

**В.В. МИКРЮКОВ¹, А.А. ПАЦЕВ¹, А.Н. ЗАЙЦЕВ²,
А.В. БУЧКИН³, Г.В. ЧЕХНИЙ³, А.С. МУРАЧЕВ^{4,✉},
А.В. ДЕМИН⁴, В.В. КНЯЗЕВ⁵, О.А. САВОТИН⁵**

¹ ПАО «Россети Центр», ул. Малая Ордынка, д. 15, г. Москва, 119017, Российская Федерация

² ПАО «Россети Центр и Приволжье» – «Тулэнерго», ул. Тимирязева, д. 99,
г. Тула, 300600, Российская Федерация

³ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона
и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,
2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

⁴ АО «Россети Научно-инжиниринговый центр», Ленинский проспект, д. 153, пом. 10-Н, офис 1039,
г. Санкт-Петербург, 196247, Российская Федерация

⁵ АО «Россети Научно-технический центр», Каширское шоссе, д. 22,
г. Москва, 115201, Российская Федерация

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БЕТОННЫЕ СМЕСИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И СРОКА СЛУЖБЫ СТОЕК ОПОР ВЛ 0,4–10 КВ

Аннотация

Введение. Анализируются существующие нормативные требования к железобетонным вибрированным стойкам опор для воздушных линий электропередачи 0,4–10 кВ. Отмечается недостаточность и необеспеченность требуемой морозостойкости и водонепроницаемости бетона, а также недостаточная трещиностойкость железобетонных стоек, подверженных воздействию изменяющихся сезонных условий эксплуатации и агрессивного воздействия окружающей среды.

Цель. Получение оптимальных составов и формирование требований к бетонным смесям для изготовления стоек типа СВ. При этом практическая реализация указанной цели станет основой разработки предложений по актуализации действующих нормативных документов в целях создания единых по ГК «Россети» требований и повышения контроля за поставляемой заводами железобетонных изделий продукции.

Материалы и методы. Приводятся результаты исследований, направленных на анализ возможности применения новых материалов при изготовлении железобетонных изделий, повышающих их эксплуатационные и прочностные качества и в то же время позволяющих улучшить качество бетонных смесей с применением отечественных добавок без существенного увеличения стоимости стоек опор типа СВ 95 и СВ 110.

Результаты. По результатам приведенных исследований получен состав бетонной смеси, с помощью которого возможно повысить эксплуатационные и прочностные качества стоек типа СВ и, как следствие, повысить срок их службы до уровня 50 лет и более. Полученные результаты исследований будут учтены при разработке технических условий на производство стоек типа СВ.

Выводы. На основании полученных показателей оптимального состава бетонной смеси специалистами АО «Россети Научно-технический центр» была разработана конструкторская документация на стойки опор СВ 95-3,5, СВ 110-5 и СВ 110-7 для целей изготовления и проведения механических испытаний опытных образцов стоек.

Ключевые слова: железобетонные вибрированные стойки, бетонная смесь, испытание, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, полифункциональная добавка

Для цитирования: Микрюков В.В., Пацев А.А., Зайцев А.Н., Бучкин А.В., Чехний Г.В., Мурачев А.С., Демин А.В., Князев В.В., Савотин О.А. Модифицированные бетонные смеси для улучшения эксплуатационных характеристик и срока службы стоек опор ВЛ 0,4–10 кВ // *Бетон и железобетон*. 2025. № 1 (626).

Вклад авторов

Микрюков В.В. – постановка задачи и общее руководство.

Пацев А.А., Зайцев А.Н., Демин А.В., Савотин О.А. – анализ существующей нормативной базы, выявление существующих недостатков и противоречий, которые могут быть решены с использованием результатов НИОКР; оценка возможности использования принятых решений для использования в готовых изделиях (стойках СВ) в последующем (в том числе с учетом армирования и создания КД).

Бучкин А.В., Чехний Г.В., Мурачев А.С., Князев В.В. – анализ и выбор компонентной базы и добавок для получения оптимального результата; проведение лабораторных исследований.

Финансирование

Исследование проводилось в рамках реализации программы НИОКР ПАО «Россети Центр и Приволжье».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 11.01.2025

Поступила после рецензирования 07.02.2025

Принята к публикации 13.02.2025

**V.V. MIKRYUKOV¹, A.A. PATSEV¹, A.N. ZAITSEV²,
A.V. BUCHKIN³, G.V. CHEKHNIY³, A.S. MURACHEV^{4,✉},
A.V. DEMIN⁴, V.V. KNYAZEY⁵, O.A. SAVOTIN⁵**

¹ PJSC Rosseti Center, Malaya Ordynka str., 15, Moscow, 119017, Russian Federation

² PJSC Rosseti Center and the Volga Region – Tulenergo, str. Timiryazeva, 99, Tula, 300600, Russian Federation

³ Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

⁴ JSC Rosseti Scientific and Engineering Center, Leninsky Prospekt, house 153, room 10-N, office 1039, Saint Petersburg, 196247, Russian Federation

⁵ JSC Rosseti Scientific and Technical Center, Kashirskoye shosse, 22, Moscow, 115201, Russian Federation

MODIFIED CONCRETE MIXES TO IMPROVE THE PERFORMANCE AND SERVICE LIFE OF 0.4–10 KV OVERHEAD LINE SUPPORT POSTS

Abstract

Introduction. The existing regulatory requirements for vibrated reinforced concrete support posts for overhead power lines (overhead lines) of 0.4–10 kV are analyzed. It is noted that the required frost resistance and waterproofness of concrete are insufficient and inadequate, as well as the crack resistance of reinforced concrete pillars exposed to changing seasonal operating conditions and aggressive environmental influences.

