Научная статья
УДК 626.8:691.322

БЕТОНЫ С МЕЛКИМ МЕСТНЫМ ПЕСКОМ ДЛЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В.М. Федоров[1], Е.В. Васильева[2,*]

[1] Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Новочеркасск, Россия
[2] Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
[*] E-mail: karalenka5@yandex.ru

Аннотация. В статье предложены бетоны с использованием мелких местных песков для сооружений гидромелиоративных систем. Доля мелких и очень мелких песков в некоторых регионах страны достигает 90 - 95% от общих запасов. Применение их в бетонах без специального обогащения вызывает перерасход цемента на 15-20%. Если в обычных бетонах перерасход цемента, обусловленный некондиционностью заполнителей, в основном снижает его экономические показатели, то в гидротехническом бетоне это влечет за собой еще и снижение долговечности сооружений. Ведь избыток цемента в гидротехническом бетоне вреден, так как ведет к термическому трещинообразованию и увеличению усадки. Благодаря добавлению в смесь формиатно-спиртового разжижителя удалось получить высокоподвижные бетонные смеси, содержащие мелкие пески и, на этой основе, без перерасхода цемента, добиться повышения прочностных и эксплуатационных качеств бетона.

Ключевые слова: *мелкие местные пески; некондиционные заполнители; щебень; пылевидные и глинистые примеси; формиатно-спиртовый разжижитель; бетонная смесь; строительно-технические и технологические свойства; крупный и мелкий заполнители; планирование эксперимента; математическая модель; уравнение регрессии; прочность.*

Для цитирования: Федоров В.М., Васильева Е.В. Бетоны с мелким местным песком для гидромелиоративного строительства // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2025. Т. 11, № 2. С. 42-53.

Original article

CONCRETE WITH FINE LOCAL SAND FOR WATER RECLAMATION CONSTRUCTION

V.M. Fedorov[1], E.V. Vasilyeva[2,*]

[1] Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunov, Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russia
[2] South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russia
[*] E-mail: karalenka5@yandex.ru

Abstract. The article proposes concretes using fine local sands for the construction of irrigation and drainage systems. The share of fine and very fine sands in some regions of the country reaches 90-95% of the total reserves. Their use in concretes without special enrichment causes an excess of cement consumption by 15-20%. If in ordinary concretes the excess of cement, caused by the substandard fillers, mainly reduces its economic indicators, then in hydraulic concrete

this also entails a decrease in the durability of structures. After all, excess cement in hydraulic concrete is harmful, since it leads to thermal cracking and increased shrinkage. Due to the addition of a formate-alcohol thinner to the mixture, it was possible to obtain highly mobile concrete mixtures containing fine sands and, on this basis, without excess cement consumption, achieve an increase in the strength and performance properties of concrete.

Keywords: *fine local sand; substandard aggregates; crushed stone; dust and clay impurities; formate-alcohol thinner; concrete mix; construction and technological properties; coarse and fine aggregates; experimental design; mathematical model; regression equation; strength.*

For citation: Fedorov V.M., Vasilyeva E.V., Concretes with fine local sand for irrigation and drainage construction // *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2025. Vol. 11, No. 2, pp. 42-53.

Введение

Стоимость заполнителей для бетона составляет в среднем около половины стоимости бетона, включая затраты на его изготовление. Применение доступных и дешевых местных заполнителей позволит снизить стоимость строительства, уменьшить объем транспортных перевозок, сократить сроки строительства.

Среди общих геологических запасов природного песка на территории России преобладают месторождения мелких и очень мелких песков [1-5]. Добывают их в основном в карьерах, отличаются они чрезмерным содержанием глинистых и других примесей, вызывающих перерасход цемента, замедление процессов твердения и снижение прочности бетона. Получение качественного бетона с высокими показателями плотности, прочности и долговечности, при использовании в нем мелких (или очень мелких) некондиционных песков, обеспечивается заполнением пустот между зернами песка цементным тестом и созданием между ними цементной прослойки. Объем цемента на создание такой прослойки зависит от общей площади поверхности зерен и возрастает с ее повышением и уменьшением модуля крупности песка. Доля песков с модулем крупности 1,0-1,5, не рекомендуемых без специального обогащения для применения в бетонах и растворах, достигает в некоторых регионах 90 - 95% от общих запасов [3, 6, 7].

