



ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА И ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР ДО +200 °С НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ

А. С. Волков

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.
E-mail: a.s.volkov@donnssa.ru*

Получена 10 марта 2021; принята 26 марта 2021.

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния масштабного фактора (размеров бетонных образцов и модуля открытой поверхности), а также воздействия повышенных до +200 °С температур на физико-механические и реологические свойства высокопрочного модифицированного бетона на основе отходов энергетической промышленности Донбасса. На основании полученных экспериментальных данных определены зависимости характеристик прочности, деформативности, начального модуля упругости, коэффициента поперечных деформаций, параметрических уровней трещинообразования, деформаций усадки и ползучести высокопрочного бетона при разных уровнях длительного обжаривания от размеров экспериментальных образцов и условий их высыхания, в том числе при воздействии повышенных температур. Апробированы и предложены аналитические зависимости по учету влияния масштабного фактора на физико-механические и реологические свойства высокопрочных модифицированных бетонов при нормальных и повышенных температурах.

Ключевые слова: высокопрочный модифицированный бетон, воздействие повышенных температур, масштабный фактор, прочность и деформации при осевом сжатии, усадка, ползучесть.

ВПЛИВ МАСШТАБНОГО ЧИННИКА І ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР ДО +200 °С НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ І РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОМЦІННИХ МОДИФІКОВАНИХ БЕТОНІВ

А. С. Волков

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.
E-mail: a.s.volkov@donnssa.ru*

Отримана 10 березня 2021; прийнята 26 березня 2021.

Анотація. Представлені результати експериментальних досліджень впливу масштабного чинника (розмірів бетонних зразків та їх модуля відкритої поверхні), а так само дії підвищених до +200 °С температур на фізико-механічні та реологічні властивості високомцінного модифікованого бетону на основі відходів енергетичної промисловості Донбасу. На основі отриманих експериментальних даних одержано залежності характеристик міцності, деформування, початкового модуля пружності, коефіцієнта поперечних деформацій, параметричних рівнів тріщиноутворення, деформацій усадки і повзучості за різних рівнів тривалого обтиснення високомцінного бетону від розмірів експериментальних зразків і умов їх висихання, у тому числі під впливом підвищених температур. Апробовані та запропоновані аналітичні залежності з урахуванням впливу масштабного чинника на фізико-механічні та реологічні властивості високомцінних модифікованих бетонів при нормальних та підвищених температурах.

Ключові слова: високоміцний модифікований бетон, вплив підвищених температур, масштабний чинник, міцність і деформації при осьовому стисненні, усадка, повзучість.

THE INFLUENCE OF THE SCALE FACTOR AND THE EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURES UP TO +200 °C ON THE CHARACTERISTICS OF THE PHYSICO-MECHANICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH MODIFIED CONCRETE

Andrei Volkov

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

E-mail: a.s.volkov@domnssa.ru

Received 10 March 2021; accepted 26 March 2021.

Abstract. The results of experimental studies of the influence of the scale factor (dimensions of concrete samples and module of an open surface), as well as the effect of temperatures elevated up to +200 °C on the physical-mechanical and rheological properties of high-performance modified concrete based on the energy industry waste Donbas are presented. The dependences of the characteristics of strength, deformability, initial modulus of elasticity, Poissant's ratio, parametric levels of fracturing, shrinkage and creep deformations at different levels of continuous compression of high-strength concrete on the dimensions of the samples and the conditions of their drying have been obtained based on the experimental data, including when exposed to high temperatures. Analytical dependences on accounting for the influence of the scale factor on the physical, mechanical and rheological properties of high-strength modified concretes at normal and elevated temperatures are tested and proposed.

Keywords: high-strength modified concrete, exposure to elevated temperatures, scale factor, strength and deformation under axial compression, shrinkage, creep.

Формулировка проблемы

На сегодняшний день действующие нормы [20, 21] не учитывают либо учитывают в недостаточной мере влияние размеров и условия высыхания как для обычного тяжелого так и высокопрочного бетона. При этом рядом авторов по всему миру [1, 6–8, 11–18] экспериментально установлено, что размеры конструктивных элементов и условия их высыхания по объему существенно влияют на физико-механические и реологические свойства бетона и, как следствие, существенно влияют на напряженно-деформированное состояние (НДС) массивных конструкций, таких как плотины и стенки оболочек дымовых труб, градирен и защитных оболочек АЭС. При этом влияние масштабного фактора на свойства высокопрочных бетонов при воздействии повышенных температур и длительного обжаривания

изучено недостаточно и отражено в работах авторов [1–5, 14].

Основными объектами экспериментальных исследований при изучении влияния масштабного фактора на физико-механические и реологические свойства высокопрочного модифицированного бетона, в том числе при воздействии повышенных до +200 °C температур, в данной работе приняты образцы из тяжелого высокопрочного бетона, модифицированного с помощью суперпластификатора и органоминерального модификатора на основе отходов энергетической промышленности Донбасса (ОММ), представленного в виде сухой смеси и содержащего в долях от общего веса ОММ: микрокремнезем в составе SicaFume (20 %); тонкомолотую золошлаковую смесь Углегорской ТЭС

(30 %); золу-унос Зуевской ТЭС (50 %). Параметры бетонной смеси составляют: $V/C=0,28$ и $V/B=0,21$, а $OK=18\div 25$ см [2]. Состав бетонной смеси представлен в таблице 1.

В качестве эталонных образцов для определения характеристик физико-механических и реологических свойств исследуемых составов бетона в условиях нормальной и повышенных до +200 °С температур, а также в исследованиях влияния масштаба опытных образцов на исследуемые характеристики свойств моделирование различных условий высыхания бетона осуществлялось на образцах – бетонных призмах размерами 150×150×600 мм, а также образцах-кубах с гранью ребра 150 мм. В качестве дополнительных использовали образцы-призмы с размерами 100×100×400 мм, 150×150×600 мм и 250×250×650 мм с различными вариантами гид-

роизоляции и значениями модуля открытой поверхности (отношение площади открытой поверхности образца к его объему) $M_o = 45 м^{-1}$, $M_o = 30 м^{-1}$, $M_o = 16 м^{-1}$ и $M_o = 8 м^{-1}$ (рис. 1).

