

УДК 666.972

## МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ (ОЦЕНКИ) МОРОЗОСТОЙКОСТИ ВИБРОПРЕССОВАННОГО БЕТОНА

**А. И. Бондарович, П.В. Рябчиков**

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: niil\_bism@tut.by

*В статье изложены основные положения предлагаемой ускоренной методики определения морозостойкости тяжелого конструкционного мелкозернистого и с крупным заполнителем бетона вибропрессованных изделий для дорожных (тротуарных) покрытий. Она позволяет оценивать показатель морозостойкости бетона непосредственно в изделиях без циклических испытаний замораживанием-оттаиванием. В основе методики – взаимосвязь и взаимозависимость между состоянием структуры бетона (оцениваемой по влагосодержанию в насыщенном водой (раствором 5% NaCl) состоянии), скоростью распространения в нем ультразвукового импульса и установленной (путем прямых экспериментальных испытаний на морозостойкость бетона) закономерностью изменений его морозостойкости, отражаемой соответствующими изменениями скорости ультразвука.*

**Ключевые слова:** бетон, влажность, прочность, скорость ультразвука, морозостойкость, методика, плиты тротуарные, камни бортовые.

## METHOD OF OPERATIONAL FROST RESISTANCE MONITORING (ASSESSMENT) VIBRATION-PRESSED CONCRETE

**A. Bondarovich, P. Ryabchikov**

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: niil\_bism@tut.by

*In article basic provisions of the offered accelerated technique of determination of frost resistance heavy constructional fine-grained and with large filler of concrete of the vibropressed products for road (sidewalk) coverings are stated. She allows to estimate an indicator of frost resistance of concrete directly in products without cyclic tests by freezing thawing. At the heart of a technique – interrelation and interdependence between a condition of structure of concrete (estimated on moisture content in a state sated with water (solution of 5% of NaCl)), distribution speed in it an ultrasonic impulse and established (by direct experimental tests for frost resistance of concrete) regularity of changes of its frost resistance reflected by corresponding changes of speed of ultrasound.*

**Keywords:** concrete, humidity, strength, ultrasound speed, frost resistance, technique, paving slabs, on-board stones.

**Введение.** Для оценки морозостойкости бетона (кроме стандартных базовых и ускоренных экспериментальных методов ее определения) существует ряд предложений в виде математических зависимостей для теоретического расчета ее значений. Согласно этим методикам, используя данные о составе бетона, характеристиках цемента и вероятной степени его гидратации, условиях твердения и других, можно с различной степенью достоверности определить ожидаемое значение исходной морозостойкости бетона перед началом эксплуатации.

Наиболее значимыми из предложений для теоретического расчета морозостойкости бетона и ускоренного определения ее значений являются: методика Г.И. Горчакова [1]; более сложное по математическим зависимостям и методике предложение, составившее основу структурно-механического метода ускоренного (ГОСТ 10060.4-95) определения морозостойкости бетона (проверка этого метода, выполненная в БНТУ в сравнительных испытаниях с ГОСТ 10060.0...2-95, показала серьезный уровень расхождения данных, достигавшего в некоторых случаях величины в 2 раза); в РУП БелНИИС под руководством проф. Н.П. Блещика [2] разработан и совершенствуется метод, сочетающий аналитический расчет (включает более 20 формул) и измерение деформаций в период оттаивания предварительно замороженного образца бетона (по существу этот метод (с рядом изменений) основывается на результатах работ Горчакова Г.И. и его научной школы, выполненных в 50...60-ых годах прошлого века, на базе которых в ГОСТ 10060.3-95 зафиксирована методика дилатометрического метода ускоренного определения морозостойкости с помощью специального устройства - дилатометра, при одноразовом замораживании образца бетона и фиксации его деформаций в этот период); предложенная в последние годы и обоснованная в работах В.В. Бабицкого [3] методика и математическая зависимость, отражающая взаимосвязь морозостойкости с составом бетона, качеством цемента, степенью его гидратации (с учетом условий твердения) и с рядом других факторов, для оценки морозостойкости бетона на стадии изготовления изделий (конструкций), а также ряд других предложений [4,5, и др.].

Как следует из изложенного, эти предложения (включая стандартные определения) либо требуют расширенной информации о материалах для бетона, условиях его формирования и твердения и т.д., либо характеризуются значительной продолжительностью испытаний, либо требуют наличия специального оборудования для их проведения.

