,19	

По формулам (1) были подсчитаны коэффициенты уравнения регрессии второго порядка, расчётные значения которых приведены ниже:

$$b_0 = 78,19 - (31,26 + 33,72) = 13,21; \quad b_1 = \frac{14,69}{3} = 4,90;$$

$$b_2 = \frac{-6,28}{3} = -2,09; \quad b_{12} = \frac{4}{3}(0,62) = 0,83;$$

$$b_{11} = \frac{2}{3}(31,26) + \frac{5}{6} \sum_{i=1}^k (31,26 + 33,72) - 78,19 = -3,20;$$

$$b_{22} = \frac{2}{3}(33,72) + \frac{5}{6} \sum_{i=1}^k (31,26 + 33,72) - 78,19 = -1,56$$

Для прочности образцов через 28 суток твердения и полного водонасыщения было получено регрессионное уравнение в нижеприведённом виде:

$$\hat{y}_R = 13,21 + 4,90X_1 - 2,09X_2 - 3,2X_1^2 - 1,56X_2^2 + 0,83X_1X_2. \quad (2)$$

Регрессионный анализ модели (2) произведём после определения ошибки эксперимента и расчёта ошибок коэффициентов уравнения. С учётом трёхкратной повторности опытов дисперсия воспроизводимости и ошибка проведённого эксперимента по воспроизводимости составят:

$$S_{\text{эв}}^2 = 0,15; \quad S_{\text{эв}} = \sqrt{S_{\text{эв}}^2} = 0,387.$$

Таблица 3 – Расчёт ошибок коэффициентов

b_m	b_0	b_i	b_{ii}	b_{ij}
T_i	1,0	0,577	1,224	1,155
$T_i \cdot S_{\text{эв}}$	0,387	0,223	0,474	0,447
$t \cdot T_i \cdot S_{\text{эв}}$	0,682	0,393	0,835	0,787

где T_i – расчётные коэффициенты для оценки ошибок коэффициентов регрессии; t – критерий Стьюдента, $t = 1,761$ [14].

Таблица 4 – Регрессионный анализ модели

b_m	Начальная модель	$b_{кр}$	Конечная модель	iju	$b_{ij}(iju)$
b_0	13,21	0,682	13,21	78,19	1032,89
b_1	4,9	0,393	4,9	14,69	71,98
b_2	-2,09	0,393	-2,09	-6,28	13,13
b_{11}	-3,2	0,835	-3,2	31,26	-100,03
b_{22}	-1,56	0,835	-1,56	33,72	-52,61
b_{12}	0,83	0,787	0,83	0,62	0,52

Сумма квадратов $SS = SS_{\text{мод}} + SS_{\text{эв}} = 966,18$.

Средний результат каждого опыта возводим в квадрат и эти величины суммируем:

$$(yy) = 174,50 + 30,14 + 211,12 + 39,06 + 159,26 + 111,94 + 240,56 = 966,59$$

Проводим проверку адекватности модели при риске $\alpha = 0,05$, и числе степеней свободы $f_{на} = 7 - 6 = 1$ и $f_э = N(n-1) = 14$. Сумма квадратов $SS_{на}$:

$$SS_{на} = (yy) - (SS_{\text{мод}} + SS_{\text{эв}}) = 966,59 - 966,18 = 0,41;$$

– дисперсия неадекватности $S_{на}^2$:

$$S_{на}^2 = \frac{SS_{на}}{f_{на}} = \frac{0,41}{7-6} = 0,41,$$

– критерий Фишера:

$$F_a = \frac{S_{на}^2}{S_{эв}^2} = \frac{0,41}{0,15} = 2,73,$$

$$F_a = 2,73 < F_T = 4,62.$$

Таким образом, можно допустить, что математическая модель (2) с риском $\alpha = 0,05$ адекватно описывает результаты эксперимента. Анализ модели (2) произведём после определения её типа и построения соответствующего ей геометрического образа. Для этого, воспользуемся общей теорией поверхностей второго порядка [13,14], принимая:

$$b_0 - y = a_0; \quad b_{ij} = 2a_{ij}; \quad b_i = 2a_i; \quad b_{ii} = a_{ii}. \quad (3)$$

