

УДК 666.97(075.8)

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБЛИЦОВОК КАНАЛОВ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ ИЗ БЕТОНА НА НЕДОРОГИХ МЕСТНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Е.В. Васильева, Н.Н. Чибинев, В.М. Федоров

## IMPROVING THE QUALITY OF CHANNEL LADING OF WATER MANAGEMENT SYSTEMS FROM CONCRETE ON INEXPENSIVE LOCAL AGGREGATES

E.V. Vasilyeva, N.N. Chibinev, V.M. Fedorov

**Аннотация.** В статье предложены облицовки для каналов водохозяйственных систем, выполненные из бетона на недорогих местных заполнителях, отвечающие требованиям надежности и ресурсосбережения. Достигается это принудительным уплотнением бетонных смесей, на заполнителях с повышенным содержанием загрязняющих частиц, путем их (смесей) послойного прессования или (и) укатки и снижением начального водосодержания, посредством добавления в состав смеси пластификатора формиатно-спиртового, являющегося побочным продуктом производства пентаэритрита и представляющего собой водный раствор формиата натрия, сиропообразующих веществ и полиспиртов.

**Ключевые слова:** надежность; ресурсосберегающие технологии; протяженность каналов; облицовки каналов; бетон; заполнители; месторождения; пылевидные и глинистые частицы; прессование и укатывание; водосодержание; пластификатор формиатно-спиртовый; планирование эксперимента; факторы; уравнение регрессии.

**Abstract.** The article proposes linings for channels of water management systems made of concrete on inexpensive local aggregates that meet the requirements of reliability and resource saving. This is achieved by forced compaction of concrete mixtures, on aggregates with a high content of polluting particles, by their (mixtures) layer-by-layer pressing and (and) rolling and reducing the initial water content, by adding to the composition of the mixture a formate-alcohol plasticizer, which is a by-product of the production of pentaerythritol and which is aqueous solution of sodium formate, syrup-forming substances and polyalcohols.

**Keywords:** reliability; resource-saving technologies; channel length; channel lining; concrete; aggregates; deposits; dust and clay particles; pressing and rolling; water content; formate-alcohol plasticizer; experiment planning; factors; regression equation.

### Введение

Надежность каналов водохозяйственных систем в значительной степени зависит от их технического состояния. В настоящее время большинство из них находится в неудовлетворительном состоянии. Только на Юге России протяженность каналов достигает 70 тыс.км и, в основном, выполнены они в земляных руслах, имея низкие показатели КПД и эксплуатационной надежности. В результате больших потерь транспортируемой воды (около 50%) происходят многочисленные нарушения экологического плана в виде подъема уровня грунтовых вод, засоления и заболачивания прилегающих земель [1]. Для безопасной и надежной работы каналов необходимо выполнение их в облицованных руслах. Наиболее эффективными и надежными признаны бетонные облицовки. В сравнении с другими, они имеют больший срок службы, большую надежность и эффективность [1, 2]. Учитывая масштаб проблемы, необходимы большие объемы бетона и бетонных работ. Поэтому, облицовки каналов следует выполнять не только качественно и надежно, но и сравнительно экономично, а значит, с использованием ресурсосберегающих технологий.

### **Исходные данные**

Практически повсеместно имеются крупные месторождения некондиционных (по степени загрязнения пылевидными и глинистыми частицами) нерудных полезных ископаемых, которые сегодня должны рассматриваться как дополнительные источники сырья с целью получения заполнителей для бетона [2-5].

На территории Ростовской области к числу наиболее востребованных относятся нерудные материалы Потаповского, Быстрореченского и Жирновского месторождений. Щебень и высевка (отход дробления) этих месторождений пользуются наибольшим спросом в качестве заполнителей для бетона. И, если спрос на щебень и высевок последних двух месторождений в обозримом будущем сомнений не вызывает, то перспективы щебня и высевок 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 и высевке Потаповского месторождения содержится в количестве, соответственно, 6,7% и 18,4% [2-5]. Поэтому, для обеспечения требуемых прочностных и эксплуатационных свойств бетона, стремятся к использованию заполнителей с заметно меньшим содержанием пылевидных и глинистых частиц. Если по организационным, технологическим или каким-то иным причинам использование на практике таких (качественных) заполнителей не представляется возможным, то невысокое качество заполнителей компенсируют перерасходом цемента, что, во-первых, недопустимо, а во-вторых, ведет к удорожанию продукции (работ) [2, 6].

