

Оригинальная статья

УДК 631.6:626.823.91:666.972.1

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-2-39-47>

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КАНАЛОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПТИМАЛЬНЫХ СОСТАВОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

И.В. Белов¹, Х.А. Абдулмажидов^{2✉}, М.А. Карапетян³, С.К. Тойгамбаев⁴

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; г. Москва, Российская Федерация

^{3,4} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; г. Москва, Российская Федерация

¹ <http://orcid.org/0000-0002-7562-514X>; iv.belov@rgau-msha.ru

² <http://orcid.org/0000-0002-7699-4799>; abdulmajidov@rgau-msha.ru

³ <http://orcid.org/0000-0002-6524-0561>; karapetyan.martik@yandex.ru

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-7649-6036>; kokibaewich@yandex.ru

Аннотация. Длительная эксплуатация оросительных каналов с защитными бетонными покрытиями сопровождается частичным или полным выходом из строя их конструкций и элементов. Такое состояние приводит к повышению фильтрации воды в каналах и, соответственно, к потере и снижению требуемых для мелиорируемых земель объемов воды. Цель исследований – изучение состояния, выявление дефектов бетонных покрытий оросительных каналов и определение технологий технического обслуживания и ремонта каналов. Разработка, определение и использование составов бетонных смесей с повышенной прочностью в определенной степени могут решить проблему обеспечения стойких против сползаний трещин и разрушений конструкций бетонных плит и соединительных стыков. Выявленные в результате исследований составы и пропорции бетонных смесей повышенной прочности на основе марки М400 в значительной степени позволяют обеспечивать прочность, а соответственно и долговечность конструкций защитных бетонных покрытий и стыков элементов оросительных каналов. В работе предложены основы технологий производства ремонтных и восстановительных работ с применением специальных машин, оборудования и разработанных бетонных смесей.

«Исследование выполнено в рамках проекта по созданию и развитию инжинирингового центра Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева (соглашение № 075-15-2025-543 от 16 июня 2025 г.)»

Ключевые слова: защитные бетонные покрытия каналов, фильтрация воды в каналах, оросительные каналы, подбор состава бетонной смеси, техническое обслуживание и ремонт каналов, заделка швов каналов

Для цитирования: Белов И.В., Абдулмажидов Х.А., Карапетян М.А., Тойгамбаев С.К. Исследование состояния защитных конструкций каналов оросительных систем и их восстановление с применением оптимальных составов бетонных смесей. Природообустройство. 2026;Т.19(2):39-47. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-2-39-47>

Original article

STUDY OF THE STATE OF PROTECTIVE STRUCTURES OF IRRIGATION SYSTEM CANALS AND THEIR RESTORATION BY THE USE OF OPTIMAL COMPOSITIONS OF CONCRETE MIXTURES

I.V. Belov¹, Kh.A. Abdulmajidov^{2✉}, M.A. Karapetyan³, S.K. Toygambaev⁴

^{1,2} Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy; A.N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction; Moscow, Russian Federation

^{3,4} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Goryachkin Institute of Mechanics and Power Engineering; Moscow, Russian Federation

¹ <http://orcid.org/0000-0002-7562-514X>; iv.belov@rgau-msha.ru

² <http://orcid.org/0000-0002-7699-4799>; abdulmajidov@rgau-msha.ru

³ <http://orcid.org/0000-0002-6524-0561>; karapetyan.martik@yandex.ru

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-7649-6036>; kokibaewich@yandex.ru

Abstract. Long-term operation of irrigation canals with protective concrete coatings is accompanied by partial or complete failure of their structures and elements. This state of affairs leads to an increase

in water filtration in the canals and, accordingly, the loss and reduction of water volumes required for reclaimed land. The development, determination and use of concrete mixtures with increased strength to a certain extent can solve the problem of providing structures of concrete slabs and connecting joints that are resistant to creep, cracks and destruction. The compositions and proportions of heavy-duty concrete mixtures based on M400 grades revealed as a result of these studies to a large extent allow ensuring the strength, respectively, and durability of the structures of protective concrete coatings and joints of irrigation canal elements. The paper proposes the basics of technologies for the production of repair and restoration work using special machines, equipment and developed concrete mixtures.

The study was carried out as part of the project to create and develop the engineering center of the Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy (agreement No. 075-15-2025-543 dated June 16, 2025)

Keywords: protective concrete coatings of canals, water filtration in canals, irrigation canals, selection of concrete mix composition, maintenance and repair of canals, sealing of canals joints

Citation format: Belov I.V., Abdulmashidov Kh.A., Karapetyan M.A., Toygambaev S.K. Study of the state of protective structures of irrigation system canals and their restoration by applying optimal compositions of concrete mixtures. *Prirodoobustroystvo*. 2026;19(2):39-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-2-39-47>

Введение. В процессе формирования противотфильтрационных защитных покрытий на мелиоративных оросительных каналах используются такие материалы и конструктивные элементы, как монолитный бетон, сборные железобетонные плиты, полиэтиленовая стабилизированная пленка, защитные прокладки, асфальтобетон, каменно-щебеночные материалы.