Инварианты кривой второго порядка составят:

– сумма коэффициентов при квадратичных членах:

$$S = b_{11} + b_{22} = -3,20 - 1,56 = -4,76$$

– определитель, составленный из коэффициентов при старших членах:

$$\delta = \begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -3,2 & 0,415 \\ 0,415 & -1,56 \end{vmatrix} = 4,82; \quad (4)$$

– определитель третьего порядка, составленный из всех коэффициентов:

$$\Delta = \begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} & 0,5b_1 \\ 0,5b_{12} & b_{22} & 0,5b_2 \\ 0,5b_1 & 0,5b_2 & b_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -3,2 & 0,415 & 2,45 \\ 0,415 & -1,56 & -1,05 \\ 2,45 & -1,05 & 13,21 \end{vmatrix} = 74,42. \quad (5)$$

Используя инварианты (3), (4) и (5), приведём уравнение (2) к удобной для анализа и геометрической интерпретации канонической форме:

$$\lambda_1 \bar{X}_1^2 + \lambda_2 \bar{X}_2^2 + C = 0. \quad (6)$$

Коэффициенты канонической формы вычисляем через инварианты:

$$C = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{74,42}{4,82} = 15,44; \quad (7)$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{S}{2} \pm \sqrt{\frac{S^2}{4} - \delta} = -2,38 \pm 0,92; \quad (8)$$

$$\lambda_1 = -1,46; \quad \lambda_2 = -3,30.$$

С геометрической точки зрения переход к уравнению (6) означает перенос начала координат в центр кривой (поверхности) и поворот их на некоторый угол до совмещения с главными осями кривой (поверхностями) второго порядка.

С учётом (7) и (8) каноническая форма уравнения (2) примет вид:

$$-1,46\bar{X}_1^2 - 3,30\bar{X}_2^2 + 15,44 = R_{28}, \quad (9)$$

а координаты центра поверхности отклика определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \bar{X}_{01} &= \frac{\begin{vmatrix} -0,5b_1 & 0,5b_{12} \\ -0,5b_2 & b_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -2,45 & 0,415 \\ 1,05 & -1,56 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -3,2 & 0,415 \\ 0,415 & -1,56 \end{vmatrix}} = 0,702; \\ \bar{X}_{02} &= \frac{\begin{vmatrix} b_{11} & -0,5b_1 \\ 0,5b_{12} & -0,5b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -3,2 & -2,45 \\ 0,415 & 1,05 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -3,2 & 0,415 \\ 0,415 & -1,56 \end{vmatrix}} = -0,486 \end{aligned} \quad (10)$$

Тангенс угла поворота новой оси \bar{X}_1 по отношению к первоначальной:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\lambda_1 - b_{11}}{0,5b_{12}} = \frac{-1,46 + 3,2}{0,415} = 4,193.$$

По канонической форме (9) полуоси эллипсов определяются из нижеследующих соотношений:

$$a = \sqrt{\frac{15,44 - R_{28}}{1,46}}; \quad b = \sqrt{\frac{15,44 - R_{28}}{3,3}}. \quad (11)$$

Задаваясь для функции отклика шагом $\Delta \hat{y}_R = 1,0$, получим ряд сечений, проекции которых на факторную плоскость будут эллипсами с полуосями, определяемыми по формулам (11).

$$\text{Для } R_{28} = 15,4; \quad a = \sqrt{\frac{15,44 - 15,4}{1,46}} = 0,17; \quad b = \sqrt{\frac{15,44 - 15,4}{3,3}} = 0,11;$$

$$\text{Для } R_{28} = 15,0; \quad a = \sqrt{\frac{15,44 - 15,0}{1,46}} = 0,549; \quad b = \sqrt{\frac{15,44 - 15,0}{3,3}} = 0,365;$$

$$\text{Для } R_{28} = 14,0; \quad a = \sqrt{\frac{15,44 - 14,0}{1,46}} = 0,99; \quad b = \sqrt{\frac{15,44 - 14,0}{3,3}} = 0,661;$$

$$\text{Для } R_{28} = 13,0; \quad a = \sqrt{\frac{15,44 - 13,0}{1,46}} = 1,293; \quad b = \sqrt{\frac{15,44 - 13,0}{3,3}} = 0,86;$$

Для $R_{28} = 12,0$; $a = \sqrt{\frac{15,44 - 12,0}{1,46}} = 1,535$; $b = \sqrt{\frac{15,44 - 12,0}{3,3}} = 1,021$;

и т.д.