Важным обстоятельством является и то, что в отличие от песков, обладающих относительно гладкой поверхностью и дающих подвижные и хорошо уплотняемые бетонные смеси, высевок, с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц, не обеспечивают требуемой удобоукладываемости бетонной смеси и должного ее уплотнения при вибрировании, что отрицательным образом сказывается на прочностных и эксплуатационных свойствах бетона. Поэтому, в этих условиях увеличивают начальное водосодержание смеси, приводящее, однако, к перерасходу цемента, либо ищут другой, более эффективный способ уплотнения бетонной смеси [2, 5].

### **Цель и задачи исследования**

Цель работы: снижение потерь воды на фильтрацию за счет выполнения облицовок каналов из бетона, полученного принудительным прессованием или (и) укатыванием бетонных смесей на недорогих местных заполнителях и снижением их (смесей) начального водосодержания.

Задачи: разработка технологических мер для повышения качества сборных и монолитных облицовок каналов из бетона на недорогих местных заполнителях, полученного принудительным прессованием или (и) укатыванием бетонных смесей на заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц, и снижением их (смесей) начального водосодержания, посредством добавления в смесь пластификатора .

### **Методика и результаты исследования**

На рисунках 1 и 2 приведены схемы уплотнения бетонных смесей на заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц при бетонировании плит (для сборной облицовки) и каналов.

Приготовление бетонной смеси следует осуществлять в бетономесителях принудительного действия. Продолжительность перемешивания не менее 60 с. Для доставки и укладки смеси могут использоваться автосамосвалы, бетоноукладчики, краны.

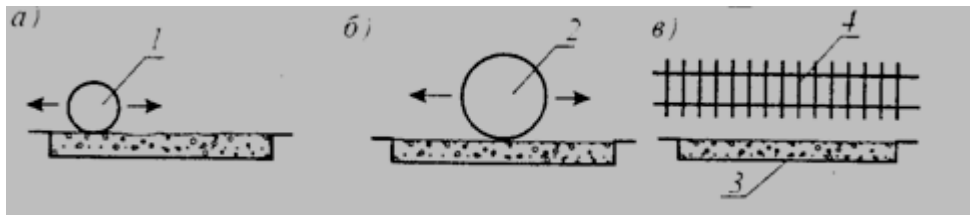


Рисунок 1 - Уплотнение бетонной смеси при формировании плит: а) прессование смеси; б) укатывание смеси; в) подготовка к армированию; 1 - прессующий валец; 2 - укатывающий валец; 3 - уплотненный слой смеси; 4 - межслойная арматура