Для выполнения монолитных бетонных облицовок применяется гидротехнический бетон, который должен удовлетворять требования ГО-СТа по таким характеристикам, как прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, водно-коррозионная стойкость. Перечисленные требования обеспечиваются: использованием определенных видов высококачественных цементов и заполнителей, составов бетона, включающих в себя пластифицирующие воздухововлекающие и комплексные добавки; точным выполнением всех технологических процессов при строительстве облицовок.

Повышение морозостойкости и долговечности монолитных облицовок обеспечивается применением низкоалюминатных и сульфатостойких портландцементов с нормальной плотностью цементного теста не более 28% и с началом схватывания не ранее 1,5...2 ч.

Цель исследований: изучение состояния, выявление дефектов бетонных покрытий оросительных каналов и определение технологий проведения технического обслуживания и ремонта каналов.

Задачи исследований:

– изучение состояния бетонных покрытий оросительных каналов с выявлением дефектов,

сформировавшихся при длительной эксплуатации мелиоративных систем;

– определение технологий проведения технического обслуживания и ремонтов оросительных каналов по выявленным дефектам;

– проведение лабораторных исследований по выбору наиболее прочного бетона в зависимости от качества и количества добавок.

Материалы и методы исследований.

Наличие в конструкциях бетонных покрытий оросительных каналов дефектов, трещин, разломов, смещений бетонных плит ведет к повышению фильтрации воды. Своевременная ликвидация перечисленных дефектов позволяет транспортировать требуемое количество воды от источника до орошаемых земель. Исследования оросительных каналов проводились на мелиоративных системах южных регионов. Методами исследований являлись осмотры, измерения, сравнения, расчеты и опыты [1-4]. В качестве базовых материалов для лабораторных исследований применены марки бетона М400. Несмотря на то, что нет полного соответствия, наиболее близкими по характеристикам к данной марке бетонов является класс бетона В30. Новизна исследований заключается в подборе пропорций различных добавок к представленным бетонам с целью повышения их прочности. Кроме того, в работе предлагается разработанная авторами технология производства ремонтных работ. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории строительных материалов Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Прочность бетонных кубиков с размерами 10 × 10 × 10 см, сформированных

на основе рекомендаций по результатам выявления оптимальных составов, определялась с помощью тест-прессов ТП-1-500 и ТП-1-1000.

Результаты и их обсуждение. Основные исследования по выявлению состояния бетонных покрытий оросительных каналов проводились визуально. Кроме того, применялись измерительные инструменты для оценки величин трещин на бетонных конструкциях, сползания бетонных плит и разрушения бетонных стыков.

Потери объемов воды в канале на фильтрацию при отсутствии других видов потерь можно определить как разность расхода воды в начале и конце канала. Соответственно

$$V = Q_1 - Q_2, \quad (1)$$

где Q_1 – расход воды в канале у головного водозабора, м³/ч; Q_2 – расход воды на конечном сечении исследуемого участка канала, м³/ч. В свою очередь, расход воды в канале определяется как произведение площади поперечного сечения потока воды на его скорость. Большинство мелиоративных оросительных каналов в поперечном сечении имеют форму трапеции. В итоге формула (1) примет вид:

$$V = S_1 \cdot v_1 - S_2 \cdot v_2, \quad (2)$$

где S_1, v_1 и S_2, v_2 – площади поперечного сечения воды и ее скорость в начале и в конце канала соответственно. Скорость потока воды можно легко определить. Площадь поперечного сечения воды в канале можно определить, исходя из интегрального выражения для определения площади криволинейной трапеции:

$$S = \int_a^b f(x) dx. \quad (3)$$

Объем воды на рассматриваемом участке будет составлять:

$$V = \int_0^H S(l) dl, \quad (4)$$

где l – длина канала; $S(l)$ – площадь поперечного сечения потока воды на длине l .

Недостатки на защитных бетонных покрытиях каналов, не требующие применения специальных инструментов, машин, оборудования и материалов, могут быть ликвидированы в результате операций по уходу с применением разработанных в настоящих исследованиях пропорций бетонов с добавлением специальных компонентов. Это позволит уменьшить потери воды на фильтрацию в исследуемых каналах.

Возникающие в процессе длительной эксплуатации мелиоративных каналов дефекты по степени сложности ликвидации можно подразделить на три категории: к первой категории относятся легко устраняемые дефекты; ко второй категории – требующие применения специальных ручных инструментов; к третьей категории – требующие применения специальных машин, оборудования и материалов. Соответственно все

перечисленные дефекты защитных покрытий оросительных каналов устраняются в результате проведения первого и второго технического обслуживания (ТО-1, ТО-2) и капитального ремонта. Так, к номенклатуре работ, относящихся к операциям по уходу, относятся: скашивание и удаление из русла канала травянистой растительности; удаление наносов, заиления и мусора со дна и откосов каналов.

К операциям ТО-1 можно отнести: удаление разрушенных конструкций стыков плит; заделку швов специальными бетонными смесями; восстановление поверхности бетонных плит општукатуриванием.