Предлагаемая методика доступна в осуществлении и реализации по фактическому – «физическому» – состоянию порового пространства испытываемого бетона, оцениваемого с поверхности изделий диэлькометрическими влагомерами с планарными датчиками (МГ-4; ВСКМ-12; ВИМС-1,0 и др.), и легко определяемой скорости распространения ультразвука, например, тестером «УК 1401», оснащенного датчиками «точечного» приложения (конусные датчики). Общий период испытаний составляет 4-5 дней, с учетом 96 часового насыщения бетона по ГОСТ 10060.0-95.

**Область применения.** Настоящая методика распространяется на свежизготовленные (не эксплуатировавшиеся) элементы тротуарных покрытий (элементы благоустройства) в виде плит и бортовых камней.

**Приборы и методы контроля состояния бетона.** *Контроль (определение) влажности бетона* испытываемых элементов благоустройства осуществляют с помощью универсальных влагомеров «МГ-4»; «ВСКМ-12»; «ВИМС-1,0» или других диэлькометрических влагомеров с планарными датчиками для контроля влажности с поверхности (прилегающего к ней слоя бетона), базирующихся на диэлькометрическом методе ее измерения (ГОСТ 21718-84).

*Контроль (определение) скорости ультразвука в бетоне* элементов благоустройства в покрытии на контролируемых участках осуществляют с помощью тестера ультразвукового «УК-1401», оснащенного датчиками «точечного» приложения с базой (межосевым расстоянием) в 150 мм и измеряющего скорость распространения продольных ультразвуковых волн в слое бетона, прилегающем к поверхности элемента благоустройства. Возможно использование иных приборов-аналогов, оттарированных в соответствии с паспортной документацией на прибор и положениями ГОСТ 17624-87.

*Среднюю плотность бетона испытываемых элементов благоустройства при необходимости определяют по ГОСТ 12730.1-78 в зависимости от конкретных условий, как для образцов правильной или неправильной формы.*

Основные положения методики.

Методика включает этапы:

- подготовку образцов (изделий) бетона;
- определение влажности бетона;
- определение скорости ультразвука;
- оценку показателя морозостойкости бетона (рисунок 1 (а–г); рисунок 2 (а–г)).

*Подготовка образцов (изделий) включает:*

- отбор изделий для контроля по СТБ 1152-99; ГОСТ 10060.0-95;
- установление вида бетона (мелкозернистый или с крупным заполнителем);
- насыщение бетона в течение 96 ч. в 5%-ом растворе NaCl по ГОСТ 10060.0-95.

*Определение влажности бетона* осуществляют с помощью диэлькометрических влагомеров с планарными датчиками для контроля влажности с поверхности (прилегающего к ней слоя бетона), базирующихся на диэлькометрическом методе ее измерения (ГОСТ 21718-84), как среднее значение не менее, чем 4-х замеров по граням в центральной части образцов.

*Скорость ультразвука в бетоне* определяют с помощью тестеров ультразвуковых, оснащенных датчиками «точечного» приложения с базой (межосевым расстоянием) в 150 мм, по положениям ГОСТ 17624-87, как среднее значение не менее, чем 4-х замеров по граням в центральной части образцов (ГОСТ 26134-84).

*Оценку показателя морозостойкости* бетона выполняют, используя установленные величины средних значений влажности бетона ( $W_{mi},\%$ ) и скорости ультразвука, полученные по результатам замеров на требуемом по СТБ 1152-99; ГОСТ 10060.0-95 количестве образцов, и данные рисунка 1 (а; б; в; г) – для мелкозернистого бетона, и рисунка 2 (а; б; в; г) – для бетона с крупным заполнителем. По ним определяют область установленных значений скорости ультразвука и стадию, к которой относится испытываемый бетон по состоянию его структуры. В настоящей методике стадия I характеризует бетон требуемой плотности, удовлетворяющей требованиям действующих нормативов по водопоглощению бетона. То есть, объем капиллярной (открытой, сообщающейся) пористости определяемый по водопоглощению по массе бетона мелкозернистого

менее 6%, а для бетона с крупным заполнителем - менее 5%. Стадия II характеризует бетон, водопоглощение по массе которого превышает указанные значения.