Исследования физико-механических и реологических характеристик высокопрочного бетона выполнялись при уровнях нагружения $\eta_1 = 0$, $\eta_1 = 0,3$ и $\eta_1 = 0,5$ при температуре $T = +20$ °С, а также при кратковременном и длительном нагреве до +90, +150 и +200 °С.

Призменная прочность R_b определялась в процессе кратковременных прессовых испытаний стандартных образцов призм с размерами 150×150×600 мм (тип 4, рис. 1) по стандартной методике в возрасте 7, 28, 90 и 150 сут. Средние значения прочности в возрасте 7 суток для образцов из состава 2 составили 62,2 МПа, а в возрасте 28 суток – 81,8 МПа соответственно. Прирост

Таблица 1. Состав бетонной смеси на 1 м³

№ п/п	Наименование компонентов	Расход, кг(л)/м ³
		Состав
1.	Портландцемент пластифицированный М500 Балаклейского цементного комбината	545
2.	Органоминеральный модификатор (ОММ)	190
3.	Песок крупнозернистый фракции 2÷2,5 мм Краснополянского карьера	660
4.	Щебень Каранского карьера фракции 10÷20 мм	870
5.	Вода	153
6.	Суперпластификатор SicaViscocrete 5-600	15
Объемный вес		2 433

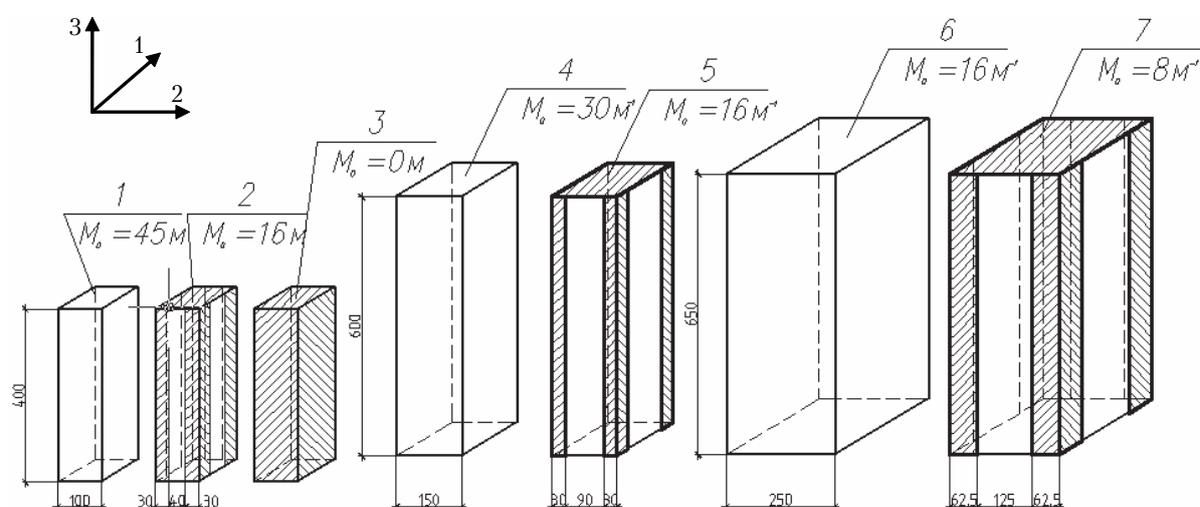


Рисунок 1. Размеры, нумерация и схемы гидроизоляции образцов-призм.

прочности в возрасте 90 суток по сравнению с прочностью в 28-суточном возрасте составил $4\div 7\%$, а в 150 сут. – $9\div 13\%$. Коэффициент призмной прочности $K_{\text{пзм}} = R_b/R$ находился в пределах $0,8\div 0,89$ и с увеличением возраста бетона не изменялся.

Численные значения предельных деформаций укорочения составили $\varepsilon_{cu} = 2,41 \cdot 10^{-3}$ м, а поперечные деформации – $0,92 \cdot 10^{-3}$ м.

Уровни нагружения, соответствующие практически упругому деформированию, составили для модифицированного высокопрочного бетона $\eta = (0,7\div 0,8)$. Процесс упругого уменьшения объема образцов сменялся его увеличением (проявление эффекта дилатации) при уровнях нагружения выше $\eta = 0,8$.

Значение начального модуля упругости при осевом сжатии составило в среднем $43,6 \cdot 10^3$ МПа.

Значения коэффициента поперечной деформации при уровне сжимающих напряжений не более $0,3 \cdot R_b$ составили в среднем 0,21. Закономерности изменения значений коэффициента μ_b с ростом уровня нагружения определяются, как и у обычных бетонов, закономерностями разрушения структуры бетона.

Нижний параметрический уровень (нижняя граница) процесса микротрещинообразования $\sigma_{\text{inf}} / R_b$ составил 0,7, а верхняя граница $\sigma_{\text{sup}} / R_b$ – $0,82\text{--}0,85$. Данные величины в 1,5–2 раза превышают соответствующие характеристики для обычных тяжелых бетонов средней прочности (рис. 2).

Влияние размеров и степени гидроизоляции образцов на прочность и деформации бетона при сжатии

Отношение значений прочности кубов с ребром 100 мм к прочности кубов с ребром 150 мм составило в среднем $0,9\div 0,95$. Таким образом, для образцов из модифицированного бетона исследуемого состава качественно значения масштабных коэффициентов соответствуют их величинам в традиционном высокопрочном бетоне [7], тогда как для бетонов средней прочности это отношение составляет 1,03 [9, 10, 17].

Средние значения призмной прочности образцов с изолированными угловыми поверхностями (типы 2, 5, 7 рис. 1) при нормальной температуре имеют тенденцию к снижению с

увеличением размеров призм и оказались меньше на 2, 4 и 6 % от соответствующих значений для неизолированных призм (рис. 2), что согласуется с опытными данными других авторов [1, 7, 10, 13].

Предельные деформации при осевом сжатии для неизолированных образцов *состава 1* размерами $100 \times 100 \times 400$ мм и $250 \times 250 \times 650$ мм (тип 1 и 6) составили 0,97 и 1,03 от значений для эталонных образцов, а для аналогичных образцов с гидроизолированными угловыми поверхностями (типы 2 и 7) – 1,02 и 1,11 соответственно (рис. 4).