К ТО-2 можно отнести: точечный демонтаж смещенных бетонных плит; подготовку и уплотнение грунтовой подосновы для обратного монтажа плит; ремонт шлюза регулятора; бетонирование разрушенных бетонных участков дна и откосов канала; восстановление упоров на дне для бетонных плит, устанавливаемых на откосах, препятствующих их сползанию вниз; восстановление защитных элементов каналов, выпавших из строя в результате аварий. На операциях по выполнению ТО-2 могут быть применены специальные машины и оборудование – такие, как автомобильные краны, передвижная ремонтная установка, автобетоносмесители, ручной вспомогательный инструмент, одноковшовые пневмоколесные экскаваторы. Кроме того, в процессе проведения ТО-2 для заделки швов и восстановления бетонных плит планируется использовать сформированные в рамках представленной работы составы бетонных смесей.

Работы по обслуживанию каналов проводятся силами сотрудников мелиоводхоза с использованием автомобильного крана, вспомогательного экскаватора и технологического оборудования. При проведении точечного обслуживания и восстановления выпавшего из строя или сместившегося элемента покрытия канала – плиты – предварительно обеспечивается требуемый уровень воды в канале, позволяющий производить работы. Производится отсоединение элемента от соседних конструкций. Удаление плиты из русла канала осуществляется с помощью автомобильного крана. Далее производится заполнение грунтом и щебнем пустот под плитой до требуемого уровня, затем грунт на откосе уплотняется с помощью виброплиты. Установка новой бетонной плиты на откос вместо разрушенного также осуществляется с помощью автомобильного крана.

Капитальный ремонт в отличие от ТО-2, предусматривающий точечное восстановление

элементов мелиоративной системы, призван полностью восстановить защитные бетонные покрытия оросительных каналов с применением различных машин, оборудования и материалов.

При экспериментальном подборе оптимального состава крупных заполнителей бетонной смеси (щебня, гравия из плотных пород) с наибольшей плотностью учитывают требования ГОСТ 10268-80 и 10260-82, которые предусматривают максимальную фракцию крупного заполнителя не более $1/3$ толщины облицовки. Также в соответствии со стандартом крупный заполнитель (до 20 мм) разделяют на две фракции: 5...10 мм (что должно составлять 35...45%) и 10...20 мм (55...65%). При крупности до 40 мм его разделяют на три фракции: 5...10 мм (25...30%); 10...20 мм (20...30%); 20...40 мм (40...55%). Применение гравийно-песчаной смеси или гравия допускается после их разделения на фракции [5-10]. Нарушение целостности откосов каналов, выполненных из бетонных плит, в процессе длительной эксплуатации представлено на рисунке 1.

С учетом того, что в процессе эксплуатации мелиоративных систем защитные бетонные покрытия находятся в воде с меняющимися в зависимости от сезона морозными условиями, в процессе приготовления бетонной смеси в ее состав вводятся добавки поверхностно-активных веществ, предназначенных для пластификации, а также для обеспечения требуемых показателей морозостойкости, плотности и трещиностойкости бетона. В основном химические добавки в бетонной смеси способствуют снижению

расхода цемента и улучшают ее свойства [11-13]. Рекомендуемые значения количества химических добавок в бетон в процентах от массы вяжущего вещества для пластифицирующих и пластифицирующих воздухововлекающих добавок находятся в пределах от 0,1 до 0,8; для воздухововлекающих и газообразующих – от 0,005 до 0,03; для ускорителей твердения и ингибиторов коррозии стали – от 0,5 до 3. Например, использование суперпластификатора С-3 в количестве от 0,2 до 1% от массы цемента позволяет получать литые самоуплотняющиеся бетонные смеси, которые не требуют вибрации. При этом снижение содержания воды позволяет получать бетоны повышенной прочности, не изменяя подвижности смеси.

Основное назначение пластифицирующих или пластифицирующих воздухововлекающих добавок заключается в снижении начального содержания воды, уменьшении расхода цемента, удобоукладываемости и однородности смеси, в повышении водонепроницаемости, морозостойкости, трещиностойкости, прочности бетона. Все перечисленные свойства бетонов необходимы для их применения в водохозяйственном строительстве [14, 15].

Отдельное введение воздухововлекающих добавок в бетон позволяет улучшать однородность, связность и удобоукладываемость бетонной смеси, повышать морозостойкость, трещиностойкость и водонепроницаемость бетонов с маркой по морозостойкости F150 и выше.

Ускорители твердения цемента, помимо своего основного назначения, служат также для



а)



б)

Рис. 1. Нарушение целостности откосов каналов, выполненных из бетонных плит:

- а) соединения бетонных плит, требующих ремонта швов;
- б) размыв грунта на граничном участке канала с бетонным покрытием

Fig. 1. Violation of the integrity of the slopes of channels made of concrete slabs:

- a) joints of concrete slabs that require repair of joints;
- b) erosion of soil on the border section of the canal with concrete cover

нейтрализации замедляющего действия поверхностно-активных веществ на процесс его гидратации и повышения плотности бетона, а также для ускорения твердения бетона при снижении положительной температуры.

Противоморозные добавки применяются совместно с пластифицирующими воздухововлекающими добавками для сохранения жидкой фазы бетона при отрицательной температуре окружающей среды. Некоторые рекомендуемые индивидуальные и комплексные добавки с учетом условий производства работ и твердения бетона представлены в таблице 1.

