



Научная статья  
УДК 666.97(075.8)

## СБОРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ИЗ БЕТОНА НА НЕКОНДИЦИОННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Е.В. Васильева<sup>1,\*</sup>, В.М. Федоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

<sup>2</sup> Донской государственный аграрный университет, Новочеркасск, Россия

\*E-mail: [karalenka5@yandex.ru](mailto:karalenka5@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье предложены сборные железобетонные элементы для линейных сооружений мелиоративных систем - лотки, трубы, плиты и др., изготовленные из бетона на некондиционных заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц. Частицы эти, в присутствии добавленного в бетонную смесь пластификатора, играют роль микрозаполнителя, способного выполнять функции дополнительных центров кристаллизации и проявлять дефлокулирующее действие в гидратирующей системе «цемент-вода», способствуя, этим самым, повышению прочностных и эксплуатационных свойства бетона.

**Ключевые слова:** сборные элементы; мелиоративные системы; сооружения; монолитный бетон; каналы; лотки; трубы; заполнители; пылевидные и глинистые частицы; водосодержание; свойства; пластификатор формиатно-спиртовой; опыты; факторы; уравнение регрессии.

**Для цитирования:** Васильева Е.В., Федоров В.М. Сборные элементы сооружений мелиоративных систем из бетона на некондиционных заполнителях // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2023. Т.9. №2. С. 33-42.

Original article

## PREFABRICATED ELEMENTS OF RECLAMATION SYSTEMS STRUCTURES MADE OF CONCRETE ON SUBSTANDARD AGGREGATES

E.V. Vasilieva<sup>1,\*</sup>, V.M. Fedorov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> South Russian State Polytechnic University named after M.I. Platov, Novochoerkassk, Russia

<sup>2</sup> Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russia

\*E-mail: [karalenka5@yandex.ru](mailto:karalenka5@yandex.ru)

**Abstract.** The article proposes precast reinforced concrete elements for linear structures of reclamation systems - trays, pipes, slabs, etc., made of concrete on substandard aggregates with a high content of pulverized and clay particles. These particles, in the presence of a plasticizer added to the concrete mixture, play the role of a micro-filler capable of performing the functions of additional crystallization centers and exhibiting a deflocculating effect in the hydrating cement-water system, thereby contributing to an increase in the strength and operational properties of concrete.

© Васильева Е.В., Федоров В.М. 2023

**Keywords:** *prefabricated elements; reclamation systems; structures; monolithic concrete; channels; trays; pipes; aggregates; pulverized and clay particles; water content; properties; formate-alcohol classifier; experiments; factors; regression equation.*

**For citation:** Vasilieva E.V., Fedorov V.M. Prefabricated elements of reclamation systems structures made of concrete on substandard aggregates // Journal of Science and Education of North-West Russia. 2023. V. 9. No. 2. pp. 33-42.

## **Введение**

Мелиоративные системы представляет собой совокупность линейно-протяженных сооружений 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, затруднительный контроль за качеством работ.

Переход на сборные железобетонные сооружения позволит значительно сократить сроки их возведения, снизить материалоемкость сооружений, перенести в заводские условия большую часть строительных операций, повысить производительность труда и качество работ, до 40-50% снизить численность работающих [1-3].

К основным потребителям сборных железобетонных элементов на мелиоративных системах относятся межхозяйственные и хозяйственные каналы, лотки, трубопроводы и сооружения на них. . Только на Северном Кавказе протяженность сети достигает 80 тыс.км. Около 70% каналов не облицованы, пятая часть лотковых каналов и 40% трубопроводов не подлежат ремонту и требуют замены. В сложившейся ситуации необходимо интенсивное наращивание производства железобетонных плит, лотков, труб и других сборных элементов, для использования их при выполнении ремонтно-восстановительных работ и улучшения, тем самым, технического состояния мелиоративных систем [4-8].

Масштаб проблемы требует производства на заводах и полигонах больших объемов бетона, что предусматривает добычу, переработку и транспортировку значительного количества минерального сырья. В условиях рыночной экономики затраты на это должны быть минимизированы, так как одной из основных задач строительства и, мелиоративного строительства, в частности, является возведение объектов с наименьшими затратами.