Предельные значения продольных деформаций при повторном нагружении образцов после длительного нагружения снижаются с увеличением модуля открытой поверхности M_o , при этом наиболее существенно уменьшается деформативность изолированных образцов при $\eta_1 = 0,5$ с гранями 100, 150 и 250 мм (типы 2, 5, 7 рис. 1) соответственно на 26,4, 13,7 и 6 % по сравнению с аналогичными образцами без гидроизоляции (рис. 3).

Значения начального модуля упругости бетона имеют тенденцию к увеличению с возрастанием M_o , при этом для гидроизолированных призм с разными размерами и одинаковыми $M_o = 16 \text{ м}^{-1}$ значения модуля упругости бетона примерно одинаковы и меньше, чем у негидроизолированных образцов (рис. 4).

Длительное осевое обжатие уровнем $\eta_1 = 0,3$ приводит к росту модуля упругости для неизолированных образцов (типы 1, 4 и 6 рис. 1) и составляет 1, 11, 1,02 и 0,91, а при уровне $\eta_1 = 0,5$ – 1,06, 1,03 и 1,06 от значений для эталонных образцов без предварительного обжатия (рис. 5).

Значения коэффициента поперечных деформаций для образцов размерами $100 \times 100 \times 400$ мм и $250 \times 250 \times 650$ мм (типы 1 и 6, согласно рис. 1) составили 1,05 и 0,92 от значений для эталонных образцов, а для образцов с гидроизолированными угловыми поверхностями (типы 2, 5 и 7, согласно рис. 1) – 0,91, 0,84 и 0,89 соответственно. Таким образом, проявляется тенденция к увеличению коэффициента поперечных деформаций с увеличением M_o , что отвечает закономерностям изменения прочности бетона при осевом сжатии (рис. 5).

Значения коэффициентов поперечных деформации μ_b при повторном нагружении после длительного обжатия уровнем $\eta_1 = 0,3$ составили

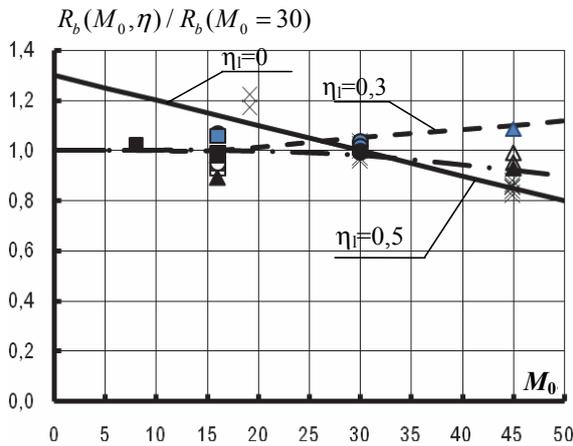


Рисунок 2. Влияние масштабного фактора при кратковременном и длительном обжатии уровням $\eta_1 = 0,3$ и $0,5$ на призменную прочность высокопрочного модифицированного бетона.

Условные обозначения:

$\Delta, \circ, \diamond, \square$ – опытные данные для образцов типов 1, 4, 6, 7 ($M_0 = 45, 30, 16, 8$) при $\eta_1 = 0$ (рис. 1);

$\blacktriangle, \bullet, \blacklozenge, \blacksquare$ – опытные данные для образцов типов 1, 4, 6, 7 ($M_0 = 45, 30, 16, 8$) при $\eta_1 = 0,5$ (рис. 1);

$\triangle, \bullet, \blacklozenge, \blacksquare$ – опытные данные для образцов типов 1, 4, 6, 7 ($M_0 = 45, 30, 16, 8$) при $\eta_1 = 0,3$ (рис. 1);

\times – опытные данные А. В. Корсуна [1, 5].

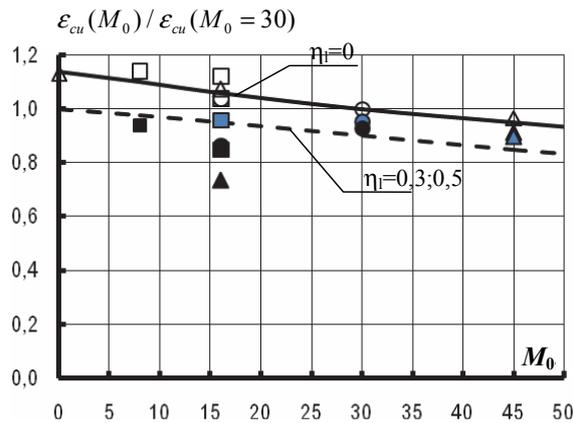


Рисунок 3. Влияние размеров образцов и условий их высухания на предельную сжимаемость высокопрочного бетона при кратковременном осевом сжатии при повторном нагружении после длительном обжатии уровнями $\eta_1 = 0,3$ и $0,5$. Условные обозначения см. рис. 2.

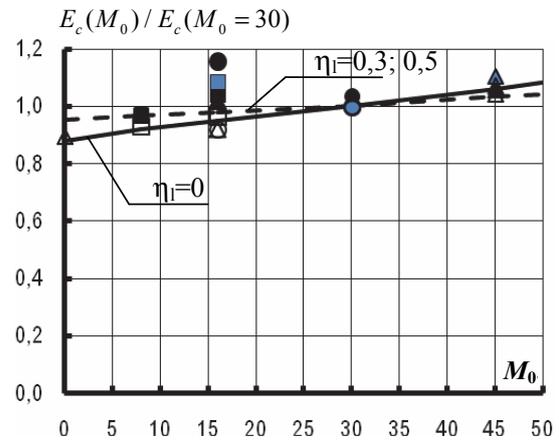


Рисунок 4. Влияние масштабного фактора на значения начального модуля упругости при кратковременном осевом сжатии без предварительного обжатия и при повторном нагружении после длительном обжатии уровнями $\eta_1 = 0,3$ и $0,5$. Условные обозначения см. рис. 2.