Aim. Obtaining of the optimal compositions and forming of the requirements for concrete mixtures for the manufacture of racks of the SV type. At the same time, the practical implementation of this goal will become the basis for the development of proposals for updating of existing reg-

ulatory documents in order to create uniform requirements for Rosseti Group of Companies and increase control over the products supplied by precast concrete plants.

Materials and methods. The results of research aimed at the analysis of the possibility of using of the new materials in the manufacture of reinforced concrete products that enhance their performance and strength qualities, and at the same time improve the quality of concrete mixtures using domestic additives without significant increase of the cost of support posts such as SV 95 and SV 110.

Results. According to the results of the above studies, the composition of the concrete mixture has been obtained, with the help of which it is possible to increase the operational and strength qualities of racks of the SV type,

and, as a result, to increase their service life to the level of 50 years or more. The obtained research results will be taken into account when developing Technical Specifications for the production of racks of the SV type.

Conclusions. Based on the obtained indicators of the optimal composition of the concrete mix, the specialists of Rosseti Scientific and Technical Center JSC developed design documentation for the pillars of SV 95-3,5, SV 110-5 and SV 110-7 for the purposes of manufacturing and conducting mechanical tests of prototypes of the pillars.

Keywords: reinforced concrete vibrated racks, concrete mix, testing, strength, frost resistance, water resistance, multifunctional additive

For citation: Mikryukov V.V., Patsev A.A., Zaitsev A.N., Buchkin A.V., Chekhnii G.V., Murachev A.S., Demin A.V., Knyazev V.V., Savotin O.A. Modified concrete mixes to improve the performance and service life of 0.4–10 kV overhead line support posts. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 1 (626), pp. 38–49. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-38-49](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-38-49). EDN: TRPVGQ

Authors contribution statement

Mikryukov V.V. – task statement and general guidance.
Patsev A.A., Zaitsev A.N., Demin A.V., Savotin O.A. –

analysis of the existing regulatory framework, identification of existing shortcomings and contradictions that can be resolved using the results of R&D; assessment of the possibility of using the solutions adopted for use in complete products (SV racks) in the future (including taking into account reinforcement and design documentation creation).

Buchkin A.V., Chekhnii G.V., Murachev A.S., Knyazev V.V. – analysis and selection of the component base and additives for optimal results; conducting of the laboratory tests.

Funding

The study was conducted as part of the implementation of the R&D program of PJSC Rosseti Center and the Volga Region.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 11.01.2025

Revised 07.02.2025

Accepted 13.02.2025

Введение

В настоящее время на балансе ПАО «Россети Центр» и ПАО «Россети Центр и Приволжье» находится более 550 тыс. км воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 0,4–10 кВ, из которых около 50 % запроектированы и построены по нормативным документам 70-х годов прошлого столетия и эксплуатируются более 35 лет. При этом срок службы железобетонных вибрированных стоек опор ВЛ 0,4–10 кВ (порядка 9,2 млн шт. типа СВ 95, СВ 110), исходя из практики эксплуатации, не превышает 40 лет, а их конструкции и в настоящее время продолжают изготавливаться преимущественно по типовым техническим условиям [1], разработанным ВГПИиНИИ «Сельэнергопроект» (АО «РОСЭП») в 1994 году, то есть с использованием старых технологий приготовления бетонных смесей и армирования (с незначительными уточнениями в случае выпуска модифицированных стоек СВп, СВм и др.).

Результаты обследований железобетонных вибрированных стоек опор типа СВ, проведенных в различные годы в ПАО «Россети Центр» и ПАО «Россети Центр и Приволжье», позволяют отметить, что в первую очередь разрушениям подвергается часть железобетонных конструкций, находящаяся на границе с грунтом и выше на высоту до 1,0 м от поверхности земли, вследствие интенсивного процесса замораживания-оттаивания, водонасыщения, атмосферного воздействия, а также воздействия агрессивных сред. Количество циклов замораживания-оттаивания (ЦЗО) в центральных регионах РФ (в зоне ответственности ПАО «Россети Центр» и ПАО «Россети Центр и Приволжье») в среднем за год, согласно [2], составляет 65.

Принимая во внимание сложившуюся практику, а также требования [3, п. 2.5.3.16], предусматривающего срок службы железобетонных опор ВЛ 0,4–10 кВ в течение не менее 50 лет, в ПАО «Россети Центр», управляющей организации ПАО «Россети Центр и Приволжье», была инициирована реализация НИОКР «Разработка унифицированной серии железобетонных опор ВЛ 0,4 кВ и 6–20 кВ повышенной долговечности с использованием наномодифицированного бетона».

