

# Бетоны и технологии для строительства зданий и сооружений в Арктической зоне

**Вячеслав Рувимович ФАЛИКМАН**, доктор материаловедения, руководитель Центра научно-технического сопровождения сложных объектов строительства, e-mail: vfalikman@yandex.ru

**Валентина Федоровна СТЕПАНОВА**, доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией коррозии бетона и долговечности железобетонных конструкций, e-mail: vfstepanova@mail.ru

**Галина Васильевна ЧЕХНИЙ**, кандидат технических наук, зав. сектором коррозии бетона, e-mail: chehniy@mail.ru  
НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 109428 Москва, 2-я Институтская ул., 6, стр. 5

**Аннотация.** В настоящее время в арктических и субарктических регионах проводятся мероприятия по возведению социальной инфраструктуры, аэродромов и обслуживающих их объектов, а также автономных жилых комплексов. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ инициировало разработку новых нормативных документов для строительства за полярным кругом, базой для которых станут проводимые научные исследования. В статье анализируются параметры, влияющие на срок службы бетонных и железобетонных конструкций в условиях Арктики, и приводятся примеры создания коррозионностойких бетонов и долговечных конструкций для неблагоприятных природных условий эксплуатации в суровых климатических условиях Крайнего Севера. Показано, что с целью обеспечения эффективности строительства в Арктической зоне необходима актуализация нормативных документов по полному жизненному циклу в части, связанной с проектированием, с требованиями к материалам, с технологией строительства и, наконец, с обследованием и ремонтом.

**Ключевые слова:** Арктическая зона, пути развития, бетоны и технологии, долговечность, техническое регулирование.

## ADVANCED CONCRETE AND TECHNOLOGIES FOR CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND FACILITIES IN THE ARCTIC ZONE

**Vyacheslav R. FALIKMAN**, e-mail: vfalikman@yandex.ru

**Valentina F. STEPANOVA**, e-mail: vfstepanova@mail.ru

**Galina V. CHEKHNIY**, e-mail: chehniy@mail.ru

JSC Research Center of Construction, NIIZHB named after A. A. Gvozdev, 2-ya Institutskaya ul., 6, korp. 5, Moscow 109428, Russian Federation

**Abstract.** Today, in the Arctic and sub-Arctic regions, measures are being taken to build social infrastructure, airfields and facilities serving them, as well as autonomous residential complexes. The Ministry of Construction of the Russian Federation has initiated the development of new regulatory documents for construction in the Arctic Circle, the basis for which will be the ongoing scientific research. The article analyzes the parameters that affect the service life of structural concrete in the Arctic, and provides examples of corrosion-resistant concrete and durable structures creating for unfavorable natural operating conditions in the harsh climatic conditions of the North. It is shown that in order to ensure the efficiency of construction in the Arctic, it is necessary to update regulatory documents for the full life cycle in terms of design, material requirements, construction technology, and, finally, inspection and repair.

**Key words:** Arctic zone, development trends, concrete and technologies, durability, technical regulation.

**В** Арктической зоне России площадью около 9 млн км<sup>2</sup> проживает 2,5 млн человек, что составляет менее 2 % населения страны и около 40 % населения мировой Арктики. В Эвенкии и на Таймыре показатель населения составляет всего лишь 1–2 человека на 30 км<sup>2</sup>.

В нашей стране в Арктической зоне создан самый мощный индустриальный слой, а масштабы хозяйственной деятельности значительно превосходят показатели

других полярных стран. В Арктике создается 15 % ВВП страны, обеспечивается около четверти экспорта России. Здесь беспрецедентно высока доля добавленной стоимости добывающих отраслей и предприятий, которая составляет 60 % (например, в Гренландии, Норвегии, Швеции, Финляндии, Исландии – не более 15 %; на Аляске и в арктической Канаде – около 30 %). Две трети общего богатства Арктики создается в России [1].

Сегодня в арктических и субарктических регионах проводятся мероприятия по возведению социальной инфраструктуры, аэродромов и обслуживающих их объектов, а также автономных жилых комплексов. По состоянию на 2017 г. введено в эксплуатацию 425 объектов. Министерством обороны РФ в условиях Крайнего Севера, в Арктике, построено свыше 770 зданий и сооружений военной инфраструктуры общей площадью более 1400 тыс. м<sup>2</sup>, в

том числе с использованием инновационных технологий возведено 590 объектов общей площадью более 720 тыс. м<sup>2</sup> [1].