Геометрический образ модели $\hat{y}_R (R_{28})$ изображен на рисунке 4.

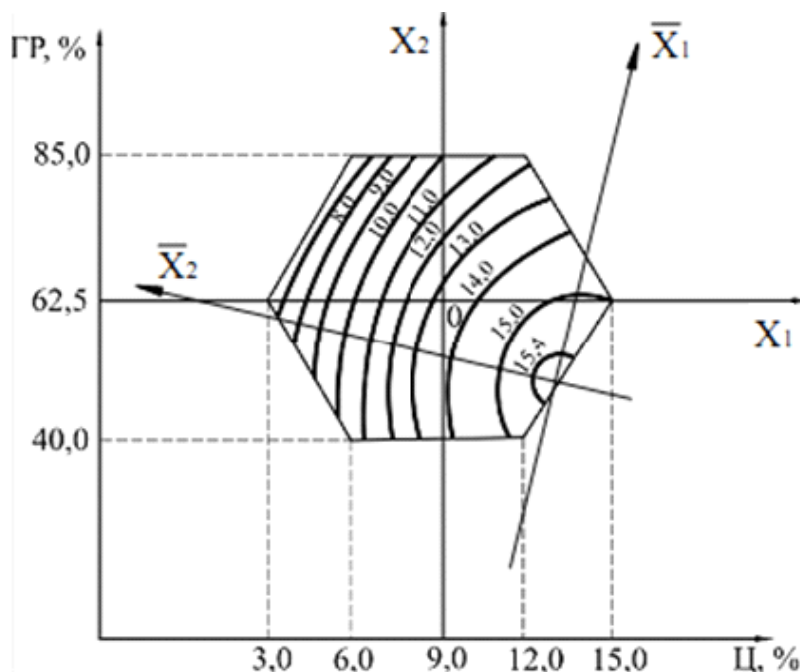


Рисунок 4 – Геометрический образ модели \hat{y}_R прочности грунтобетона через 28 суток твердения и полного водонасыщения

Ниже, в таблице 5 представлены результаты сравнительных испытаний образцов цилиндров после 28 суток твердения и 50 циклов замораживания - оттаивания. Каждый цикл состоял из следующих операций. Сначала образцы-цилиндры замораживали в морозильной камере в течение четырёх часов при температуре $(-20)^\circ\text{C}$. Затем, осуществляли оттаивание образцов, погружая их на 4 часа в ванну с пресной водой, температуру которой поддерживали в пределах $18-20^\circ\text{C}$. После 50 таких циклов определяли предел прочности образцов при сжатии $R_{мор}$ и коэффициенты морозостойкости, подтвердившие соответствие предложенных грунтовых смесей критериям морозостойкости $R_{мор}/R_{28} > 0,9-0,95$ [12,13].

Таблица 5 – Результаты испытаний стандартных образцов

Дозировка компонентов, % от массы грунтосмеси				Прочность, МПа		Коэффициент морозостойкости, $R_{мор}/R_{28}$
цемент	грунт	высевка	зола	через 28 суток и полного водонасыщения, R_{28}	после 50-ти циклов замораж.-оттаив. $R_{мор}$	
12	55	30	3	15,31	14,85	0,97
12	85	0	3	11,70	9,24	0,79
10	55	30	5	14,30	13,73	0,96
10	85	0	5	10,57	8,14	0,77
8	55	30	7	12,72	12,21	0,96
8	85	0	7	8,85	6,55	0,74

Как следует из приведённых в таблице данных наличие в составе грунтосмеси высевок и золы не только обеспечивает повышение прочности на 30-40 %, но и даёт существенный (на 20-30 %) прирост водо- и морозостойкости, что предотвратит фильтрационные просачивания нефти и нефтепродуктов через тело заградительного обвалования, повысит устойчивость к размыву при аварийном разливе нефти и нефтепродуктов.