В настоящей статье приводятся основные результаты НИОКР, относящиеся к анализу возможности применения новых материалов при изготовлении железобетонных изделий, повышающих их эксплуатационные и прочностные качества и позволяющих улучшить качество бетонных смесей на основе полностью отечественных и выпускаемых в достаточных промышленных масштабах добавок без существенного влияния на стоимость стоек опор типа СВ 95 и СВ 110 с возможностью производства на заводах железобетонных изделий (ЖБИ) любого региона РФ.

Существующие требования нормативной документации к стойкам типа СВ и их недостатки

В качестве базового документа для производства и выпуска стоек типа СВ для нужд ГК «Россети» (преимущественно СВ 95-3 (СВ 95-3с) и СВ 110-5) выступают ТУ 5863-007-96502166-2016 [4], представляющие актуализированный на базе ТУ 5863-007-00113557-94 [1] документ. Кроме того, заводы ЖБИ осуществляют выпуск продукции по индивидуальным ТУ, основанным на [1, 4].

Выпускаемые по [1, 4] стойки СВ изготавливаются из тяжелого бетона и предназначены для применения при расчетной температуре наружного воздуха до минус 55 °С, в условиях газовой коррозии с неагрессивной степенью воздействия и в грунтах/грунтовых водах слабо-, средне- и сильноагрессивных. Основные нормируемые по [1, 4] показатели приведены в табл. 1.

Отдельно необходимо обратить внимание на невозможность однозначной интерпретации для промышленного производства по [1] марки бетона по морозостойкости в силу отсутствия упоминания в нормативном документе метода, по которому должно выполняться определение морозостойкости бетона и количество ЦЗО.

В 2018 году в ПАО «Россети», в целях осуществления аттестации железобетонных стоек, был введен стандарт организации СТО 34.01-2.2-035-2018 [5], распространяющийся на железобетонные вибрированные стойки опор ВЛ 0,4–35 кВ. Согласно [5], допускается снижение класса бетона по прочности на сжатие до показателя В25 (при наличии обоснования). Толщина защитного слоя бетона в [5] не регламентируется.

Анализ данных табл. 1 показал, что действующие в настоящее время в ГК «Россети» нормативные документы содержат различия по отдельным регламентируемым показателям. Кроме того, согласно [5], отсутствуют требования по режиму тепловлажностной обработки (ТВО) железобетонных стоек, что является важным технологическим условием для обеспечения ряда показателей бетона (морозостойкость, прочность на сжатие). Требования по заполнителям регламентируются только п. 4.7 ГОСТ 26633-2015 [6] без учета нормируемых показателей по ГОСТ 8736-2014 [7] и ГОСТ 8267-93 [8]. Необходимость выполнения специальных испытаний при применении шлакопортландцемента в условиях воздействия отрицательных температур (согласно таблице Д.1 СП 28.13330.2017 [9]) также не нашла отражения в [5].

Отдельно следует обратить внимание на показатель «морозостойкость бетона», который в случае изготовления вибрированных стоек назначается в зависимости от климатических условий района, условий увлажнения наиболее повреждаемой части бетонных конструкций (постоянный или длительный контакт с грунтовыми и поверхностными

Таблица 1

Table 1

Сравнительные показатели требований [1, 4, 5] на стойки железобетонные вибрированные
Comparative indicators of requirements [1, 4, 5] for vibrated reinforced concrete racks

Нормируемые показатели/ параметр	ТУ 1994 [1] (АО «РОСЭП»)	ТУ 2016 [4] (АО «НТЦ ФСК ЕЭС»)	СТО 2018 [5] (ПАО «Россети»)
Тяжелый бетон со средней плотностью, кг/м³	2200–2500		2000–2500
Класс бетона по прочности на сжатие	В30		Не ниже В25
Состав бетона:			
Цемент	Портландцемент, сульфатостойкий цемент по ГОСТ 22266- 94 [10]	Портландцемент, сульфатостойкий цемент по ГОСТ 22266-2013 [11], ГОСТ 10178-85 [12], ГОСТ 31108-2003 [13]	Портландцемент по ГОСТ 10178-85 [12], ГОСТ 31108-2003 [13] и шлакопортландцемент; сульфатостойкий портландцемент по ГОСТ 22266-2013 [11]
Песок	–	–	п. 4 ГОСТ 8736-2014 [7]
Заполнители	ГОСТ 26633-91 [14]	ГОСТ 26633-2015 [6]	п. 4.7 ГОСТ 26633-2015 [6]
Максимальная крупность заполнителя, мм	20	20	20
Марка бетона по морозостойкости (не менее): – на засоленных грунтах (не менее); – для районов с расчетной зимней температурой наружного воздуха ниже минус 40 °С	F200	F ₁ 200	F ₁ 200
	Не регламентировано	F ₂ 300	F ₂ 300
	Не регламентировано	F ₁ 400	F ₁ 400
Марка бетона по водонепроницаемости (не менее)	W6	W8	W8
Толщина защитного слоя, мм	20	25	Не указано

водами, периодическое увлажнение, отсутствие контакта с водой) и минерализации грунтовых вод. В случае стоек типа СВ наиболее повреждаемая часть – зона выхода стойки из грунта – в период действия знакопеременных температур находится в водонасыщенных грунтах. Как следствие, бетон стоек в зоне капиллярного подъема насыщен водой, марка бетона по морозостойкости F₁ назначается по таблице Ж.1 СП 28.13330.2017 [9]. В случае, если в процессе попеременного замораживания и оттаивания бетон находится в насыщенном состоянии морской водой или минерализованными водами (содержание растворенных солей в количестве более 5 г/л), в том числе надмерзлотными или растворами противогололедных реагентов, требования к бетону по морозостойкости должны быть повышены до марок F₂.