## **Исходные данные**

Задача эта может быть решена с применением ресурсосберегающих технологий, позволяющих наряду с другими решать и вопросы использования в качестве сырья дешевых местных строительных материалов. Практически везде имеются крупные месторождения некондиционных (по степени загрязнения пылевидными и глинистыми частицами) нерудных полезных ископаемых, которые в настоящее время следует рассматривать, в том числе, и как дополнительные источники сырья с целью получения заполнителей для бетона, который, как известно, останется основным строительным материалом и в 21 веке [9-13].

На территории Южного федерального округа и, прежде всего, Ростовской области к числу наиболее востребованных относятся нерудные материалы Потаповского, Быстрореченского и Жирновского месторождений. Щебень и высевка (отход дробления) из каменных пород этих месторождений пользуются большим спросом в качестве заполнителей для бетона. И, если значительный спрос на щебень и высевку последних двух месторождений в обозримом будущем сомнений не вызывает, то перспективы материалов Потаповского месторождения, несмотря на их относительную дешевизну (на 20-30%), не столь очевидны. И связано это, главным образом, с повышенным содержанием отрицательно влияющих на

свойства бетона пылевидных и глинистых частиц, которых в щебне фракции 5-40 мм Потаповского месторождения содержится в количестве 3,3-3,8%, а в высевке, определяемых отмучиванием, свыше 15% [14]. Поэтому, для обеспечения требуемых или при необходимости повышенных эксплуатационных свойств бетона, стремятся к применению заполнителей с заметно меньшим содержанием пылевидных и глинистых частиц. Если по организационным, технологическим или другим причинам использование на практике таких (достаточно качественных) заполнителей не представляется возможным, то невысокое качество заполнителей компенсируют перерасходом цемента, что, во-первых, крайне нежелательно, а во-вторых, ведет к удорожанию бетона и бетонных работ [13,14].

**Цель работы:** Обосновать целесообразность применения местных некондиционных заполнителей для бетона сборных элементов мелиоративных систем, установить влияние рецептурных факторов на расход цемента, прочностные и эксплуатационные качества бетона с выявлением эффективности пластификатора формиатно-спиртового.

**Задачи исследования.** Раскрыть смысл использования местных некондиционных заполнителей бетона для лотков, труб, плит и других сборных железобетонных элементов, предложить высокоэффективный пластификатор на основе крупнотоннажного промышленного отхода для компенсации отрицательного влияния загрязняющих частиц заполнителя на качество бетона, изучить основные закономерности бетона на некондиционных заполнителях «состав-пластификатор-свойства».

#### **Методика и результаты исследования.**

Для экономии цемента и снижения начального водосодержания смесей, без ухудшения строительно-технических и технологических свойств, рекомендовано применение высокоэффективных пластифицирующих добавок, а чтобы не удорожать стоимость продукции, целесообразно изыскать пластифицирующую добавку из числа крупнотоннажных промышленных отходов.

В качестве добавки рекомендуется пластификатор формиатно-спиртовый (ПФС), являющийся побочным продуктом производства пентаэритрита, представляющий 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, доставляется в виде водного раствора 40-50% концентрации по массе в бочках и цистернах. Транспортирование осуществляется автомобильным и железнодорожным транспортом.

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 кварцевый щебень фракции 5-40 мм Потаповского месторождения с содержанием пылевидных и глинистых частиц в количестве 3,3-3,8%, и отход камнедробления кварцита 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 теории планирования эксперимента с построением геометрического образа функции отклика способами линейной алгебры [15,16]. При этом соблюдались соотношения:  $\text{Ц} + \text{Выс} = 950 \text{ кг/м}^3$ ,  $\text{Щ} = 1270 \text{ кг/м}^3$ , где: Ц, Выс, Щ - соответственно, расходы цемента, высевки, щебня.