При таких обстоятельствах приходиться либо доставлять крупнозернистые пески из других регионов страны, что увеличивает нагрузку на транспортные магистрали и удорожает стоимость бетона, а следовательно строительных работ и строительства в целом, либо использовать местные мелкие некондиционные пески, что приводит к перерасходу цемента на 15 - 20%.

Из опыта ведущих зарубежных стран (США, Китай, ФРГ. Великобритании и др.) известно, что одним из условий получения прочного и долговечного бетона, без перерасхода цемента, является использование песков, промытых и фракционированных в специальных гидравлических классификаторах [8-10].

К сожалению, в нашей стране по ряду причин обогащение мелких некондиционных заполнителей почти не применяется, а крайне низкое качество используемых мелких местных (региональных) песков, как правило, компенсируется повышенным расходом (перерасходом) цемента.

Вместе с тем, если в обычных бетонах перерасход цемента, обусловленный некондиционностью заполнителей, в основном снижает его экономические показатели, то в гидротехническом бетоне это влечет за собой еще и снижение долговечности сооружений.

© Федоров В.М., Васильева Е.В. 2025

Экономию цемента в гидротехническом бетоне можно рассматривать как меру повышения его долговечности, принимая во внимание тот факт, что избыток цемента в гидротехническом бетоне вреден, так как ведет к термическому трещинообразованию и увеличению усадки [8-13].

В связи с вышеизложенным, представляют большой практический интерес научные разработки, направленные на снижение расхода цемента в бетонах, приготовленных с использованием некондиционных местных мелких песков. Обобщая имеющийся в этом отношении отечественный и зарубежный опыт, можно выделить несколько эффективных и перспективных направлений повышения качества бетона и снижения расхода цемента в нем при использовании некондиционных мелких песков.

Техническая целесообразность улучшения гранулометрического состава мелких песков путем смешивания их в требуемых пропорциях с укрупняющими добавками типа крупнозернистого песка, отсевов камнедробления, песчаных фракций шлаковых или других промышленных отходов и т.п., не вызывает сомнений, так как вполне очевидна. Границы применения такого способа обогащения некондиционных мелких песков определяются только наличием местных укрупняющих добавок и расчетами экономических показателей данного технического приема для каждого конкретного случая [8,10-13].

Вопросы же применения тех или иных химических добавок для повышения эффективности использования местных мелких некондиционных песков в бетонах не столь очевидны и требуют более подробного рассмотрения, что и нашло отражения в нижеприведенном исследовании.

Цель работы: Обосновать целесообразность применения мелких местных некондиционных песков для бетонов сооружений гидромелиоративных систем, установить влияние рецептурных факторов на расход цемента, прочностные и эксплуатационные качества бетона с выявлением эффективности формиатно-спиртового разжижителя.

Задачи исследования. Раскрыть смысл использования мелких местных некондиционных песков для бетонов сооружений гидромелиоративных систем, предложить высокоэффективный разжижитель на основе крупнотоннажного промышленного отхода для компенсации отрицательного влияния мелкого местного песка с загрязняющими примесями на качество бетона, изучить основные закономерности бетона на некондиционных заполнителях «состав-разжижитель-свойства».

Методика и результаты испытаний

В исследовании на примере крупного заполнителя - щебня из карбонатных пород Жирновского месторождения и мелкого местного заполнителя – песка Грушевского месторождения на территории Ростовской области, показана не только принципиальная возможность, но и достаточно высокая эффективность применения мелких региональных некондиционных песков в составе тяжелого бетона, благодаря использованию в составе бетонной смеси побочного продукта производства спирта-пентаэритрита, в виде формиатно-спиртового компонента (разжижителя ФСР), представляющего собой водный раствор 50%-ной концентрации из формиата натрия, сиропообразующих веществ и полиспиртов,

Для проведения экспериментальных исследований использовались следующие материалы:

1. Цемент М 500 Новороссийского завода «Октябрь».
2. Крупный заполнитель – щебень фракции 5-20 мм из карбонатных пород Жирновского месторождения с содержанием пылевидных и глинистых частиц свыше 2%, прочностью, определяемой сдавливанием в цилиндре М 800, морозостойкостью F 50, пустотностью 45% .
3. Мелкий заполнитель – песок Грушевского месторождения с модулем крупности $М_{кр}$ = 1,48, с содержанием пылевидных и глинистых частиц свыше 7%, пустотностью свыше 45%, насыпной плотностью 1,42 т/м^3.