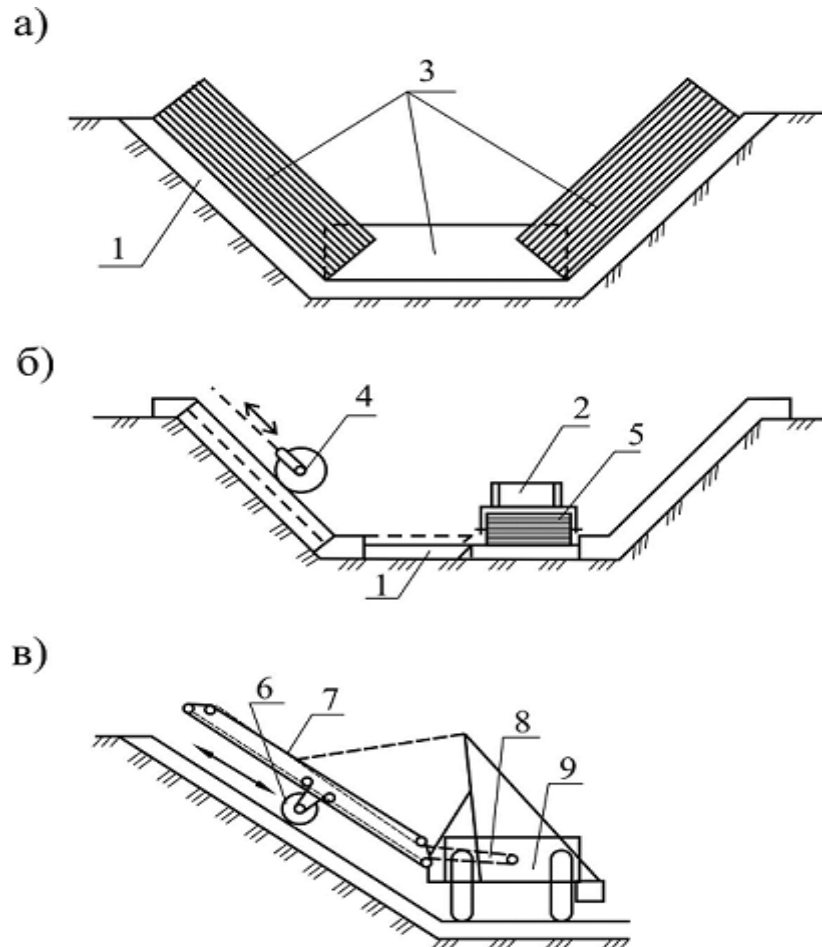


Рисунок 2 – Уплотнение бетонных смесей при бетонировании канала: а) уплотнение смеси трёхвальцовым катком; б) уплотнение смеси прицепным и двухвальцовым катком; в) уплотнение смеси навесным катком; 1 – слой бетонирования; 2 – двухвальцовый каток; 3 – трёхвальцовый каток; 4 – прицепной каток; 5 – валец катка; 6 – навесной каток; 7 – стрела; 8 – тяговые канаты; 9 – трактор

Укладку и распределение бетонной смеси необходимо производить послойно. При формировании плит для сборной облицовки канала подачу смеси в металлическую форму следует производить автосамосвалами, а разравнивание - мобильным отвалом или бульдозером. При бетонировании каналов бетонную смесь по дну и откосам рекомендуется распределять укладочным бункером бетоноукладчика, размеры которого соответствуют размерам поперечного сечения канала, либо распределительными шнеками или скребковыми цепями. Уплотнение смеси следует производить вальцами или катками.

Для повышения прочностных и эксплуатационных свойств бетона плит и облицованного им русла канала, помимо рекомендованной технологии уплотнения таких

смесей, дополнительно, целесообразно было бы снизить и начальное их (смесей) водосодержание. И, осуществить это, можно, за счет использования высокоэффективных пластифицирующих добавок, а, чтобы не удорожать стоимость работ, желательнее изыскать добавку из числа крупнотоннажных промышленных отходов [2].

В качестве добавки рекомендуется пластификатор формиатно-спиртовый (ПФС), являющийся побочным продуктом производства пентаэритрита, представляющий собой водный раствор формиата натрия, сиропообразующих веществ и полиспиртов [2, 5].

Для выявления влияния физико-химического воздействия водного раствора ПФС на свойства бетона, использовался Новороссийский портландцемент марки 500, заполнителями служили кварцевый щебень фракции 5-20 мм Потаповского месторождения с содержанием пылевидных и глинистых частиц в количестве 6,7% и отход камнедробления кварцита фракции 0-5 мм (высевка) Потаповского месторождения с модулем крупности 2,48 с содержанием 18,4% пылевидных и глинистых частиц. Для решения рецептурно-технологических задач применялись методы теории планирования эксперимента с построением геометрического образа функции отклика способами линейной алгебры [2,5,7]. При этом соблюдались соотношения: Ц+Выс = 950 кг/м<sup>3</sup>, Щ = 1270 кг/м<sup>3</sup>, где: Ц, Выс, Щ - соответственно, расходы цемента, высевок, щебня.

