

УДК 699.8

DOI [10.37153/2618-9283-2023-2-67-78](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-2-67-78)

Проектирование, строительство и реконструкция сейсмостойких зданий и сооружений

Повышение эксплуатационной надёжности и безопасности каналов в сборной облицовке из бетона на некондиционных заполнителях

Васильева Елена Викторовна¹, Федоров Виктор Матвеевич²

¹Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова.
Новочеркасск, Российская Федерация

²Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова – филиал
Донского государственного аграрного университета.
Новочеркасск, Российская Федерация

Аннотация: Статья посвящена проблеме надежности и безопасности каналов водохозяйственных систем. Состояние значительной части таких каналов на территории Северного Кавказа является сегодня крайне неудовлетворительным, что приводит к подъему уровня грунтовых вод, засолению и заболачиванию прилегающих земель, загрязнению мест проживания населения. Для ремонта и восстановления каналов водохозяйственных систем и недопущения экологического вреда компонентам окружающей среды, посредством минимизации потерь на фильтрацию, как в нормальных условиях эксплуатации, так и при сейсмических воздействиях, предложены сборные облицовки каналов из бетона на недорогих некондиционных заполнителях. Несмотря на относительно невысокое качество и доступность заполнителей, бетоны и изготовленные из него плиты, лотки и трубы, отличаясь высоким ресурсосберегающим эффектом, отвечают требованиям надежности и безопасности. Достигается требуемое качество добавлением в бетонную смесь пластификатора формиатно-спиртового, обладающего суперразжижающим эффектом, снижающим водопотребность бетонной смеси (водоредуцирующий эффект) и повышающим конструктивно-технические и эксплуатационные свойства, в том числе, и снижение сейсмической реакции. Рекомендованные меры позволят значительно снизить потери подаваемой потребителям воды в нормальных и экстремальных (при сейсмическом воздействии) условиях эксплуатации, предотвратить подтопление, загрязнение и заболачивание прилегающих территорий.

Ключевые слова: безопасность, надежность, сейсмостойкость, водохозяйственная система, сборные элементы, бетон, заболачивание, подтопление, засоление, экологический вред, некондиционные заполнители, планирование эксперимента, прочность, морозостойкость, геометрический образ

Для цитирования: Васильева Е.В., Федоров В.М. Повышение эксплуатационной надёжности и безопасности каналов в сборной облицовке из бетона на некондиционных заполнителях // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2023. № 2. С. 67–78. DOI [10.37153/2618-9283-2023-2-67-78](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-2-67-78)

@ E.V. Vasilyeva, V.M. Fedorov, 2023

Design, construction and reconstruction of earthquake-resistant buildings and structures

Improving the operational reliability and safety of channels in precast concrete cladding on substandard aggregates

Elena V. Vasilyeva¹, Viktor M. Fedorov²

¹South Russian State Polytechnic University named after M.I. Platov.
Novocherkassk, Russian Federation

²Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunov –
Branch of Don State Agrarian University.
Novocherkassk, Russian Federation

Abstract: The article is devoted to the problem of safety and reliability of water management systems. Most of these systems in the North Caucasus are in unsatisfactory condition, which leads to a rise in the groundwater level, salinization and contamination of adjacent lands, flooding of territories, pollution of places of residence and a decrease in the standard of living of the population. For the repair and restoration of systems and prevention of environmental damage to environmental components, by reducing filtration losses, both under normal operating conditions and under seismic impacts, precast concrete elements on inexpensive non-composite aggregates are proposed. Despite their (aggregates) relatively low quality and availability, concretes and trays, pipes and slabs made of it are characterized by a high resource-saving effect and meet the requirements of safety and reliability. This is achieved by adding a formiate-alcohol plasticizer to the concrete mixture, which has a super-liquefying effect that reduces the water consumption of the concrete mixture (water-reducing effect) and increasing the construction, technical and operational properties, including the reduction of seismic activity. The recommended proposals will significantly reduce the losses of water supplied to consumers, both in normal and extreme operating conditions, prevent flooding, pollution and waterlogging of adjacent territories, and improve the living conditions of the population.

