

15. Mordvintsev M. M., Anokhin A. M., Persikova L. V. Restoration of rivers and reservoirs: a workshop for bachelors in direction. preparation "Environmental Management and Water Use", "Construction." Novocherkassk, 2017. 75 p.

16. Determination of the main calculated hydrological characteristics: SP 33-101-2003. Moscow: Gosstroy of Russia, FSUE TsPP, 2004. 75 p.

17. Fish Protection at Water Diversions. A Guide for Planning and Designing Fish Exclusion Facilities. Denver, Colorado: Department of the Interior, Bureau of Reclamation. 2016. 429 p.

Информация об авторах

Анохин Александр Михайлович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Гидротехническое сооружение», Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» (Российская Федерация, 346400, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: anocxin 2014@yandex.ru

Ткачев Александр Александрович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Гидротехническое строительство», Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» (Российская Федерация, 346428, Ростовская область, Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: prof_al@mail.ru

Степкин Алексей Владимирович, магистр по направлению подготовки "Речные и подземные гидротехнические сооружения", Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» (Российская Федерация, 346428, Ростовская область, Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: gts_i_sm.nimi@mail.ru

Author's Information

Anokhin Aleksander Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Professor of the Department of Hydraulic Structures, Novocherkassk Reclamation Engineering Institute named after A. K. Kortunov – branch of Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya st., 111), e-mail: anocxin 2014@yandex.ru

Tkachev Aleksander Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Hydraulic Engineering Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after. A. K. Kortunov – branch of Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya st., 111), e-mail: prof_al@mail.ru

Stepkin Aleksey Vladimirovich, master in the direction of training "river and underground hydraulic structures" Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute. A. K. Kortunov – branch of Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya st., 111), e-mail: gts_i_sm.nimi@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-49

CONCRETE ELEMENTS ON OFF-GRADE AGGREGATES FOR CONDUCTIVE NETWORK OF RECLAMATION SYSTEMS

E. V. Vasilyeva¹, V. M. Fedorov²

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

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

Corresponding author E-mail: karalenka5@yandex.ru

Received 17.04.2023

Submitted 30.11.2023

Summary

The article shows the results of the positive effect of format-alcohol plasticizer on the construction, technical and operational qualities of concrete that meets established regulatory requirements. A polynomial model of the 2nd order was obtained, the optimal dosage of the recommended plasticizer was determined, which makes it possible to increase the strength of concrete by 60-80% after heat treatment.

Abstract

Introduction. Prefabricated elements for the network and structures of reclamation systems are manufactured at factories and landfills. After manufacturing, they are sent to the construction site, where they are installed and sealed. Prefabricated elements and structures, in comparison with monolithic ones, have a positive effect on the construction time (reduce them), help reduce labor costs and improve the quality of construction and installation work. In this regard, reclamation systems with a conductive network of prefabricated elements should be considered technically advanced and meeting reliability criteria. **Object.** The object of the study is prefabricated elements of reclamation systems. **Materials and methods.** To identify the effect of the physic-chemical effect of an aqueous solution of PFS on the strength and performance properties of concrete on aggregates with a high content of pulverized and clay particles, Novorossiysk Portland cement of the 500 brand was used, quartz crushed stone of the 5-40 mm fraction of the Potapovsky deposit with a content of pulverized and clay particles in the amount of 3.3-3.8%, and the waste of cam-non-fragmentation of quartzite fraction 0-5 mm (seeding) Potapovsky deposit with a size modulus of 2.50 with a content of pulverized and clay particles over 15%. Methods of experimental planning theory with the construction of a geometric image of the response function using linear algebra methods were used to solve prescription and technological problems. At the same time, the following ratios were observed: $C + \text{Height} = 950 \text{ kg / m}^3$, $\text{Height} = 1270 \text{ kg / m}^3$, where: C, Height, Sch – respectively, the cost of cement, sowing, crushed stone. Concrete mixtures on such aggregates have low mobility, which makes it difficult to mix them, as well as formability and compaction during vibration, which negatively affects the strength and performance of concrete. In this regard, to compensate for the negative impact of such aggregates on the quality of concrete and the reliability of prefabricated elements, it is proposed to use a plasticizing additive to the concrete mixture - a format-alcohol plasticizer, which is a by-product of the production of pentaerythritol, which is an aqueous solution of sodium formate, syrup-forming substances and poly-alcohols – monopentaerythritol and polypentaerythritol. Concrete cubes with an edge of 100 mm were made from the prepared mixtures on a vibrating compaction table, which were then placed in a laboratory steaming chamber for accelerated strength gain. As for the frost resistance of concrete, the normalized characteristics were determined by the results of tests of concrete samples-cubes of 28-year-old age. **Results and conclusions.** Studies have shown that the use of inexpensive non-conditioned fillers in the production of trays, pipes, plates and other prefabricated elements will ensure cost reduction in their manufacture without reducing the quality of products. To save cement and reduce the initial water content of mixtures, on aggregates with a high content of polluting particles, it is proposed to add a formate-alcohol plasticizer to the mixture. Its positive influence on the strength and operational properties of concrete meeting the established requirements has been established. By the method of experimental planning, a second-order polynomial model was obtained that adequately describes, at a 5% level of significance, the dependence of the strength of concrete on inexpensive non-conditional aggregates on cement consumption and the dosage of the PFS plasticizer: when cement is dispersed from 250 to 550 kg/m³, the dosage of the plasticizer in the form of an aqueous solution in an amount of 2.8-3.2% of the cement mass, it should be considered optimal; the addition of PFS plasticizer to the mixture increased the strength of concrete after heat treatment by 60-80%. Accelerated tests of concrete samples for sea resistance in a solution of sodium chloride confirmed the compliance of concrete on inexpensive local aggregates with an increased content of pulverized and clay particles with the mark 300.