4. Добавка - побочный продукт производства спирта-пентаэритрита в виде формиатно-спиртового компонента (разжижителя ФСР), представляющего собой водный раствор 50%-ной концентрации из формиата натрия, сиропообразующих веществ и полиспиртов.

В таблице 1 приведены результаты испытаний стандартных бетонных образцов, изготовленных с использованием перечисленных материалов, но без добавления в смесь добавки разжижителя ФСР. Испытания проводились на осевое сжатие после тепловлажностной обработки бетонных образцов.

Таблица 1 – Результаты испытаний бездобавочных бетонов

№ состава	Расход материалов на 1 м^3 бетона, кг				Прочность бетона после ТВО, МПа
	Цемент	Песок	Щебень	Вода	
1	450	520	1215	200	26,8
2	575	415	1190	205	30,7
3	325	620	1245	190	20,2

Решение же рецептурно-технологических задач с использованием в бетонных смесях добавки ФСР, опиралось на современные методы планирования эксперимента, регрессионного и статистического анализа с построением геометрического образа функции отклика способами линейной алгебры [13-15].

Обработка результатов и исследований, обсуждение

Условия кодирования и варьирования факторов планируемого экспериментального исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Кодирование и варьирование факторов

Факторы	Код X_i	Основной уровень, X_0, %	Интервал варьирования, ΔX_i	Нижний уровень, «–»	Верхний уровень, «+»
Цемент	X_1	450	250	200	700
ФСР	X_2	1,8	0,8	1,0	2,6

Графически план экспериментального исследования изображен на рис. 1, а матрица планирования и условия проведения исследования представлены в таблице 3.

Согласно рис. 1 точки используемого плана экспериментального исследования имеют координаты вершин правильного шестиугольника, построенного в интервале варьирования факторов ± 1 в кодированном виде.

Выбранный план удобен тем, что переход от кодированных факторов к натуральным значениям и наоборот легко произвести графически по соответственным осям (рис. 1). По результатам семи опытов (центр шестиугольника и шесть вершин) определяют неизвестные коэффициенты регрессионного уравнения второго порядка [14,15]:

$$\hat{y}_R = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2, \quad (1)$$

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

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

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

где:

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

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

(2)

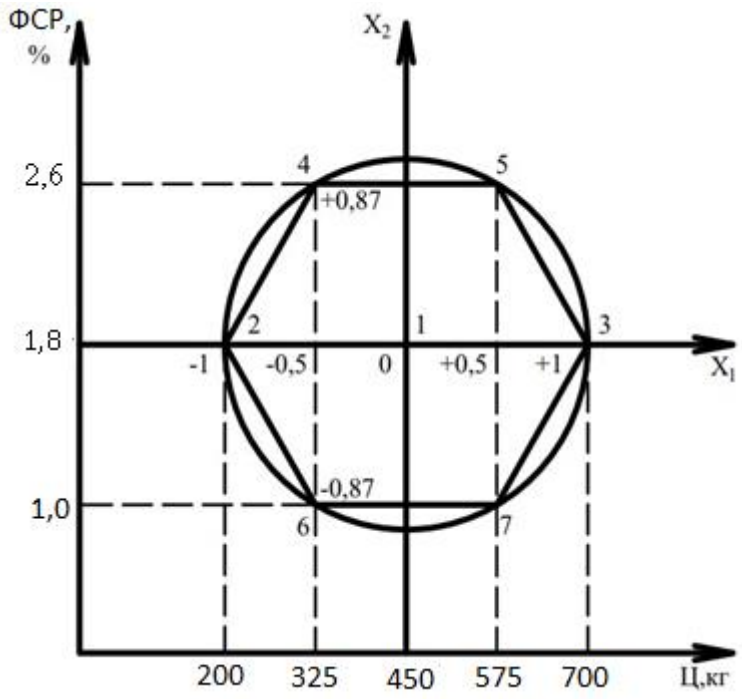


Рисунок 1 – План эксперимента на шестиугольнике

Таблица 3 - Матрица планирования и условия эксперимента

Номер опыта	План		X_1^2	X_2^2	X_1X_2	Факторы	
	X_1	X_2				X_1 (Ц)	X_2 (ФСР)
1	0	0	0	0	0	450	1,8
2	-1	0	1	0	0	200	1,8
3	1	0	1	0	0	700	1,8
4	-0,5	0,87	0,25	0,75	-0,43	325	2,6
5	0,5	0,87	0,25	0,75	0,43	575	2,6
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	575	1,0

Используя формулы (2), подсчитывались коэффициенты регрессионного уравнения второго порядка, расчётные значения которых приведены ниже:

b_0 = 267,85 – (109,03 + 112,32) = 46,50; b_1 = 67,70/3 = 22,57;

b_2 = 3,85/3 = 1,28; b_{12} = 4/3·(0,96) =1,28;

b_{11} = 2/3·(109,03) + 5/6·(109,03 + 112,32) – 267,85 = – 10,71;
b_{22} =2/3·(112,32) + 5/6·(109,03 + 112,32) – 267,85 = – 8,51.