Для этого вначале возводят перпендикуляр от полученного значения водопоглощения бетона на горизонтальной оси  $W_{mi}$  до пересечения с нижней и верхней границей области установленных, соответственно, наименьшего и наибольшего значений (обозначенных на рисунке 1,а (2,а) и 1,б (2,б) сплошными графическими линиями) скорости ультразвука и определяют эти значения  $V_{yz}$ , проецируя точки пересечения на вертикальную ось.

Используя установленную область значений скорости ультразвука, ограниченную величинами наименьшей ( $V_{yz}^{min}$ ) и наибольшей ( $V_{yz}^{max}$ ) его скорости, соотносят фактическое значение скорости ультразвука с этим диапазоном и оценивают, к какой стадии по состоянию структуры относится испытываемый бетон контролируемого участка, а именно: к стадии I по рисунку 1, а (2, а) или к стадии II по рисунку 1, б (2, б).

Для этого сравнивают величины водопоглощения бетона и среднего значения скорости ультразвука, установленного (фактического, среднеарифметического значения) для оцениваемого количества образцов ( $V_{yzi}$ , м/с), с областью ее значений в пределах:  $V_{yz}^{min} \dots V_{yz}^{max}$ , м/с, относящихся к стадиям: I или II. Затем, используя графики и данные рисунка 1, в (2, в) или 1, г (2, г) (в зависимости от установленной стадии, к которой относится бетон по состоянию структуры), и величину среднего фактического значения скорости ультразвука в бетоне образцов  $V_{yzi}$ , м/с, определенную по данным замеров, оценивают показатель морозостойкости бетона для испытательной среды 5 % водного раствора NaCl при температуре минус 18оС (базовый метод) или (-50...-55) оС (ускоренный метод).

В случае, если среднее фактическое значение скорости ультразвука, определенное на образцах бетона, выходит за пределы диапазона «минимального – максимального» значений, то для дальнейшей оценки его морозостойкости используют величину минимального или максимального значения  $V_{yz}$ , в зависимости от «зоны» выхода фактического значения  $V_{yz}^{cp}$  из данного диапазона.

На основании результата оценки морозостойкости бетона испытываемых изделий и сопоставления этих данных с предъявляемым к нему уровнем требований по морозостойкости (марке) делают заключение о соответствии.

В случае, если установленный показатель морозостойкости бетона ниже требуемого, анализируют причины данной ситуации. Оценивают качество использованных материалов (характеристики вяжущего и заполнителя(ей)), рациональность состава бетона (расход материалов, водоцементное отношение, консистенцию (жесткость) бетонной смеси), степень (качество) уплотнения (интенсивность и продолжительность вибровоздействия, давление пригруза и состояние формовочного оборудования в целом), условия и режим твердения бетона (температура, влажность среды, время твердения и др.). На основании результатов анализа выявляют причины, вызвавшие несоответствие морозостойкости бетона требуемому уровню и устраняют их, корректируя параметры технологического процесса изготовления изделий.

При разработке, изложенной в своих основных положениях методики ускоренной оценки морозостойкости вибропрессованного бетона исходили из экспериментально

установленных данных настоящих исследований, а также работ авторов [6] и из обобщения результатов испытаний, накопленных при оценке морозостойкости бетона в изделиях в НИИЛ бетонов и строительных материалов БНТУ, выполненных (и выполняемых в настоящее время) с участием авторов. Из них следует, что, обеспеченным уровнем морозостойкости вибропрессованных элементов мощения, средняя плотность бетона которых была  $\rho_o \geq 2250 \text{ кг/м}^3$  при водопоглощении  $W_m < 5\%$  для мелкозернистого бетона и  $\rho_o \geq 2350 \text{ кг/м}^3$  при  $W_m < 4,5\%$  для бетона со щебнем, целесообразно считать показатель морозостойкости, соответствующий 300-ам циклам испытаний по 2-му методу контроля. Этот вывод сделан как на основании экспериментальных данных, полученных при разработке методики для оценки «остаточной» морозостойкости и долговечности бетона эксплуатируемых дорожных (тротуарных) покрытий [6÷9], так и по накопленным данным натурных испытаний вибропрессованных изделий. Было установлено, что после снижения прочности основных образцов испытываемого бетона на  $\geq 5\%$  (ГОСТ 10060.0-95) в процессе испытаний мелкозернистый бетон образцов (изделий) с указанными ранее качественными характеристиками даже через 400 циклов характеризовался прочностью более 30 МПа, а со щебнем гранитным – более 35 МПа, при удовлетворительном качестве поверхности образцов (изделий). Поэтому в предлагаемой ускоренной методике оценки морозостойкости нами принята шкала, ограниченная 300-ми циклов испытаний в солевой среде, обеспечиваемыми качественно отформованным вибропрессованным бетоном.