Key words: *reclamation systems, elements of reclamation systems, structures of reclamation systems, reinforced concrete structures.*

Citation. Vasilyeva E. V., Fedorov V. M. Concrete elements on off-grade aggregates for conductive network of reclamation systems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 487-500 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-49.

Author's contribution. These authors of this study were directly involved in the formulation of the problem, the planning of the study, the analysis, the presentation of conclusions and the preparation of proposals to production. The authors of this article have read and approved the final version of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 666. 97(075.8)

**ЭЛЕМЕНТЫ ИЗ БЕТОНА НА НЕКОНДИЦИОННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ
ДЛЯ ПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ****Е. В. Васильева¹**, кандидат технических наук, доцент**В. М. Федоров²**, доктор технических наук, профессор¹*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М. И. Платова*²*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета
г. Новочеркасск, Российская Федерация*

Актуальность. По мнению ведущих отечественных ученых, на межхозяйственной и хозяйственной сети с высокой эксплуатационной надежностью, доля технически совершенной сети должна быть не менее 40-50 % от всей её протяженности, а на внутрихозяйственной – должна составлять не менее 70 %. Выполнение указанных рекомендаций обеспечит высокий КПД проводящей сети и системы в целом, предотвратит значительный подъем уровня грунтовых вод, создаст благоприятный эколого-мелиоративный режим на орошаемых землях. Одно из решений – наращивание производства сборных железобетонных элементов – лотков, труб, плит для использования: взамен элементов пришедших в негодность по истечении срока эксплуатации или преждевременно; в качестве облицовок земляных каналов; вместо земляных каналов. Масштаб задач требует наращивания производства бетона на заводах и полигонах, что предполагает добычу с последующей переработкой и транспортировкой значительных объемов сырьевых материалов. Принимая во внимание актуальность проблемы минимизации затрат, одной из основных задач в мелиоративном и гидротехническом строительстве, несомненно, является создание объектов с минимальной сметной стоимостью. Задача такого формата может быть разрешена с использованием ресурсосберегающих технологий, которые дают возможность вместе с другими решать и задачи применения недорогих строительных материалов в качестве сырьевой основы. **Объект.** Объектом исследований являются сборные элементы мелиоративных систем. **Материалы и методы.** Для решения рецептурно-технологических задач использовали методы теории планирования эксперимента с последующим построением геометрического образа функции отклика. В качестве компонентов смеси для проведения исследований использовался цемент М500 (г. Новороссийск, Краснодарский край), щебень-песчаник крупностью 5-40 мм (х. Верхний Потапов, Ростовская область) с пылевидными и глинистыми включениями 3,0-4,0%, а так же отсев (высевка) 0-5 мм при измельчении песчаника с $M_{кр} = 2,50$. Придерживались следующих условий:

1. Сумма расходов цемента и высевки равна 950 кг/м^3
2. Количество щебня – 1270 кг/м^3 .

Бетонные смеси на подобного рода заполнителях имеют малую подвижность, что затрудняет их перемешивание, а также формуемость и уплотнение при вибрации, что оказывает отрицательное влияние на качество бетона при эксплуатации. В связи с этим для компенсации отрицательного влияния таких заполнителей на качество бетона и надежность сборных элементов предлагается использовать пластифицирующую добавку в бетонную смесь – формиатно-спиртовой пластификатор, являющийся побочным продуктом производства спирта-пентаэритрита, представляющего собой водный раствор формиата натрия, сиропообразующих веществ и полиспиртов – монопентаэритрита и полипентаэритритов. Из приготовленных смесей на виброуплотняющем столе изготавливались бетонные кубики с ребром 100 мм, помещаемые затем в лабораторную пропарочную камеру для ускоренного набора прочности. Что касается морозостойкости бетона, то эксплуатационная пригодность определялась по опытным данным, полученных при испытаниях стандартных кубических образцов с ребром 100 мм двадцативосьмисуточного возраста. **Результаты и выводы.** Исследованиями показано, что использование недорогих некондиционных заполнителей в производстве лотков, труб,