Для прочности бетона на сжатие после тепловлажностной обработки было получено уравнение регрессии в приведённом ниже виде:

$$\hat{y}_R = 46{,}50 + 22{,}57X_1 + 1{,}28X_2 - 10{,}71X_1^2 - 8{,}51X_2^2 + 1{,}28X_1X_2. \quad (3)$$

Регрессионный анализ полученной математической модели (3) выполним после вычисления ошибки эксперимента и подсчёта ошибок коэффициентов регрессионного уравнения. Принимая во внимание трёхкратную повторность опытов, ошибка проведённого эксперимента по воспроизводимости составила $S_{эv} = \sqrt{S_{эv}^2} = 0{,}58$.

Таблица 4 – Расчёт ошибок коэффициентов

$b_м$	b_0	b_i	b_{ii}	b_{ij}
T_i	1,0	0,577	1,224	1,155
$T_i \cdot S_{эv}$	0,58	0,335	0,710	0,670
$t \cdot T_i \cdot S_{эv}$	1,021	0,590	1,250	1,180

Таблица 5 – Регрессионный анализ модели

$b_м$	Начальная модель	$b_{кр}$	Конечная модель	ijy	$b_{ij}(ijy)$
b_0	46,50	1,02	46,50	267,85	12455,03
b_1	22,57	0,59	22,57	67,70	1527,99
b_2	1,28	0,59	1,28	3,85	4,94
b_{11}	-10,71	1,25	-10,71	109,03	-1167,71
b_{22}	-8,51	1,25	-8,51	112,32	-955,84
b_{12}	1,28	1,18	1,28	0,96	1,23

Сумма квадратов $SS_{мод}$ и SS:

$SS_{мод}$ =11865,64;
$SS_{эv}$ = 4,76.
$S = SS_{мод} + SS_{эv} = 11870{,}40$

Произведем проверку адекватности математической модели при риске α = 0,05, и числе степеней свободы

$f_{на} = 7 - 6 = 1$ и $f_{на} = N(n-1) = 14$. Сумма квадратов $SS_{на}$:

$SS_{на} = (yy) - (SS_{мод} + SS_{эv}) = 11871{,}52 - (11865{,}64 + 4{,}76) = 1{,}12,$

Дисперсия неадекватности $SS_{на}$ и критерий Фишера, соответственно:

$$S^2_{на} = SS_{на} / f_{на} = 1{,}12/(7–6) = 1{,}12\ ,$$
$$F_a = 3{,}29 < F_T = 4{,}62.$$

Следовательно, можно допустить, что математическая модель (4)

$$\hat{y}_R = 46{,}50 + 22{,}57X_1 + 1{,}28X_2 - 10{,}71X_1^2 - 8{,}51X_2^2 + 1{,}28X_1X_2. \quad (4)$$

с риском α = 0,05 адекватно отражает результаты экспериментального исследования. Анализ математической модели (4) осуществим после выявления её типа и построения соответствующего ей геометрического образа. С этой целью воспользуемся общей теорией поверхностей второго порядка [14,15], принимая:

$$b_0 - y = a_0; b_{ij} = 2a_{ij}; b_i = 2a_i; b_{ii} = 2a_{ii}$$

Инварианты кривой второго порядка - сумма коэффициентов при квадратичных членах(s), определитель, составленный из коэффициентов при старших членах (δ), определитель третьего порядка, образованный из всех коэффициентов (Δ), составят:

$$S = b_{11} + b_{22} = -10{,}71 - 8{,}51 = -19.22; \quad (5)$$

$$\delta = \begin{vmatrix} b_{11} & 0{,}5b_{12} \\ 0{,}5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -10{,}71 & 0{,}64 \\ 0{,}64 & -8{,}51 \end{vmatrix} = 90{,}73; \quad (6)$$

$$\Delta = \begin{bmatrix} b_{11} & 0{,}5b_{12} & 0{,}5b_1 \\ 0{,}5b_{12} & b_{22} & 0{,}5b_2 \\ 0{,}5b_1 & 0{,}5b_2 & b_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10{,}71 & 0{,}64 & 11{,}29 \\ 0{,}64 & -8{,}51 & 0{,}64 \\ 11{,}29 & 0{,}64 & 46{,}50 \end{bmatrix} = 5317{,}43 \quad (7)$$

