

PRONINA Anastasia Vladimirovna – Master's Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: pronina_anastasia_18@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Subbotin S.L., Barkaya T.R., Pronina A.V. Assessment of the influence of deformability of compression-curved column on its stability // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 3 (27), pp. 17–25.

УДК 624.139

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

В.И. Трофимов

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Трофимов В.И., 2025

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная проблема повышения эффективности использования тяжелого бетона в транспортном и оборонном строительстве на Севере. Данна классификация областей применения тяжелого бетона с учетом его работы в сложных природно-климатических и грунтовых условиях строительства на Севере. Показано, что для повышения эффективности работы бетонных изделий и конструкций необходимо использовать модифицированные и дисперсно-армированные бетоны, а также многослойные бетонные изделия и конструкции с широким применением композитных материалов.

Ключевые слова: тяжелый бетон, физико-механические свойства, транспортное и оборонное строительство, армирование, модифицирование.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-3-25-35

Эффективное освоение уникальных, стратегически важных для нашей страны нефтяных месторождений, расположенных в удаленных районах Арктической зоны, и надежная их защита невозможны без применения новых строительных материалов, в частности бетонов нового поколения, и технологических решений на базе их использования.

Структурная схема основных разновидностей тяжелого бетона, широко применяемых в строительстве, представлена на рис. 1. Как видно, тяжелый бетон отличается хорошими физико-механическими свойствами и находит широкое применение в различных отраслях народного хозяйства.

Решение вопроса быстрейшего вовлечения арктических месторождений в народно-хозяйственную деятельность с учетом обеспечения их надежной защиты было отражено в специальной государственной программе, принятой Правительством РФ для реализации до 2030 года. При этом перспективы развития важнейшей нефтегазовой отрасли в Арктической зоне напрямую связаны с реализацией комплекса инфраструктурных проектов: строительством дорог и нефтепроводов, нефтяных и газовых резервуаров,

мостов, площадок под насосные станции и др. [1]. Все это требует больших объемов тяжелого бетона с особыми свойствами (рис. 2).