плит и других сборных элементов обеспечит снижение затрат при их изготовлении без снижения качества изделий. С целью уменьшения расхода цемента и исходного водосодержания смеси на заполнителях с увеличенным количеством загрязняющих примесей рекомендовано в качестве добавки использовать формиатно-спиртовой пластификатор. Доказано позитивное его воздействие на строительно-технические и эксплуатационные качества бетона, отвечающего установленным нормативным требованиям. Получена полиномиальная модель 2-го порядка, определена оптимальная дозировка рекомендованного пластификатора, позволяющая на 60-80% увеличить прочность бетона после тепловой обработки. Проведенные лабораторные испытания бетонных образцов на морозостойкость подтвердило соответствие бетона на местной сырьевой базе марке 300. Результаты проведенных исследований выявили возможность расширения сырьевой базы для производства лотков, труб, плит и других сборных железобетонных элементов за счет использования в бетоне недорогих местных некондиционных заполнителей с повышенным содержанием загрязняющих частиц.

Ключевые слова: *мелиоративные системы, элементы мелиоративных систем, конструкции мелиоративных систем, железобетонные конструкции.*

Цитирование. Васильева Е. В., Федоров В. М. Элементы из бетона на некондиционных заполнителях для проводящей сети мелиоративных систем. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 487-500. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-49.

Авторский вклад. Указанные авторы настоящего исследования непосредственно участвовали в постановке проблемы, планировании исследования, анализе, в изложении выводов и подготовке предложений производству. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сборные элементы для сети и сооружений мелиоративных систем изготавливают на заводах и полигонах (рисунок 1). После изготовления их отправляют на строительную площадку, осуществляют монтаж и герметизацию стыков. Сборные элементы и конструкции в сравнении с монолитными положительно влияют на сроки строительства (сокращают), способствуют снижению трудозатрат и повышению качества строительно-монтажных работ. В связи с этим мелиоративные системы с проводящей сетью из сборных элементов следует отнести к технически совершенным и отвечающим критериям надежности. Тем не менее, в настоящее время и такая, некогда совершенная проводящая сеть нуждается в основательном ремонте или замене, а сеть из земляных каналов – в реконструкции [1-6, 9]. Решение задач в увеличении объемов производства сборных железобетонных элементов и, в первую очередь, элементов массового использования – плит, лотков, труб, взамен сборных элементов, пришедших в негодность по истечении срока эксплуатации или преждевременно; в качестве облицовок земляных каналов; вместо земляных каналов. В качестве дополнительного источника сырья могут быть использованы нерудные полезные ископаемые, месторождения которых имеются практически повсеместно [7-13].

Материалы и методы. В качестве одних из самых востребованных месторождений нерудных материалов в Ростовской области считаются Жирновский карьер (п. Жирнов), Быстрореченский карьер (п. Быстрореченский) и Потаповский карьер (х. Верхний Потапов). Оказывая благоприятное влияние на формирование структуры цементного камня и повышая этим самым однородность, плотность и прочность бетона, дробленные карбонатные породы Жирновского и Быстрореченского карьеров в виде щебня и высевки (отход камнедробления) пользуются наибольшим спросом и в обозримом будущем их перспективы (в отличие от щебня и высевки Потаповского карьера) сомнений не вызывают.

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

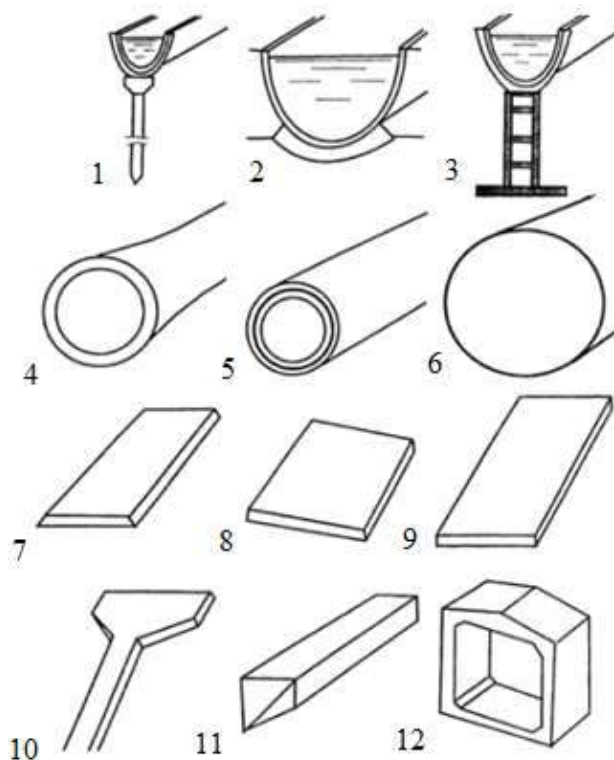


Рисунок 1 – Элементы проводящей сети мелиоративных систем

1 – лотки на свайных опорах; 2 – крупногабаритные лотки-оболочки; 3 – лотки на опорах рамного типа; 4 – трубы безнапорные; 5 – трубы с металлическим сердечником; 6 – трубы виброгидропрессованные; 7 – плиты преднапряжённые; 8 – плиты крепления; 9 – плиты с арматурными выпусками; 10 – сваи-колонны; 11 – усиленные сваи; 12 – трубы прямоугольные