Определенную добавку из числа представленных добавок в настоящей работе выбирали на основании экспериментальных исследований по определению значений прочности кубиков на тест-прессах, а также с учетом технико-экономического сравнения возможных вариантов и наличия достаточных запасов.

На основании ГОСТ бетонная смесь, применяемая для монолитных бетонных, железобетонных и бетонооплеченных облицовок каналов, должна быть: однородной по составу; иметь водоцементное отношение (В: Ц) 0,5...0,55; обеспечивать максимальную плотность и однородность за счет своей подвижности; иметь показатели подвижности и жесткости в момент усадки, соответствующие заданным; иметь 3...5% объема вовлеченного воздуха.

Применение пластифицирующих добавок позволяет также снижать на 2...4% меньше воды при одной и той же подвижности по сравнению с бетоном без добавок, что снижает расход цемента до 10% на 1 м³ бетона.

Работы по определению прочности предлагаемых пропорций бетонов на основе марки М400 проводились в лаборатории строительных материалов Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова (рис. 2). В качестве дополнительных компонентов использовались сульфоферритные добавки и суперпластификатор АСЕ430. В зависимости от их количества определялась прочность бетона.

Для приготовления бетонных кубиков марки М400 в процессе исследований применялись смеси компонентов следующего состава: портландцемент – 1500 г; песок – 3270 г; щебень – 3762 г; сульфоферритная добавка – 75 г; вода – 705 мл. В рамках однофакторного эксперимента целевая функция – прочность бетона – определялась в зависимости от количества суперпластификатора АСЕ430 в диапазоне рекомендуемых значений от 0,5 до 2,0% с шагом 0,5%.

В таблице 2 представлены результаты проведенных экспериментов в рамках однофакторного эксперимента по определению зависимости прочности бетона марки М400 с содержанием 25 г сульфоферритной составляющей от количества, добавленного в него, в последовательных опытах, суперпластификатора BASF MasterGlenium АСЕ430 в пределах от 0 до 2,0% с шагом 0,5%. Для получения более точного результата по прочности по каждому предложенному составу с добавленными компонентами было сформировано и исследовано по 3 кубика.

Несмотря на невысокие значения коэффициентов детерминации $R^2 = 0,0392$ для линейной и $R^2 = 0,1346$ для полиномиальной, которые показывают, насколько близко изменение случайной

Таблица 1. Рекомендуемые индивидуальные и комплексные добавки с учетом условий производства работ и твердения бетона

Table 1. Recommended individual and complex additives taking into account the conditions of work and concrete hardening

Конструкция и условия твердения бетона / <i>Construction and conditions of concrete hardening</i>	Индивидуальные и комплексные добавки / <i>Individual and complex additives</i>
Монолитная (обычные, летние) / <i>Monolithic (regular, summer)</i>	сульфитно-дрожжевая бражка, пластификатор адипиновый щелочной, водорастворимые полимеры / <i>sulphite-yeast mash, alkaline adipine plasticizer, water-soluble polymers</i>
Монолитная (сухой жаркий климат) / <i>Monolithic (dry hot climate)</i>	гидрофобизирующая добавка, сульфитно-дрожжевая бражка с другими видами добавок, водорастворимые полимеры с поверхностно-активными добавками / <i>hydrophobic additive, sulphite-yeast mash with other types of additives, water-soluble polymers with surfactants</i>
Монолитная (зимние) / <i>Monolithic (winter)</i>	пластификатор адипиновый щелочной с другими добавками / <i>adipine alkaline plasticizer with other additives</i>
Сборная (тепловая обработка) / <i>Prefabricated (heat treatment)</i>	пластификатор адипиновый щелочной, водорастворимые полимеры, водорастворимые полимеры с поверхностно-активными добавками / <i>adipine alkaline plasticizer, water-soluble polymers, water-soluble polymers with surfactants</i>