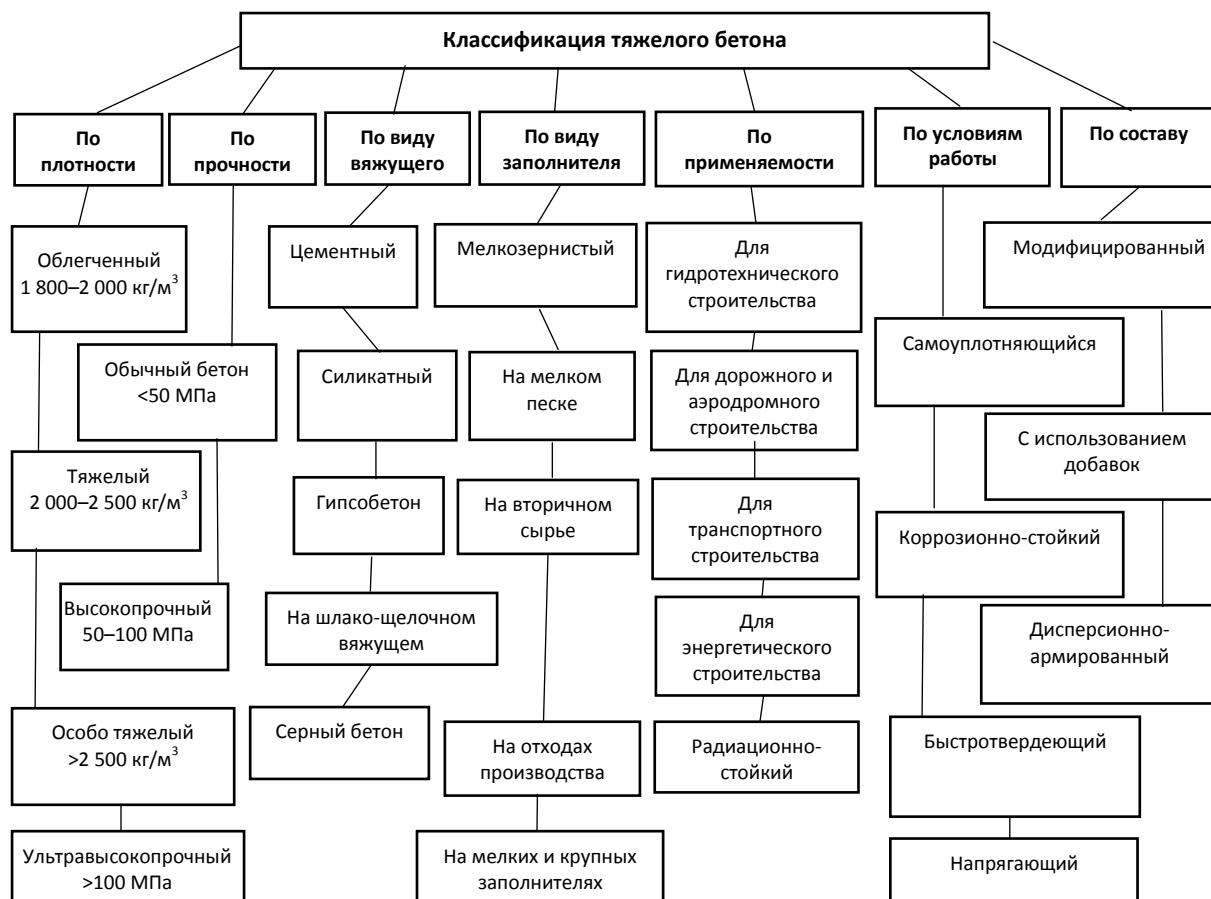


Рис. 1. Структурная схема классификации тяжелого бетона



Рис. 2. Структурная схема применения тяжелого бетона в Арктической зоне

Из структурных схем применимости тяжелого бетона (см. рис. 1, 2), видно, что в некоторых областях строительства (дорожном, аэродромном, энергетическом и др.) широко используются модифицированный товарный бетон, железобетонные изделия и конструкции (дорожные и аэродромные плиты, водопропускные трубы и лотки, сваи, опоры ЛЭП и пр.), которые имеют двойное назначение, т.е. находят применение как в гражданском строительстве, так и в оборонной отрасли.

Особые неблагоприятные климатические условия арктических территорий сопровождаются широким распространением высокольдистых (в особенности тонкодисперсных засоленных) грунтов, которые могут находиться в пластично-мерзлом состоянии, являются наиболее сложными и опасными с точки зрения строительства. Такие грунты в процессе оттаивания переходят в структурно неустойчивое состояние, что приводит к разрушению бетонного покрытия дорог и площадок под различные сооружения [2].

В настоящее время особенно востребован дисперсно-армированный и модифицированный тяжелый бетон для применения на арктических территориях при транспортном и оборонном строительстве (см. рис. 2).

Таким образом, другим важным вопросом, который отражен в специальной государственной программе по экономическому развитию Арктической зоны РФ, является разработка комплекса мер по надежной защите нефтегазовых сооружений на осваиваемых территориях, для чего необходимо возведение специальных инженерно-строительных сооружений в целях надежного функционирования оборонных объектов (аэродромов, дорог, радаров, пусковых ракетных установок и др.).

Без применения специальных эффективных видов монолитного бетона и железобетонных изделий в больших объемах в суровых природно-климатических условиях строительства не обойтись.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГРУНТОВЫЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ ТАЖЕЛОГО БЕТОНА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

На состоявшемся 18 апреля 2024 года расширенном заседании Комитета Государственной Думы по развитию Дальнего Востока и Арктики был рассмотрен серьезный вопрос «О совершенствовании принимаемых мер по проектированию и строительству объектов капитального строительства в Арктической зоне Российской Федерации». Было отмечено, что деградация многолетней (вечной) мерзлоты в условиях изменяющегося климата пагубно влияет на безопасность эксплуатации жилого фонда, эксплуатационную надежность и промышленную безопасность зданий, сооружений и линейных объектов [3].

В течение года наблюдаются значительные колебания температуры воздуха по арктическим зонам. В зимний период температура опускается до -50°C , а в короткий период лета поднимается до $+30^{\circ}\text{C}$. При этом широко распространены вечномерзлые пылеватые высокольдистые и агрессивные засоленные грунты, опасные для строительства и эксплуатации конструкций и сооружений: фундаментов, дорожных и аэродромных плит, железобетонных свай, опор ЛЭП, мостовых опор и др. Однако вопрос использования пылеватых и мелких песков в производстве эффективных бетонных изделий до конца не решен.