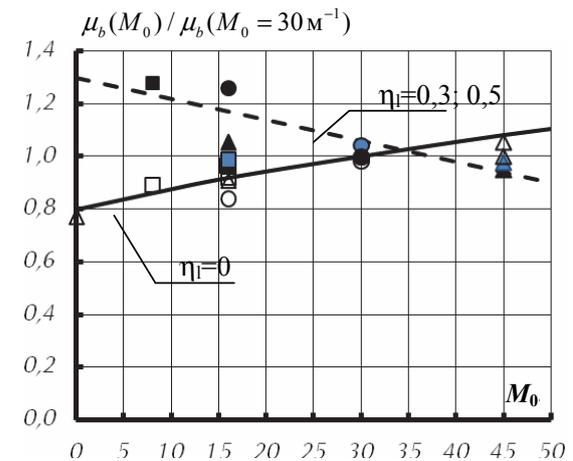
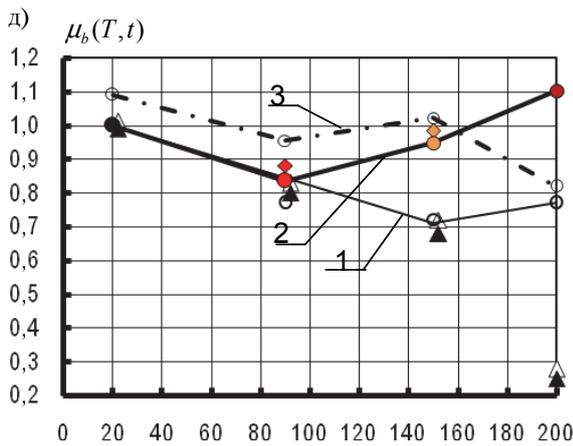
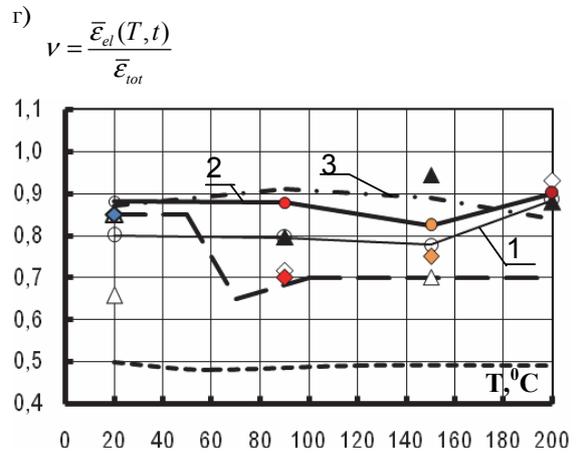
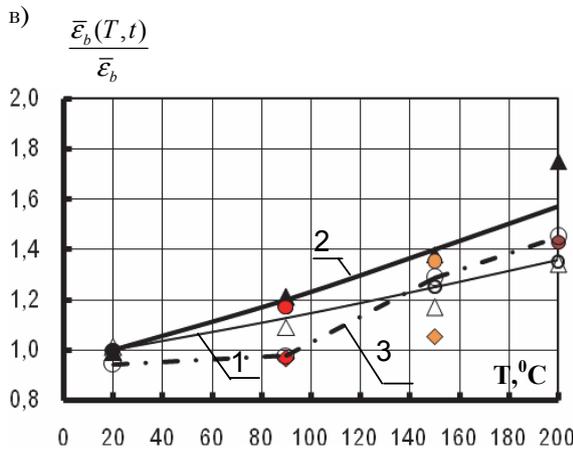
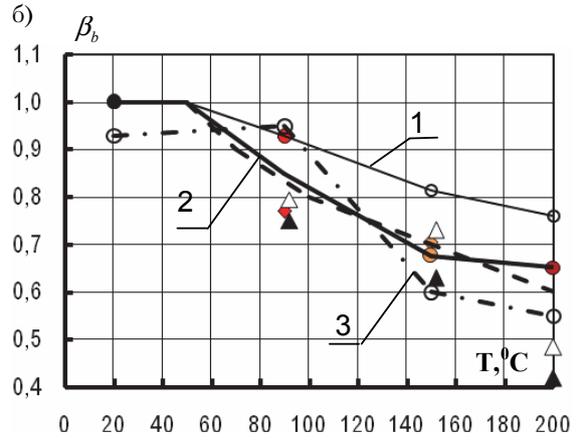
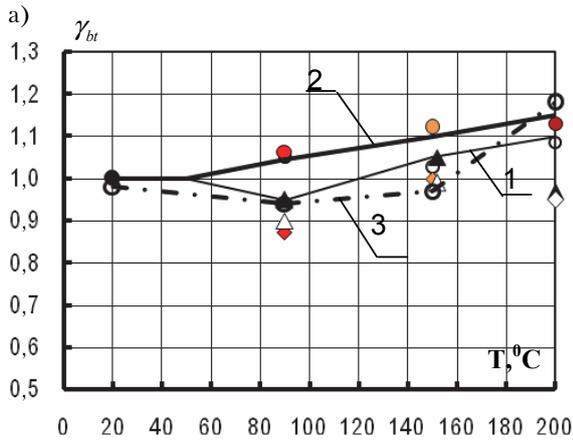


Рисунок 5. Влияние масштабного фактора на значения коэффициента поперечных деформаций при кратковременном осевом сжатии без предварительного обжатия и при повторном нагружении после длительном обжатии уровнями $\eta_1 = 0,3$ и $0,5$. Условные обозначения см. рис. 2.

0,97, 1,05 и 0,99 по отношению к ненагруженному бетону. Длительное обжатие уровня $\eta_1 = 0,5$ приводит к снижению μ_b для неизолированных образцов (типы 1, 4 и 6 рис. 1) до уровней 0,95, 0,99 и 0,97 от значений для эталонных образцов без предварительного обжатия (рис. 6). При этом наиболее существенно изменяются μ_b для изолированных образцов при $\eta_1 = 0,5$ с глянцами 100,



Опытные значения:
 ○, ◇ – высокопрочный бетон, нагрев кратковременный;
 ●, ◆ – то же, нагрев длительный;
 1 – нагрев кратковременный;
 2 – нагрев длительный;
 3 – после длительного обжатия уровня $\eta_1 = 0,5$.