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

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	40	360	440
ПФС	$X_2$	3,0	2,0	1,0	5,0

Матрица и условия эксперимента приведены в таблице 2.

По результатам опытов вычислялись неизвестные коэффициенты уравнения регрессии второго порядка [5,7]:

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

$$\text{где } b_0 = (0y) - \sum_{i=1}^k (i i y), \quad b_i = 1/3 (i y), \quad b_{ij} = 4/3 (i j y), \quad b_{ii} = 2/3 (i i y) + 5/6 \sum_{i=1}^k (i i y) - (0y). \quad (2)$$

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	360	3,0
3	1	0	1	0	0	440	3,0
4	-0,5	0,87	0,25	0,75	-0,43	380	5,0
5	0,5	0,87	0,25	0,75	0,43	420	5,0
6	-0,5	-0,87	0,25	0,75	0,43	380	1,0
7	0,5	-0,87	0,25	0,75	-0,43	420	1,0

В результате для прочности бетона на сжатие после тепловлажностной обработки было получено регрессионное уравнение вида:

$$\mathcal{E}_R = 35,0 + 2,75X_1 + 0,73X_2 - 1,40X_1^2 - 17,40X_2^2 + 0,17X_1X_2. \quad (3)$$

Анализ регрессионный анализ модели (3) произведём после определения ошибки эксперимента и расчёта ошибок коэффициентов уравнения. С учётом трёхкратной повторности опытов, дисперсия воспроизводимости и ошибка проведённого эксперимента по воспроизводимости составят:  $S_{zv}^2 = 0,27$ ;  $S_{zv} = \sqrt{0,27} = 0,519$ .

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
$T_i \cdot S_{zv}$	0,519	0,299	0,635	0,599
$t \cdot T_i \cdot S_{zv}$	0,914	0,527	1,118	1,055

где:  $T_i$  – расчётные коэффициенты для оценки ошибок коэффициентов регрессии;  $t$  – критерий Стьюдента,  $t = 1,761$  [7].

Таблица 4 – Анализ регрессионный модели

$b_m$	Начальная модель	$b_{кр}$	Конечная модель	$ijy$	$b_{ij}(ijy)$
$b_0$	35,0	0,914	35,0	189,0	6615,0
$b_1$	2,75	0,527	2,75	8,25	22,69
$b_2$	0,73	0,527	0,73	2,18	1,59
$b_{11}$	-1,40	1,118	-1,40	89,0	-124,60
$b_{22}$	-17,40	1,118	-17,40	65,0	-1131,0
$b_{12}$	0,17	1,055	0	0,13	0

Сумма квадратов  $SS_{mod} = 5383,68$ ;

$SS_{zv} = S_{zv}^2 \cdot f_3 = 0,27 \cdot N(n - 1) = 0,27 \cdot 7(3-1) = 3,78$ ;

Сумма квадратов  $SS = SS_{mod} + SS_{zv} = 5387,46$ .

Проводим проверку адекватности модели при риске  $\alpha = 0,05$ , и числе степеней свободы  $f_{на} = 7 - 5 = 2$  и  $f_3 = (N - 1) = 14$ . Сумма квадратов  $SS_{на}$ :

$$SS_{на} = (yy) - (SS_{mod} + SS_{zv}) = 5388,45 - (5383,68 + 3,78) = 0,99,$$

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

$$S_{на}^2 = SS_{на} / f_{на} = 0,99 / (7-5) = 0,495,$$

– критерий Фишера:

$$F_a = S_{на}^2 / S_{zv}^2 = 0,495 / 0,27 = 1,83,$$

$$F_a = 1,83 < F_T = 3,76.$$

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

$$\mathcal{E}_R = 35,0 + 2,75X_1 + 0,73X_2 - 1,40X_1^2 - 17,40X_2^2, \quad (4)$$

при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  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 [5,7], 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:

$$S = b_{11} + b_{22} = -1,4 - 17,4 = -18,8;$$

– определитель, составленный из коэффициентов при старших членах:

$$\delta = \begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -1,4 & 0 \\ 0 & -17,4 \end{vmatrix} = 24,36; \quad (6)$$