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

Графический план эксперимента представлен на рисунке 1, а матрица планирования и условия эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Кодирование и варьирование факторов

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

Таблица 2 - Матрица планирования и условия эксперимента

| Номер опыта | План  |       | $X_1^2$ | $X_2^2$ | $X_1 X_2$ | 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 результатам семи опытов (шесть вершин и центр шестиугольника, рис.1) вычисляются неизвестные коэффициенты уравнения регрессии второго порядка [15,16]:

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

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

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

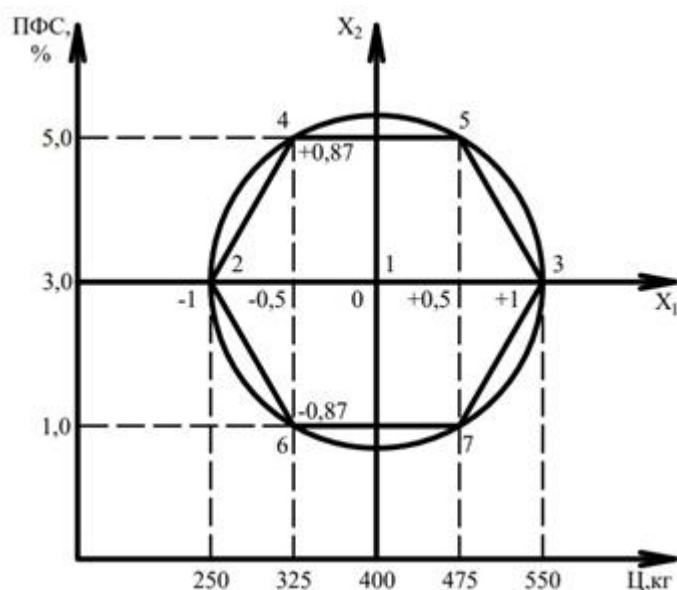


Рисунок 1 – План эксперимента на шестиугольнике

По формулам (2) были подсчитаны коэффициенты уравнения регрессии второго

порядка, расчётные значения которых приведены ниже:

$$b_0 = 34,9; b_1 = 11,77; b_2 = 0,82; b_{11} = -6,89; b_{12} = 0,35; b_{22} = -16,23.$$

Для прочности бетона на сжатие после тепловлажностной обработки было получено регрессионное уравнение в нижеприведённом 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 – Регрессионный анализ модели

| $b_M$    | 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  $SS = SS_{mod} + SS_{эв} = 4968,92$ .

Проводим проверку адекватности модели при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $f_{на} = 7 - 5 = 2$  и  $f_s = N(n - 1) = 14$ . 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 [15,16], принимая:

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

Инварианты кривой второго порядка составят:

– сумма коэффициентов при квадратичных членах:

$$S = b_{11} + b_{22} = -6,89 - 16,23 = -23,12; \quad (5)$$

– 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:

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

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:

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

$$\lambda_{1,2} = \frac{S}{2} \pm \sqrt{\frac{S^2}{4} - \delta} = -11,56 \pm 4,67; \quad (10)$$
$$\lambda_1 = -6,89; \quad \lambda_2 = -16,23.$$

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:

$$-6,89 \bar{X}_1^2 - 16,23 \bar{X}_2^2 + 39,94 = R_{TBO}, \quad (11)$$

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:

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

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).

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

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

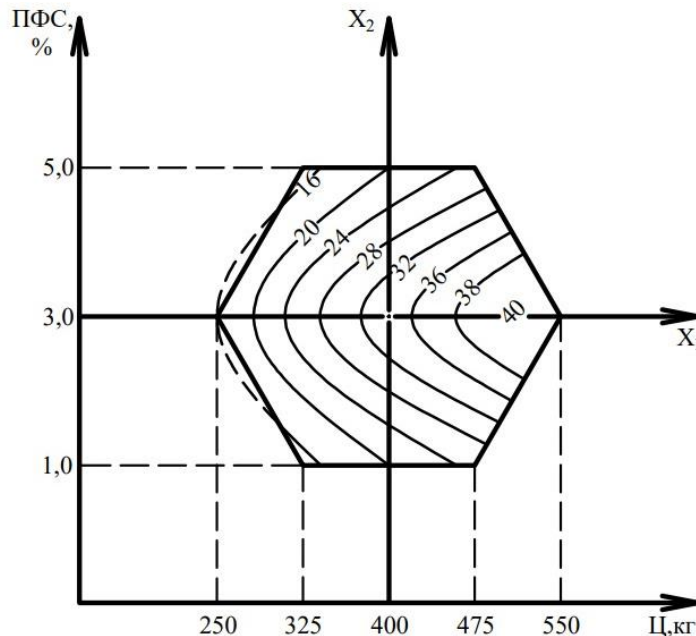


Рисунок 2 – Геометрический образ модели  $\hat{y}_R$  прочности бетона после тепловлажностной (ТВО) обработки