В то же время необходимо учитывать, что на территории России темпы изменения климата превышают средние показатели по планете, особенно это характерно для арктических зон. Озабоченность вызывает и воздействие климатических изменений на

транспортную инфраструктуру в районах распространения вечной мерзлоты, поскольку это сказывается на снижении несущей способности грунтов и развитии деструктивных геоморфологических процессов, которые могут привести, а в ряде регионов уже привели, к нарушению эксплуатационных условий и разрушению транспортных объектов с применением тяжелого бетона [4].

ТРЕБОВАНИЯ К ТЯЖЕЛОМУ БЕТОНУ С УЧЕТОМ ЕГО РАБОТЫ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ И ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ

Проблеме повышения морозостойкости и коррозионной стойкости бетона уделяется пристальное внимание в отечественной и зарубежной литературе. При этом должным образом не рассматривается то, что ряд бетонных конструкций подвергается одновременному действию циклических знакопеременных температур и нагрузок. Это бетонные элементы гидротехнических, промышленных, сельскохозяйственных конструкций и сооружений, расположенных в поверхностных слоях грунта или в зоне попеременного увлажнения и высушивания. Исследований, посвященных такой проблеме, крайне мало. В частности, в работе [5] проанализировано повышение стойкости тяжелых бетонов к циклическим воздействиям в суровых условиях эксплуатации.

Свайные и столбчатые железобетонные фундаменты в подполье зданий, а особенно в зоне промерзания – оттаивания, подвержены физическому износу – коррозии. В результате действия техногенных вод, насыщенных хлоридами, сульфатами, углекислотой, щелочами и другими химическими соединениями, арматура и бетон фундамента подвергаются коррозии, что приводит к потере несущей способности (рис. 3а) [6]. Дорожные плиты также подвержены разрушению в процессе эксплуатации в арктических зонах (рис. 3б) [7].



а



б

Рис. 3. Примеры деструкции бетона: а – разрушение ростверков и свай здания из-за коррозии бетона; б – деструкция дорожных плит площадки бывшей радиолокационной станции (поселок Амдерма, полуостров Рыбачий)

Для защиты бетона от коррозионного разрушения рекомендуется повышать плотность бетона, принимать особые добавки и специальные цементы: пущолановый, сульфатостойкий и др.

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕТОНА

В настоящее время основными путями улучшения эксплуатационных свойств бетона являются его модифицирование с использованием высококачественных сырьевых компонентов, соответствующих добавок, дисперсного армирования, микронаполнителей и

модифицирование с применением оптимизированных составов смеси и оптимальных технологических режимов при изготовлении бетонных изделий или непосредственно в условиях строительства.

Один из способов повышения прочности бетона – армирование. Непрерывный и дисперсный виды армирования бетонной матрицы способствуют двух- или трехмерному ее упрочнению, позволяют принципиально изменять свойства цементного камня, обеспечивая улучшенные физико-механические свойства (повышение трещино-стойкости, особенно при действии ударных и динамических нагрузок, снижение абразивного износа, повышение водонепроницаемости, морозостойкости и др.), при использовании, например, некондиционных тонкодисперсных песков [8].

В ТвГТУ предложено и обосновано применение новой композитной и металлической фибры повышенного сцепления: патент № 2490406 – микросетки; патент № 2582254 – многоанкерная фибра; патент № 2601705 – двухветвевая фибра; патент № 2806090 – крученаая фибра.

Кроме этого, современные исследования особенностей работы фибробетона доказали существенное влияние метода полиармирования на улучшение его физико-механических свойств. Метод полиармирования заключается в использовании, например, двух различных видов фибры, отличающихся размерами и формой [9].

Тем не менее возникают определенные трудности при дозировании и приготовлении бетонной смеси, если в ее состав включена фибра, особенно волокнистая, низкомодульная.

В данной связи предложено два новых технических решения: использовать вместо мягких волокон более жесткие композитные микросетки (патент № 2490406), а также применять новый способ приготовления фибробетонной смеси (патент № 2725054), при котором на первом этапе раздельно дозируют мелкий заполнитель, воду и подают в смеситель, а на втором этапе в приготовленную смесь вводят вместе фибру и цемент в виде готовых дозированных растворимых фибробетонных гранул с конкретно заданным их содержанием. При этом в состав фибробетонных гранул дополнительно может вводиться добавка. Использование для бетонов нового материала – гранулированного фибробетона, предложенного в ТвГТУ, позволит упростить и сократить время приготовления бетонных смесей, отказаться от доставки и хранения фибры, добавок, которые уже включены в состав гранул, что особенно важно при выполнении сложных ремонтных работ в условиях арктических зон [10].