– определитель третьего порядка, составленный из всех коэффициентов:

$$\Delta = \begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} & 0,5b_1 \\ 0,5b_{12} & b_{22} & 0,5b_2 \\ 0,5b_1 & 0,5b_2 & b_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -1,4 & 0 & 1,375 \\ 0 & -17,4 & 0,365 \\ 1,375 & 0,365 & 35,0 \end{vmatrix} = 885,68. \quad (7)$$

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:

$$C = \Delta/\delta = 885,68/24,36 = 36,36; \quad (9)$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{S}{2} \pm \sqrt{\frac{S^2}{4} - \delta} = -9,4 \pm 8,0; \quad (10)$$

$$\lambda_1 = -1,40; \quad \lambda_2 = -17,40.$$

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:

$$-1,40 \bar{X}_1^2 - 17,40 \bar{X}_2^2 + 36,36 = R_{TBO}, \quad (11)$$

а координаты центра поверхности отклика определяются по формулам:

$$\bar{X}_{01} = \frac{\begin{vmatrix} -0,5b_1 & 0,5b_{12} \\ -0,5b_2 & b_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -1,375 & 0 \\ -0,365 & -17,40 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -1,40 & 0 \\ 0 & -17,40 \end{vmatrix}} = \frac{23,93}{24,36} = 0,98;$$

$$\bar{X}_{02} = \frac{\begin{vmatrix} b_{11} & -0,5b_1 \\ 0,5b_{12} & -0,5b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -1,40 & -1,375 \\ 0 & -0,365 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -1,40 & 0 \\ 0 & -17,40 \end{vmatrix}} = \frac{0,511}{24,36} = 0,021. \quad (12)$$



Так как коэффициент  $b_{12}$  равен нулю, то нет поворота новых осей относительно первоначальных. По канонической форме (11) полуоси эллипсов определяются из нижеследующих соотношений:

$$a = \sqrt{\frac{36,36 - R_{ТВО}}{1,40}}; \quad b = \sqrt{\frac{36,36 - R_{ТВО}}{17,40}}. \quad (13)$$

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).

$$\text{Для } R_{ТВО} = 36,3; \quad a = \sqrt{\frac{36,36 - 36,3}{1,40}} = 0,21; \quad b = \sqrt{\frac{36,36 - 36,3}{17,40}} = 0,06;$$

$$\text{Для } R_{ТВО} = 36,0; \quad a = \sqrt{\frac{36,36 - 36,0}{1,40}} = 0,51; \quad b = \sqrt{\frac{36,36 - 36,0}{17,40}} = 0,14;$$

$$\text{Для } R_{ТВО} = 35,0; \quad a = \sqrt{\frac{36,36 - 35,0}{1,40}} = 0,98; \quad b = \sqrt{\frac{36,36 - 35,0}{17,40}} = 0,28; \text{ и т.д.}$$