С учетом того обстоятельства, что δ>0, Δ≠0, SΔ<0 уравнение (4) описывает эллиптическую поверхность отклика.

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

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

Коэффициенты канонической формы определим через инварианты:

$$C = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{5317{,}43}{90{,}73} = 58{,}61, \quad (9)$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{S}{2} \pm \sqrt{\frac{S^2}{4} - \delta} = -9{,}61 \pm 1{,}27; \quad (10)$$
$$\lambda_1 = -10{,}88;\ \lambda_2 = -8{,}34.$$

С точки зрения геометрии, переход к уравнению (8) означает перемещение 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:

$$-10{,}88\overline{X}_1^2 - 8{,}34\overline{X}_2^2 + 58{,}61 = R_{TBO}\ , \quad (11)$$

а координаты центра поверхности отклика определятся из формул:

$$\overline{X}_{01} = \frac{\begin{vmatrix} -0{,}5b_1 & 0{,}5b_{12} \\ -0{,}5b_2 & b_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0{,}5b_{12} \\ 0{,}5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -11{,}29 & 0{,}64 \\ -0{,}64 & -8.51 \end{vmatrix}}{90{,}73} = \frac{96{,}49}{90{,}73} = 1{,}06,$$

$$\overline{X}_{02} = \frac{\begin{vmatrix} b_{11} & -0{,}5b_1 \\ 0{,}5b_{12} & -0{,}5b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0{,}5b_{12} \\ 0{,}5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -10{,}71 & -11{,}29 \\ 0{,}64 & -0{,}64 \end{vmatrix}}{90{,}73} = \frac{14{,}08}{90{,}73} = 0{,}155. \qquad (12)$$

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

$$a = \sqrt{\frac{58{,}61 - R_{\text{ТВО}}}{10{,}88}}\ ; \qquad b = \sqrt{\frac{58{,}61 - R_{\text{ТВО}}}{8{,}34}}\ . \qquad (13)$$

Для функции отклика, задаваясь шагом $\Delta\hat{y}_R$ = 6,0, получим семейство сечений, проекции которых на факторную плоскость будут эллипсами с полуосями, определяемыми по формулам (13).

Для $R_{\text{ТВО}}$ = 58,0; $a = \sqrt{\frac{58{,}61-58{,}0}{10{,}88}} = 0{,}236$; $b = \sqrt{\frac{58{,}61-58{,}0}{8{,}34}} = 0{,}271$;

Для $R_{\text{ТВО}}$ = 52,0; $a = \sqrt{\frac{58{,}61-52{,}0}{10{,}88}} = 0{,}779$; $b = \sqrt{\frac{58{,}61-52{,}0}{8{,}34}} = 0{,}890$;

Для $R_{\text{ТВО}}$ = 46,0; $a = \sqrt{\frac{58{,}61-46{,}0}{10{,}88}} = 1{,}076$; $b = \sqrt{\frac{58{,}61-46{,}0}{8{,}34}} = 1{,}229$;

Для $R_{\text{ТВО}}$ = 40,0; $a = \sqrt{\frac{58{,}61-40{,}0}{10{,}88}} = 1{,}310$; $b = \sqrt{\frac{58{,}61-40{,}0}{8{,}34}} = 1{,}494$;

Для $R_{\text{ТВО}}$ = 34,0; $a = \sqrt{\frac{58{,}61-34{,}0}{10{,}88}} = 1{,}504$; $b = \sqrt{\frac{58{,}61-34{,}0}{8{,}34}} = 1{,}718$;

Для $R_{\text{ТВО}}$ = 28,0; $a = \sqrt{\frac{58{,}61-28{,}0}{10{,}88}} = 1{,}680$; $b = \sqrt{\frac{58{,}61-28{,}0}{8{,}34}} = 1{,}916$;

Для $R_{\text{ТВО}}$ = 22,0; $a = \sqrt{\frac{58{,}61-22{,}0}{10{,}88}} = 1{,}834$; $b = \sqrt{\frac{58{,}61-22{,}0}{8{,}34}} = 2{,}095$;

Для $R_{\text{ТВО}}$ = 16,0; $a = \sqrt{\frac{58{,}61-16{,}0}{10{,}88}} = 1{,}979$; $b = \sqrt{\frac{58{,}61-16{,}0}{8{,}34}} = 2{,}260$.