В соответствии с принятой Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г. здесь планировалось построить шесть военных городков, 13 аэродромов, наземный авиационный полигон, 10 технических позиций для радиолокационных станций и пунктов наведения авиации [1].

Ни одна страна мира не осуществляла подобное масштабное строительство. К этому следует добавить, что освоение месторождений нефти и газа на континентальном шельфе Северного Ледовитого океана является важнейшей народно-хозяйственной задачей, определяющей развитие топливно-энергетического комплекса всей страны.

Таким образом, строительство в Арктике сильно диверсифицировано и включает в себя как объекты гражданского и промышленного строительства, так и развитие инфраструктуры, возведение специальных сооружений, магистральных трубопроводов и т. д. Все это требует разработки и применения эффективных бетонов заданной функциональности, поскольку бетон и железобетон по-прежнему остаются в числе главных строительных материалов.

Для Арктической зоны характерны экстремальные природные условия: низкая в течение всего года температура, длительная полярная ночь и длительный полярный день, частые магнитные бури, сильные ветры и метели, плотные туманы, однообразные арктические пустыни и тунды, вечная мерзлота; высокая, значительно опережающую среднемировую, динамика изменений климата в последние десятилетия. Природная экстремальность усиливается негативным действи-

ем социально-экономических факторов — транспортной недоступностью, высокими производственными издержками и стоимостью жизни, неразвитостью экономики и тенденциями к ее монополизации, изолированностью и дисперсностью расселения.

Доля транспортных издержек в конечной стоимости продукции Арктической зоны доходит до 60 % (в среднем по стране 10 %). Жизнеобеспечение населения и хозяйственная деятельность определяющим образом зависят от поставок топлива, продовольствия, промышленных товаров по трассе Северного морского пути в ограниченный период полярной навигации. Экстремальность природных условий обязывает повсеместно в арктических городах и поселках создавать местные системы резервирования и страхования, а также обеспечивать минимальную материалоемкость любого производства, включая сферу строительства.

Возведение объектов в таких условиях осложняется огромной удаленностью от мест производства большинства строительных материалов и конструкций. Зачастую строительство ведется на островах, и для сооружения объектов все строительные материалы завозятся с материка. Для их доставки используются три типа транспортировки генеральных грузов и инертных материалов: автомобильный, железнодорожный и водный. При этом доставка возможна только во время летней навигации — всего 4–5 мес в году.

Современное освоение Российской Арктики показало, что строительство за полярным кругом нуждается в особых правилах. Сегодня строители вынуждены пользоваться документами, которые не отвечают ни техническим новациям, ни изменившемуся климату Крайнего Севера, который продолжает понемногу те-

плять. Именно поэтому Минстрой России инициировал разработку новых правил строительства за полярным кругом, базой для которых станут проводимые научные исследования.

Условно можно выделить несколько основных факторов, влияющих на срок службы бетонных и железобетонных конструкций в арктическом регионе:

- параметры окружающей среды (максимальные значения давления/нагрузки), создаваемые воздействием льда на конструкцию;
- максимальные параметры гидродинамического демпфирования (вибрации от ледовой нагрузки);
- тепловые характеристики бетона;
- сейсмическое районирование;
- физико-технические характеристики бетона (прочность, его объемная масса, структура бетона, сопротивляемость замораживанию и оттаиванию, устойчивость к истерианию, проницаемость по отношению к воде и газам, сульфатостойкость, диффузионные ограничения и допустимые концентрации хлорид-иона и др.);
- технологические параметры (оптимальный состав смеси, особенности приготовления, транспортирования, укладки и ухода за бетоном и т. п.);
- конструктивные особенности (уровень пластичности/деформативности конструкции, степень армирования, использование фибры, в том числе полимерной, состояние арматуры и т. д.);
- вторичная защита и обслуживание в процессе эксплуатации (использование полимеров для пропитки бетона с целью повышения прочности и снижения проницаемости; покрытия для уменьшения адгезии льда; защита от деградации при замерзании и оттаивании в заполненных водой трещинах; выбор ремонтных материалов и пр.).