Рисунок 6. Влияние кратковременного и длительного нагрева, длительного предварительного обжатия уровня $\eta_1 = 0,5$ на прочность (а), начальный модуль упругости (б), предельную сжимаемость (в), коэффициент упругости (г) и коэффициент поперечных деформаций (д) высокопрочного модифицированного бетона при осевом сжатии:
 - - - - - по рекомендациям СП [18] для обычного тяжелого бетона;
 ——— расчет по данным табл. 2, 3 и формулам (4)-(8) для модифицированного тяжелого бетона;
 ······ – обычный тяжелый бетон;
 △, ▲ – опытные данные А. В. Корсуна [1, 8].

150 и 250 мм (типы 2, 5, 7 рис. 1) соответственно до уровней 1,05, 1,26 и 1,28.

Величины линейных относительных деформаций усадки ϵ_{cs} в продольном направлении через 180 суток наблюдения составили $31 \cdot 10^{-5}$, $27,3 \cdot 10^{-5}$ и $23 \cdot 10^{-5}$ для образцов типов 1, 4 и 6 соответственно (рис. 1), а в поперечном направлении –

53,5·10⁻⁵, 48,3·10⁻⁵ и 36,9·10⁻⁵ соответственно. У аналогичных бетонных образцов с гидроизолированными угловыми поверхностями типов 2, 5 и 7 (рис. 1) деформации усадки в продольном направлении составили 36,4·10⁻⁵, 23·10⁻⁵ и 12,5·10⁻⁵, что близко по значениям для образцов с другими размерами и тем же модулем открытой поверхности M_o . Стабилизация деформаций начинала заметно проявляться через 50÷100 суток после распалубки пропорционально снижению модуля M_o .

При первом кратковременном нагреве до температур +90, +150 и +200 °С предельные деформации температурного расширения бетона для эталонных образцов (тип 4 рис. 1) составили в среднем 79·10⁻⁵, 128·10⁻⁵ и 182·10⁻⁵ соответственно, что соответствует значениям коэффициента линейного температурного расширения бетона соответственно $\alpha_{bt} = 10,5 \cdot 10^{-6}$, $\alpha_{bt} = 9,5 \cdot 10^{-6}$ и $\alpha_{bt} = 9,6 \cdot 10^{-6}$ (град⁻¹), а для образцов с размерами 250×250×650 мм (тип 6, рис. 1) при температурах +90 и +150 °С – 92,2·10⁻⁵ и 168,4·10⁻⁵ соответственно, что соответствует значениям $\alpha_{bt} = 10,5 \cdot 10^{-6}$ и $\alpha_{bt} = 10,6 \cdot 10^{-6}$.

Деформации температурной усадки высокопрочного модифицированного бетона в эталонных образцах за время изотермической выдержки при тех же температурах испытания составили соответственно 43,4·10⁻⁵, 55,9·10⁻⁵ и 65,63·10⁻⁵, а для образцов с размерами 250×250×650 мм при температурах +90 и +150 °С – 51,63·10⁻⁵ и 62·10⁻⁵ соответственно, что на 11 и 18 % больше значений для эталонных образцов. При остывании до нормальной температуры после длительного нагрева обратимые температурные деформации бетона для эталонных образцов составили соответственно 73·10⁻⁵, 128·10⁻⁵ и 141·10⁻⁵, а для образцов с размерами 250×250×650 мм – 78·10⁻⁵ и 112·10⁻⁵ соответственно. При этом значения коэффициента линейного температурного расширения для образцов 150×150×600 мм (тип 4, рис. 1) составили соответственно $\alpha_{bt} = 5,5 \cdot 10^{-6}$, $\alpha_{bt} = 6,6 \cdot 10^{-6}$ и $\alpha_{bt} = 6,3 \cdot 10^{-6}$ (град⁻¹), а для образцов 250×250×650 мм (тип 6, рис. 1) – $\alpha_{bt} = 5,9 \cdot 10^{-6}$ и $\alpha_{bt} = 7,9 \cdot 10^{-6}$ соответственно.

Первый кратковременный нагрев высокопрочного модифицированного бетона для эталонных образцов размерами 150×150×600 мм (тип 4 рис. 1) до +90 °С приводит к снижению прочности бетона на 1...4 %, а при нагревании до

температур +150 и +200 °С – к приросту прочности на осевое сжатие на 2,9 и 8,7 % соответственно, по отношению к прочности не нагревавшегося бетона (рис. 2). Для образцов размерами 250×250×650 мм (тип 6 рис. 1) при нагревании до +90 и +150 °С прочность составила 0,95 и 1,01 от прочности ненагреваемых эталонных образцов.

Длительный нагрев при тех же температурах испытания эталонных образцов обусловил прирост прочности бетона соответственно на 6, 12 и 14 %, а для образцов размерами 250×250×650 мм (тип 6, $M_o = 16 \text{ м}^{-1}$) при температурах +90 и +150 °С – соответственно на 87,1 и 99,8 % от прочности эталонных образцов, не подвергавшихся нагреву (рис. 2).

В выполненных исследованиях при первом кратковременном и длительном нагреве существенного снижения прочности для эталонных образцов не наблюдается (не более 4 %) в отличие от обычных тяжелых бетонов средней прочности [18, 9], что объясняется более высокой прочностью цементного камня и, как следствие, более однородной структурой модифицированных высокопрочных бетонов, что обуславливает снижение влияния деструктивных факторов в контактной зоне «цементный камень – заполнитель».

Кратковременный нагрев в исследованном диапазоне температур приводит к снижению прочности высокопрочного бетона не более чем на 6 %, длительный нагрев к практически полному ее восстановлению и приросту до 12 %, предварительное длительное обжигание уровня $\eta_1 = 0,5$ при нагревании +200 °С приводит к снижению прочности высокопрочного бетона не более чем на 7 %.

Предельная сжимаемость высокопрочного модифицированного бетона при кратковременном нагреве до +200 °С увеличивается до 35 %, длительный нагрев при тех же температурах приводит к увеличению предельной сжимаемости на величину до 43 % по отношению к ненагреваемому бетону, а длительное осевое сжатие уровня $\eta_1 = 0,5$ – к снижению до 13,5 % по сравнению со значениями при длительным нагреве.