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

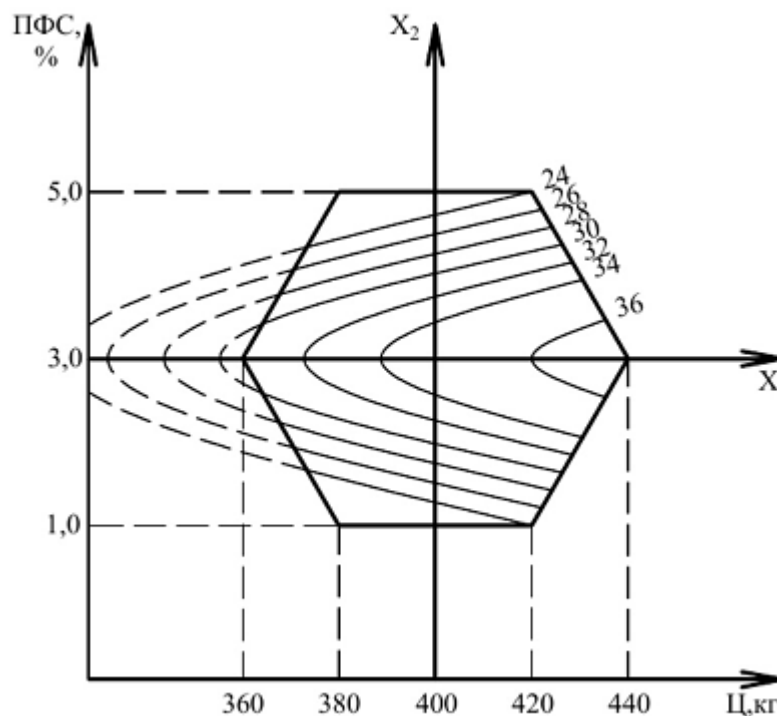


Рисунок 3 – Геометрический образ модели  $\mathcal{F}_R$  прочности бетона после тепловлажностной (ТВО) обработки

В пользу предложенных для плит и облицовок каналов бетонов, свидетельствуют и результаты сравнительных испытаний бетонных образцов-кубов с расходами цемента  $360 \text{ кг/м}^3$  и  $430 \text{ кг/м}^3$  с такими же заполнителями, но, без добавления в смесь пластификатора ПФС. Прочность образцов после ТВО, имеющих дозировку цемента в количестве  $360 \text{ кг/м}^3$ , соответствовала  $16,24 \text{ МПа}$ , а в количестве  $430 \text{ кг/м}^3$  -  $21,8 \text{ МПа}$ . При наличии в смеси пластификатора ПФС (3%), прочностные показатели бетонов с расходами цемента

360 кг/м<sup>3</sup> и 430 кг/м<sup>3</sup>, достигают, соответственно, 30,85 МПа и 36,27 МПа. Такой (60-80%) прирост прочности объясняется тем, что пылевидные и глинистые частицы в присутствии пластификатора ПФС играют в смеси роль микронаполнителя, способного выполнять функции дополнительных центров кристаллизации и проявлять дефлокулирующее действие в гидратирующейся системе «цемент-вода» [2, 5].

Морозостойкость бетона оценивалась способностью выдерживать в насыщенном растворе соли состоянии многократное замораживание и оттаивание без внешних признаков разрушения и существенного снижения прочности [2]. 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%-ным 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: Ц=430 кг/м<sup>3</sup>, Выс=520 кг/м<sup>3</sup>, Щ=1270 кг/м<sup>3</sup>, В=180 л/м<sup>3</sup>, ПФС=12,9 кг/м<sup>3</sup>.

Результаты испытаний при числе циклов попеременного замораживания и оттаивания - 37: среднее значение прочности  $R_{cp}$  контрольных образцов - 43,9 МПа, основных - 44,5 МПа; среднеквадратичное отклонение  $\sigma_n$  для контрольных образцов - 1,92 МПа, для основных - 1,32 МПа; коэффициент вариации  $\sigma_m$  прочности для контрольных образцов - 4,37%, для основных - 2,97%; нижняя граница доверительного интервала прочности при критерии Стьюдента 2,57 для контрольных образцов: 43,9 - 2,57 · 1,92=38,97 МПа; для основных: 44,5 - 2,57 · 1,32=41,11 МПа.

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

В результате проведенных исследований появляется возможность расширения сырьевой базы для производства сборных железобетонных плит и снижения стоимости работ при устройстве бетонных облицовок каналов водохозяйственных систем за счет использования в бетоне недорогих местных заполнителей.

### Заключение

Для минимизации потерь подаваемой потребителям воды, предложены облицовки каналов из бетона на недорогих местных заполнителях, полученного принудительным прессованием или(и) укатыванием бетонных смесей на заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц и, снижением их (смесей) начального водосодержания, посредством добавления в смесь пластификатора формиатно-спиртового, являющегося отходом производства пентаэритрита. Установлено положительное влияние предложенных мер 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 местных заполнителях с повышенным содержанием загрязняющих частиц от расхода цемента и дозировки пластификатора ПФС: при расходе цемента от 360 до 440 кг/м<sup>3</sup> дозировку пластификатора в виде водного раствора в количестве 3,0% 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 местных заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц марке 300.