В пользу предложенных для сборных железобетонных элементов бетонов, свидетельствуют и результаты сравнительных испытаний бетонных образцов-кубов с расходами цемента  $400 \text{ кг/м}^3$  и  $475 \text{ кг/м}^3$  с такими же заполнителями, но без добавления в смесь пластификатора ПФС. Прочность образцов после ТВО, имеющих дозировку цемента в количестве  $400 \text{ кг/м}^3$ , соответствовала 19,3 МПа, а в количестве  $475 \text{ кг/м}^3$  - 24,2 МПа. При наличии в смеси пластификатора ПФС (3%), прочностные показатели бетонов с расходами цемента  $400 \text{ кг/м}^3$  и  $475 \text{ кг/м}^3$ , достигают, соответственно, 34,9 МПа и 39,1 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».

### Заключение

Применение сборных железобетонных элементов на ремонтируемых или восстанавливаемых мелиоративных системах позволит сократить сроки ремонтно-восстановительных работ, повысить производительность и качество выполняемых работ. Проведенными исследованиями показано, 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, как на экономное расходование цемента, так и на прочностные и эксплуатационные свойства бетона, отвечающего нормативным требованиям.

Методом планирования эксперимента получена полиномиальная модель второго порядка, адекватно на 5%-ном уровне значимости описывающая зависимость прочности бетона на некондиционных заполнителях с повышенным содержанием загрязняющих частиц от расхода цемента и дозировки пластификатора ПФС: при расходе цемента от 250 до 550 кг/м<sup>3</sup>, дозировку водного раствора пластификатора в количестве 2,8-3,2% от массы цемента, обеспечивающей снижение его (цемента) расхода в равнопрочных бетонах до 20-25%, следует считать оптимальной; введение пластификатора ПФС в состав смеси в оптимальной дозировке повышает прочность бетона после тепловой обработки на 60-80%.

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. Щедрин В.Н., Колганов А.В., Косиченко Ю.М. Эксплуатационная надежность оросительных систем. Ростов-на -Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2004. 388 с.
2. Сенчуков Г.А. Мелиорация, рекультивация и охрана земель. Новочеркасск: Изд-во НГМА, 2006. 307 с.
3. Щедрин В.Н. Проблемы и перспективы мелиорации на Нижнем Дону. Новочеркасск: ФГНУ «РосНИИПИМ», 2000. 170 с.
4. Волосухин В.А., Бондаренко В.Л., Свистунов Ю.А. Безопасность гидротехнических сооружений. Краснодар: НГМА – КГАУ, 2001. 89 с.
5. 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 ООО Тарра, 2001. 79 с.
6. Турлов А.Г. Строительство и реконструкция водохозяйственных сооружений: учебное пособие. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. 113 с.
7. Голованов А.И. Основы природообустройства. Москва: Колос, 2001. 262 с.
8. Косиченко Ю.М. Каналы переброски стока России. Новочеркасск: НГМА, 2004. 470 с.
9. Федоров В.М. Оценка надёжности водопроводящей сети оросительных систем // Научный журнал КубГАУ. 2011. № 65(01). 10 с. URL: <http://ej.kubagro.ru/2011/01/pdf/21.pdf>.
10. Федоров В.М., Васильева Е.В., Яковенко Е.А. Безопасные и надежные сооружения водохозяйственных систем из укатанных бетонов. Новочеркасск: Лик, 2019. 166 с.
11. Сиротин Ю.Г. Основы строительного производства: учебное пособие. Екатеринбург: УралГАХА, 2013. 169 с.
12. Розанов Н.П. Гидротехнические сооружения. Москва: Агропромиздат, 1985. 431 с.
13. Маилян Р.Л. Бетон на карбонатных заполнителях. Ростов- на-Дону: РГУ, 1967. 272 с.
14. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных сооружений. Москва: Стройиздат, 1984. 671 с.
15. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. Москва: Финансы и статистика, 1981. 262 с.
16. Юдин М.И. Планирование эксперимента и обработка результатов. Краснодар: КГАУ, 2004. 239 с.