Как следствие, указанное в [4, 5] требование к морозостойкости бетона на уровне «не ниже

F₁200» является заниженным. Принимая во внимание универсальность стойки СВ для различных районов эксплуатации на территории РФ, марка бетона по морозостойкости должна быть «не менее F₂200», как для бетонов дорожных и аэродромных покрытий, и определяется испытаниями бетона в солевом растворе по ускоренному третьему методу согласно ГОСТ 10060-2012 с Изм. № 1 [15]. Марка F₂200 для бетонов дорожных и аэродромных покрытий соответствует марке F₁600 для обычных бетонов, что выше, чем нормируемые [4, 5] значения (F₁200–F₁400). При этом ни одним из указанных выше нормативных документов не определены требования по режиму ТВО железобетонных стоек, что является важным технологическим условием для обеспечения показателей бетона (морозостойкость, прочность на сжатие). Отсутствует требование по обязательной выдержке после ТВО конструкций стоек при температуре не ниже 5 °С в течение 3-х суток.

Сложившаяся практика и наличие указанных выше разночтений в действующих нормативных документах, а также неполнота их содержания на практике оказывают существенное влияние на качество производимой заводами ЖБИ продукции и, как следствие, на срок их службы. Принимая во внимание значимость железобетонных составляющих ВЛ для обеспечения бесперебойности электроснабжения конечных потребителей, а также наличие современных материалов, повышающих эксплуатационные и прочностные качества бетона, была определена возможность получения оптимальных составов и требований к бетонным смесям для изготовления стоек типа СВ. При этом практическая реализация указанной выше возможности станет основой для разработки предложений по актуализации действующих нормативных документов (включая [5]) в целях создания единых по ГК «Россети» требований и повышения контроля за поставляемой заводами ЖБИ продукции.

Подходы к подбору оптимального состава бетонных смесей для стоек типа СВ

В основу выбора добавок для увеличения долговечности железобетонных вибрированных стоек опор до 50 и более лет были положены разработки НИИЖБ им. А.А. Гвоздева в области технологии изготовления морозостойких бетонов, оценки степени агрессивного воздействия сред и защиты железобетонных конструкций от коррозионных повреждений по СП 28.13330.2017 [9, 15–17].

На основании [12], а также анализа качества выпускаемых для нужд ПАО «Россети Центр» и ПАО «Россети Центр и Приволжье» модифицированных стоек типа СВ и используемой отдельными заводами производителями сырьевой базы (материалов) для получения бетонных смесей в качестве перспективных были определены следующие виды добавок:

- воздухововлекающие добавки, направленные на повышение морозостойкости бетона при сохранении высоких показателей прочности бетона на сжатие и водонепроницаемости;

- полифункциональные модификаторы и пластификаторы нового поколения, позволяющие снижать расход цемента при сохранении высоких показателей прочности бетона на сжатие, водонепроницаемости, морозостойкости, сопротивления коррозионным воздействиям (подходят для изготовления изделий с повышенными требованиями по долговечности, в том числе при использовании заполнителей, содержащих реакционноспособный кремнезем).

С учетом необходимости выпуска добавки в промышленных объемах, наличия сервисной сети и представительств более чем в 75 % субъектах РФ, 100%-ной локализации производства и использования исключительно отечественной компонентной базы были определены следующие перспективные добавки:

- полифункциональная добавка на основе комплекса модифицированных поликарбоксилатных эфиров (амфифильный поликарбоксилат) с добавлением ингибитора щелочной коррозии;

- органо-минеральный модификатор, сочетающий в своем составе хорошо растворимые ингредиенты органического происхождения – химические добавки, идентифицируемые по ГОСТ 24211-2008 [18] как пластификаторы и компоненты неорганического происхождения в виде пуццолановых активных микронаполнителей.

По итогам выполнения пробных замесов бетонных смесей удалось определить оптимальные дозировки в бетонных смесях, позволяющие увеличить воздухововлечение в бетонную смесь на 2–6 %, тем самым получить бетоны с высокой морозостойкостью, в том числе в растворах солей.

С целью снижения трещинообразования в бетоне выполнены пробные замесы с введением рубленного базальтового волокна.

По итогу выполнения пробных замесов были отобраны три перспективных состава бетона (табл. 2), отвечающих следующим критериям:

- подвижность бетонной смеси (осадка конуса) в диапазоне 9–12 см из условия обеспечения технологической удобоукладываемости в форму;

- объем вовлеченного воздуха в диапазоне 4–6 %;

- прочность бетона не менее 39,2 МПа (класс бетона по прочности на сжатие не менее В30).