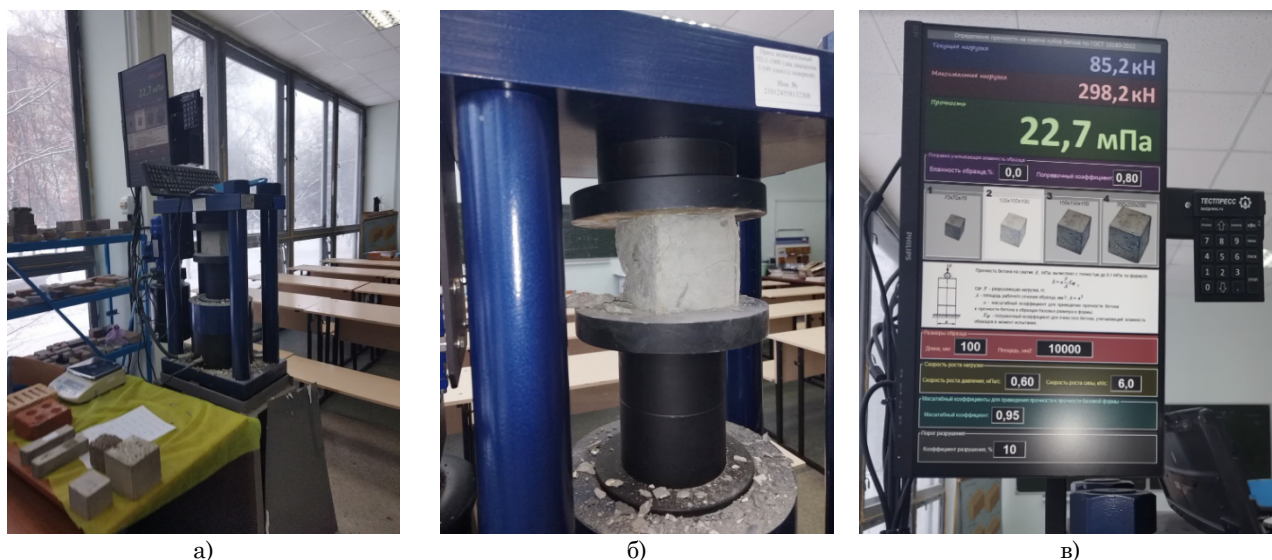


Рис. 2. Определение прочности предлагаемого бетона:

а) подготовка образцов к исследованию на тест-прессе; б) испытание бетонного кубика; в) показания прочности образца бетона

Fig. 2. Determination of the strength of the proposed concrete:

a) preparation of samples for study on a test press; b) concrete cube testing; c) concrete sample strength readings

Таблица 2. Результаты однофакторного эксперимента по определению прочности бетона марки М400 в зависимости от количества добавки ACE430

Table 2. Results of a one-factor experiment to determine the strength of M400 concrete depending on the amount of ACE430 additive

Исследуемый бетон М400, содержащий сульфферритную составляющую (СФ) с добавленным количеством пластификатора ACE430, в % от массы цемента / Tested concrete M400 containing sulfoferritic component (SF) with added amount of plasticizer ACE430, % of cement weight	Прочность P_1 , МПа, (максимальная нагрузка, кН) / Strength P_1 , MPa, (maximum load, kN)	Прочность P_2 , МПа, (максимальная нагрузка, кН) / Strength P_2 , MPa, (maximum load, kN)	Прочность P_3 , МПа, (максимальная нагрузка, кН) / Strength P_3 , MPa, (maximum load, kN)	П средн. МПа, (максимальная нагрузка, кН) / Strength average, MPa, (maximum load, kN)
М400 (СФ) +0,0%	22,7 (298,2)	25,0 (328,7)	24,3 (319,4)	24,0 (315,4)
М400 (СФ) +0,5%	29,8 (397,5)	28,4 (373,5)	29,0 (381,9)	29,0 (384,3)
М400 (СФ) +1,0%	24,5 (322,6)	23,8 (313,0)	24,1 (317,3)	24,1 (317,6)
М400 (СФ) +1,5%	24,5 (322,8)	25,2 (331,3)	25,3 (332,8)	25,0 (328,9)
М400 (СФ) +2,0%	24,8 (326,7)	24,6 (323,3)	24,9 (328,0)	24,7 (326,0)

величины к строгой линейной или нелинейной зависимости, наиболее адекватно исследуемый процесс описывается полиномиальной аппроксимацией (рис. 3) с уравнением регрессии $y = -1,3714x^2 + 2,2229x + 25,194$. Некоторое выбывание второй точки кривой зависимости может вызвать сомнения, однако трехкратная повторность проведения опытов подтверждает значения с достоверностью.

Результаты экспериментальных исследований показали, что в процессе формирования бетонных кубиков произошло увеличение их линейных размеров, величина которых находится в пределах 3-5 мм над стенками форм. Данная характеристика бетона, полученная добавлением

сульфоферритной смеси, подтверждается. Однако по представленным зависимостям можно сделать выводы о том, что в данных конкретных условиях прочность бетона с добавлением суперпластификатора BASF MasterGlenium ACE430 от 0,5 до 2,0% по 5 исследуемым точкам меняется. Обработка полученных экспериментальных данных показывает (табл. 2), что наибольшее значение прочности исследуемого бетона величиной 29 МПа наблюдается при добавлении в него 0,5% пластификатора ACE430, что составляет большее значение прочности на 16% по сравнению с ближайшим меньшим значением. Ближайшее меньшее значение прочности бетонных образцов величиной 25 МПа наблюдается при добавлении

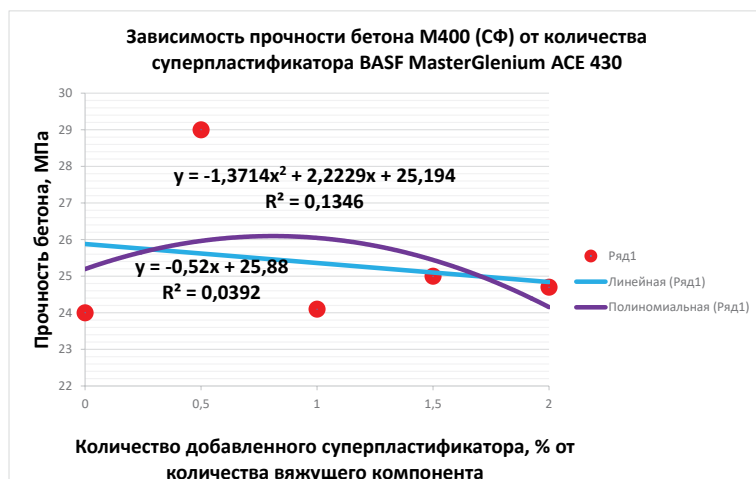


Рис. 3. Зависимость прочности бетона марки М400 (СФ) с 1% сульфферритной добавки от количества суперпластификатора BASF MasterGlenium ACE430 от 0 до 2%