Figure 1 – Elements of the conductive network of reclamation systems

1 – trays on pile supports; 2 – large-sized shell trays; 3 – trays on frame-type supports; 4 – pressure-free pipes; 5 – pipes with metal core; 6 – vibrohydrocompressed pipes; 7 – prestressed slabs; 8 – attachment plates; 9 – plates with reinforcement outlets; 10 – of pile-columns; 11 – reinforced piles; 12 – pipes rectangular

Говоря о материалах в х. Верхний Потапов - Потаповского карьера, следует подчеркнуть, что широкомасштабное их использование в строительстве или реконструкции мелиоративных систем (да и вообще в строительстве) вызывает определенные сомнения. Являясь относительно дешевыми (на 20-30%), щебень-песчаник фракции 5-40 мм и высевка фракции 0-5 мм Потаповского карьера содержат пылевидные и глинистые частицы, определяемые отмучиванием, в количестве, соответственно, 3,0-4,0% и свыше 15%. Принимая во внимание, что повышенное содержание пылевидных и глинистых частиц негативно влияет на строительно-технические и эксплуатационные свойства бетона, стремятся к использованию заполнителей, которые содержат значительно меньше таких (загрязняющих) частиц. В случае если технологические, организационные или какие-то другие причины не позволяют в практической деятельности использовать такие (достаточно качественные) заполнители, бетонные смеси с невысо-

кокачественными заполнителями приготавливают, как правило, с увеличенными дозировками цемента, что согласно нормативным требованиям недопустимо, а кроме этого, увеличивает стоимость бетона и бетонных элементов [13, 14].

Важным обстоятельством является и то, что пески обладают в основном гладкой поверхностью, положительно влияющей на подвижность и уплотняемость бетонной смеси. Высевка же, имея неправильную форму и шероховатую поверхность, и содержащая еще и повышенное количество загрязняющих частиц, не обеспечивает необходимой удобоукладываемости бетонной смеси и надлежащего ее уплотнения при вибрировании, а это крайне негативно сказывается на строительно-технических и эксплуатационных свойствах бетона лотков, труб, плит и других сборных элементов. В этих условиях приходится увеличивать исходное содержание воды в бетонной смеси, что приводит к увеличению дозировок цемента [12-14].

Для экономного расходования цемента и снижения начального водосодержания смесей без ухудшения строительно-технологических и технических свойств рекомендовано применение эффективных добавок-пластификаторов, а для удешевления бетона и бетонных (или железобетонных) элементов желательно отыскать добавку-пластификатор из числа имеющихся рядом отходов промышленных производств.

В качестве добавки-пластификатора предложен формиатно-спиртовый пластификатор, представляющий собой промышленный отход производства многоатомного спирта-пентаэритрита. Формиатно-спиртовый пластификатор значительно дешевле СМФ, ЛСТМ, С-3 и других идентичных им суперпластификаторов (суперразжижителей), применяется в виде водного раствора 40-50% концентрации по массе, доставляется в бочках или цистернах. Транспортировку осуществляют на специальном автотранспорте или по железной дороге [10,14].

Результаты и обработка исследований, обсуждение. Для выявления механизма влияния водного раствора формиатно-спиртового пластификатора 45%-ной концентрации на строительно-технические и эксплуатационные качества бетона сборных элементов на заполнителях с увеличенным содержанием загрязняющих (пылевидных, глинистых) частиц использовались: портландцемент марки 500 Новороссийского завода «Октябрь»; крупный заполнитель – щебень (песчаник) фракции 5-40 мм Потаповского карьера, содержащий загрязняющих частиц в количестве 3,0-4,0%; мелкий заполнитель – отход дробления песчаника фракции 0-5 мм (высевка) Потаповского карьера, имеющая модуль крупности 2,50 и свыше 15% загрязняющих частиц. Решение рецептурно-технологических задач опиралось на современные методы планирования эксперимента, регрессионного и статистического анализа с учетом следующих соотношений: Цемент + Высевка = 950 кг/м³, Щебень = 1270 кг/м³, где: Цемент, Высевка, Щебень – расходы цемента, высевок и щебня, соответственно [15, 16].

Условия кодирования и варьирования факторов планируемого экспериментального исследования приведены в таблице 1 с учетом состава изображенных на рисунке 1 сборных элементов проводящей сети.

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

Графически план экспериментального исследования изображен на рисунке 2, а матрица планирования и условия проведения исследования представлены в таблице 2.

Согласно рисунку 2 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 (рисунок 2). По результатам семи опытов (центр шестиугольника и шесть вершин) определяют неизвестные коэффициенты регрессионного уравнения второго порядка [15, 16].