Для указанных в табл. 2 трех перспективных составов бетонных смесей были изготовлены опытные образцы (кубы, цилиндры, галтели) в целях проведения их испытаний на морозостойкость, водонепроницаемость, прочность на сжатие и осевое растяжение (табл. 3). Для изготовления опытных образцов использовалось сырье (цемент, песок и щебень), полученное от завода-производителя ЖБИ.

Результаты испытания образцов бетонных смесей

В целях обеспечения повышенной морозостойкости бетона при проведении испытаний опытных образцов бетонных смесей был применен «мягкий» режим ТВО, представленный на рис. 1.

Бетонные образцы после ТВО твердели в течение 28 суток в нормальных условиях при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 95 %, после чего были испытаны на прочность при сжатии и осевом растяжении, водонепроницаемость и морозостойкость.

Испытание опытных образцов (кубов $100 \times 100 \times 100$ мм) на сжатие проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012 [19]. По результатам испытаний определено, что прочность бетона на сжатие после ТВО и 28 суток нормального твердения составов опытных образцов изменяется в пределах от 49,5 до 59,8 МПа в зависимости от состава, что со-

Таблица 2

Table 2

Составы бетонных смесей, отобранные для дальнейших испытаний
Concrete mix compositions selected for further testing

№ состава (маркировка)	Вид добавки	Осадка конуса, см	Плотность бетонной смеси, кг/м ³	Объем вовлеченного воздуха, %	В/Ц*	$R_{сж}^{**}$ после ТВО, МПа
№ 9 (9/20/4)	Амфифильный поликарбоксилат	9	2360	4,9	0,30	52,6
№ 11 (5/18/1)	Органо-минеральный модификатор + суперпластификатор + воздухововлекающая	9	2340	3,9	0,41	49,4
№ 12 (10/21/3)	Амфифильный поликарбоксилат + фибра	10	2360	5,0	0,34	47,0

Примечание:

*В/Ц – водоцементное отношение;

** $R_{сж}$ – прочность на сжатие.

Таблица 3

Table 3

Опытные образцы по трем выбранным составам бетонных смесей
Samples for three selected concrete mix compositions

Наименование и размеры образцов, мм	Количество образцов, шт. (на каждый состав)	Вид испытаний
Кубы 100 × 100 × 100	3	Прочность при сжатии, $R_{сж}$ (после ТВО*)
Кубы 100 × 100 × 100	3	Прочность при сжатии, $R_{сж}$ (ТВО + 28 сут.)
Кубы 100 × 100 × 100	18	Морозостойкость (F_2)
Цилиндры $h150 \times 150d$	6	Водонепроницаемость (W)
Галтели 490 × 70	3	Прочность при осевом растяжении, R_t

ответствует классам по прочности на сжатие $B_{ф}39,6$ – $B_{ф}47,8$ (табл. 4).

Прочность бетона опытных образцов на осевое растяжение, R_t , при масштабном коэффициенте $\beta = 0,85$ по ГОСТ 10180-2012 [19], находится в пределах 2,2–3,5 МПа (табл. 4). Таким образом, разработанные бетоны составов № 11, 12 и 9 удовлетворяют требованиям по классу прочности при сжатии не менее В30.

Водонепроницаемость бетонов опытных образцов определена прямым методом в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.5-2018 [20]. По результатам испытаний бетоны состава № 11 характеризуются маркой по водонепроницаемости W16, составов № 12 и 9 – W18, что значительно превышает действующие требования [4, 5] по водонепроницаемости бетона на уровне W8.

Морозостойкость бетонов была определена по ускоренному третьему методу по ГОСТ 10060-2012 [15] в климатической камере тепла и холода. Образцы оттаивали в ванне для оттаивания бетонных образцов согласно требованиям указанного стандарта (рис. 2).

На рис. 3 приведена циклограмма фактического режима замораживания и оттаивания перспективных образцов по контролю изменения температуры раствора 5%-ного хлорида натрия, согласно которой экспериментальный режим ЦЗО проведен строго в соответствии с требованиями ГОСТ 10060-2012 [15] как в части продолжительности, так и в части соблюдения температурного режима. Заштрихованная область на графике указывает допустимые границы ЦЗО по температуре датчика в растворе в соответствии с ГОСТ 10060-2012 [15].