По опыту работы Скандинав-

ских стран, в Арктической зоне стандартным бетоном для морских платформ, например, является бетон класса прочности при сжатии В70, который соответствует эмпирической скорости истирания в 0,05 мм/км при общем нормальном давлении льда 1 МПа. Фактическая скорость истирания при этом составляет 0,025 мм/км. Теоретическая глубина истирания приведет к потере 350 мм через 20 лет без каких-либо мер защиты. В дорожном строительстве используются бетоны с водовяжущим отношением 0,35–0,45, изготавляемые с применением высокоэффективных поликарбоксилатных суперпластификаторов и с воздухововлекающими (газообразующими) добавками.

Российский опыт технических обследований, лабораторных и натурных испытаний бетонов и конструкций показывает, что имеется реальная возможность создания долговечных конструкций для самых неблагоприятных природных условий эксплуатации в суровых климатических условиях Крайнего Севера [2].

Наши исследованиями установлено, что совместное применение эффективных суперпластификаторов с активной минеральной добавкой микрокремнезема способствует:

- уменьшению скорости поглощения сульфат-ионов цементно-песчаным раствором на сульфатстойком портландцементе в 5 раз и на среднеалюминатном портландцементе – в 2 раза;
- повышению коэффициента стойкости бетона на высокоалюминатном портландцементе в 2 раза;
- уменьшению деформации расширения в 1,5–3 раза;
- получению бетона марок по водонепроницаемости W16 и выше, что положительно оказывается на его коррозионной стойкости.

Исследования [3] показали,

#### *1. Диффузия хлоридов в бетоне, содержащем микрокремнезем и суперпластификатор*

В/Ц	Коэффициент диффузии, м <sup>2</sup> /с		
	13 дн	44 дн	354 дн
0,254	5,52·10 <sup>-12</sup>	3,68·10 <sup>-12</sup>	0,596·10 <sup>-13</sup>
0,292	10,67·10 <sup>-12</sup>	4,01·10 <sup>-12</sup>	0,815·10 <sup>-13</sup>
0,332	10,3·10 <sup>-12</sup>	4,67·10 <sup>-12</sup>	0,744·10 <sup>-13</sup>

что одновременное использование таких многофункциональных химических добавок позволяет получать бетоны с очень низкой проницаемостью, предотвращая накопление хлоридов в опасном количестве в зоне расположения арматуры. Некоторые результаты испытаний бетона, содержащего микрокремнезем и суперпластификатор, представлены в табл. 1. Полученные данные позволяют констатировать, что железобетонные конструкции, предназначенные для морской среды, полностью защищены от хлоридной коррозии благодаря правильному сочетанию толщины защитного слоя и низкого коэффициента диффузии/проницаемости бетона.

Активные минеральные добавки (АМД) интенсивно используются в последние годы в современной технологии бетона, обеспечивая снижение его стоимости, повышение долговечности, сокращение термоусадочных деформаций и выполняя требования концепции устойчивого развития, прежде всего, с точки зрения уменьшения уровня выбросов парниковых газов и снижения энергоемкости [4]. Следует подчеркнуть, что оптимизация гранулометрического состава бетона позволяет сократить долю цемента без потери прочности. В этой связи водовяжущее отношение играет более важную роль, чем В/Ц отношение.

Это предопределяет необходимость внесения дополнений и изменений в ряд отечественных стандартов с введением важного

директивного принципа — концепции k-фактора, детально описанной в EN 206:2013 для золыуноса, микрокремнезема и тонкокомолотого гранулированного доменного шлака.

Концепция k-фактора основана на сравнении параметров долговечности и эксплуатационных характеристик (или прочности в качестве косвенного критерия, где это уместно и допустимо) эталонного бетона на основе цемента с испытуемым бетоном, в котором часть цемента заменена добавкой. Она позволяет учитывать особенности применения добавки типа II путем замены термина «водоцементное отношение» на соотношение вода/(цемент + k × добавка). При этом количество вяжущего (цемент + k × добавка) не должно быть меньше требуемого минимального содержания цемента для соответствующего класса эксплуатации.

Современная практика строительства ответственных сооружений показывает, что при расходе цемента на уровне 230 кг/м<sup>3</sup> с применением АМД можно получать бетоны с низкой экзотермиею (В60, Р6, В10) из самоуплотняющихся смесей. Среднее значение эффективного коэффициента диффузии углекислого газа в бетоне при этом составляет 0,0189·10<sup>-4</sup> см<sup>2</sup>/с, что соответствует бетонам особо низкой проницаемости по ГОСТ 31383–2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний» (эффективный коэффициент диффузии CO<sub>2</sub> D` < 0,04·10<sup>-4</sup> см<sup>2</sup>/с).