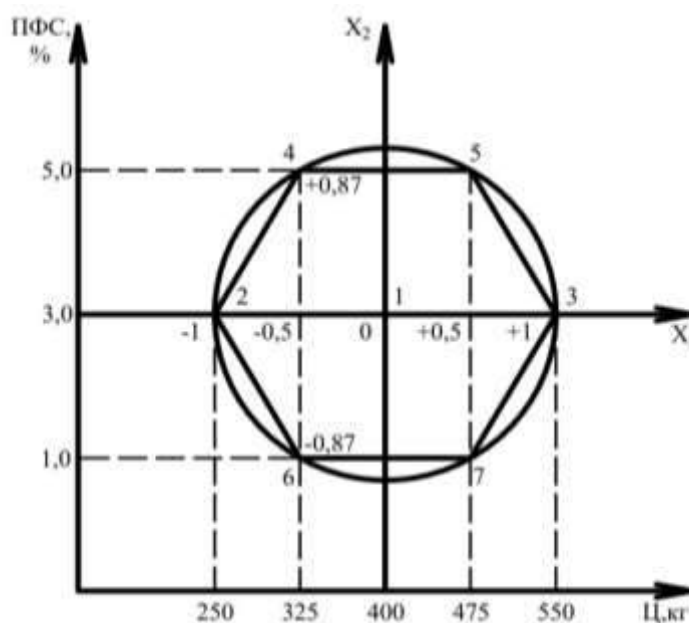


Рисунок 2 – План эксперимента на шестиугольнике
Figure 2 – Experimental plan on a hexagon

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

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

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

Таблица 2 – Матрица планирования и условия эксперимента
Table 2 – Planning matrix and experimental conditions

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

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

$$\begin{aligned} b_0 &= 174,9 - (77,0 + 63,0) = 34,9; & b_1 &= 35,3/3 = 11,77; \\ b_2 &= 2,44/3 = 0,82; & b_{12} &= 4/3(0,26) = 0,35; \\ b_{11} &= 2/3(77,0) + 5/6(77,0 + 63,0) - 174,9 = -6,89; \\ b_{22} &= 2/3(63,0) + 5/6(77,0 + 63,0) - 174,9 = -16,23. \end{aligned}$$

Для прочности бетона на сжатие после тепловлажностной обработки было получено уравнение регрессии в приведённом ниже 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 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 $S_{эв} = \sqrt{S_{эв}^2} = 0,18$.

Таблица 3 – Расчёт ошибок коэффициентов
Table 3 – Calculation of coefficient errors

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 $SS_{мод}$ и SS :

$$SS_{мод} = 4968,47;$$

$$SS_{эв} = 0,448.$$

$$SS = SS_{мод} + SS_{эв} = 4968,92.$$

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

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

Дисперсия неадекватности S_{na}^2 и критерий Фишера, соответственно:

$$S_{na}^2 = SS_{na} / f_{na} = 0,212 / (7-5) = 0,106 , \\ F_a = 3,31 < F_T = 3,76.$$

Следовательно, 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 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 [15,16], 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 – сумма коэффициентов при квадратичных членах (S), определитель, составленный из коэффициентов при старших членах (δ), определитель третьего порядка, образованный из всех коэффициентов (Δ), составят:

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

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

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

С учетом того обстоятельства, что $\delta > 0$, $\Delta \neq 0$, $S\Delta < 0$ уравнение (4) описывает эллиптическую поверхность отклика.

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

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

Коэффициенты канонической формы определим 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 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:

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

а координаты центра поверхности отклика определяются из формул:

$$\begin{aligned}\bar{X}_{01} &= \frac{\begin{vmatrix} -0,5b_1 & 0,5b_{12} \\ -0,5b_2 & b_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -5,89 & 0 \\ -0,41 & -16,23 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -6,89 & 0 \\ 0 & -16,23 \end{vmatrix}} = \frac{95,59}{111,83} = 0,86, \\ \bar{X}_{02} &= \frac{\begin{vmatrix} b_{11} & -0,5b_1 \\ 0,5b_{12} & -0,5b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} -6,89 & -5,89 \\ 0 & -0,41 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -6,89 & 0 \\ 0 & -16,23 \end{vmatrix}} = \frac{2,825}{111,83} = 0,025.\end{aligned}\quad (12)$$

Учитывая, что коэффициент b_{12} равен нулю, отсутствует поворот новых осей относительно изначальных.

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

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

Для функции отклика задаваясь шагом $\Delta \hat{y}_R = 1,0$, получим семейство сечений, проекции которых на факторную плоскость будут эллипсами с полуосями, определяемыми по формулам (13).

$$\begin{aligned}\text{Для } R_{\text{TBO}} = 38,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 38,0}{6,89}} = 0,53; b = \sqrt{\frac{39,94 - 38,0}{16,23}} = 0,35; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 36,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 36,0}{6,89}} = 0,76; b = \sqrt{\frac{39,94 - 36,0}{16,23}} = 0,49; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 32,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 32,0}{6,89}} = 1,07; b = \sqrt{\frac{39,94 - 32,0}{16,23}} = 0,70; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 28,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 28,0}{6,89}} = 1,32; b = \sqrt{\frac{39,94 - 28,0}{16,23}} = 0,86; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 24,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 24,0}{6,89}} = 1,52; b = \sqrt{\frac{39,94 - 24,0}{16,23}} = 0,99; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 20,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 20,0}{6,89}} = 1,70; b = \sqrt{\frac{39,94 - 20,0}{16,23}} = 1,11; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 16,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 16,0}{6,89}} = 1,86; b = \sqrt{\frac{39,94 - 16,0}{16,23}} = 1,22; \\ \text{Для } R_{\text{TBO}} = 14,0; a &= \sqrt{\frac{39,94 - 14,0}{6,89}} = 1,94; b = \sqrt{\frac{39,94 - 14,0}{16,23}} = 1,26.\end{aligned}$$