Значения начального модуля упругости при кратковременном нагреве до +200 °С снизились на величину до 24 %, а при длительном нагреве – дополнительно до уровня 0,65 по отношению к ненагретому бетону. Длительное предварительное

обжатие уровня $\eta_1 = \sigma_1 / R_b = 0,5$ при тех же температурах нагрева – к снижению начального модуля упругости на величину до 20,9 % по сравнению с идентичными образцами при длительном нагреве.

Рекомендации по учету масштабного фактора при расчете прочности и деформаций железобетонных элементов из высокопрочных бетонов

Для бетонных образцов-призм, изготовленных из крупнозернистого модифицированного бетона, отмечается явная зависимость конечных величин деформаций усадки от массивности образцов: с увеличением размеров опытных образцов увеличивается время стабилизации деформаций и снижаются их абсолютные значения (рис. 7). Если массивность конструкций выразить через модуль открытой поверхности M_o (м^{-1}), то эта зависимость может быть представлена в виде кривой 1 на рис. 1 и аппроксимирована выражением:

$$\varepsilon_{cs,u}(M_o) = \varepsilon_{cs,u} \cdot \gamma_{cs,M_o}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{cs,u}$ – максимальная величина деформаций усадки образцов бетона эталонных размеров $150 \times 150 \times 600$ мм при $M_o = 30 \text{ м}^{-1}$; γ_{cs,M_o} – функция учета влияния массивности образцов на деформации их усадки в сравнении с деформациями эталонных образцов с $M_o = 30 \text{ м}^{-1}$ по выражению, предложенному в работах А. В. Корсуна [1, 8]:

$$\gamma_{cs,M_o} = \left(\frac{M_o}{30} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Аналогичная зависимость от массивности образцов отмечается также и для предельных величин деформаций ползучести: с увеличением размеров опытных образцов увеличивается период стабилизации деформаций и снижаются их абсолютные значения. В связи с этим влияние масштабного фактора на предельные величины деформаций ползучести высокопрочных модифицированных бетонов $\varepsilon_{cs,u}(M_o)$ в расчетах для условий нормальной температуры также могут быть описаны с помощью функции $\gamma_{cs,(M_o)}$ по подобию зависимости (2) (рис. 8):

$$\varepsilon_{cs,u}(M_o) = \varepsilon_{cs,u} \cdot \gamma_{cs,(M_o)}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{cs,u}$ – максимальные значения деформаций ползучести образцов бетона эталонных размеров ($M_o = 30 \text{ м}^{-1}$) при соответствующих уровнях нагружения (η_1).

Удельные деформации ползучести высокопрочного модифицированного бетона состава 2 в условиях нормальной температуры также существенно зависят от масштаба образцов – размеров и условий высыхания. Предельные значения удельных деформаций ползучести возрастают с ростом модуля открытой поверхности M_o . При этом предельные величины удельных деформаций ползучести для образцов с равными значениями $M_o = 16 \text{ м}^{-1}$, но разными размерами поперечного сечения (типы 2, 5 и 6 согласно рис. 1) имеют близкие по своим абсолютным значениям величины (рис. 9).

Влияние масштабного фактора и длительного предварительного обжатия на прочность, начальный модуль упругости и коэффициент упругих деформаций в предельном состоянии в условиях нормальной и повышенных до $+200^\circ\text{C}$ температур предлагается учитывать с помощью коэффициентов условий работы по соотношениям вида:

$$R_b(T, t, M_o, \eta) = R_b \cdot \gamma_{bt}(T, t, M_o) \cdot \gamma_{bt,\eta}, \quad (4)$$

$$E_b(T, t, M_o, \eta) = E_b \cdot \beta_b(T, t, M_o) \cdot \beta_{b\eta}, \quad (5)$$

$$\bar{v}(\eta, M_o) = \bar{v}(\eta = 0) \cdot \gamma_{vp}, \quad (6)$$

$$\bar{\varepsilon}_b(t^\circ, T, M_o) = \frac{1}{\bar{v}(t^\circ, T)} \cdot \frac{R_b \cdot \gamma_{bt}(t^\circ, T) \cdot \gamma_{b,M_o}}{E_b \cdot \beta_b(t^\circ, T)}, \quad (7)$$

$$\text{где } \gamma_{b,M_o} = 1,3 - 0,3 \cdot \left(\frac{M_o}{30} \right), \quad (8)$$

M_o – модуль открытой поверхности бетона. Зависимость прочности бетона на сжатие от объема и размеров конструкций в расчетах рекомендуется учитывать с помощью корректирующей функции γ_{b,M_o} (4), а значения начального модуля упругости и предельной сжимаемости – по формулам (5)–(8) в зависимости от скорректированного по формуле (4) значения прочности $R_b(T, t^\circ, M_o)$.

Рекомендуемые значения коэффициентов условий работы, температурных деформаций и деформаций усадки для высокопрочных модифицированных бетонов применительно к диапазону температур $+20 \div +200^\circ\text{C}$ представлены для исследуемого состава в таблице 2.

Учет влияния предварительного длительного обжатия в условиях повышенных температур на характеристики механических свойств бетона в предельном состоянии в выражениях (9)–(12) предлагается осуществлять функциями $\gamma_{b,\eta}$, $\beta_{b\eta}$ и γ_{vp} для которых в качестве исходных выражений

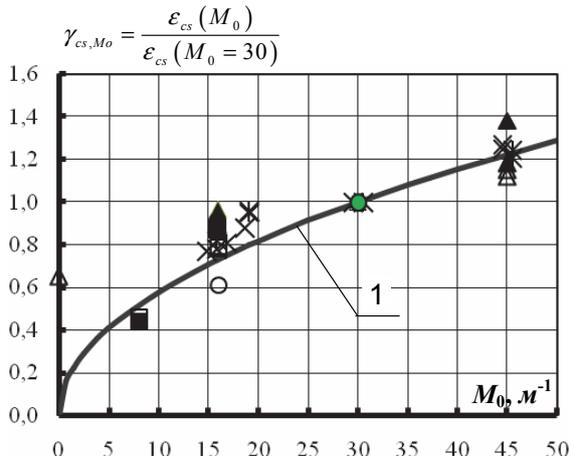


Рисунок 7. Влияние масштабного фактора на относительные деформации усадки высокопрочного бетона образцов:
 Δ, \circ, \square – опытные значения для образцов типов 1, 4, 6 (рис. 1) в продольном направлении;
 $\blacktriangle, \bullet, \blacksquare$ – то же, в поперечном направлении;
 \diamond, \times – опытные значения А. В. Корсуна в продольном направлении А. В. Корсуна [1, 5];
 \blacklozenge, \times – опытные значения А. В. Корсуна в поперечном направлении [1, 5];
 1 – расчет по формулам (1–3).