Другой метод улучшения эксплуатационных свойств бетона связан с изучением физико-химических процессов гидратационного твердения портландцемента и структурообразования цементного камня бетонов с различными пластифицирующими и активными минеральными добавками. Установлено, что для повышения морозостойкости бетонов используют в основном два способа: повышение плотности цементного камня бетона с уменьшением объема макропор и их водонепроницаемости (например, путем введения в смесь поликарбоксилатных суперпластификаторов и активных минеральных добавок); создание в цементном камне бетона резервных воздушных пор (4–8 % от его объема) с обеспечением толщины прослоек между соседними порами не более 0,025 мм (например, путем введения воздухововлекающих добавок). Однако такой метод, несмотря на реальное повышение морозостойкости бетона, снижает структурную прочность цементной матрицы. В этом случае для устранения недостатка рекомендуется вводить в состав смеси вместе с воздухововлекающей добавкой и фибру.

Стойкость бетонов к физико-механическим воздействиям в значительной степени зависит от вида новообразований цементного камня, параметров микроструктуры и их стабильности. Управлять фазовым составом, структурообразованием и плотностью структуры цементного камня бетона для повышения его стойкости к внешним циклическим воздействиям в условиях Арктической зоны можно за счет введения в бетонную смесь суперпластифицирующих (водоредуцирующих) и активных минеральных добавок. Таким образом, особую ценность представляет проведение комплексных исследований по формированию плотной и стабильной во времени микроструктуры, состоящей преимущественно из низкоосновных гидросиликатов и обеспечивающей повышенную стойкость цементного камня бетона при циклических физико-механических воздействиях [5]. По результатам исследований было установлено, что в комплексной добавке, состоящей из пластификатора и микрокремнезема, замена пластификатора на основе нафталинформальдегида пластификатором на основе поликарбоксилата обеспечивает увеличение марки по морозостойкости бетона для дорожных покрытий с F₂300 до F₂500. Это происходит вследствие сохранения при циклических воздействиях «замораживание – оттаивание» в цементном камне slabозакристаллизованных низкоосновных гидросиликатов кальция пластинчатого строения за счет снижения содержания в нем портландита.

В ТвГТУ была проведена работа, цель которой состояла в обосновании метода улучшения структурно-механических свойств дорожного бетона на основе комплексного использования способов непрерывного и дисперсного полиармирования бетонной матрицы новыми композитными сетчатыми элементами для производства дорожных плит повышенной эксплуатационной надежности [11]. На первом этапе исследований была решена задача по оценке влияния работы под нагрузкой непрерывной композитной сетки (установленной в бетонной матрице с учетом размера ее отверстий) на прочность [12]. Следующий этап исследований заключался в определении подходящей прочности на изгиб и сжатие в зависимости от процентного содержания композитной фибры в комплексе с композитной сеткой, имеющей ранее выявленный оптимальный размер ячеек. Результаты выполненных испытаний показали эффективность совместного использования композитных микросеток двух размеров для дисперсного полиармирования бетонной матрицы в комплексе с применением непрерывной композитной сетки для повышения показателей прочности на изгиб и сжатие.

Одним из достоинств новой фибры повышенного сцепления является то, что микросетки (патент № 2490406) и многоанкерная фибра (патент № 2582254) могут быть легко изготовлены (нарезаны) из обычных сеток (стальных или полимерных и композитных), которые широко используются в различных отраслях промышленности. При этом могут быть использованы и отходы производства сеток.

В случае работы бетона с восприятием динамических нагрузок предлагается использовать крученую фибру (патент № 2806090) (рис. 4).

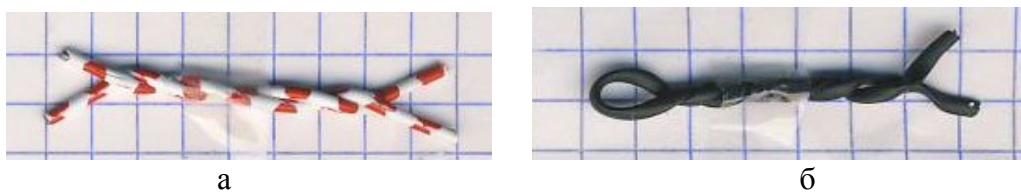


Рис. 4. Крученая композитная фибра: а – четыреханкерная; б – двуханкерная с дополнительным кольцевым анкером

В ТвГТУ также ведутся работы по совершенствованию конструкции дорожной плиты с целью повышения ее трещиностойкости на основе использования слоев из готовых композитных плит (патент № 201315, патент № 2739818) [13].