Геометрический образ модели $\hat{y}_R\,(R_{\text{ТВО}})$ изображен на рис. 2.

Представленные на рисунке 2 данные свидетельствуют о том, что равной прочностью (например, 40 или 46 МПа) обладают бетоны практически на всем интервале изменения (от 1,0 до 2,6%) дозировки добавки разжижителя ФСР. Минимальные же расходы цемента в равнопрочных бетонах оказались при дозировках добавки от 1,8 до 2,2% от массы цемента, и значения эти поэтому следует считать оптимальными.

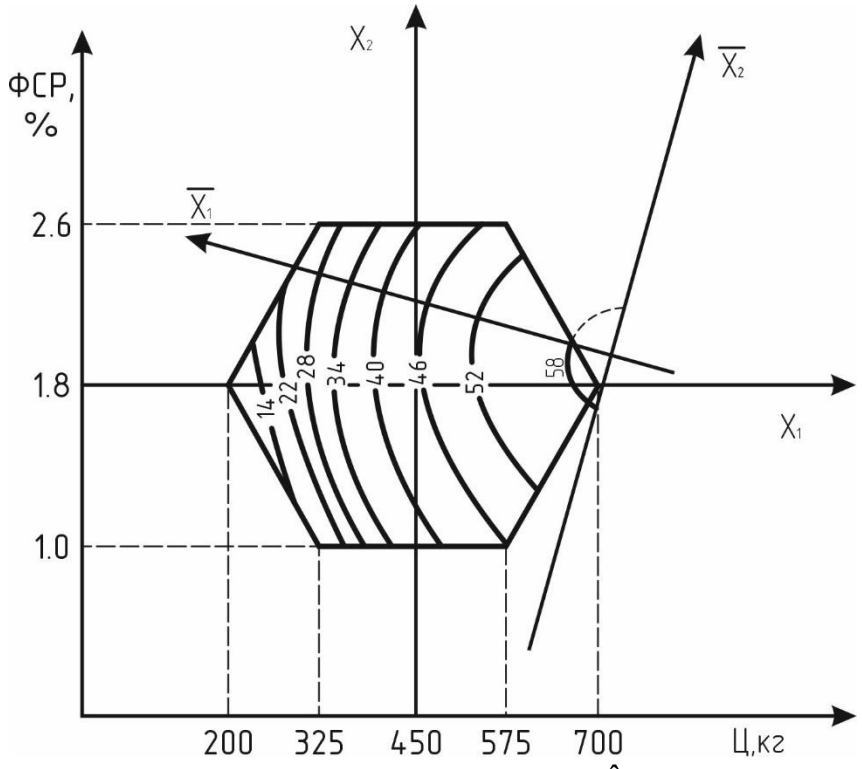


Рисунок 2 – Геометрическая интерпретация модели $\hat{y}_R$ прочности бетона после тепловлажностной обработки

Сопоставление с данными испытаний бездобавочных бетонов (таблица 1) показало, что предлагаемые составы бетонов с добавкой разжижителя ФСР, по сравнению с равносоставными бездобавочными, прочнее при сжатии на 40-60%. Из полученных данных следует, что, не прибегая к «облагораживанию» (обогащению) применяемых некондиционных заполнителей, а также к мягким режимам тепловой обработки, ускорителям твердения, дополнительному технологическому оборудованию и др., удалось существенно повысить (до 40-58 МПа) прочность бетона, за счет уменьшения расхода воды на замес без снижения подвижности смеси и на этой основе получить высокопрочный бетон на местных (региональных) заполнителях, включая мелкий некондиционный песок Грушевского месторождения. Проявление добавкой ФСР дефлокулирующего действия в гидратирующейся системе «цемент-вода», способствовало резкому увеличению подвижности и текучести бетонной смеси без увеличения ее водопотребности, что существенно улучшило строительно-технические и технологические свойства бетона, обеспечив ему высокие прочностные показатели при рядовых местных региональных заполнителях.