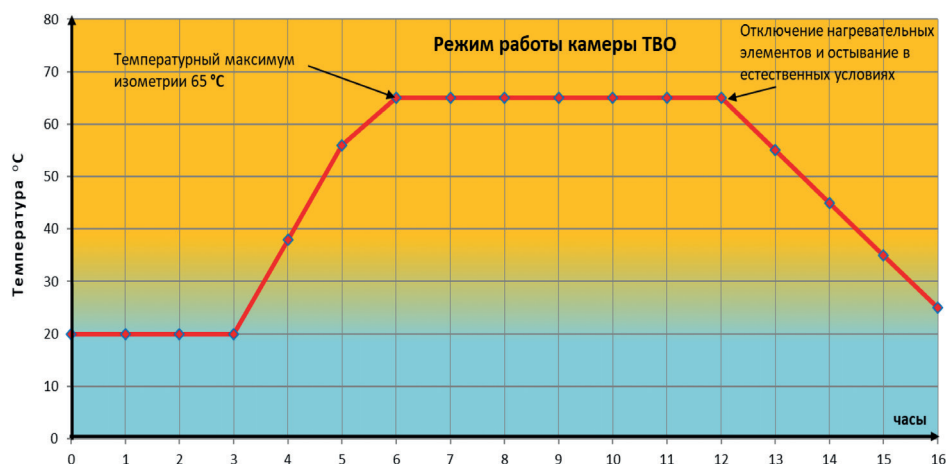


Рис. 1. Циклограмма принятой ТВО перспективных составов бетонных смесей (скорость подъема температуры в диапазоне от 20 до 65 °С не превышала 15 °С/ч, выдержка образцов в закрытой камере после завершения стадии изотермии – не менее 2 ч)

Fig. 1. Cyclogram of the accepted heat and humidity treatment of promising concrete mixtures (the rate of temperature rise in the range from 20 to 65 °C did not exceed 15 °C/h, samples were kept in a closed chamber after completion of the isothermal stage for at least 2 hours)

Таблица 4

Table 4

Результаты проведения испытаний опытных образцов
Test results of the samples

№ состава (маркировка)	Плотность, бетона, кг/м ³ (ТВО + 28 суток)	Объем вовлеченного воздуха, %	Фактический класс бетона, В _ф	Прочность на сжатие (ТВО + 28 суток), R _{сж} , МПа	Марка бетона по водонепроницаемости	Марка бетона по морозостойкости	Прочность на осевое растяжение, R _т , МПа
№ 9 (9/20/4)	2422,7	4,9	В _ф 45	56,4	W18	F ₂ 200	3,4
№ 11 (5/18/1)	2261,9	3,9	В _ф 42	49,5	W16	F ₂ 150	2,2
№ 12 (10/21/3)	2412,3	5,0	В _ф 47	59,8	W18	F ₂ 150	3,5



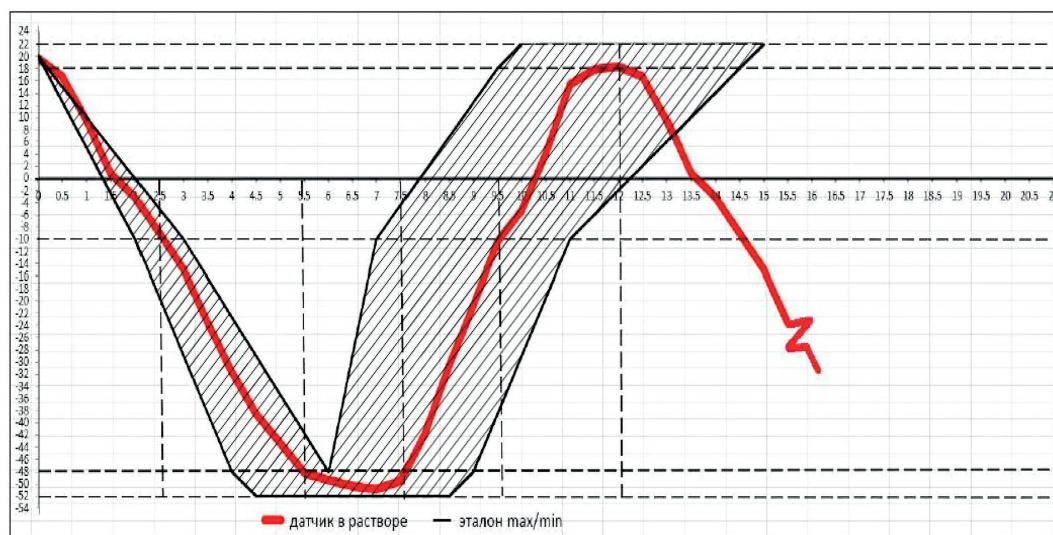
а (a)



б (b)

Рис. 2. а – Определение морозостойкости бетона в климатической камере тепла/холода Discovery DY 1600C;
б – оттаивание образцов в ванне с раствором 5%-ного хлорида натрия

Fig. 2. а – Determination of the frost resistance of concrete in the Discovery DY 1600C heat/cold climate chamber;
б – thawing of samples in a bath with a 5 % sodium chloride solution



Режим по Изменению № 1 ГОСТ 10060-2012 [15]

Продолжительность, ч	(2–3)	(2–3)	(2–3)	(1–2)	(2,5–3,5)
Температурный режим, °C	От +20 до -10	От -10 до -50	Выдержка при -50	От -50 до -10	От -10 до +20

Экспериментальный режим

Продолжительность, ч	(2,5)	(3,0)	(2,0)	(2,0)	(2,5)
Температурный режим, °C	От +20 до -10	От -10 до -50	Выдержка при -50	От -50 до -10	От -10 до +20

Рис. 3. Температурный режим ЦЗО. Оттаивание в условиях полного погружения емкостей с образцами в ванну для оттаивания с раствором 5%-ного хлорида натрия

Fig. 3. The temperature regime of the cyclic freezing and thawing. Thawing under conditions of complete immersion of the containers with samples to a thawing tub with a 5 % sodium chloride solution

Согласно результатам испытаний (табл. 5) можно заключить, что наилучшие показатели по морозостойкости достигаются на перспективном составе № 9 – F₂200. Для перспективных составов № 11 и 12 удалось достичь результата по морозо-

стойкости на уровне не выше F₂150. Образцы после испытаний внешних дефектов не имели.