Автомобильные дороги пересекают на своем пути множество водных преград, к которым относятся малые водотоки, включающие ручьи, малые реки с площадью водосборного бассейна не более 100 км², а также овраги и суходолы [14].

В последнее время на Севере все шире применяют стальные трубы, собираемые на месте строительства из отдельных сегментов [15]. Это позволяет использовать краны малой грузоподъемности и вертолеты, что особенно важно при выполнении работ в труднодоступных и сложных условиях строительства. Однако такая технология отличается повышенной трудоемкостью и недостаточной надежностью образуемых швов между сегментами, что снижает ее эффективность.

В целях повышения эффективности строительства водопропускных сооружений (в частности, на малых реках в сложных природно-климатических условиях) в ТвГТУ было предложено новое техническое решение, а именно многоочковое водопропускное сооружение в виде многоканальной спиральной трубы, а также технология ее возведения [16].

Техническая идея строительства быстровозводимого бетонного водопропускного сооружения реализуется путем формирования на грунтовом основании арматурного спирального каркаса из полимерной геосетки с водопропускными каналами из композитных трубок по всему сечению трубы, после чего устанавливается опалубка и в нее подается бетонная смесь. При этом в бетонную смесь предлагается включать новые дисперсно-армирующие композитные волокна повышенного сцепления: микросетки или многоанкерную фибру, которые, как показали предварительные испытания, повышают прочность бетона на сжатие и изгиб на 25–30 %. Прочность водонасыщенных фибробетонных образцов в этом случае не снижается [17]. Такое техническое решение позволяет значительно ускорить процесс строительства водопропускных сооружений в сложных природно-климатических условиях и сократить затраты.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА В ОБОРОННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В случае применения тяжелого бетона в оборонном строительстве необходимо учитывать, кроме суровых условий строительства на Севере, также воздействие возможных ударных нагрузок на специальные бетонные и железобетонные конструкции (например, специзделия для заграждений: «ежи», «зубы дракона», бункеры и др.).

В этой связи обратимся к опыту других регионов России. Так, власти Белгородской области устанавливают (с учетом продолжающейся специальной военной операции на Украине) защитные сооружения. В частности, в открытом поле в направлении возможного удара противника в два ряда были расставлены бетонные блоки пирамидальной формы в виде «ежей» (рис. 5). Как правило, их используют в качестве противотанковых заграждений [18].



а



б

Рис. 5. Защитное сооружение в виде пирамидальных блоков:
а – в полевых условиях [19]; б – в городской среде [20]

Поскольку тяжелый бетон отличается повышенной хрупкостью при воздействии ударных нагрузок или боеприпасов, сопровождаемом разлетом осколков, предлагается применять модифицированный тяжелый бетон с усиленной структурой и демпферным эффектом (например, с использованием химических добавок в комплексе с дисперсным армированием). Инженеры Военного учебного центра Дальневосточного федерального университета разработали способ получения новых цементных ремонтных и самоуплотняющихся составов с использованием отходов производства, пригодных для применения на различных объектах Министерства обороны Российской Федерации. При разработке таких композиций были использованы компоненты только российского производства [21]. В частности, был разработан состав ударопрочного бетона, в котором 40 % цемента заменили отходами производства: золой рисовой шелухи, отсевом дробления известняка и кварцевого песка. Устойчивость к трещинам нового бетона в 6–9 раз превосходит аналогичную устойчивость традиционных образцов, изготовленных согласно ГОСТу. Разработку предлагают использовать для защитных сооружений военного и гражданского назначения, несущих конструкций атомных станций в Арктике.

Особенность нового бетона состоит в том, что его прочность возрастает вместе с увеличением воздействующей на него ударной силы. При ударе в бетонной плите возникает «эффект резины»: она сжимается и частично пружинит, не растрескиваясь. Разработчики считают, что конструкция обладает «динамической вязкостью», поглощает удар. Такого эффекта удалось добиться за счет армирования бетона добавками волокон металла или приморского базальта.

Кроме ударных нагрузок, бетон может быть подвержен и огневому воздействию. Например, для повышения безопасности авиационной и другой специальной техники используют защитные бетонные укрытия арочного типа. При термическом воздействии бетон и арматура подвержены достаточно быстрому нагреву до критической температуры, что приводит к снижению несущей способности и устойчивости железобетонных конструкций.