В условиях Новочеркасского завода СМ была изготовлена опытно-промышленная партия плит на рекомендуемых местных региональных заполнителях. ФСР использовался в виде водного раствора рабочей концентрации (около 2% от массы цемента). Приготовление его отличалось большей длительностью перемешивания и контролем за процессами растворения и осаждения. Транспортировка и дозирование водного раствора ФСР осуществлялись обычными способами. Одновременно с формованием плит изготавливались и стандартные бетонные образцы. Образцы твердели вместе с плитами в заводских пропарочных камерах, после чего были испытаны в заводской строительной лаборатории. Результаты испытаний соответствовали данным проведенных исследований и отвечали техническим требованиям, предъявляемым к железобетонным плитам, предназначенным для устройства сборных облицовок каналов гидромелиоративных систем.

Заключение

Использование местных (региональных) заполнителей, включая мелкие некондиционные пески имеет для предприятий и организаций важное экономическое значение, поскольку понижается нагрузка на транспортные магистрали, сокращаются расходы на доставку заполнителей, снижается стоимость бетона, а значит и строительства в целом. Наряду с этим расширяется и сырьевая база для производства бетонных и железобетонных элементов обводнительных, оросительных и других систем, за счет использования в бетоне недорогих местных (региональных) заполнителей, включая мелкие некондиционные пески. Это стало возможным благодаря добавлению в смесь формиатно-спиртового разжижителя (ФСР), обеспечившим получение высокоподвижных с высокой степенью текучести бетонных смесей. На этой основе удалось существенно (до 40-58 МПа) повысить прочность бетона на рядовых (местных, региональных) заполнителях, благодаря уменьшению расхода воды на замес без снижения подвижности и текучести бетонной смеси. Результаты производственных испытаний соответствовали данным проведенных экспериментальных исследований и отвечали техническим требованиям, предъявляемым к железобетонным плитам, предназначенным для устройства облицовок на каналах гидромелиоративных систем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шевченко В.А., Щедрин В.Н., Куприянова С.В. Задачи и проблемы восстановления оросительных мелиораций на юге России // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 3. С. 28–32.

2. Гулюк Г.Г. Эффективное развитие мелиоративного комплекса // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 2. С. 2–6.

3. Дубяго Д.С., Новиков А.Е., Григоров С.М. Дефекты бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений мелиоративных систем Республики Беларусь // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 2. С. 36–40.

4. Шилин А.А., Кириленко А.М., Знайченко П.А. Современный подход к разработке решений по ремонту железобетонных конструкций гидротехнических сооружений // Транспортное строительство. 2017. № 12. С. 6–10.

5. Линевич С.Н., Каплин В.Т., Багогосян А.Т. Введение в экологию, экологическая безопасность России, экологическое образование: учебное пособие / Под ред. С.Н. Линевича. Ростов-на-Дону: Изд-во ООО «Терра», 2000. 80 с.

6. Несветаев Г.В. Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах // Строительные материалы. 2006. № 10. С. 23-25.

7. Голованов А.И. Основы природообустройства. Москва: Колос, 2001. 262 с.

8. Несветаев Г.В. Строительные материалы: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. 608 с.

9. Комохов П.Г. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси. СПб.: НПО «Профессионал», 2007. 804 с.

10. Макридин Н.И., Максимова Н.Н. Структура, деформативность, прочность и критерий разрушения цементных композитов. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2001. 280 с.

11. Причины разрушения и концепция ремонта бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений / В.М. Давиденко, Г.Ф. Пахомова, Г.В. Охапкин и др. // Известия ВНИИГ им Б. Е. Веденеева. 2017. Т. 286. С. 3–9.

12. Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А., Сафин Э.Э. Покрытие оросительных каналов инновационным бетонным полотном и адаптивные способы их эксплуатации. // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. №2. С. 27–31.

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.

15.Юдин М.И. Планирование эксперимента и обработка результатов. Краснодар: Изд-во КГАУ, 2004. 239 с.

REFERENCES

1. Shevchenko V.A., Shchedrin V.N., Kupriyanova S.V. *Zadachi i problemy vosstanovleniya orositel'nyh melioracij na yuge Rossii* [Tasks and problems of restoration of irrigation land reclamation in the south of Russia]. *Melioraciya i vodnoe hozyajstvo*. 2023. No. 3, pp. 28–32.