Keywords: safety, reliability, seismic resistance, water management system, prefabricated elements, concrete, waterlogging, flooding, salinization, environmental damage, substandard aggregates, experiment planning, strength, frost resistance, geometric image of the model

For citation: Vasilyeva E.V., Fedorov V.M. Improving the operational reliability and safety of channels in precast concrete cladding on substandard aggregates. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2023, no. 2, pp. 67-78. [In Russian] DOI [10.37153/2618-9283-2023-2-67-78](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-2-67-78)

Введение

Водохозяйственные системы представляет собой совокупность линейно-протяженных сооружений (каналов) и разбросанных на большой территории малых гидротехнических и других сооружений. Возведение их из монолитного бетона сопряжено с большими трудностями, связанными с доставкой небольших порций бетонной смеси, проведением на месте опалубочных и арматурных работ, с укладкой, уплотнением и уходом за бетоном в полевых условиях. Это влечет за собой низкую производительность труда, длительные сроки строительства, низкоэффективное использование строительных машин, затрудненный контроль качества работ. Невысокое качество работ негативно отражается на эксплуатации систем, не говоря уже о функционировании сооружений в условиях сейсмического воздействия [16, 14, 2].

Переход на сборные железобетонные сооружения позволит значительно сократить сроки их возведения, снизить материалоемкость сооружений, перенести в заводские условия большую часть строительных операций, на 40–50% снизить численность работающих, повысить производительность труда и качество работ, что положительно скажется на безопасности, надежности и сейсмостойкости водохозяйственных систем [16, 3, 11].

К основным потребителям сборных железобетонных элементов на водохозяйственных системах относятся межхозяйственные и хозяйственные каналы, лотковые каналы, трубопроводы и сооружения на них. Только на Северном Кавказе протяженность всей сети каналов достигает 80 тыс. км. Около 70% не облицованы, пятая часть лотковых каналов и 40% трубопроводов не подлежат ремонту и требуют замены. В сложившейся ситуации необходимо наращивание производства железобетонных плит, лотков, труб и других сборных элементов (рис.1) для использования при выполнении ремонтно-восстановительных работ и улучшения, тем самым, технического состояния систем [2, 5, 6, 10, 11, 12].

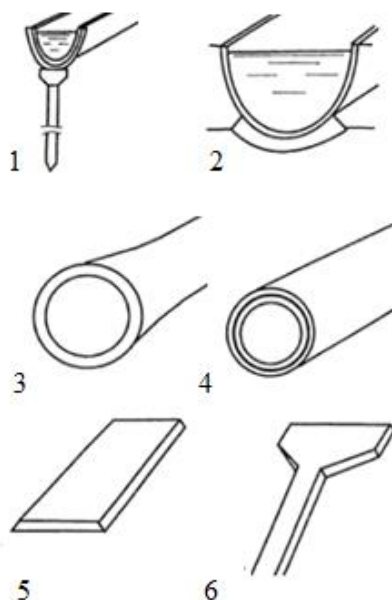


Рисунок 1 – Сборные элементы водохозяйственных систем

1 – лотки раструбные на сваях; 2 – лотки-оболочки крупногабаритные; 3 – безнапорные трубы; 4 – трубы с металлическим сердечником; 5 – плиты напряжённые; 6 – сваи-колонны

Figure 1 – Prefabricated elements of water management systems

1 – bell-shaped trays on piles; 2 - large-sized shell trays; 3 – pressure-free pipes; 4 – pipes with a metal core; 5 – stressed plates; 6 – piles-columns

Значимость проблемы предполагает наращивание производства бетона на предприятиях стройиндустрии, что предусматривает добычу, переработку и транспортировку большого количества минерального сырья. В современных условиях затраты на это должны быть минимизированы, так как одной из основных задач строительства и водохозяйственного строительства в частности, является возведение объектов с наименьшими затратами [16, 8, 9].

Задача эта может быть решена с применением ресурсосберегающих технологий, позволяющих решать вопросы использования в качестве сырья дешевых местных строи-

тельных материалов. Практически во всех регионах страны имеются месторождения некондиционных нерудных полезных ископаемых, которые сегодня должны рассматриваться как дополнительные источники сырья с целью получения заполнителей для бетона, который, как известно, остается основным строительным материалом и в 21 веке [13, 9, 7, 2].

Целью работы является обоснование целесообразности применения местных некондиционных заполнителей для бетона в сборных облицовках каналов водохозяйственных систем, установление влияния рецептурных факторов на расход цемента, прочностные и эксплуатационные качества бетона с выявлением эффективности пластификатора формиатно-спиртового.