Обобщая изложенное выше, можно заключить, что экспериментальные составы № 9 и 12 показали близкие результаты по всем контролируемым пара-

Таблица 5

Table 5

Результаты испытаний перспективных образцов бетонных смесей на морозостойкость
Frost resistance test results for promising samples of concrete mixtures

№ состава (маркировка)	Проектируемая марка бетона по морозостойкости	Выполнение критерия по п. 5.2.4.3 ГОСТ 10060-2012 [15]	Фактическая марка бетона по морозостойкости
№ 9 (9/20/4)	F ₂ 150	Соотношение сохраняется (50,0 ≥ 45,8)	F ₂ 200
	F ₂ 200	Соотношение сохраняется (46,6 ≥ 45,8)	
№ 11 (5/18/1)	F ₂ 150	Соотношение сохраняется (34,5 ≥ 32,1)	F ₂ 150
	F ₂ 200	Соотношение не сохраняется (30,3 ≤ 32,1)	
№ 12 (10/21/3)	F ₂ 150	Соотношение сохраняется (47,3 ≥ 46,4)	F ₂ 150
	F ₂ 200	Соотношение не сохраняется (43,0 ≤ 46,4)	

метрам. Недостатком экспериментального состава бетона № 11 является самый низкий показатель фактического класса бетона $B_{ф}$, прочности на осевое растяжение R_t и марки по водонепроницаемости среди трех исследуемых составов.

Экспериментальный состав № 9 позволил достичь наилучших показателей на морозостойкость (F_{200}), в то время как указанный показатель для составов № 11 и 12 не превысил уровня F_{2150} .

Как следствие, в качестве перспективного состава бетонных смесей для изготовления опытных образцов стоек СВ был определен состав № 9.

Выводы

Проведенные исследования по определению перспективных составов бетонных смесей позволили определить перспективный состав, позволяющий повысить эксплуатационные и прочностные качества железобетонных вибрированных стоек типа СВ и, как следствие, срок их службы до 50 лет и более.

Повышение эксплуатационных и прочностных качеств стоек типа СВ достигается за счет внесения в состав бетона полифункциональной добавки на основе комплекса модифицированных поликарбоксилатных эфиров (амфифильный поликарбоксилат) с добавлением ингибитора щелочной коррозии. При этом добавка является полностью отечественной разработкой и может поставляться в промышленных масштабах на заводы ЖБИ России.

На основании полученных показателей оптимального состава бетонной смеси специалистами АО «Россети Научно-технический центр» была разработана конструкторская документация на стойки опор СВ 95-3,5, СВ 110-5 и СВ 110-7 для целей изготовления и проведения механических испытаний опытных образцов стоек, по итогам проведения которых планируется инициировать процесс гармонизации и корректировки действующих нормативно-технических документов.

Список литературы

1. ТУ 5863-007-00113557-94. Стойки железобетонные вибрированные для опор ВЛ 0,4...10 кВ. Технические условия. Москва: АО «РОСЭП», 1994.
2. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. Москва, 2020.
3. Положение «О единой технической политике в электросетевом комплексе». Утверждено Советом директоров ПАО «Россети» (протокол от 20.10.2022 № 592).
4. ТУ 5863-007-96502166-2016. Стойки железобетонные вибрированные для опор напряжением 0,4...10 кВ. Технические условия. Москва: АО «НТЦ ФСК ЕЭС», 2016.
5. СТО 34.01-2.2-035-2018. Железобетонные стойки для опор ВЛ 0,4-35 кВ. Общие технические условия. ПАО «Россети», 2018.

6. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Москва: Российский институт стандартизации, 2015.
7. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
8. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Москва: Российский институт стандартизации, 1993.
9. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. Москва: ФГБУ «РСТ», 2022.
10. ГОСТ 22266-94. Цементы сульфатостойкие. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2006.
11. ГОСТ 22266-2013. Цементы сульфатостойкие. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014.
12. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
13. ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия. Москва: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС), 2004.
14. ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
15. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Москва: Российский институт стандартизации, 2012.
16. Научно-технический отчет «Рекомендации по увеличению долговечности опор ВЛ 0,4-35 кВ на железобетонных вибрированных стойках». Москва: ГУП НИИЖБ, 2000. 52 с.
17. Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Анализ методов определения морозостойкости бетона // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023. № 3 (38). С. 128–142. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-128-142](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-128-142)
18. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2010.
19. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ, 2013.
20. ГОСТ 12730.5-2018. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости. Москва: Стандартинформ, 2019.
21. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. Москва: Стройиздат, 1990. 320 с.

References

1. ТУ 5863-007-00113557-94. Vibrated reinforced concrete racks for overhead line supports of 0.4...10 kV. Technical specifications. Moscow: ROSEP JSC, 1994. (In Russian).