Результаты проведенных исследований выявили возможность расширения сырьевой базы для формирования плит и устройства облицовки каналов водохозяйственных систем за счет использования в бетоне недорогих местных заполнителей с повышенным содержанием загрязняющих частиц.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Щедрин В.Н., Колганов А.В., Косиченко Ю.М. Эксплуатационная надежность оросительных систем. Ростов-на -Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2004. 388 с.
2. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных сооружений. Москва: Стройиздат, 1984. 671 с.
3. Волосухин В.А., Бондаренко В.Л., Свистунов Ю.А. Безопасность гидротехнических сооружений. Краснодар: НГМА – КГАУ, 2001. 89 с.
4. Федоров В.М. Оценка надёжности водопроводящей сети оросительных систем // Научный журнал КубГАУ, 2011. № 65(01). 10 с.
5. Федоров В.М., Васильева Е.В., Яковенко Е.А. Безопасные и надежные сооружения водохозяйственных систем из укатанных бетонов. Новочеркасск: Лик, 2019. 166 с.
6. Сиротин Ю.Г. Основы строительного производства: учебное пособие. Екатеринбург: УралГАХА, 2013. 169 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=473891> (дата обращения: 29.03.2022).
7. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. Москва: Финансы и статистика, 1981. 262 с.

## REFERENCES

1. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Kosichenko Yu.M. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' orositel'nyh sistem* [Operational reliability of irrigation systems]. Rostov-on-Don: Publishing house of SKNTsVSH, 2004. 388 p.
2. Bazhenov Yu.M., Komar A.G. *Tekhnologiya betonnyh i zhelezobetonnyh sooruzhenij* [Technology of concrete and reinforced concrete structures]. Moscow: Strojizdat, 1984. 671 p.
3. Volosuhin V.A., Bondarenko V.L., Svistunov Yu.A. *Bezopasnost' gidrotekhnicheskikh sooruzhenij* [Safety of hydrotechnical structures]. Krasnodar: NGMA – KGAU, 2001. 89 p.
4. 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.
5. Fedorov V.M., Vasil'eva E.V., Yakovenko E.A. *Bezopasnye i nadezhnye sooruzheniya vodohozyajstvennyh sistem iz ukatannyh betonov* [Safe and reliable constructions of water management systems from rolled concrete]. Novocherkassk: Lik Publ. 2019. 166 p.
6. Sirotnin Yu.G. *Osnovy stroitel'nogo proizvodstva: uchebnoe posobie* [Basics of building production: textbook]. Ekaterinburg: UralGAHA, 2013. 169 p. [Electronic recourse]. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=473891> (data obrashcheniya: 29.03.2022).
7. 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.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Васильева Елена Викторовна

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность»,

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



*Vasilyeva Elena Viktorovna*

South Russian State Polytechnic University (NPI) M. M. I. Platov, Novocherkassk, Russia, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Ecology and Industrial Safety»

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

*Чибинёв Николай Николаевич*

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность»,

E-mail: [fire.expert.ug@gmail.com](mailto:fire.expert.ug@gmail.com)

*Chibinev Nikolay Nikolaevich*

South Russian State Polytechnic University (NPI) M. M. I. Platov, Novocherkassk, Russia, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Ecology and Industrial Safety»

E-mail: [fire.expert.ug@gmail.com](mailto:fire.expert.ug@gmail.com)

*Федоров Виктор Матвеевич*

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Новочеркасск, Россия, доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность и нефтегазовое дело».

E-mail: [viktor-fedorov1955@yandex.ru](mailto:viktor-fedorov1955@yandex.ru)

*Fedorov Viktor Matveyevich*

Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. K. Kortunov, Donskoy State Agrarian University, Novocherkassk, Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Technical Safety and Oil and Gas Business».

E-mail: [viktor-fedorov1955@yandex.ru](mailto:viktor-fedorov1955@yandex.ru)