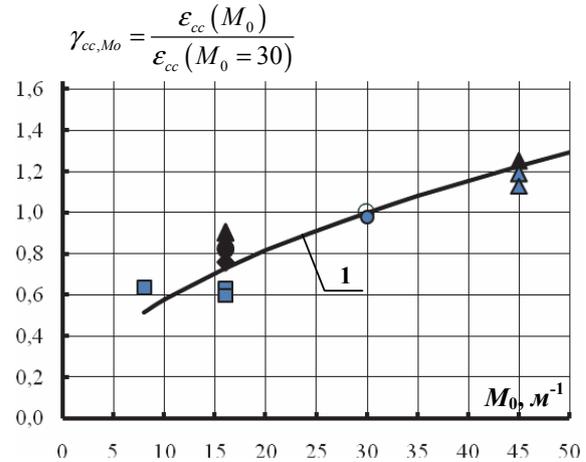


Рисунок 8. Влияние масштабного фактора на предельные величины деформаций ползучести бетона для образцов из высокопрочного бетона в условиях нормальной температуры:
 $\blacktriangle, \bullet, \blacksquare$ – опытные значения относительных деформаций ползучести при уровне длительного нагружения $\eta_1 = 0,3$;
 $\blacktriangle, \bullet, \blacksquare$ – то же, при уровне длительного нагружения $\eta_1 = 0,5$;
 1 – расчет по формуле (3).

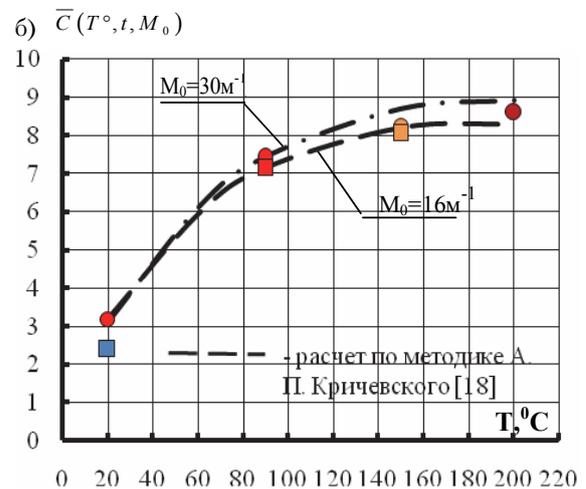
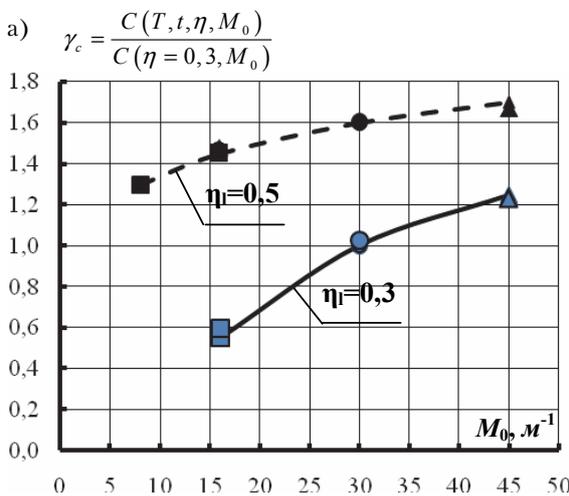


Рисунок 9. Зависимость предельной величины удельных деформаций ползучести бетона состава от уровня длительного обжатия и модуля открытой поверхности в условиях нормальной температуры (а), а также повышенных до +200 °С температур (б). Условные обозначения см. рис. 8.

приняты известные соотношения Л.П. Макаренко, преобразованные для условий повышенных температур В. И. Корсуном. Для высокопрочного модифицированного бетона выражения для этих функций могут быть представлены в виде:

$$\gamma_{bt, \eta} = A_1 \cdot (1 - \eta_{lt})^k + B_1 \cdot (1 - \eta_{lt}); \quad (9)$$

$$\beta_{b\eta} = A_2 \cdot (1 - \eta_{lt})^n + B_2 \cdot (1 - \eta_{lt}); \quad (10)$$

$$\gamma_{v\eta} = 3,75 \cdot (1 - \eta_{lt})^m - 2,75 \cdot (1 - \eta_{lt}). \quad (11)$$

$$\text{где } \eta_{lt} = f_{ck,p}(T, t, \eta) / f_{ck,p}(T, t); B_i = 1 - A_i; \quad (12) \\ (i = 1, 2).$$

A_i – функции учета температуры t^0 :

$$A_1 = 2,7 \times 10^{-7} \times (T - 20^\circ)^3 - 1,12 \times 10^{-4} \times (T - 20^\circ)^2 + 1,66 \times 10^{-2} \times (T - 20^\circ) + 2; \quad (13)$$

$$A_2 = -1,22 \times (T - 20^\circ)^3 + 3,17 \times 10^{-4} \times (T - 20^\circ)^2 - 0,022 \times (T - 20^\circ) + 3,5; \quad (14)$$

k, n, m – коэффициенты нелинейности, которые для высокопрочного модифицированного бетона принимают значения:

$$k = 1,94 \times 10^{-3} \times (T - 20^\circ) + 0,35; \\ n = 0,6; m = 0,6 \quad (15)$$

Выводы

1. Экспериментально установлено, что характеристики прочностных и деформационных свойств высокопрочного модифицированного бетона существенно зависят от размеров и условий высыхания опытных образцов. В выполненных экспериментальных исследованиях выявлена четкая зависимость прочности, начального модуля упругости, предельной сжимаемости, предельных величин деформаций усадки и ползучести бетона при нормаль-

ной температуре от масштаба образцов. В качестве обобщенной физической характеристики, позволяющей учитывать размер и условия высыхания бетонных образцов (масштабный фактор), может быть принят модуль открытой поверхности.