Выявленные в данных исследованиях закономерности «поведения» бетона при циклических испытаниях на морозостойкость были положены в основу предлагаемой методики ускоренной оценки этой его характеристики и разработанных графических зависимостей, приведенных на рисунке 1 и рисунке 2 для ее установления.

**Заключение.** Предложенная методика ускоренного контроля (оценки) морозостойкости тяжелого (мелкозернистого и содержащего крупный заполнитель) бетона для бетонных элементов дорожных (тротуарных) покрытий позволяет за 5 суток определить эту его характеристику. Принятый для оценки характеристик испытываемого бетона (изделий) инструментальный неразрушающий контроль для определения влажности бетона и скорости ультразвука стандартизирован и доступен, что обеспечивает возможность ее широкого применения. В частности, для оперативной оценки морозостойкости бетона предприятиями, выпускающими тротуарные плиты, бортовой камень и другие элементы благоустройства (мощения). Этот вывод обоснован апробацией разработки с использованием изделий предприятий г. Минска, подтвердившими положительный результат произведенной оценки их продукции. Одновременно проверка морозостойкости изделий ряда предприятий по предлагаемой методике ускоренного контроля показала недостаточный ее уровень. При этом практически совпали данные по количеству циклов замораживания – оттаивания, полученные с помощью данной методики, с результатами непосредственных стандартизированных испытаний изделий на морозостойкость. Разница в количестве циклов составила не более 6%, а при переходе от числа циклов к марке по морозостойкости имелось полное соответствие при определении по стандартному методу и предлагаемой методике. Это свидетельствует о возможности ее применения, как варианта оперативного контроля морозостойкости бетона на стадии производства изделий.