Арматура в таком бетоне, как показано нашими исследованиями, находится в устойчивом пассивном состоянии.

В отношении бетона железобетонных конструкций для условий севера в специальном и гидротехническом строительстве должны быть установлены повышенные требования по морозостойкости (до марки по морозостойкости F<sub>2500</sub>–F<sub>2600</sub>) в зависимости от условий эксплуатации, что предопределяет необходимость применения специальных комплексных модификаторов бетона (ПФМ). Введение ПФМ увеличивает общее воздухосодержание бетонной смеси до 4–6 %, при этом объем условно-замкнутых пор в бетоне (величина А) составляет 3–4 %, фактор расстояния (величина L) не превышает 0,25 мм. При применении заполнителей и цементов, не вполне отвечающих требованиям стандартов, необходимы обосновывающие исследования по ГОСТ 26633–2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия». В этом случае испытания морозостойкости бетона следует проводить, достигая ее критических значений.

Следует подчеркнуть, что для испытаний бетонов, в том числе высокопрочных и особо высокопрочных, предназначенных для арктических условий эксплуатации, необходимо дополнительно разработать метод определения морозостойкости для температуры –55...–65 °С с последующим внесением изменений в ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости».

Разработанные составы особо высокопрочных тяжелых и мелкозернистых быстротвердеющих бетонов с прочностью при сжатии в возрасте 1 сут не менее 50 МПа и в возрасте 28 сут не менее 80 МПа, а в большинстве случаев — на уровне 100–120 МПа, позволяют осуществлять проек-

тирование конструкций при значительном снижении их материальноемкости с использованием традиционного расчетного аппарата, как для обычных бетонов [5]. Выявленные повышенные показатели морозостойкости и водонепроницаемости особо высокопрочных быстротвердеющих бетонов (морозостойкость превышает марку F<sub>1600</sub>, водонепроницаемость — марку W20) дают возможность рекомендовать их для изготовления строительных конструкций и строительства сооружений, подвергающихся в процессе эксплуатации интенсивным механическим нагрузкам и агрессивным химическим и климатическим воздействиям.

Проведенные исследования [6] выявили возможность получения высокопрочного керамзитобетона с прочностью на уровне 40 МПа и плотностью в сухом состоянии 1,4 кг/дм<sup>3</sup>. Одновременно определены критерии отнесения легких бетонов к высокопрочным по показателям прочности при сжатии и плотности бетона в сухом состоянии, которые должны быть использованы при актуализации соответствующих нормативных документов.

Бетонирование при низких температурах следует выполнять с учетом уточненных требований СП 70.13330.2012 «СНиП 3.03.01–87 Несущие и ограждающие конструкции».

В качестве ненапрягаемой стержневой арматуры железобетонных конструкций рекомендуется использовать арматуру периодического профиля с пределом текучести не менее 500 МПа. При приготовлении бетонной смеси следует использовать цементы, состав которых должен обеспечивать требования к бетону с учетом условий эксплуатации и технологии производства работ на площадке строительства.

Бетонные и железобетонные конструкции сооружений допус-

кается рассчитывать по требованиям СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», при этом принимая во внимание уточненные значения прочностных и деформационных характеристик бетона и арматуры, а также коэффициента линейной температурной деформации.

При расчете конструкций на аварийные воздействия значения прочностных и деформационных характеристик бетона и арматуры следует выбирать по второй группе предельных состояний.

Бетонирование конструкций в арктических условиях необходимо производить только по специально разработанным технологическим картам, в которых должны быть приведены:

- требования к бетонам (класс прочности, марка по морозостойкости, водонепроницаемости и другие специальные свойства);
- вид конструкций, температура окружающей среды;
- необходимая прочность бетона к концу выдерживания и моменту распалубливания;
- особенности технологии приготовления и транспортирования бетонной смеси, обеспечивающие получение заданной температуры этой смеси при выгрузке из бетоносмесителя и на месте ее укладки в конструкцию;
- способы и температурно-влажностные режимы выдерживания бетона;
- данные о материале опалубки с указанием теплоизоляционных показателей, о пароизоляционных и теплоизоляционных материалах для укрытия неопалубленных поверхностей бетона и при необходимости опалубки;
- потребность энергии, воды, пара, оборудования и специальных материалов;
- схема размещения скважин и устройств для измерения температуры бетона;