Fig. 3. Dependence of the strength of M400 (SF) concrete with 1% sulfoferrite additive on the amount of BASF MasterGlenium ACE430 superplasticizer from 0 to 2%

1,5% ACE430. При добавлении в бетонную смесь 1; 1,5 и 2% пластификатора ACE430 прочность бетона после его полного затвердения находилась в пределах от 24 до 25 МПа. Впрочем, в опытах при отсутствии данной добавки прочность кубиков была также на уровне 24 МПа. Применение марки бетона М400 с добавлением предлагаемых компонентов, увеличивающих его прочность, с экономической точки зрения является целесообразным по сравнению с более дорогостоящими марками М500 и М600.

Армированное монолитное бетонное покрытие формируют на средних и крупных каналах с неоднородным грунтом по глубине и на участках в полувыемке и полунасыпи. Бетон в этом случае укладывают после установки арматурной сетки или стальной арматуры периодического профиля диаметром 5...12 мм (расстояние между стержнями – 15...30 см. Для армирования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений без предварительного напряжения применяют стержневую горячекатаную гладкую и периодического профиля арматуру и обыкновенную холоднокатаную арматурную проволоку периодического профиля. Для закладных деталей и соединительных накладок применяют прокатную углеродную сталь [5].

Сборные железобетонные покрытия каналов позволяют повысить темпы строительства, способствуют максимальной механизации строительства и обеспечивают необходимую прочность облицовки. В качестве конструктивных элементов сборных железобетонных покрытий применяют железобетонные плиты, а в качестве сборного защитного покрытия – предварительно напряженные железобетонные плиты НПК размером

$6 \times 1 \times 0,06$; $6 \times 1,5 \times 0,06$; $6 \times 2 \times 0,06$ м, сборные железобетонные плиты с выпуском арматуры размером $3 \times 2 \times 0,1$ м [5].

Плиты НПК и ПК применяются для строительства каналов с глубиной воды до 3 м при максимальной высоте волны 0,5 м, толщине льда 0,5 м, а конструкции ПКУ – соответственно 3...5 м, не более чем, и 0,8 м.

Для изготовления сборных железобетонных плит используют тяжелые бетоны, удовлетворяющие требованиям проекта по прочности, водонепроницаемости, морозостойкости, водо-коррозионной стойкости.

Для предварительно напряженных конструкций применяют проектные марки бетона по прочности на сжатие не менее М400 для конструкций со стержневой арматурой и не менее М500 для конструкций с высокопрочной арматурной проволокой, а для бетонов сборных железобетонных конструкций – низко- и среднеалюминатный портландцемент марок М500 и М600.

Выводы

1. Длительная эксплуатация мелиоративных оросительных каналов с защитными бетонными покрытиями сопровождается появлением трещин под действием нагрузок от воды, промерзанием, температурным воздействием, постепенным разрушением бетонных элементов, что ведет к увеличению потерь воды на фильтрацию, к ухудшению функционирования мелиоративной системы в целом.

2. Представлен общий способ расчета потерь воды на фильтрацию в мелиоративных оросительных каналах, заключающийся в разности Q_1 – расхода воды в канале у головного

водозабора, $\text{м}^3/\text{ч}$ и Q_2 – расхода воды на конечном сечении исследуемого участка канала, $\text{м}^3/\text{ч}$.

3. В рамках работы рассмотрены существующие способы восстановления бетонных покрытий оросительных каналов, а также предложена последовательность технического обслуживания и ремонта защитных конструкций. В качестве бетонной смеси для проведения ТО и ремонта участков бетонных покрытий каналов по результатам исследований рекомендуется применять бетон марки М40 с добавлением 1% сульфоферритной добавки и 0,5% суперпластификатора АСЕ430.

4. Проведены лабораторные исследования по определению прочности наиболее распространенных бетонов марки М400 в зависимости от количества сульфоферритных добавок и суперпластификатора АСЕ430. Анализ результатов

исследований, проведенных с использованием лабораторных тест-прессов ТП-1-1000, показывает, что повышение прочности бетонов марки М400 (с содержанием 1% сульфоферритной добавки при заданных условиях) достигается при добавлении в исследуемый состав бетонной смеси суперпластификатора АСЕ430 в количестве 0,5% от массы вяжущего компонента. Повышение прочности бетонных образцов при этом составляет 16%.

5. Обеспечение ухода за защитными антифильтрационными покрытиями мелиоративных осушительных каналов, своевременное проведение технического обслуживания позволяют значительно снизить потери воды на фильтрацию и увеличить продолжительность эксплуатации элементов оросительной системы до капитального ремонта.