2. SP 131.13330.2020. Building climatology. Updated version of SNiP 23-01-99*. Moscow, 2020. (In Russian).
3. The Regulation "On the unified technical policy at the electric grid complex". Approved by the Board of Directors of PJSC ROSSETI (Protocol No. 592 dated 10/20/2022). (In Russian).
4. TU 5863-007-96502166-2016. Vibrated reinforced concrete racks for supports with a voltage of 0.4...10 kV. Technical specifications. Moscow: JSC "STC FGC UES", 2016. (In Russian).
5. STO 34.01-2.2-035-2018. Reinforced concrete racks for overhead line supports of 0.4-35 kV. General technical conditions. PJSC ROSSETI, 2018. (In Russian).
6. State Standard 26633-2015. Heavy-weight and sand concretes. Specifications. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2015. (In Russian).
7. State Standard 8736-2014. Sand for construction works. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
8. State Standard 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications. Moscow: Russian Institute of Standardization, 1993. (In Russian).
9. SP 28.13330.2017. Protection against corrosion of construction. Updated version of SNiP 2.03.11-85. Moscow: "FSBI RST", 2022. (In Russian).
10. State Standard 22266-94. Sulphate-resistant cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2006. (In Russian).
11. State Standard 22266-2013. Sulphate-resistant cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
12. State Standard 10178-85. Portland cement and portland blastfurnace slag cement. Specifications. (In Russian).
13. State Standard 31108-2003. General structural Portland clinker cements. Specifications. Moscow: Interstate Scientific and Technical Commission for Standardization, Technical Regulation and Certification in Construction (ISTCC), 2004. (In Russian).
14. State Standard 26633-91. Heavy-weight and sand concretes. Specifications. (In Russian).
15. State Standard 10060-2012. Concretes. Methods for determination of frost-resistance. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2012. (In Russian).
16. Scientific and technical report "Recommendations for increasing the durability of 0.4-35 kV overhead line supports on vibrated reinforced concrete racks". Moscow: SUE NIIZHB, 2000, 52 p. (In Russian).
17. Rozental N.K., Chekhni G.V. Analysis of test methods for frost resistance of concrete. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023, no. 3 (38), pp. 128–142. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-128-142](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-128-142)
18. State Standard 24211-2008. Admixtures for concretes and mortars. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2010. (In Russian).
19. State Standard 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standartinform Publ., 2013. (In Russian).
20. State Standard 12730.5-2018. Concretes. Methods for determination of water tightness. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
21. Alekseev S.N., Ivanov F.M., Modry S., Shissl P. Durability of reinforced concrete in aggressive environments. Moscow: Stroyizat Publ., 1990, 320 p. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Валерий Викторович Микрюков, руководитель дирекции по инновационной деятельности и импортозамещению, ПАО «Россети Центр», Москва
Valery V. Mikryukov, Head of the Directorate for Innovation and Import Substitution, PJSC Rosseti Center, Moscow

Александр Александрович Пацев, главный специалист дирекции по инновационной деятельности и импортозамещению, ПАО «Россети Центр», Москва
Aleksandr A. Patsev, Chief Specialist of the Directorate for Innovation and Import Substitution, PJSC Rosseti Center, Moscow

Андрей Николаевич Зайцев, начальник управления технологического развития и цифровизации филиала «Тулэнерго», ПАО «Россети Центр и Приволжье», Тула
Andrey N. Zaitsev, Head of the Department of Technological Development and Digitalization of the Tulenergo branch, PJSC Rosseti Center and the Volga Region, Tula

Андрей Викторович Бучкин, канд. техн. наук, заместитель директора по производственной работе, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
Andrey V. Buchkin, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Director for Production Work, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Галина Васильевна Чехний, канд. техн. наук, заведующий сектором лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
Galina V. Chekhni, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Sector of the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Александр Сергеевич Мурачев[✉], начальник управления инновационного развития и энергоэффективности, АО «Россети Научно-инжиниринговый центр», Москва

e-mail: Murachev_AS@ntc-power.ru

Alexander S. Murachev[✉], Head of the Department of Innovative Development and Energy Efficiency, JSC Rosseti Scientific and Engineering Center, Moscow

e-mail: Murachev_AS@ntc-power.ru

Алексей Васильевич Демин, главный эксперт управления инновационного развития и энергоэффективности, АО «Россети Научно-инжиниринговый центр», Москва

Alexey V. Demin, Chief Expert of the Department of Innovative Development and Energy Efficiency, JSC Rosseti Scientific and Engineering Center, Moscow

Владимир Викторович Князев, главный научный сотрудник управления организации научно-технического совета, АО «Россети Научно-технический центр», Москва

Vladimir V. Knyazev, Chief Researcher of the Scientific and Technical Council Organization Department, JSC Rosseti Scientific and Technical Center, Moscow

Олег Александрович Савотин, начальник департамента инновационной деятельности филиала СибНИЭ, АО «Россети Научно-технический центр», Новосибирск

Oleg A. Savotin, Head of the Department of Innovation Activities of the SibNIE branch, JSC Rosseti Scientific and Technical Center, Novosibirsk

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author