- при применении электротермообработки бетона дополнительно указывается схема размещения и подключения электродов или электронагревателей, требуемые электрическая мощность, напряжение и сила тока, тип понижающего трансформатора, сечение и длина проводов;
- сроки и порядок распалубливания и загружения конструкций;
- особенности техники безопасности при производстве работ;
- наличие местных ресурсов (доступность пресной воды, заполнителей, временного обеспечения положительной температурой и т. д.);
- условия транспортировки материалов от материка до объекта.

Критическая прочность бетона монолитных конструкций и монолитной части сборно-монолитных конструкций к моменту возможного замерзания или охлаждения ниже расчетной температуры должна быть приведена в проекте производства работ или в технологической карте. Под критической прочностью понимают прочность бетона, после достижения которой бетон может быть заморожен без снижения его прочности и других показателей в процессе последующего твердения после оттаивания.

Условия и период, по истечении которого допускается замерзание бетона в транспортных и массивных гидротехнических сооружениях, должны уточняться в проекте производства работ с учетом требований на проектирование и возведение этих сооружений.

Подбор составов бетона для арктического строительства осуществляется любыми проверенными на практике и принятыми способами. Наряду с этим рекомендуется учитывать, что бетоны, подвергнутые электротермообработке при жестких режимах, недостаточной защите от влагопотерь, отсутствий добавок и т. п., к

28-суточному возрасту после прогрева могут иметь недобор прочности до 10 %. В случае необходимости получения проектной прочности бетона в установленный срок допускается увеличивать класс бетона против проектного или применять другие способы выдерживания. Водоцементное отношение (В/Ц) бетонной смеси назначают не более 0,45, а для бетонов с повышенными требованиями по морозостойкости ( $F_1 > 500$ ) – не более 0,35.

Особенности приготовления бетонной смеси в суровых арктических условиях должны быть отражены в специальном технологическом регламенте, где будут учтены требования к температуре воды и заполнителя, продолжительности перемешивания бетонной смеси с учетом длительности ее транспортирования, а также другие условия сохранения первоначальной удобоукладываемости смеси, однородности и заданной температуры на месте ее укладки.

Важное значение при строительстве в Арктике приобретает высокопрочный легкий бетон. Снижение материалоемкости и массы строительных конструкций без потери их несущей способности и других эксплуатационных свойств – один из основных факторов повышения эффективности строительства, включая повышение энергоэффективности, крайне важное в арктических условиях. Кроме того, при строительстве на шельфе из-за мелководья вдоль маршрутов буксировки от места изготовления до места установки сборные конструкции для транспортировки должны, в идеале, обладать определенной плавучестью.

С целью обеспечения требуемой прочности бетона в предельно сжатые сроки (не более 3 сут) с минимальными материальными затратами на месте изготовления рекомендуется использовать ин-

тенсивную технологию производства бетонных смесей и бетонов, основанную на применении готовых модифицированных сухих смесей с повышенным энергетическим потенциалом [7].

Последовательность приготовления бетонных смесей в этом случае также имеет свои особенности, в частности:

- изготовление на материке сухих смесей, включающих все необходимые компоненты;
- упаковка смесей в герметичные мягкие контейнеры (типа «биг-бэга») или в мелкообъемную тару;
- доставка упакованных смесей на объект морским транспортом;
- затворение доставленных на объект сухих смесей водой, которая может быть получена при оттаивании снега и льда, в смесителях принудительного действия.

При обосновании обязательного использования эффективных ускорителей твердения и противоморозных добавок с прогнозируемым снижением пассивирующей способности бетона по отношению к обычной стальной арматуре, потребуется использование специальной коррозионностойкой или неметаллической композитной арматуры.

Для обеспечения эффективности строительства в Арктике необходима актуализация нормативных документов по полному жизненному циклу в части, связанной с проектированием, с требованиями к материалам и технологиям строительства и, наконец, с обследованием и ремонтом. Роль нормативной базы, как правило, состоит в упрощении и повышении надежности проектирования, согласования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Одной из успешных практик является формирование нормативной базы в процессе и на опыте реализации pilotных проектов, чем отличается, например, работа ряда технических комите-

тов Американского института бетона (ACI). Показателен также опыт разработки норвежских стандартов, которые регламентируют уровень безопасности сооружений, максимальные вероятности наступления событий, однако способы реализации и обоснования требуемых вероятностей жестко не закреплены, допускают определенную гибкость в выборе схемы строительства.