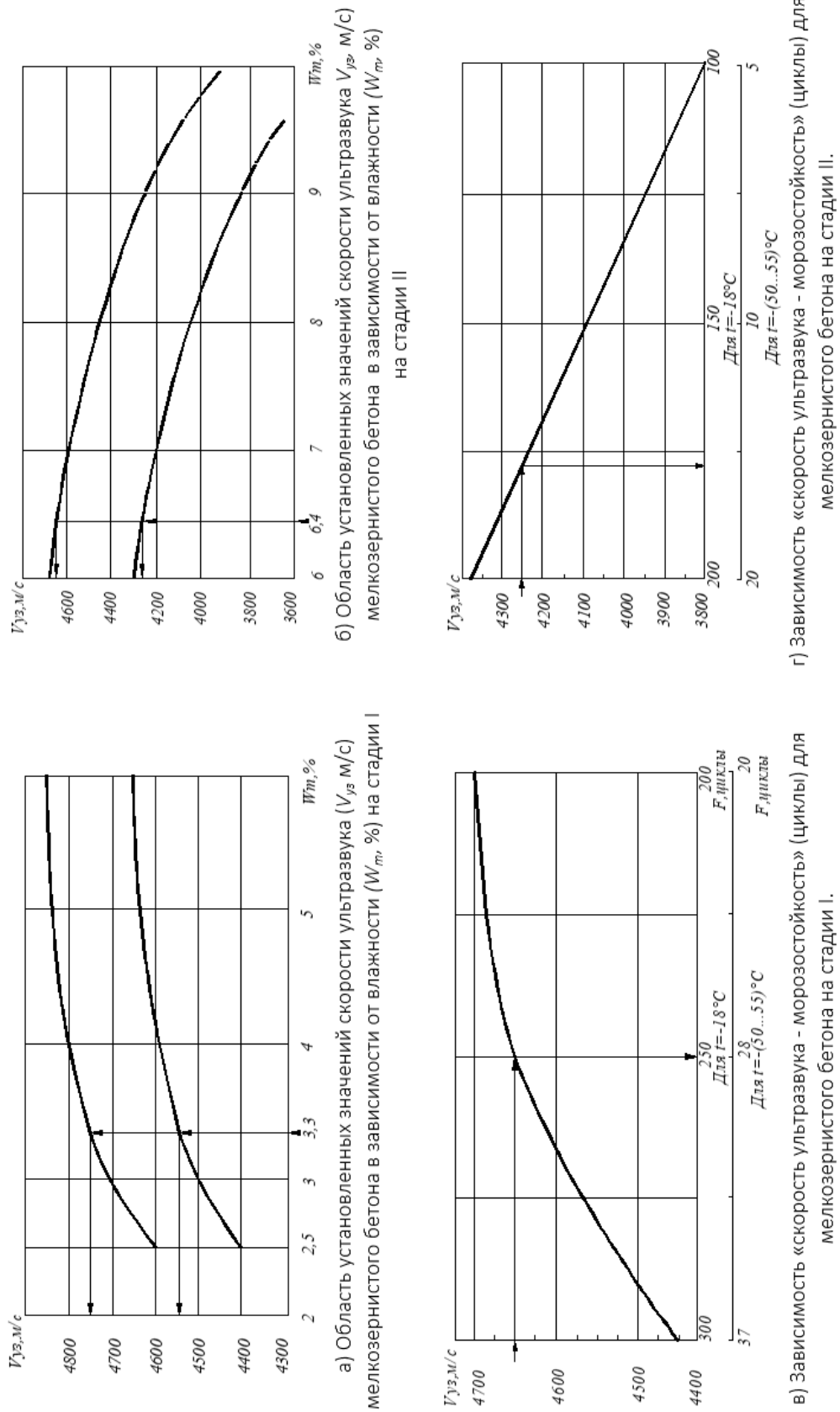
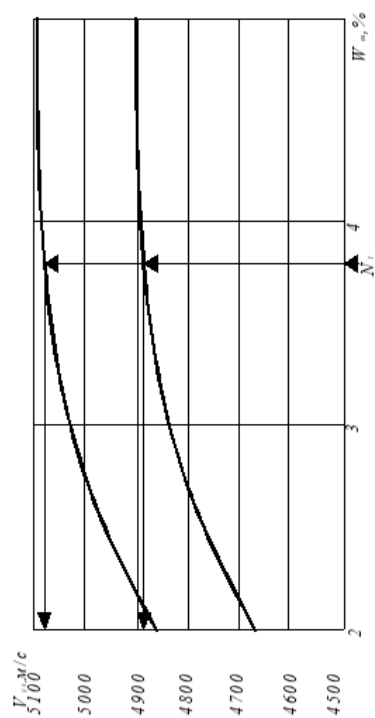
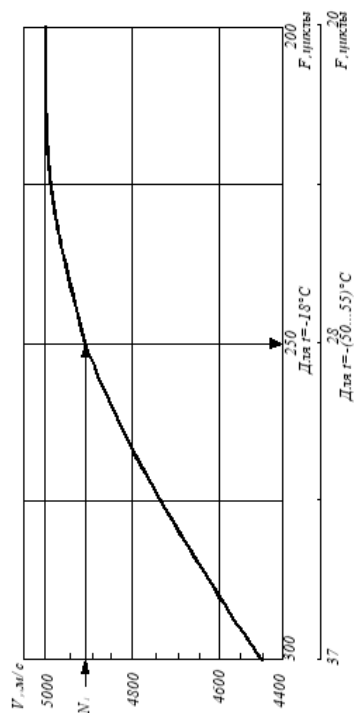


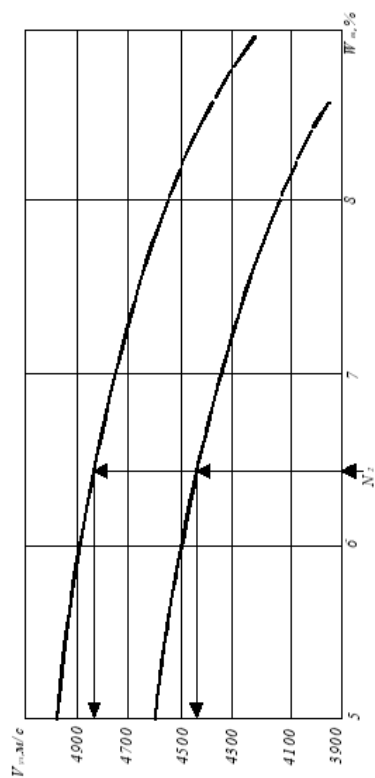
Рисунок 1. – Графические зависимости для оценки морозостойкости вибропрессованного мелкозернистого бетона