В настоящее время для повышения огнестойкости с сохранением нормативной прочности железобетонных конструкций все шире применяют технологию многослойных изделий, т.е. используют строительные изделия и конструкции вариатропной структуры, в

которых имеется несущий высокопрочный бетонный слой и защитный (огнестойкий) с применением термостойкого бетона [22]. Задачи повышения показателей прочности и снижения трещиностойкости несущего слоя бетона решались за счет его микроармирования волокнами хризотил-асбеста, а задачи повышения огнестойкости – за счет внесения минерала шунгита в защитный слой поризованного бетона.

Важным вопросом безопасности является предотвращение или сокращение объема осколков при ударно-огневом воздействии на защитные бетонные сооружения. В работе [23] показано, что характер разрушения высокопрочного бетона при воздействии открытого огня отличается от механизма деструкции обычного тяжелого бетона. Различие выражено главным образом взрывообразной потерей целостности конструкций из высокопрочного бетона при резком нагреве во время пожара. Предлагаются способы снижения вероятности протекания взрывообразного разрушения бетона, одним из которых является введение в состав бетона выгорающей полимерной фибры, а также стальной фибры.

Полимерное волокно повышает устойчивость высокопрочных бетонов к взрывообразному разрушению в основном за счет образования в бетоне каналов трубчатой структуры после плавления полипропиленового волокна при температуре 160 °C. Возникновение разветвленной системы таких каналов в структуре бетона способствует снижению внутреннего давления пара, образующегося при испарении физически и адсорбционно связанной воды из цементного камня.

В заключение можно сказать, что выполненный анализ известных работ, посвященных свойствам тяжелого бетона и его использованию в транспортном строительстве и оборонной отрасли, применительно к арктическим зонам показал, что тяжелый бетон является одним из наиболее широко используемых строительных конструкционных материалов. Кроме того, выявлено, что в настоящее время особенно востребованы модифицированные и дисперсно-армированные тяжелые бетоны – бетоны с улучшенными физико-механическими свойствами для использования в сложных природно-климатических и грунтовых условиях строительства на Севере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокина Н.Ю. Приморские регионы арктического направления: проблемы и перспективы социально-экономического развития в Российской Федерации. *Стратегические перспективы развития Арктического региона: Материалы Научно-практической конференции Совета по изучению производительных сил ВАВТ Минэкономразвития России / под ред. С.А. Липиной*. М.: ВАВТ, 2018. С. 45–49.
2. Луцкий С.Я., Шепитко Т.В., Токарев П.М., Дудников А.Н. Строительство путей сообщения на Севере. М.: ЛАТМЭС, 2009. 286 с.
3. Арктический мониторинг: законодатели предлагают изменить подходы к проектированию и строительству в зоне многолетней мерзлоты. URL: <https://stroygaz.ru/publication/regulation/> (дата обращения: 12.09.2025).
4. Воронцова С.Д. Влияние климатических изменений на транспортную инфраструктуру в Арктической зоне и на территориях распространения // *Транспорт Российской Федерации*. 2017. № 4 (71). С. 33–39.
5. Шулдяков К.В. Тяжелые бетоны, стойкие к циклическим воздействиям в суровых условиях эксплуатации: дисс... канд. техн. наук. Пенза, 2021. 178 с.