Список использованных источников

1. Баев О.А., Талалаева В.Ф. Конструктивно-технологические решения для создания и восстановления покрытий оросительных каналов // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 2. С. 177-191. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-177-191.
2. Косиченко Ю.М., Гарбуз А.Ю. Гидравлическая модель водопроницаемости бетонной облицовки при длительной эксплуатации канала // Природообустройство. 2018. № 4. С. 30-40. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-4-30-40. EDN: YMBOGT
3. Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А. Исключение непроизводительных потерь водных ресурсов из оросительной сети за счет использования инновационных облицовочных материалов // Аграрный научный журнал. 2019. № 10. С. 91-94. DOI: 10.28983/asj. y2019i10pp91-94. EDN: MFHBHE
4. Давиденко В.М., Штильман И.Е., Давиденко В.М., Коротких И.Е. Некоторые вопросы ремонта глубоких повреждений бетона с оголением арматуры на железобетонных конструкциях ГТС // Гидротехника. 2021. № 3 (64). С. 85-88. EDN: APSTIW
5. Абдулмажидов Х.А., Балабанов В.И., Мареева О.В. и др. Дефекты бетонных покрытий мелиоративных оросительных каналов и методы их ремонта // Природообустройство. 2025. № 5. С. 63-70. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-63-70>
6. Карапетян М.А., Тойгамбаев С.К., Абдулмажидов Х.А. Исследование состояния мелиоративных осушительных каналов, их восстановление и очистка // Природообустройство. 2025. № 3. С. 38-44. DOI: 10.26897/1997-6011-2025-3-38-44. EDN: QMJMDE
7. Васильева Е.В., Федоров В.М., Чибинев Н.Н. Одежда каналов мелиоративных систем из бетона на местных заполнителях с построением математической модели // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № (67). С. 513-525. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-58.
8. Семененко С.Я., Арьков Д.П., Марченко С.С. и др. Способ реконструкции деформационных швов противофильтрационных бетонных и железобетонных облицовок гидротехнических сооружений // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 1. С. 31-35. EDN: YHRGCN
9. Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А. Оценка перспективы использования бетонного полотна в качестве облицовочного материала оросительных каналов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее

References

1. Baev O.A. Structural and technological solutions for the creation and restoration of irrigation canal coatings / O.A. Baev, V.F. Talalaeva // Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2022. Vol. 12, No. 2. P. 177-191. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-177-191.
2. Kosichenko Yu.M. Hydraulic model of water permeability of concrete lining during long-term operation of the canal / Yu.M. Kosichenko A.Yu. Garbuz // Prirodoobustroystvo. 2018. No. 4. P. 30-40. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-4-30-40. EDN: YMBOGT
3. Abdrazakov F.K. Elimination of unproductive losses of water resources from the irrigation network through the use of innovative facing materials / F.K. Abdrazakov, A.A. Rukavishnikov // Agrarian scientific journal. 2019. No. 10. P. 91-94. DOI: 10.28983/asj. y2019i10pp91-94. EDN: MFHBHE
4. Davidenko V.M. Some issues of repairing deep damage to concrete with exposed reinforcement on reinforced concrete structures of hydraulic structures / V.M. Davidenko, V.B. Shtilman, I.E. Korotkikh // Hydraulic engineering. 2021. No. 3(64). P. 85-88.
5. Defects of concrete pavements of melioration irrigation canals and methods of their repair / Kh.A. Abdulmazhidov, V.I. Balabanov, O.V. Mareeva [et al.] // Prirodoobustroystvo. 2025. No. 5. P. 63-70. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-63-70>
6. Karapetyan M.A. Study of the state of melioration drainage canals, their restoration and cleaning / M.A. Karapetyan, S.K. Toygambaev, H.A. Abdulmazhidov // Prirodoobustroystvo. 2025. No. 3. P. 38-44. DOI: 10.26897/1997-6011-2025-3-38-44. EDN: QMJMDE
7. Vasilyeva E.V., Fedorov V.M., Chibinev N.N. Lining of canals of melioration systems with concrete on local fillers and construction of a mathematical model // News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. No. 3(67). P. 513-525. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-58.
8. Semenenko D.P. Arkov, S.S. Marchenko [et al.] Method for reconstructing expansion joints of anti-seepage concrete and reinforced concrete linings of hydraulic structures // Land Reclamation and Water Management. 2017. No. 1. P. 31-35. EDN: YHRGCN
9. Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A. Assessment of the prospects for using concrete sheeting as a lining material for irrigation canals // News

профессиональное образование. 2020. № (60). С. 327-339. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-32.

10. Семененко С.Я., Новиков А.Е. Показатели мелиоративного состояния орошаемых земель Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 114-123. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-11. EDN: MPWUNX

11. Жарницкий В.Я., Смирнов А.П., Андреев Е.В. Экспериментально-теоретическое обоснование метода оценки трещиностойкости и расстояния между усадочными швами бетонных облицовок водохозяйственных каналов // Природообустройство. 2022. № 2. С. 3-68. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-63-68. EDN: PQSHNN

12. Гарбуз А.Ю., Талалаева В.Ф. Технология ремонта бетонных облицовок каналов битумно-полимерной мастикой // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11, № 3. С. 299-313. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-299-313.