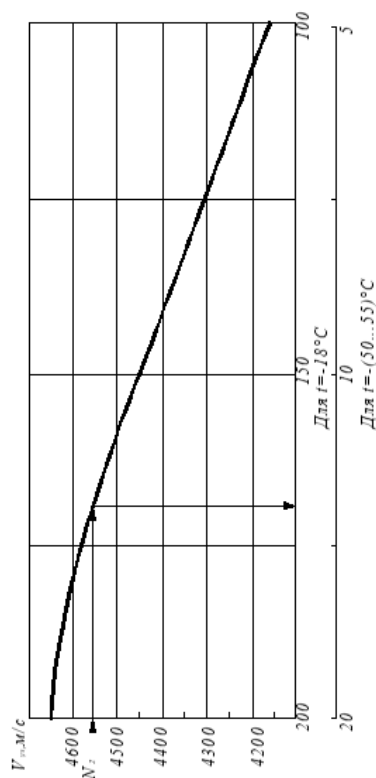
а) Область установленных значений скорости ультразвука ( $V_{уз}$  м/с) вибропрессованного бетона с крупным заполнителем в зависимости от влажности ( $W_m$ , %) на стадии I.



в) Зависимость «скорость ультразвука - морозостойкость» (циклы) для вибропрессованного бетона с крупным заполнителем на стадии I.



б) Область установленных значений скорости ультразвука ( $V_{уз}$  м/с) вибропрессованного бетона с крупным заполнителем в зависимости от влажности ( $W_m$ , %) на стадии II.



г) Зависимость «скорость ультразвука - морозостойкость» (циклы) для вибропрессованного бетона с крупным заполнителем на стадии II.

Рисунок 2. – Графические зависимости для оценки морозостойкости вибропрессованного бетона с крупным заполнителем

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горчаков, Г.И., Капкин, М.М., Скрамтаев, Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965. – 195 с.
2. Блещик, Н.П., Лазаренко, О.В. Основы технологии и методов контроля качества морозостойкости бетонов // Архитектурное строительство. 2001, №6. – С. 38– 41.
3. Бабицкий, В.В. Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона: Дис. докт. техн. наук: БНТУ. – Минск, 2005. – С. 118 – 131.
4. Шейкин, А.Е., Добшиц, Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. – Л.: Стройиздат, 1989. – 128 с.
5. Ковшар С.Н. Оценка и прогнозирование морозо –и солестойкости тяжелого бетона с учетом изменения конструктивных и деструктивных факторов: Дис... канд. техн. наук: 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Мн., 2010. – 175с.
6. Батяновский, Э.И. Оценка эксплуатационной долговечности тяжелого бетона по критерию «остаточной» морозостойкости / Э.И. Батяновский, А.И. Бондарович// Автомобильные дороги и мосты, 2010. – № 2(6). – С. 49-59.
7. Батяновский Э.И. Влияние многократных механических нагрузок на свойства тяжелого бетона / Э.И. Батяновский, А.И. Бондарович, П.В. Рябчиков // Строительная наука и техника, 2007. – № 1-10. – С. 12-22.
8. Батяновский Э.И. Морозо- и солестойкость бетона, подверженного механическим нагрузкам / Э.И. Батяновский, А.И. Бондарович// Вестник БНТУ, 2008. – № 4. – С. 5– 16.
9. Бондарович, А.И. Влияние комплексного воздействия эксплуатационной среды и механических нагрузок на динамику изменения свойств бетона элементов благоустройства/ А.И. Бондарович, Э.И. Батяновский // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов европейского союза в области строительства: материалы научно-методического семинара (Минск, 22-23 мая 2013 г.): сб. науч. статей науч.-метод. семинара. в 2-х частях. - Минск: БНТУ, 2013. – Ч. 2. – С.28– 39.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**  
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.  
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**№ госрегистрации 3671815379.**

**ISBN 978-985-531-701-3**

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

---

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>