2. Gulyuk G.G. *Effektivnoe razvitie meliorativnogo kompleksa* [Effective development of the land reclamation complex]. *Melioraciya i vodnoe hozyajstvo*. 2022. No. 2, pp. 2–6.

3. Dubyago D.S., Novikov A.E., Grigorov S.M. *Defekty betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij gidrotekhnicheskih sooruzhenij meliorativnyh sistem Respubliki Belarus'* [Defects of concrete and reinforced concrete structures of hydraulic structures of reclamation systems of the Republic of Belarus]. *Melioraciya i vodnoe hozyajstvo*. 2023. No 2, pp. 36–40.

4. Shilin A.A., Kirilenko A.M., Znajchenko P.A. *Sovremennyj podhod k razrabotke reshenij po remontu zhelezobetonnyh konstrukcij gidrotekhnicheskih sooruzhenij* [Modern approach to the development of solutions for the repair of reinforced concrete structures of hydraulic structures]. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2017. No. 12, pp. 6–10.

5. Linevich S.N., Kaplin V.T., Bagogosyan A.T. *Vvedenie v ekologiyu, ekologicheskaya bezopasnost' Rossii, ekologicheskoe obrazovanie: uchebnoe posobie* [Introduction to ecology, environmental safety of Russia, environmental education: a textbook]. Edit. S.N. Linevich. Rostov-na-Donu: Izd-vo OOO «Terra», 2000. 80 p.

6. Nesvetaev G.V. *Effektivnost' primeneniya superplastifikatorov v betonah* [The effectiveness of the use of superplasticizers in concrete]. *Stroitel'nye materialy*. 2006. No. 10. pp. 23-25.

7. Golovanov A.I. *Osnovy prirodoobustrojstva: ucheboe posobie* [Fundamentals of environmental management: study guide]. Moscow: Kolos, 2001. 262 p.

8. Nesvetaev G.V. *Stroitel'nye materialy: uchebno-spravochnoe posobie* [Building materials: an educational and reference manual]. Rostov-na-Donu: Feniks, 2009. 608 p.

9. Komohov P.G. *Cementy, betony, stroitel'nye rastvory i suhie smesi* [Cements, concretes, mortars and dry mixes]. St. Petersburg: NPO "Professional", 2007. 804 p.

10. Makridin N.I., Maksimova N.N. *Struktura, deformativnost', prochnost' i kriterij razrusheniya cementnyh kompozitov* [Structure, deformability, strength, and fracture criteria of cement composites]. Saratov: Saratov University Publ., 2001. 280 p.

11. Davidenko V.M., G.V. Pahomova, G.V. Ohapkin i dr. *Prichiny razrusheniya i koncepciya remonta betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij gidrotekhnicheskih sooruzhenij* [Causes of destruction and the concept of repair of concrete and reinforced concrete structures of hydraulic structures]. *Izvestiya VNIIG im B. E. Vedeneeva*. 2017. Vol. 286, pp. 3–9.

12. Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A., Safin E.E. Pokrytie orositel'nyh kanalov innovacionnym betonnym polotnom i adaptivnye sposoby ih ekspluatacii. // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. 2023. №2. S. 27–31.

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-ekonomicheskih issledovaniyah* [Statistical methods of experiment planning in technical and economic research]. Moscow: Finance and Statistics, 1981. 262 p.

15. Yudin M.I. *Planirovanie eksperimenta i obrabotka rezul'tatov* [Experiment planning and results processing]. Krasnodar: KGAU, 2004. 239 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Федоров Виктор Матвеевич – профессор, доктор технических наук, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова, ФГБОУ ВО Донской ГАУ, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: viktor-fedorov1955@yandex.ru. *Васильева Елена Викторовна* – доцент, кандидат технических наук, Южно-Российский гос. политехнический университет им. М.И. Платова, (346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132), e-mail: karalenka5@yandex.ru	*Viktor Fedorov* – Professor, Dr.Sci.(Eng), Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov, Donskoy GAU (346428, Russia, Pushskinskaya str., 111), e-mail: viktor-fedorov1955@yandex.ru. *Vasilyeva Elena Viktorovna* – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, M.I.Platov South Russian State Polytechnic University (346428, Russia, Novocherkassk, Prosvesheniya, 132), e-mail: karalenka5@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 05.04.2025; одобрена после рецензирования 18.05.2025, принята к публикации 16.05.2025.
The article was submitted 05.04.2024; approved after reviewing 18.05.2024; accepted for publication 16.05.2024.