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

Преимущества предложенных для сборных элементов бетонов, подчеркивают и результаты сопоставительных испытаний кубических бетонных образцов с дозировками цемента 400 кг/м^3 и 475 кг/м^3 с аналогичными заполнителями, но без введения в смесь формиатно-спиртового пластификатора. Прочность образцов-кубов после тепловлажностной обработки, имеющих дозировку цемента в количестве 400 кг/м^3 , была равна $19,3 \text{ МПа}$, а в количестве 475 кг/м^3 – $24,2 \text{ МПа}$. При введении в бетонную смесь формиатно-спиртового пластификатора (3%) прочностные показатели бетонов с дозировками цемента 400 кг/м^3 и 475 кг/м^3 , достигали, соответственно, $34,9 \text{ МПа}$ и $39,1 \text{ МПа}$. Такой (60-80%) прирост прочностных показателей обусловлен тем, что загрязняющие частицы в присутствии формиатно-спиртового пластификатора выполняют в бе-

тонной смеси функцию микронаполнителя, способного исполнять роли дополнительных центров кристаллизации и проявлять дефлокулирующее действие в гидратирующей системе “цемент-вода” [13,14].

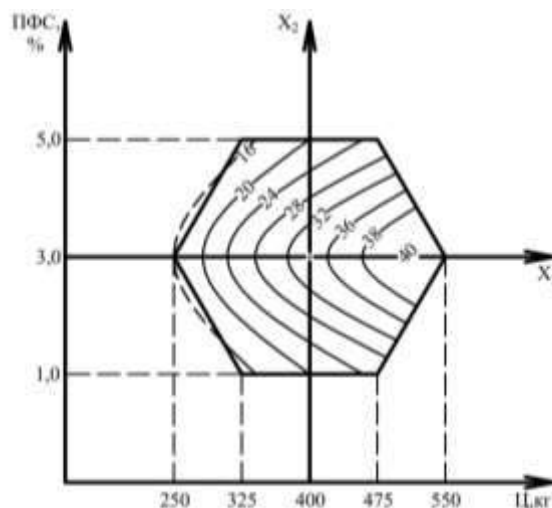


Рисунок 3 – Геометрическая интерпретация модели $\hat{Y}_R$ прочности бетона после тепловлажностной обработки

Figure 3 – Geometric interpretation of the concrete strength model after heat and humidity treatment

Морозостойкость бетона определялась возможностью его выдерживать в насыщенном солевом растворе состоянии много раз повторяемое замораживание и оттаивание без внешних признаков повреждения и значительного снижения прочностных показателей [14]. Устанавливаемые показатели оценивались по результатам испытаний бетонных кубических образцов с ребром 100 мм двадцати восьми суточного возраста. Насыщение и оттаивание образцов-кубов производилось 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: Цемент = 475 кг/м³, Высевка = 475 кг/м³, Щебень = 1270 кг/м³, Вода = 180 л/м³, Пластификатор = 14,3 кг/м³.

Результаты испытаний при 37 циклах попеременного замораживания и оттаивания предусматривали: определение среднего значения прочности R_{cp} контрольных образцов – 47,6 МПа, основных – 48,2 МПа; подсчет среднеквадратичного отклонения σ_n для сравниваемых образцов контрольных – 1,87 МПа, основных – 1,33 МПа; вычисление коэффициента вариации V_m прочности для образцов контрольных – 3,93%, основных – 2,76%; определение нижней границы доверительного интервала прочности при критерии Стьюдента 2,57 для сравниваемых образцов контрольных 47,6 – 2,57 · 1,87 = 42,8 МПа, основных 48,2 – 2,57 · 1,33 = 44,7 МПа.

Итак, образцы бетона с вышеупомянутым составом выдержали 37 циклов испытаний, что соответствует марке бетона по морозостойкости 300.

Таким образом, в результате проведенных исследований возникает перспектива использования в бетоне дешевых (доступных) местных некондиционных заполнителей, и расширения тем самым базы минерального сырья для изготовления лотков, труб, плит, свай и других сборных железобетонных элементов с целью широкого их применения в процессе ремонтных и восстановительных работ на мелиоративных системах, снижения финансовых расходов на ремонтно-строительные работы и сокращения сроков их выполнения.