Материалы и методы

На территории Ростовской области наиболее востребованы нерудные материалы Потаповского, Быстрореченского и Жирновского месторождений. Щебень и высевка (отход дробления) из каменных пород этих месторождений используются в качестве заполнителей для бетона. Известняковые заполнители Быстрореченского и Жирновского месторождений, отличаются высокой прочностью и чистотой, а особенности их кристаллохимического строения обеспечивают физико-химическое взаимодействие с продуктами гидратации цемента, что положительным образом сказывается на прочностных и эксплуатационных качествах бетона. Поэтому известняковые заполнители пользуются большим спросом у строителей. Что касается заполнителей из песчаника Потаповского месторождения, то несмотря на их относительную дешевизну (на 20–30%), спрос на них существенно ниже. Связано это с повышенным содержанием в заполнителях загрязняющих (пылевидных и глинистых) частиц: в щебне фракции 5–40 мм содержится 3,3–3,8%, а в высевке, определяемой отмучиванием, свыше 15% [9, 7, 2]. Эти частицы отрицательно влияют на свойства бетона, поэтому чаще всего стремятся к использованию чистых заполнителей, что на практике, по ряду причин, не всегда удается. Отрицательное влияние «грязных» заполнителей компенсируют перерасходом цемента, что, во-первых, недопустимо, а во-вторых, ведет к удорожанию бетона и бетонных работ [7, 1]. Важно и то, что загрязняющие частицы не обеспечивают требуемой удобоукладываемости бетонной смеси. Приходится увеличивать её (смеси) водосодержание, приводящее, однако, к снижению качества бетона и перерасходу цемента. Для экономии цемента и снижения начального водосодержания смеси без ухудшения строительно-технических и технологических свойств бетона, рекомендовано использование в составе смеси пластификатора формиатно-спиртового (ПФС), который является побочным продуктом производства пентаэритрита, представляющего собой водный раствор формиата натрия, сиропообразующих веществ и полиспиртов – монопентаэритрита и полипентаэритритов. ПФС, более чем на порядок дешевле С-3, СМФ, ЛСТМ и других подобных им суперпластификаторов, и применяется в виде водного раствора [3, 10, 14].

Для выявления влияния физико-химического воздействия водного раствора ПФС на прочностные и эксплуатационные свойства бетона на заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц использовался Новороссийский портландцемент марки 500, заполнителями служили щебень-песчаник фракции 5–40 мм Потаповского месторождения с содержанием пылевидных и глинистых частиц в количестве 3,3–3,8%, и отход камнедробления песчаника фракции 0–5 мм (высевка) Потаповского месторождения с модулем крупности 2,50 с содержанием пылевидных и глинистых частиц свыше 15%. Для решения рецептурно-технологических задач применялись методы планирования эксперимента с построением геометрического образа функции отклика способами линейной алгебры [4, 15]. При этом соблюдались соотношения: $C+Выс = 950 \text{ кг/м}^3$, $Щ = 1270 \text{ кг/м}^3$, где: C , $Выс$, $Щ$ – соответственно, расходы цемента, высевки, щебня.

Условия кодирования и варьирования факторов планируемого экспериментального исследования принимались с учетом составов бетона плит, лотков, труб и свай и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Кодирование и варьирование факторов

Table 1 – Coding and variation of factors

Факторы	Код X_i	Основной уровень, X_0 , %	Интервал варьирования, ΔX_i	Нижний уровень, «-»	Верхний уровень, «+»
Цемент	X_1	400	150	250	550
ПФС	X_2	3,0	2,0	1,0	5,0

Графический план эксперимента представлен на рисунке 2, а матрица планирования и условия эксперимента приведены в таблице 2.

Из рисунка 2 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 (рис. 2). По результатам семи опытов (шесть вершин и центр шестиугольника) вычисляются неизвестные коэффициенты уравнения регрессии второго порядка [4,15]:

$$\hat{y}_R = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2, \quad (1)$$

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

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

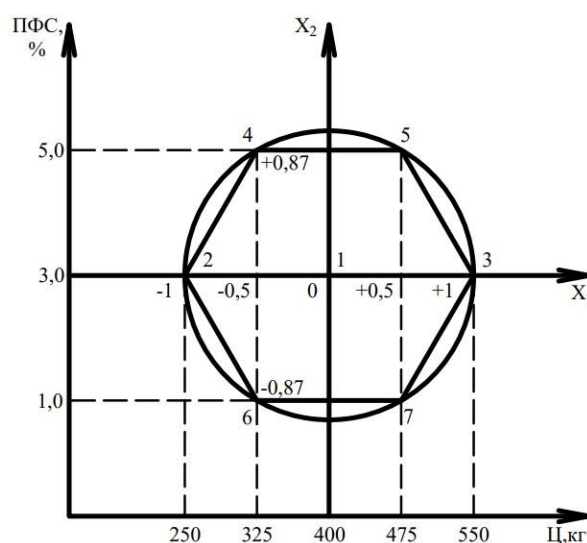


Рисунок 2 – План эксперимента на шестиугольнике

Figure 2 – The plan of the experiment on the hexagon

Таблица 2 – Матрица планирования и условия эксперимента

Table 2 – Planning matrix and experimental conditions

Номер опыта	План		X_1^2	X_2^2	X_1X_2	Факторы	
	X_1	X_2				X_1 (Ц)	X_2 (ПФС)
1	0	0	0	0	0	400	3,0
2	-1	0	1	0	0	250	3,0
3	1	0	1	0	0	550	3,0
4	-0,5	0,87	0,25	0,75	-0,43	325	5,0
5	0,5	0,87	0,25	0,75	0,43	475	5,0
6	-0,5	-0,87	0,25	0,75	0,43	325	1,0
7	0,5	-0,87	0,25	0,75	-0,43	475	1,0