В 2020 г. разработаны пять новых сводов правил, касающихся требований к инженерным изысканиям, правилам проектирования и строительства, обследования технического состояния и эксплуатации зданий на многолетнemerзлых грунтах. Можно полагать, что это только начало большой работы.

Применительно к бетону и железобетону в ближайшее время следует уточнить или разработать актуальные положения в сводах правил СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии», СП 70.13330.2012 (2017) «Несущие и ограждающие конструкции», СП 72.13330.2016 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии», СП 349.1325800.2017 «Конструкции бетонные и железобетонные. Правила ремонта и усиления», а также ряда основополагающих стандартов: ГОСТ 7473–2010 «Смеси бетонные. Технические условия», ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия», ГОСТ 25192–2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования», ГОСТ 25820–2014 «Бетоны легкие. Технические условия», ГОСТ 26633–2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия», ГОСТ 27006–2019 «Бетоны. Правила подбора состава», ГОСТ 27751–2014 «Надежность

## 2. Рекомендуемые параметры бетона для арктических условий

Показатели	Рекомендуемые параметры
Класс прочности бетона при сжатии, не менее: для гражданского строительства для морских платформ	B30–B35 B70
Ранняя прочность, % R <sub>28</sub> , не менее	40
Водонепроницаемость, марка, не менее: в гражданском строительстве в гидротехническом строительстве	W12 W14–W16
Проницаемость для CO <sub>2</sub> , не более, см <sup>2</sup> /с	0,04·10 <sup>-4</sup>
Предельная величина относительной усадки, м/м	30·10 <sup>-5</sup>
Предельное значение коэффициента ползучести	2
Морозостойкость, марка, не менее: в гражданском строительстве в гидротехническом строительстве	F <sub>1</sub> 300 F <sub>2</sub> 500–F <sub>2</sub> 600
Сульфатостойкость, годовые деформации, %, в растворах концентрации 34000 мг SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /л, не более	0,05
Коэффициент диффузии хлоридов, м <sup>2</sup> /с, не более	0,7·10 <sup>-13</sup>
Стабильность против истирания льдом, мм/км	0,025

строительных конструкций и оснований. Основные положения» и ряда других поддерживающих стандартов.

Необходимо осуществить гармонизацию российских и международных норм. Например, в работе [8] показано, насколько могут различаться подходы к требованиям и рекомендациям в различных странах по определению долговечности бетона при замораживании и оттаивании и методы испытаний морозостойкости, в том числе применительно к супровым арктическим условиям.

Особое место занимают параметры долговечности железобетонных конструкций по СП 28.13330 и ГОСТ 31384. Рекомендуемые требования и нормируемые параметры бетона приведены в табл. 2, при этом они должны быть уточнены в ходе лабораторных и натурных испытаний.

Таким образом, для обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций сооружений в рассматриваемых

условиях необходимо использовать бетон заданной функциональности [9], характеризующийся высокой морозостойкостью, стойкостью к воздействию морской воды, эффективной защищой стальной арматуры в условиях хлоридной агрессивной среды, стабильностью против истирания льдом, высокой ранней прочностью, низкими усадкой и ползучестью, т. е. свойствами, сочетание которых обеспечивает высокую надежность конструкций.

## Выводы

1. Заполярные территории с экстремальными воздействиями окружающей среды на конструкции зданий и сооружений имеют крайне низкий показатель плотности населения, что оказывает влияние на их развитие. Технологии и требования, по которым велось строительство в этом регионе, устарели, а созданные инфраструктура и здания превысили срок эксплуатации. В связи с ут-

верждением государственной программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» регион остро нуждается в новых материалах и технических решениях.

2. Полученные результаты могут быть использованы при осуществлении функций по нормативно-правовому регулированию,

а также послужат основой для определения нормируемых параметров специальных бетонов, конструкций и защиты от коррозии для строительства в Арктике.

3. Применительно к бетону и железобетону для арктических условий следует уточнить или разработать новые положения в сводах правил и в ряде проана-

лизированных в статье поддерживающих стандартов.