Заключение. Применение сборных железобетонных элементов на ремонтируемых (восстанавливаемых) мелиоративных системах позволит сократить сроки ремонтно-восстановительных работ, повысить производительность и качество выполняемых работ. Исследованиями установлено, что использование недорогих некондиционных заполнителей в производстве лотков, труб, плит и других сборных элементов обеспечит снижение затрат при их изготовлении без ухудшения качества изделий. Для экономии цемента и снижения начального водосодержания бетонных смесей на заполнителях с увеличенным содержанием загрязняющих (пылевидных, глинистых) частиц рекомендовано введение в смесь формиатно-спиртового пластификатора, являющегося побочным продуктом производства многоатомного спирта-пентаэритрита. Выявлено положительное его (пластификатора) влияние на строительно-технические и эксплуатационные качества бетона сборных элементов, отвечающего нормативным требованиям. При использовании методов планирования эксперимента была получена математическая модель 2-го порядка, адекватно на 5%-ном уровне значимости описывающая зависимость прочностных показателей бетона на дешевых (доступных) некондиционных заполнителях от расходов цемента и формиатно-спиртового пластификатора: при расходе цемента от 250 до 550 кг/м³ дозировку формиатно-спиртового пластификатора в виде водного раствора 45%-ной концентрации в количестве 2,8-3,2% от массы цемента, необходимо считать оптимальной; введение пластификатора в состав бетонной смеси повысило прочность бетона после тепловой обработки на 60-80% и сэкономило в равнопрочных бетонах до 20-25% цемента. Ускоренными испытаниями образцов-кубов на морозостойкость в растворе хлорида натрия подтверждено соответствие бетона на недорогих местных заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц марке 300.

В ходе проведения исследований выявлена возможность расширения базы минерального сырья для производства лотков, труб, плит и других сборных железобетонных элементов за счет использования в бетоне дешевых некондиционных заполнителей с повышенным содержанием загрязняющих частиц.

Conclusions. The use of prefabricated reinforced concrete elements on repaired (restored) reclamation systems will reduce the time for repair and restoration work, increase the productivity and quality of the work performed. Studies have found that the use of inexpensive substandard aggregates in the production of trays, pipes, slabs and other prefabricated elements will reduce the cost of their manufacture without compromising the quality of products. To save cement and reduce the initial water content of concrete mixtures on aggregates with an increased content of polluting (dusty, clay) particles, it is recommended to introduce a formate-alcohol plasticizer into the mixture, which is a by-product of the production of polyhydric alcohol-pentaerythritol. Positive effect of its (plasticizer) on construction, technical and operational quality of concrete of prefabricated elements meeting regulatory requirements was revealed. When using experimental planning methods, a mathematical model of the 2nd order was obtained, adequately at the 5% level of significance describing the dependence of strength indicators of concrete on cheap (available) substandard fillers on the flow rates of cement and formate-alcohol plasticizer: at cement consumption from 250 to 550 kg/m³, the dosage of formate-alcohol plasticizer in the form of a 45% aqueous solution in the amount of 2.8-3.2% of the cement weight, should be considered optimal; introduction of plasticizer into concrete mix increased concrete strength after heat treatment by 60-80% and saved up to 20-25% of cement in equal-strength concretes. Accelerated tests of cube samples for frost resistance in sodium chloride solution confirmed the conformity of concrete on inexpensive local aggregates with a high content of dust and clay particles to grade 300.

The research revealed the possibility of expanding the base of mineral raw materials for the production of trays, pipes, slabs and other precast reinforced concrete elements due to the use of cheap substandard aggregates in concrete with a high content of pollutants.

Библиографический список

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. Абдразаков Ф. К., Чуркина К. И. Состояние оросительных каналов Саратовского Заволжья и пути повышения их эффективности. Аграрный научный журнал. 2020. № 4. С. 68–70.

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. Ищенко А. В., Баев О. А. Оценка эффективности противofiltrационного экрана на Донском магистральном канале. Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7. № 4. С. 51–56.
6. Турлов А. Г. Строительство и реконструкция водохозяйственных сооружений: учебное пособие. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. 113 с. <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=473891>.
7. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Гидромеханическое решение задачи водопроницаемости экрана нарушенной сплошности. Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2018. № 4. С. 3–11.
8. Ханов Н. В., Еремеев А. В., Гурьев А. П. Исследование фfiltrационных характеристик геомата с заполнителем из щебня и битум-полимера. Природообустройство. 2018. № 4. С. 48–53.
9. Косиченко Ю. М., Баев О. А., Гарбуз А. Ю. Оценка комплексной реконструкции и модернизации оросительных систем. Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 2. С. 6–11.
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. Семененко С. Я. и др. Способ реконструкции деформационных швов противofiltrационных бетонных и железобетонных облицовок гидротехнических сооружений. Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 1. С. 31–35.
12. Козлов К. Д., Ханов Н. В., Фартуков В. А., Козлов Д. В. Исследования гидродинамического воздействия водного потока на защитное покрытие из геосинтетического материала. Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. № 1 (27). С. 108–117.
13. Давиденко В. М. и др. Причины разрушения и концепция ремонта бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Известия ВНИИГ им Б. Е. Веденеева. 2017. Т. 286. С. 3–9.
14. 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.
15. Куприянова С. В., Власов М. В. Установление и комплексное использование критериев оценки эффективности различных видов ресурсов агрономелиоративных систем. Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 1. С. 32–36.
16. Хисматуллин М. М. Цифровые технологии в орошаемом земледелии. Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 2. С. 28–32.