По формулам (2) были подсчитаны коэффициенты уравнения регрессии второго порядка, расчётные значения которых приведены ниже:

$$b_0 = 174,9 - (77,0 + 63,0) = 34,9; \quad b_1 = 35,3/3 = 11,77;$$

$$b_2 = 2,44/3 = 0,82; \quad b_{12} = 4/3 \cdot (0,26) = 0,35;$$

$$b_{11} = 2/3 \cdot (77,0) + 5/6 \cdot (77,0 + 63,0) - 174,9 = -6,89;$$

$$b_{22} = 2/3 \cdot (63,0) + 5/6 \cdot (77,0 + 63,0) - 174,9 = -16,23.$$

Для прочности бетона на сжатие после тепловлажностной обработки было получено регрессионное уравнение в виде:

$$\hat{y}_R = 34,9 + 11,77X_1 + 0,82X_2 - 6,89X_1^2 - 16,23X_2^2 + 0,35X_1X_2 \quad (3)$$

Регрессионный анализ модели (3) произведём после определения ошибки эксперимента и расчёта ошибок коэффициентов уравнения. С учётом трёхкратной повторности опытов, ошибка проведённого эксперимента по воспроизводимости составила

$$S_{эв} = \sqrt{S_{эв}^2} = 0,18.$$

Таблица 3 – Расчёт ошибок коэффициентов

Table 3 – Calculation of error coefficients

b_m	b_0	b_i	b_{ii}	b_{ij}
T_i	1,0	0,577	1,224	1,155
$T_i \cdot S_{эв}$	0,18	0,104	0,220	0,208
$t \cdot T_i \cdot S_{эв}$	0,317	0,183	0,387	0,366

Таблица 4 – Регрессионный анализ модели

Table 4 – Regression analysis of the model

b_m	Начальная модель	$b_{кр}$	Конечная модель	ijy	$b_{ij}(ijy)$
b_0	34,9	0,317	34,9	174,9	6104,01
b_1	11,77	0,183	11,77	35,3	415,48
b_2	0,82	0,183	0,82	2,44	2,00
b_{11}	-6,89	0,387	-6,89	77,0	-530,53
b_{22}	-16,23	0,387	-16,23	63,0	-1022,49
b_{12}	0,35	0,366	0	0,26	0

Сумма квадратов SS_{mod} :

$$SS_{mod} = 4968,47;$$

$$SS_{эв} = 0,448.$$

Сумма квадратов $SS = SS_{mod} + SS_{эв} = 4968,92$.

Проводим проверку адекватности модели при риске $\alpha = 0,05$, и числе степеней свободы $f_{на} = 7 - 5 = 2$ и $f_э = N(n - 1) = 14$. Сумма квадратов $SS_{на}$:

$$SS_{на} = (yy) - (SS_{mod} + SS_{эв}) = 4969,13 - (4968,47 + 0,448) = 0,212,$$

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

$$S_{на}^2 = SS_{на} / f_{на} = 0,212 / (7 - 5) = 0,106 ,$$

– критерий Фишера:

$$F_a = 3,31 < F_T = 3,76.$$

Таким образом, можно допустить, что математическая модель (4)

$$\hat{y}_R = 34,9 + 11,77X_1 + 0,82X_2 - 6,89X_1^2 - 16,23X_2^2, \quad (4)$$

с риском $\alpha = 0,05$ адекватно описывает результаты эксперимента. Анализ модели (4) произведём после определения её типа и построения соответствующего ей геометрического образа. Для этого, воспользуемся общей теорией поверхностей второго порядка [4,15], принимая:

$$b_0 - y = a_0; \quad b_{ij} = 2a_{ij}; \quad b_i = 2a_i; \quad b_{ii} = a_{ii}. \quad (5)$$

Инварианты кривой второго порядка составят:

– сумма коэффициентов при квадратичных членах:

$$S = b_{11} + b_{22} = -6,89 - 16,23 = -23,12;$$

– определитель, составленный из коэффициентов при старших членах:

$$\delta = \begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -6,89 & 0 \\ 0 & -16,23 \end{vmatrix} = 111,83; \quad (6)$$

– определитель третьего порядка, составленный из всех коэффициентов:

$$\Delta = \begin{bmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} & 0,5b_1 \\ 0,5b_{12} & b_{22} & 0,5b_2 \\ 0,5b_1 & 0,5b_2 & b_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6,89 & 0 & 5,89 \\ 0 & -16,23 & 0,41 \\ 5,89 & 0,41 & 34,9 \end{bmatrix} = 4466,92 \quad (7)$$

Принимая во внимание, что $\delta > 0$, $\Delta \neq 0$, $S\Delta < 0$ уравнение (4) описывает эллиптическую поверхность отклика.