### REFERENCES





1. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Kosichenko Yu.M. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' orositel'nyh sistem* [Operational reliability of irrigation systems]. Rostov-na-Donu: Izd-vo SKNCVSH, 2004. 388 p.
2. Senchukov G.A. *Melioratsiya, rekul'tivatsiya i ohrana zemel'* [Land reclamation, reclamation and protection]. Novocherkassk: NGMA Publ., 2006. 307 p.
3. Shchedrin V.N. *Problemy i perspektivy melioratsii na Nizhnem Donu* [Problems and prospects of land reclamation on the Lower Don]. Novocherkassk: FGNU «RosNIIPM», 2000. 170 p.
4. Volosuhin V.A., Bondarenko V.L., Svistunov YU.A. *Bezopasnost' gidrotekhnicheskikh sooruzhenij* [Safety of hydraulic structures]. Krasnodar: NGMA–KGAU, 2001. 89 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: textbook]. Rostov- na-Donu: OOO Tarra Publ., 2001. 79 p.
6. Turlov A.G. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya vodohozyajstvennyh sooruzhenij: uchebnoe posobie* [Construction and reconstruction of water facilities: textbook]. Joshkar-Ola: PGTU, 2014. 113 p.
7. Golovanov A.I. *Osnovy prirodoobustrojstva* [Fundamentals of environmental management]. Moscow: Kolos, 2001. 262 p.
8. Kosichenko Yu.M. *Kanaly perebrozki stoka Rossii* [Channels of transfer of a drain of Russia]. Novocherkassk: NGMA Publ., 2004. 470 p.
9. Fedorov V.M. *Ocenka nadyozhnosti vodoprovodyashchej seti orositel'nyh sistem* [Assessment of the reliability of the water supply network of irrigation systems]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU*. 2011. No. 65(01). 10 p. URL: <http://ej.kubagro.ru/2011/01/pdf/21.pdf>.
10. Fedorov V.M., Vasil'eva E.V., Yakovenko E.A. *Bezopasnye i nadezhnye sooruzheniya vodohozyajstvennyh sistem iz ukatannyh betonov* [Safe and reliable structures of water management systems made of rolled concrete]. Novocherkassk: Lik, 2019. 166 p.
11. Sirotin Yu.G. *Osnovy stroitel'nogo proizvodstva: uchebnoe posobie* [Fundamentals of construction production: textbook]. Ekaterinburg: UralGAHA, 2013. 169 p.
12. Rozanov N.P. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Hydraulic structures]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 431 p.
13. Mailyan R.L. *Beton na karbonatnyh zapolnitelyah* [Concrete on carbonate aggregates]. Rostov-na-Donu: RGU, 1967. 272 p.
14. Bazhenov Yu.M., Komar A.G. *Tekhnologiya betonnyh i zhelezobetonnyh sooruzhenij* [Technology of concrete and reinforced concrete structures]. Moscow: Sroyizdat, 1984. 671 p.
15. Voznesenskij V. A. *Statisticheskie metody planirovaniya eksperimenta v tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniyah* [Statistical methods of experiment planning in technical and economic research]. Moscow: Finansy i statistika, 1981. 262 p.
16. Yudin M.I. *Planirovaniye eksperimenta i obrabotka rezul'tatov* [Experiment planning and results processing]. Krasnodar: KGAU Publ., 2004. 239 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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: [karalenska5@yandex.ru](mailto:karalenska5@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: [karalenska5@yandex.ru](mailto:karalenska5@yandex.ru)).



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

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

Статья поступила в редакцию 19.04.2023; одобрена после рецензирования 15.05.2023, принята к публикации 25.05.2023.

The article was submitted 19.04.2023; approved after reviewing 15.05.2023; accepted for publication 25.05.2023.