References

1. Shevchenko V. A., Shchedrin V. N., Kupriyanova S. V. Tasks and problems of restoring irrigation reclamation in southern Russia. Reclamation and water management. 2023. № 3. Pp. 28-32.
2. Gulyuk G. G. Effective development of the reclamation complex. Reclamation and water management. 2022. № 2. Pp. 2-6.
3. Abdrazakov F. K., Churkina K. I. The state of irrigation canals of the Saratov Volga region and ways to increase their efficiency. Agrarian Scientific Journal. 2020. № 4. Pp. 68-70.
4. Shilin A. A., Kirilenko A. M., Znaichenko P. A. A modern approach to the development of solutions for the repair of reinforced concrete structures of hydraulic structures. Transport construction. 2017. № 12. Pp. 6-10.
5. Ishchenko A. V., Baev O. A. Assessment of the effectiveness of the anti-filtration screen on the Don main channel. Urban planning and architecture. 2017. V. 7. № 4. Pp. 51-56.
6. Turlov A. G. Construction and reconstruction of water facilities: a textbook. Yoshkar-Ola: PSTU, 2014. 113 p. <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=473891>.
7. Kosichenko Yu. M., Baev O. A. Hydromechanical solution to the problem of water permeability of the screen of broken continuity. Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Fluid and gas mechanics. 2018. № 4. Pp. 3-11.
8. Khanov N. V., Eremeev A. V., Guryev A. P. Study of the filtration characteristics of geomate with aggregate made of crushed stone and bitumen polymer. Environmental management. 2018. № 4. Pp. 48-53.

9. Kosichenko Yu. M., Baev O. A., Garbuz A. Yu. Assessment of integrated reconstruction and modernization of irrigation systems. Reclamation and water management. 2021. № 2. Pp. 6-11.
10. Fedorov V. M., Vasilyeva E. V., Yakovenko E. A. Safe and reliable structures of water management systems made of rolled concrete. Novocherkassk: Lik, 2019. 166 p.
11. Semenenko S. Ya., et al. Method for reconstruction of expansion joints of anti-filtration concrete and reinforced concrete linings of hydraulic structures. Reclamation and water management. 2017. № 1. Pp. 31-35.
12. Kozlov K. D., Khanov N. V., Fartukov V. A., Kozlov D. V. Studies of the hydrodynamic effect of water flow on a protective coating made of geosynthetic material. Construction: Science and Education. 2018. V. 8. № 1 (27). Pp. 108-117.
13. Davidenko V. M. et al. Causes of destruction and concept of repair of concrete and reinforced concrete structures of hydraulic structures. Izvestia VNIIG named after B.E. Vedenev. 2017. V. 286. Pp. 3-9.
14. Abdrazakov F. K., Rukavishnikov A. A., Safin E. E. Coating of irrigation canals with an innovative concrete web and adaptive methods of their operation. Reclamation and water management. 2023. № 2. Pp. 27-31.
15. Kupriyanova S. V., Vlasov M. V. Establishment and integrated use of criteria for assessing the effectiveness of various types of resources of agro-reclamation systems. Reclamation and water management. 2022. № 1. Pp. 32-36.
16. Khismatullin M. M. Digital technologies in irrigated agriculture. Reclamation and water management. 2022. № 2. Pp. 28-32.

Информация об авторах

Васильева Елена Викторовна, доцент Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М. И. Платова (Российская Федерация, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132), e-mail: karalenka5@yandex.ru

Федоров Виктор Матвеевич, профессор Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета (Российская Федерация, 346409, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111), e-mail: viktor-fedorov1955@yandex.ru

Author's Information

Vasilyeva Elena Viktorovna, Associate Professor of the South Russian State Polytechnic University named after M. I. Platov (Russian Federation, 346428, Rostov Region, Novocherkassk, Prosvecheniya St., 132), e-mail: karalenka5@yandex.ru

Fedorov Viktor Matveyevich, professor at the Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – branch of the Don State Agrarian University (Russian Federation, 346409, Rostov region, Novocherkassk, st. Pushkinskaya, 111), e-mail: viktor-fedorov1955@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-50

COMPARATIVE EVALUATION OF A REAGENT BASED ON VARIOUS CATALYSTS USED FOR WASTEWATER TREATMENT

**M. A. Denisova, A. S. Ovchinnikov, V. S. Bocharnikov, O. V. Bocharnikova,
O. V. Kozinskaya, E. V. Pustovalov**

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Received 17.09.2023

Submitted 03.11.2023

Summary

A comparative assessment of various catalysts for ferrite formation during wastewater treatment is considered. Obtaining optimal parameters of time and volume of a substance to reduce the concentration of chemical elements to the maximum permissible concentration.