Используя инварианты (5), (6) и (7), приведём уравнение (4) к удобной для анализа и геометрической интерпретации канонической форме:

$$\lambda_1 \bar{X}_1^2 + \lambda_2 \bar{X}_2^2 + C = 0. \quad (8)$$

Коэффициенты канонической формы вычисляем через инварианты:

$$C = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{4466,92}{111,83} = 39,94 \quad (9)$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{s}{2} \pm \sqrt{\frac{s^2}{4} - \delta} = -11,56 \pm 4,67; \quad (10)$$

$$\lambda_1 = -6,89; \lambda_2 = -16,23.$$

С геометрической точки зрения переход к уравнению (8) 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 (9) и (10) каноническая форма уравнения (4) примет вид:

$$-6,89 \bar{X}_1^2 - 16,23 + 39,94 = R_{ТВО}, \quad (11)$$

а координаты центра поверхности отклика определяются по формулам:

$$\bar{X}_{01} = \frac{\begin{vmatrix} -0,5b_1 & 0,5b_{12} \\ -0,5b_2 & b_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -5,89 & 0 \\ -0,41 & -16,23 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -6,89 & 0 \\ 0 & -16,23 \end{vmatrix}} = \frac{95,59}{111,83} = 0,86,$$

$$\bar{X}_{02} = \frac{\begin{vmatrix} b_{11} & -0,5b_1 \\ 0,5b_{12} & -0,5b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -6,89 & -5,89 \\ 0 & -0,41 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -6,89 & 0 \\ 0 & -16,23 \end{vmatrix}} = \frac{2,825}{111,83} = 0,025. \quad (12)$$

Так как коэффициент b_{12} равен нулю, то нет поворота новых осей относительно первоначальных.

По канонической форме (11) полуоси эллипсов определяются из нижеследующих соотношений:

$$a = \sqrt{\frac{39,94 - R_{ТВО}}{6,89}}; \quad b = \sqrt{\frac{39,94 - R_{ТВО}}{16,23}}. \quad (13)$$

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 (13).

$$\text{Для } R_{ТВО} = 38,0; a = \sqrt{\frac{39,94 - 38,0}{6,89}} = 0,53; b = \sqrt{\frac{39,94 - 38,0}{16,23}} = 0,35;$$

$$\text{Для } R_{ТВО} = 36,0; a = \sqrt{\frac{39,94 - 36,0}{6,89}} = 0,76; b = \sqrt{\frac{39,94 - 36,0}{16,23}} = 0,49;$$

$$\text{Для } R_{ТВО} = 32,0; a = \sqrt{\frac{39,94 - 32,0}{6,89}} = 1,07; b = \sqrt{\frac{39,94 - 32,0}{16,23}} = 0,70;$$

$$\text{Для } R_{ТВО} = 28,0; a = \sqrt{\frac{39,94 - 28,0}{6,89}} = 1,32; b = \sqrt{\frac{39,94 - 28,0}{16,23}} = 0,86;$$

$$\text{Для } R_{ТВО} = 24,0; a = \sqrt{\frac{39,94 - 24,0}{6,89}} = 1,52; b = \sqrt{\frac{39,94 - 24,0}{16,23}} = 0,99;$$

$$\text{Для } R_{ТВО} = 20,0; a = \sqrt{\frac{39,94 - 20,0}{6,89}} = 1,70; b = \sqrt{\frac{39,94 - 20,0}{16,23}} = 1,11;$$

$$\text{Для } R_{ТВО} = 16,0; a = \sqrt{\frac{39,94 - 16,0}{6,89}} = 1,86; b = \sqrt{\frac{39,94 - 16,0}{16,23}} = 1,22;$$

$$\text{Для } R_{ТВО} = 14,0; a = \sqrt{\frac{39,94 - 14,0}{6,89}} = 1,94; b = \sqrt{\frac{39,94 - 14,0}{16,23}} = 1,26.$$

Геометрический образ модели $\hat{y}_R (R_{ТВО})$ изображен на рисунке 3.