13. Абдулмажидов Х.А., Бенин Д.М., Балабанов В.И. и др. Разработка рабочего органа каналоочистителя для удаления наносов с закрепленного дна канала // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38, № 12. С. 66-70. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_12_66.

14. Васильева Е.В., Федоров В.М. Элементы из бетона на некондиционных заполнителях для проводящей сети мелиоративных систем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 487-500. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-49.

15. Метлицкий В.С., Ардаков А.А. Ресурсосберегающие конструкции противозероэрозийной защиты мелиоративных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 4. С. 2-4. DOI: 10.32962/0235-2524-2022-4-2-4. EDN: TTWTJZ

Информация об авторах

Игорь Викторович Белов, аспирант кафедры сельскохозяйственного строительства; AuthorID: 1176793; iv.belov@rgau-msha.ru

Хамзат Арсланбекович Абдулмажидов, д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры сельскохозяйственного строительства; Web of Science ResearcherID AAE-5817-2022; Scopus Author ID: 57224176106; Author ID: 756348; abdulmajidov@rgau-msha.ru

Мартик Аршалуйсович Карапетян, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования; ResearcherID Web of ScienceADQ-5014-2022; Scopus ID: 57222131481; PИИЦ AuthorID: 780469; karapetyan.martik@yandex.ru

Серик Кокибаевич Тойгамбаев, д-р техн. наук, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования; ResearcherID Web of ScienceJRY-8643-2023; Scopus ID: 57221221969; PИИЦ AuthorID: 753942; kokibaewich@yandex.ru

Вклад авторов

И.В. Белов – выполнил экспериментальную часть, на основании которых провели обобщение и написали черновик рукописи.

Х.А. Абдулмажидов – руководил исследованием, разработал методологию исследования, выполнил обработку экспериментальных данных и сформировал общие выводы по работе.

М.А. Карапетян – сформулировал общую концепцию исследования и доработал окончательный вариант рукописи.

С.К. Тойгамбаев – занимался обоснованием темы исследования, обзором источников литературы, верификацией данных, создание черновика данных и оформление.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interest

Поступила в редакцию / Received 15.02.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Received 25.03.2026

Принята к публикации / Accepted 28.03.2026

of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. No. 4 (60). P. 327-339. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-32.

10. Semenenko S.Ya., Novikov A.E. Indicators of the melioration state of irrigated lands in the Volgograd region // News of the Nizhnevolzhsk Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. – 2023. – No. 1 (69). – P. 114-123. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-11.

11. Zharnitsky V.Ya., Smirnov A.P., Andreev E.V. Experimental and theoretical substantiation of the method for assessing crack resistance and the distance between shrinkage joints of concrete linings of water management canals // Prirodoobustrojstvo. 2022. No. 2. P. 63-68. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-63-68. EDN: PQSHNN

12. Garbuz A.Yu., Talalaeva V.F. Technology of repairing concrete canal linings with bitumen-polymer mastic // Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2021. Vol. 11, No. 3. P. 299-313. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-299-313.

13. Development of a working element of a channel cleaner for removing sediment from a fixed canal bottom / Kh.A. Abdulmashidov, D.M. Benin, V.I. Balabanov [et al.] // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2024. Vol. 38, No. 12. – P. 66-70. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_12_66.

14. Vasilyeva E.V. Elements made of concrete on substandard fillers for the conductive network of melioration systems // News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No. 4(72). P. 487-500. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-49

15. Metlitsky V.S., Ardakov A.A. Resource-saving structures of anti-erosion protection of melioration systems // Land reclamation and water management. 2022. No. 4. P. 2-4. DOI: 10.32962/0235-2524-2022-4-2-4. EDN: TTWTJZ

Information about the authors

Igor V. Belov, post graduate student of the Department of Agricultural Construction; AuthorID: 1176793; iv.belov@rgau-msha.ru

Khamzat A. Abdulmashidov, DSs (Eng), associate professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Construction; Web of Science ResearcherID AAE – 5817-2022; Scopus Author ID: 57224176106; AuthorID: 756348; abdulmajidov@rgau-msha.ru

Martik A. Karapetyan, DSs (Eng), professor, professor of the department of technical service of machinery and equipment; ResearcherID Web of scienceadq-5014-2022; Scopus ID: 57222131481; RSCIauthorid: 780469; karapetyan.martik@yandex.ru

Serik K. Toygambayev, DSs (Eng), Professor of the Department of Technical Service of Machinery and Equipment; ResearcherID Web of ScienceJRY-8643-2023; Scopus ID: 57221221969; RSCI AuthorID: 753942; kokibaewich@yandex.ru

Contribution of the authors

I.V. Belov – performed the experimental part, on the basis of which we made a generalization and wrote a draft of the manuscript

Kh.A. Abdulmashidov – supervised the study, developed the research methodology, performed the processing of experimental data and formed general conclusions on the work

M.A. Karapetyan – formulated the general concept of the study and finalized the final version of the manuscript

S.K. Toygambayev – was engaged in the substantiation of the research topic, review of literature sources, data verification, creation of a draft of data and design