4. Накопленный опыт и результаты экспериментальных работ в дальнейшем целесообразно обобщить в отдельном документе — своде правил по организации строительства в арктических условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Масштабное строительство в Арктике, 2020 г. URL: <https://record.mil.ru/view/324.html> (дата обращения: 10.01.2021).
2. Rosental N. K., Falikman V. R., Chekhniy G. V., Usachov I. N. Durable structural concrete under extremely severe Arctic conditions [Долговечный конструкционный бетон для экстремально суровых Арктических условий] // 5th Workshop "The new boundaries of structural concrete". Politecnico di Milano – ACI Italy Chapter, Milan, Italy, September 19–20, 2019. IMREADY Srl., 2019. Pp. 365–372.
3. Розенталь Н. К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости. М. : фГУП ЦПП, 2006. 520 с.
4. Фаликман В. Р. Минеральные добавки в современной технологии бетона // Доклады конференции ICCX Russia, 1–4 декабря 2020. СПб, 2020. С. 12–23.
5. Фаликман В. Р., Калашников О. О. Долговечность особо высокопрочных быстротвердеющих бетонов // Бетон и железобетон. 2015. № 1. С. 9–14.
6. Фаликман В. Р., Сорокин Ю. В., Горячев О. М. Высокопрочный легкий бетон: технология и свойства // Бетон и железобетон. 2005. № 2. С. 8–11.
7. Каприлов С. С., Шейнфельд А. В., Кардумян Г. С. Новые модифицированные бетоны. М. : Пара-диз, 2010. 258 с.
8. Shpak A., Jacobsen S. DACS Report 06. Requirements and recommendations for frost durable concrete. Test methods [Требования и рекомендации к морозостойкому бетону. Методы испытаний]. 2019. 59 р.
9. Falikman V. R. Defined performance concretes – "Smart Concretes" [Бетоны заданной функциональности – «умные бетоны»] // Concrete Plant International. 2020. Vol. 4. Pp. 58–65.

## РЕФЕРЕНЦЫ

1. Masshtabnoe stroitel'stvo v Arktike [Large-scale construction in the Arctic], 2020. Available at: <https://record.mil.ru/view/324.html> (accessed 10.01.2021). (In Russian).
2. Rosental N. K., Falikman V. R., Chekhniy G. V., Usachov I. N. Durable structural concrete under extremely severe Arctic conditions. 5th Workshop "The new boundaries of structural concrete". Politecnico di Milano – ACI Italy Chapter, Milan, Italy, September 19–20, 2019. IMREADY Srl., 2019, pp. 365–372.
3. Rosenthal N. K. Korrozionnaya stoykost' tsementnykh betonov nizkoy i osoboy nizkoy pronitsaemosti [Corrosion resistance of cement concretes with low and very low permeability]. Moscow, TsPP Publ., 2006. 520 p. (In Russian).
4. Falikman V. R. Mineral additives in modern concrete technology. Reports of ICCX Russia, Dec. 1–4, 2020, St. Petersburg, 2020, pp. 12–23. (In Russian).
5. Falikman V. R., Kalashnikov O. O. Durability of very high-strength fast-hardening concrete. Beton i zhelezobeton, 2015, no. 1, pp. 9–14. (In Russian).
6. Falikman V. R., Sorokin Yu. V., Goryachev O. M. High-strength lightweight concrete: technology and properties. Beton i zhelezobeton, 2005, no. 2, pp. 8–11. (In Russian).
7. Kapriev S. S., Sheinfeld A. V., Kardumyan G. S. Novye modifitsirovannye betony [New modified concrete]. Moscow, Paradise Publ., 2010. 258 p. (In Russian).
8. Shpak A., Jacobsen S. DACS Report 06. Requirements and recommendations for frost durable concrete. Test methods. 2019. 59 p.
9. Falikman V. R. Defined performance concretes – "Smart Concretes". Concrete Plant International, 2020, vol. 4, pp. 58–65.

Для цитирования: Фаликман В. Р., Степанова В. Ф., Чехний Г. В. Бетоны и технологии для строительства зданий и сооружений в Арктической зоне // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 2. С. 17–23. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.02.17-23.

For citation: Falikman V. R., Stepanova V. F., Chekhniy G. V. Advanced Concrete and Technologies for Construction of Buildings and Facilities in the Arctic Zone. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 2, pp. 17–23. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.02.17-23. ■