6. Алексеев А.Г. Геотехнический мониторинг на многолетнемерзлых грунтах: учебное пособие. М.: АСВ, 2019. 112 с.
7. Заброшенная РЛС в Арктике. URL: <https://avatars.dzeninfra.ru/getzen> (дата обращения: 12.09.2025).
8. Лесовик Р.В., Агеева М.С., Клюев С.В., Лесовик Г.А., Сопин Д.М. Разработка методологии проектирования мелкозернистых фибротекстиль бетонов на техногенных песках Белгородской области. *Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российской фондом фундаментальных исследований и правительством Белгородской области: Материалы научно-технической конференции*. Белгород: БГТУ им. В.В. Шухова, 2015. С. 227–241.
9. Трофимов В.И., Джабаров А.С. Улучшение структурно-механических свойств бетона включением высокомодульных и низкомодульных волокон. *Теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов: сборник научных трудов: в 2 ч. / под ред. С.В. Рассадина*. Тверь: ТвГТУ, 2020. Ч. 1. С. 19–25.
10. Патент РФ 2725054С1. Способ приготовления фибробетонной смеси / Трофимов В.И., Леушкин В.Ю., Джабаров А.С. Заявл. 30.08.2019. Опубл. 29.06.2020, Бюл. № 19.
11. Трофимов В.И. Дорожные и аэродромные плиты с улучшенными эксплуатационными свойствами для Арктической зоны // *Научный Вестник Арктики*. 2023. № 14. С. 5–10.
12. Синявский А.С., Трофимов В.И. К вопросу повышения долговечности работы цементобетонных дорог в арктических зонах. *Строительство и землеустройство: проблемы и перспективы развития: Материалы Всероссийской научно-практической конференции / под ред. А.А. Артемьева, В.В. Белова, Т.Р. Баркяя*. Тверь: ТвГТУ, 2019. С. 126–131.
13. Трофимов В.И., Егоров А.Р., Хитрич Г.А. Сборные дорожные плиты для арктических зон // *Научный Вестник Арктики*. 2022. № 12. С. 51–56.
14. Лукин Н.П., Лукин А.Н., Щуко С.А. Автомобильные дороги. Трубы под насыпями автомобильных дорог // ЦБНТИ. Обзорная информация. Вып. 6. М.: ЦБНТИ, 1988. 30 с.
15. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*. М.: ОАО «ЦПП», 2011. 287 с.
16. Патент РФ 2619604С1. Конструкция для формирования на месте строительства сечения для пропуска воды / Трофимов В.И., Кондратьев В.Г., Пупенин К.И., Акушко А.С. Заявл. 11.02.2016. Опубл. 17.05.2017, Бюл. № 14.
17. Трофимов В.И. Многоканальная спиральная труба – новое слово в технологии строительства водопропускных сооружений. *Достижения и перспективы развития вузовской науки: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции*. Чебоксары: ЧКИ РУК, 2018. С. 429–434.
18. Оборонительные заграждения: как и от кого всерьез: URL: <https://topwar.ru/203920-oboronitelnye-zagrazhdenija-kak-i-ot-kogo-vserez.html> (дата обращения: 12.09.2025).
19. В Белгородской области устанавливают противотанковые заграждения. URL: https://m.vk.com/wall-62786482_794431 (дата обращения: 12.09.2025).
20. Barreras Defensivas: Cómo y de Quién Seríamente. URL: <es.topwar.ru> (дата обращения: 12.09.2025).
21. Бирюков А.Н., Дудурич Б.Б., Бирюков Ю.А. Новые быстротвердеющие цементные составы для проведения текущего, капитального ремонта и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах Министерства обороны Российской Федерации // *Военный инженер*. 2018. № 1 (7). С. 37–45.

22. Леденев А.А., Внуков А.Н., Загоруйко Т.В., Перцев В.Т. Исследование и разработка термостойких бетонов для повышения огнестойкости строительных конструкций зданий и сооружений военного назначения // *Воздушно-космические силы. Теория и практика*. 2018. № 6. С. 198–204.
23. Ахтямов Р.Я., Ахмедьянов Р.М., Гамалий Е.А., Аверина Г.Ф. К вопросу обеспечения стойкости изделий и конструкций из высокопрочных бетонов к взрывообразному разрушению // *Строительные материалы*. 2024. № 1-2. С. 90–94.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vitrofa@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Трофимов В.И. К вопросу применения тяжелого бетона с учетом изменяющихся условий строительства в Арктической зоне // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 3 (27). С. 25–35.

ON THE ISSUE OF THE USE OF HEAVY CONCRETE IN THE ARCTIC ZONE, TAKING INTO ACCOUNT CHANGING CONSTRUCTION CONDITIONS

V.I. Trofimov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. This article discusses the urgent problem of increasing the efficiency of heavy concrete use in transport and defense construction in the North. The classification of the areas of application of heavy concrete is given, taking into account its work in difficult climatic and soil conditions of construction in the North. It is shown that in order to increase the efficiency of concrete products and structures, it is necessary to use modified and dispersed reinforced concrete, as well as multilayer concrete products and structures with extensive use of composite materials.

Keywords: heavy concrete, physical and mechanical properties, transport and defense construction, reinforcement, and modification.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vitrofa@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Trofimov V.I. On the issue of the use of heavy concrete in the Arctic zone, taking into account changing construction conditions // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 3 (27), pp. 25–35.