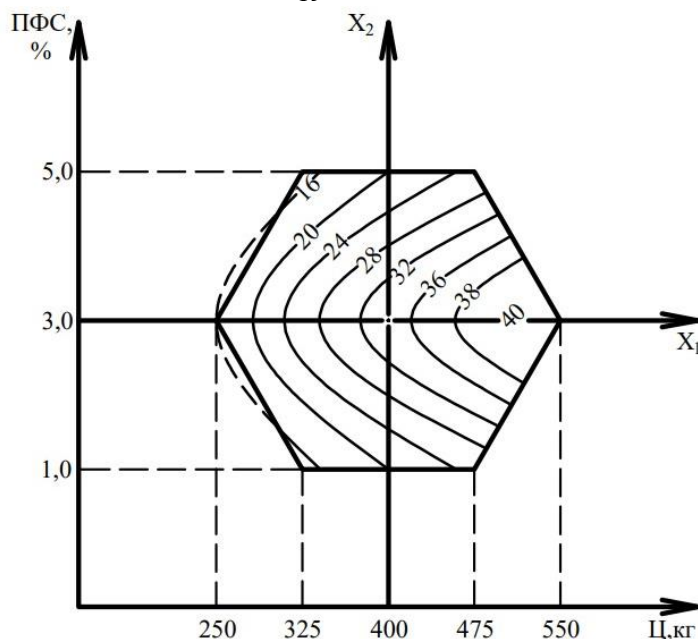


Рисунок 3 – Геометрический образ модели \hat{y}_R прочности бетона после тепловлажностной обработки (ТВО)

Figure 3 – Geometric image of the concrete strength model after heat and moisture treatment

Результаты и обсуждение

В пользу предложенных для сборных железобетонных элементов бетонов свидетельствуют и результаты сравнительных испытаний бетонных образцов-кубов с расходами цемента 400 кг/м^3 и 475 кг/м^3 с такими же заполнителями, но без добавления в смесь пластификатора ПФС. Прочность образцов после ТВО, имеющих дозировку цемента в количестве 400 кг/м^3 , соответствовала $19,3 \text{ МПа}$, а в количестве 475 кг/м^3 – $24,2 \text{ МПа}$. При наличии в смеси пластификатора ПФС (3%), прочностные показатели бетонов с расходами цемента 400 кг/м^3 и 475 кг/м^3 , достигают, соответственно, $34,9 \text{ МПа}$ и $39,1 \text{ МПа}$. Такой (60–80%) прирост прочности объясняется тем, что пылевидные и глинистые частицы в присутствии пластификатора ПФС играют в смеси роль микрозаполнителя, способного выполнять функции дополнительных центров кристаллизации и проявлять дефлокулирующее действие в гидратирующейся системе «цемент-вода» [7,1].

Морозостойкость бетона оценивалась способностью выдерживать в насыщенном растворе соли состоянии многократное замораживание и оттаивание без внешних признаков разрушения и существенного снижения прочности [14]. Нормируемые характеристики определялись по результатам испытаний бетонных образцов-кубов с ребром 100 мм 28-суточного возраста. Насыщение и оттаивание образцов осуществлялось в ваннах с 5% водным раствором хлорида натрия температурой 20°C , а замораживание – в морозильной камере, обеспечивающей достижение и поддержание температуры воздуха и среды замораживания минус 50°C . Состав бетона: $\text{Ц}=475 \text{ кг/м}^3$, $\text{Выс}=475 \text{ кг/м}^3$, $\text{Щ}=1270 \text{ кг/м}^3$, $\text{В}=180 \text{ л/м}^3$, $\text{ПФС}=14,3 \text{ кг/м}^3$.

Результаты испытаний при 37 циклах попеременного замораживания и оттаивания:

- среднее значение прочности R_{cp} контрольных образцов – $47,6 \text{ МПа}$, основных – $48,2 \text{ МПа}$;
- среднее квадратичное отклонение σ_n для контрольных образцов – $1,87 \text{ МПа}$, для основных – $1,33 \text{ МПа}$;

– коэффициент вариации V_m прочности для контрольных образцов – 3,93%, для основных – 2,76%;

– нижняя граница доверительного интервала прочности при критерии Стьюдента 2,57 для контрольных образцов: $47,6 - 2,57 \cdot 1,87 = 42,8$ МПа; для основных: $48,2 - 2,57 \cdot 1,33 = 44,7$ МПа.

Таким образом, образцы бетона с упомянутым выше составом выдержали 37 циклов испытаний, что соответствует марке бетона по морозостойкости 300.