Заключение

В целях минимизации экологического ущерба от аварийного разлива нефти и нефтепродуктов предложено заградительные обвалования выполнять из грунтовой смеси, включающей грунтоцемент и улучшающие его свойства высевок и золу-унос. Со временем, предложенная грунтовая смесь затвердевает и превращается в грунтобетон, обеспечивающий заградительному обвалованию повышенную прочность, устойчивость и противофильтрационную эффективность в сравнении с обвалованием из грунтобетона без высевок, не говоря уже о земляном (грунтовым) заградительном обваловании. Благодаря жесткой, прочной, водо- и морозостойкой камневидной структуре, заградительное обвалование из предложенной грунтовой смеси будет способно сопротивляться размыву при аварийном разливе нефти и нефтепродуктов, предотвратит пропитку и просачивание нефтепродуктов сквозь тело заградительного обвалования. Это уменьшит вред от аварийного разлива нефтепродуктов на объектах повышенного риска и повысит безопасность окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Анализ риска аварий с формированием гидродинамической волны прорыва на мазутных резервуарах ТЭЦ // Безопасность труда в промышленности. 2003. № 1. С. 26-32.
2. Розенштейн И.М. Аварии и надежность резервуаров. Москва: Недра, 1995. 225 с.
3. Швырков С.А. Защита окружающей среды при разрушении крупногабаритных резервуаров на морских нефтяных терминалах // Газовая промышленность. 2008. Вып. 619. С. 34-37.
4. Вишневская Н.С., Яворская Е.Е., Сальников А.В. Энергосберегающие технологии транзита и хранения нефти и газа. Ухта, УГТУ. 2016. 169 с.
5. Бондаренко В.Л., Клюкович З.А. Прогнозирование и методика расчёта ущерба при чрезвычайных ситуациях для объектов народного хозяйства: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Изд-во О.О.О. Тарра. 2001. 79 с.
6. Кондрашова О.Г., Назарова М.Н. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров // Нефтегазовое дело. 2004. №3. С. 37-42.
7. Голованов А.И. Основы природообустройства. Москва: Колос, 2001. 262 с.
8. Курочкин В.В., Малюшин М.А., Степанов О.А., Мороз А.А. Эксплуатационная долговечность нефтепроводов. Москва: Недра, 2001. 275 с.
9. Курочкин В.В. Прогнозирование капитального ремонта трубопровода на основе его ресурса // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 1999. №4. С. 5-8.
10. Федоров В.М., Васильева Е.В. Конструкции и технологии для строительства и ремонта линейных сооружений водохозяйственных систем. Новочеркасск: Лик, 2022. 197 с.
11. Сиротин Ю.Г. Основы строительного производства: учебное пособие. Екатеринбург: УралГАХА, 2013. 169 с.

12. Маилян Р.Л. Бетон на карбонатных заполнителях. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1967. 272 с.
13. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных сооружений. Москва: Стройиздат, 1984. 671 с.
14. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. Москва: Финансы и статистика, 1981. 262 с.