В результате проведенных исследований появляется возможность использования в бетоне недорогих некондиционных заполнителей и расширения, таким образом, сырьевой базы для производства плит, лотков, труб, свай и других сборных железобетонных элементов для широкого их применения при проведении ремонтных и восстановительных работ на каналах водохозяйственных систем, снижения стоимости работ и сокращения сроков их выполнения.

Выводы

Применение сборных железобетонных элементов на ремонтируемых или восстанавливаемых каналах водохозяйственных систем позволит сократить сроки ремонтно-восстановительных работ, повысить производительность и качество выполняемых работ, что положительным образом скажется на надежности и сейсмостойкости систем. Проведенными исследованиями установлено, что использование недорогих некондиционных заполнителей в производстве плит, лотков, труб и других сборных железобетонных элементов обеспечит снижение затрат при их изготовлении без снижения качества изделий. Для экономии цемента и снижения начального водосодержания бетонных смесей на заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц предложено добавление в смесь пластификатора формиатно-спиртового, являющегося отходом производства пентаэритрита. Установлено положительное его влияние на прочностные и эксплуатационные свойства бетона, отвечающего установленным требованиям. Методом планирования эксперимента получена полиномиальная модель второго порядка, адекватно на 5%-ном уровне значимости описывающая зависимость прочности бетона на недорогих некондиционных заполнителях с повышенным содержанием загрязняющих частиц от расхода цемента и дозировки пластификатора ПФС: при расходе цемента от 250 до 550 кг/м³ дозировку пластификатора в виде водного раствора в количестве 2,8–3,2% от массы цемента, следует считать оптимальной; добавление пластификатора ПФС в состав смеси повысило прочность бетона после тепловой обработки на 60–80%. Ускоренными испытаниями бетонных образцов на морозостойкость в растворе хлорида натрия подтверждено соответствие бетона на недорогих местных заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц марке 300.

Результаты проведенных исследований выявили возможность расширения сырьевой базы для производства плит, лотков, труб и других сборных железобетонных элементов за счет использования в бетоне недорогих местных некондиционных заполнителей с повышенным содержанием загрязняющих частиц.

Список литературы

1. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных сооружений. Москва: Стройиздат. 1984. 671 с.
2. Бондаренко В.Л., Ключкович 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.
3. Волосухин В.А., Бондаренко В.Л., Свистунов Ю.А. Безопасность гидротехниче-

- ских сооружений. Краснодар: НГМА – КГАУ. 2001. 89 с.
4. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. Москва: Финансы и статистика. 1981. 262 с.
 5. Дворкин А.Н., Дворкин О.Л. Физическое обоснование правила постоянства водопотребности бетонной смеси // *Технология бетонов*. 2008. № 12. С. 51–53.
 6. Иванов Е.С. Организация и производство гидротехнических работ. Москва: Агропромиздат. 1985. 398 с.
 7. Маилян Р.Л. Бетон на карбонатных заполнителях. Ростовск. гос. универ. Ростов-на-Дону: РГУ. 1967. 272 с.
 8. Несветаев Г.В. Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах // *Строительные материалы*. 2006. № 10. С. 23–25.
 9. Розанов Н.П. Гидротехнические сооружения. Москва: Агропромиздат. 1985. 431 с.
 10. Сиротин Ю.Г. Основы строительного производства: учебное пособие / Ю.Г. Сиротин. Екатеринбург: УралГАХА. 2013. 169 с.: табл., схем., граф. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=473891> (дата обращения: 29.06.2021). ISBN 978-5-6231-2972-1. Текст: электронный.
 11. Турлов А.Г. Строительство и реконструкция водохозяйственных сооружений: учебное пособие / А.Г. Турлов. Йошкар-Ола: ПГТУ. 2014. 113 с.: табл., схем., граф. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=473891> (дата обращения: 29.06.2021). ISBN 978-5-8271-1957-1. Текст: электронный.
 12. Федоров В.М. Оценка надёжности водопроводящей сети оросительных систем // *Научный журнал КубГАУ*. 2011. № 65(01).10 с.
 13. Федоров В.М., Васильева Е.В., Яковенко Е.А. Безопасные и надёжные сооружения водохозяйственных систем из укатанных бетонов. Новочеркасск: Лик. 2019. 166 с.
 14. Щедрин В.Н., Колганов А.В., Косиченко Ю.М. Эксплуатационная надёжность оросительных систем. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ. 2004. 388 с.
 15. Юдин М.И. Планирование эксперимента и обработка результатов. Краснодар: КГАУ. 2004. 239 с.
 16. Ясинецкий В.Г. Организация и технология гидромелиоративных работ / В.Г. Ясинецкий, Н.К. Фенин, 3-е изд. Москва: Агропромиздат. 1986. 352 с.