REFERENCES

1. Kozlitin A.M., Popov A.I., Kozlitin P.A. *Analiz riska avarij s formirovaniem gidrodinamicheskoy volny proryva na mazutnyh rezervuarah TEC* [Analysis of the risk of accidents with the formation of a hydrodynamic breakthrough wave on fuel oil tanks of CHP]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2003. No. 1, pp. 26-32.
2. Rozenshtejn I.M. *Avarii i nadezhnost' rezervuarov* [Accidents and reliability of tanks]. Moscow: Nedra, 1995. 225 p.
3. Shvyrkov S.A. *Zashchita okruzhayushchej sredy pri razrushenii krupnogabaritnyh rezervuarov na morskikh neftyanyh terminalah* [Environmental protection during the destruction of large-sized tanks at offshore oil terminals]. *Gazovaya promyshlennost'*. 2008. V. 619, pp. 34-37.
4. Vishnevskaya N.S., Yavorskaya E.E., Sal'nikov A.V. *Energosberegayushchie tekhnologii tranzita i hraneniya nefti i gaza* [Energy-saving technologies of transit and storage of oil and gas]. Ukhta, UGTU. 2016. 169 p.
5. Bondarenko V.L., Klyukovich Z.A. *Prognozirovaniye i metodika raschyota ushcherba pri chrezvychajnyh situatsiyah dlya ob"ektov narodnogo hozyajstva: uchebnoe posobie* [Forecasting and methods of calculating damage in emergency situations for national economy facilities: study guide]. Rostov-na-Donu: Izd-vo O.O.O. Tarra. 2001. 79 p.
6. Kondrashova O.G., Nazarova M.N. *Prichinno-sledstvennyj analiz avarij vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov* [Causal analysis of accidents of vertical steel tanks]. *Neftegazovoe delo*. 2004. No. 3. pp. 37-42.
7. Golovanov A.I. *Osnovy prirodoobustrojstva* [Fundamentals of environmental management]. Moscow: Kolos, 2001. 262 p.
8. Kurochkin V.V., Malyushin M.A., Stepanov O.A., Moroz A.A. *Ekspluatatsionnaya dolgovechnost' nefteprovodov* [Operational durability of oil pipelines]. Moscow: Nedra, 2001. 275p.
9. Kurochkin V.V. *Prognozirovaniye kapital'nogo remonta truboprovoda na osnove ego resursa* [Forecasting of pipeline overhaul based on its resource]. *Transport i hraneniye nefteproduktov*. 1999. No. 4, pp. 5-8.
10. Fedorov V.M., Vasil'eva E.V. *Konstrukcii i tekhnologii dlya stroitel'stva i remonta linejnyh sooruzhenij vodohozyajstvennyh sistem* [Fedorov V.M., Vasilyeva E.V. Designs and technologies for construction and repair of linear structures of water management systems]. Novocherkassk: Lik, 2022. 197 p.
11. Sirotin Yu.G. *Osnovy stroitel'nogo proizvodstva: uchebnoe posobie* [Fundamentals of construction production: study guide]. Yekaterinburg: Uralgakh, 2013. 169 p.
12. Mailyan R.L. *Beton na karbonatnyh zapolnitelyah* [Concrete on carbonate aggregates]. Rostov-na-Donu: RGU Publ., 1967. 272 p.
13. Bazhenov Yu.M., Komar A.G. *Tekhnologiya betonnyh i zhelezobetonnyh sooruzhenij* [Technology of concrete and reinforced concrete structures]. Moscow: Stroyizdat, 1984. 671 p.
14. Voznesenskij V. A. *Statisticheskie metody planirovaniya eksperimenta v tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniyah* [Statistical methods of experiment planning in technical and economic research]. Moscow: Financy i statistika, 1981. 262 p.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Васильева Елена Викторовна – кандидат технических наук, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132, e-mail: karalenka5@yandex.ru)

Федоров Виктор Матвеевич – доктор технических наук, профессор, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова, Донской государственный аграрный университет, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111, e-mail: viktor-fedorov1955@yandex.ru).

Vasilyeva Elena Viktorovna – Ph.D. (Eng.), Assoc. Prof., M.I. Platov South Russian State Polytechnic University (346428, Russia, Novocherkassk, Prosvesheniya, 132, e-mail: karalenka5@yandex.ru).

Fedorov Viktor Matveevich – Dr. Sci.(Eng), Prof., Don State Agrarian University, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov (346428, Russia, Novocherkassk, Pushkinskaya str., 111, e-mail: viktor-fedorov1955@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 09.10.2023; одобрена после рецензирования 01.11.2023, принята к публикации 21.11.2023.

The article was submitted 09.10.2023; approved after reviewing 01.11.2023; accepted for publication 21.11.2023.