References

1. Bazhenov Yu.M., Komar A.G. *Tekhnologiya betonnyh i zhelezobetonnyh sooruzhenij*. Moscow: Strojizdat. 1984. 671 p. [In Russian]
2. Bondarenko V.L., Klyukovich Z.A. *Prognozirovaniye i metodika raschyota ushcherba pri chrezvychajnyh situatsiyah dlya ob"ektov narodnogo hozyajstva: Uchebnoye posobie*. Rostov-na-Donu: Izd-vo O.O.O. Tarra. 2001. 79 p. [In Russian]
3. Volosuhin V.A., Bondarenko V.L., Svistunov Yu.A. *Bezopasnost' gidrotekhnicheskikh sooruzhenij*. Krasnodar: NGMA – KGAU. 2001. 89 p. [In Russian]
4. Voznesenskij V.A. *Statisticheskie metody planirovaniya eksperimenta v tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniyah*. Moscow: Finansy i statistika. 1981. 262 p. [In Russian]
5. Dvorkin A.N., Dvorkin O.L. *Fizicheskoe obosnovanie pravila postoyanstva vodopotrebnosti betonnoj smesi. Tekhnologiya betonov*. 2008, no. 12, p. 51–53. [In Russian]
6. Ivanov E.S. *Organizatsiya i proizvodstvo gidrotekhnicheskikh rabot*. Moscow: Agropromizdat. 1985. 398 p. [In Russian]
7. Mailyan R.L. *Beton na karbonatnyh zapolnitelyah*. Rostovsk. gos. univer. Rostov-na-Donu: RGU. 1967. 272 p. [In Russian]

8. Nesvetaev G.V. Effektivnost' primeneniya superplastifikatorov v betonah. *Stroitel'nye materialy*. 2006, no.10, pp. 23–25. [In Russian]
9. Rozanov N.P. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya*. Moskva: Agropromizdat. 1985. 431 p.
10. Sirotin Yu.G. *Osnovy stroitel'nogo proizvodstva: uchebnoe posobie/ Yu.G. Sirotin*. Ekaterinburg: UralGAHA. 2013. 169 p.: tabl., skhem., graf. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=473891> (data obrashcheniya: 29.06.2021). ISBN 978-5-6231-2972-1. Tekst: elektronnyj. [In Russian]
11. Turlov A.G. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya vodohozyajstvennyh sooruzhenij: uchebnoe posobie / A.G. Turlov*. Jshkar-Ola: PGTU. 2014. 113 p.: tabl., skhem., graf. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=473891> (data obrashcheniya: 29.06.2021). ISBN 978-5-8271-1957-1. Tekst: elektronnyj. [In Russian]
12. Fedorov V.M. Otsenka nadyozhnosti vodoprovodyashchej seti orositel'nyh sistem. *Nauchnyj zhurnal KubGAU*. 2011, no. 65(01), 10 p. [In Russian]
13. Fedorov V.M., Vasil'eva E.V., Yakovenko E.A. Bezopasnye i nadezhnye sooruzheniya vodohozyajstvennyh sistem iz ukatannyh betonov. Novoчеркасск: Lik. 2019. 166 p. [In Russian]
14. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Kosichenko Yu.M. *Ekspluatacionnaya nadezhnost' orositel'nyh sistem*. Rostov-na-Donu: Izd-vo SKNCVSH. 2004. 388 p. [In Russian]
15. Yudin M.I. *Planirovanie eksperimenta i obrabotka rezul'tatov*. Krasnodar: KGAU. 2004. 239 p. [In Russian]
16. Yasinetskij V.G. *Organizatsiya i tekhnologiya gidromeliorativnyh rabot / V.G. Yasinetskij, N.K. Fenin, 3-e izd.* Moscow: Agropromizdat. 1986. 352 p. [In Russian]

Информация об авторах/Information about the authors

Васильева Елена Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экологии и промышленной безопасности» Южно-Российского государственного политехнического университета им. М.И. Платова. Новочеркасск, Российская Федерация
karalenka5@yandex.ru

Elena V. Vasilyeva, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of ecology and industrial safety, South Russian State Polytechnic University named after M.I. Platov. Novoчеркасск, Russian Federation

Фёдоров Виктор Матвеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность и нефтегазовое дело» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова – филиала Донского государственного аграрного университета. Новочеркасск, Российская Федерация
viktor-fedorov1955@yandex.ru

Viktor M. Fedorov, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department "Technosphere Safety and Oil and Gas Business", Novoчеркасск Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunov – branch of Don State Agrarian University. Novoчеркасск, Russian Federation