2. Деформации усадки высокопрочного крупнозернистого бетона в условиях нормальной температуры в продольном направлении эталонных образцов-призм размерами $150 \times 150 \times 600$ мм из высокопрочного тяжелого бетона составили в среднем $43,5 \cdot 10^{-5}$, а у образцов размерами $100 \times 100 \times 400$ мм и $250 \times 250 \times 650$ мм – соответственно 125 и 88 % от значений у эталонных призм. Для образцов всех размеров деформации усадки в поперечном направлении в $1,6 \div 1,8$ раза превышали соответствующие значения в продольном направлении.

3. Установленную в экспериментальных исследованиях зависимость деформаций усадки и ползучести бетона от размеров образцов в расчетах конструкций применительно к условиям нормальной температуры предлагается

Таблица 2. Коэффициенты температурных деформаций, условий работы и деформации усадки для высокопрочного модифицированного бетона в диапазоне температур от $+20$ до $+200$ °С

Коэффициент	M_0	при температуре, °С			
		+20	+90	+150	+200
$\gamma_{bt} = \frac{R_b(T, t) \cdot \gamma_{bM_0}}{R_b}$	45	0,95	–	–	–
	30	1,00	1,00 / 1,05	1,05 / 1,1	1,08 / 1,12
	16	0,95	– / 0,95	– / 1,0	– / 1,1
	8	0,93	–	–	–
$\beta_b = \frac{E_b(T, t) \cdot \beta_{bM_0}}{E_b}$	45	1,05	–	–	–
	30	1,00	0,93 / 0,8	0,82 / 0,7	0,75 / 0,65
	16	0,9	– / 0,75	– / 0,7	– / 0,7
	8	0,87	–	–	–
$\bar{\nu} = \frac{\bar{\varepsilon}_{el}(T, t)}{\bar{\varepsilon}_{tot}(T, t)}$	45	0,85	–	–	–
	30	0,9	0,85 / 0,9	0,85 / 0,85	0,9 / 0,9
	16	0,85	– / 0,7	– / 0,75	–
	8	0,8	–	–	–
$\alpha_{br} \cdot 10^6, \text{град}^{-1}$	30	11,5	9,8 / 5,2	9,7 / 6,5	9,7 / 6,5
	16		– / 5,1	– / 6,8	– / 6,8
$-\alpha_{cs} \cdot 10^6, \text{град}^{-1}$	30	0,0	0,0 / 5,3	0,5 / 5,6	1,8 / 6,4
	16		– / 6,6	– / 5,7	– / 6,5

Примечания: 1. Над чертой – кратковременный нагрев, под чертой – длительный нагрев. 2. Коэффициенты для промежуточных значений температур определяются интерполяцией. 3. Полные деформации усадки ε_{cs} при воздействии повышенной температуры определяются суммированием составляющих при $T = +20$ °С и при температуре T .

Таблица 3. Коэффициенты условий работы для модифицированного бетона при повторном нагружении после длительного обжатия

Коэффициент	M_0	при температуре, °С			
		+20	+90	+150	+200
$\gamma_{bt\eta} = \frac{R_b(T, t, \eta, M_0)}{R_b}$	45	1,09 / 0,93	–	–	–
	30	1,04 / 0,98	– / 0,94	– / 0,97	– / 1,18
	16	1,05 / 1,0	– / 0,95	– / 0,9	–
	8	– / 1,03	–	–	–
$\beta_b = \frac{E_b(T, t, \eta, M_0)}{E_b}$	45	1,1 / 1,05	–	–	–
	30	1,03 / 0,93	– / 0,95	– / 0,6	– / 0,55
	16	0,88 / 1,05	– / 1,02	– / 0,7	–
	8	– / 0,96	–	–	–
$\gamma_c = \frac{C(T, t, \eta, M_0)}{C(\eta = 0,3, M_0)}$	45	1,25 / 1,7	–	–	–
	30	1 / 1,6	– / 3,3	– / 3,65	– / 3,76
	16	0,55 / 1,45	– / 3,2	– / 3,62	– / 3,7
	8	– / 1,3	–	–	–

Примечание: над чертой – длительное нагружение уровня $\eta_1 = 0,3$, под чертой – то же, для уровня $\eta_1 = 0,5$; значения γ_c приведены относительно величины для уровня $\eta_1 = 0,3$ при температуре +20 °С.

учитывать с помощью масштабного коэффициента M_0 , определяемого по формулам (1–3) в зависимости от модуля открытой поверхности.

4. Результаты экспериментальных исследований ползучести высокопрочного модифицированного бетона в условиях осевого сжатия при уровнях длительного нагружения $\eta = 0 \div 0,5$ свидетельствуют о существенном влиянии на предельные величины деформаций ползучести бетона модуля открытой поверхности M_0 опытных образцов. В линейных относительных деформациях ползучести отмечается тенденция к увеличению их предельных величин с ростом модуля открытой поверхности M_0 бетонных образцов. Линейные деформации ползучести образцов с одинаковым модулем открытой поверхности $M_0 = 16 \text{ м}^{-1}$, но с разным поперечным сечением имеют близкие по своим абсолютным значениям величины деформаций ползучести.
5. Для опытных образцов из высокопрочного бетона установлена существенная зависи-

мость характеристик прочностных и деформативных свойств от их размеров. Так, у образцов-призм с поперечным сечением 100×100 мм значения прочности на сжатие R_b , начального модуля упругости E_b и предельной сжимаемости соответственно на 18, 6 и 21 % ниже соответствующих характеристик для эталонных призм сечением 150×150 мм, а у призм сечением 250×250 мм указанные характеристики свойств соответственно на 19, 6 и 17 % выше аналогичных характеристик у эталонных образцов.

6. Предложены выражения для аналитического описания и учета влияния повышенных температур, уровня длительного осевого сжатия и масштабного фактора на характеристики реологических, прочностных и деформативных свойств высокопрочных бетонов.
7. Обоснована возможность расчетного определения температурно-усадочных деформаций и деформаций ползучести бетона с учетом масштабного фактора по методике, разработанной А. П. Кричевским [18].

Литература

1. Корсун, В. И. Влияние масштабного фактора и повышенных температур на прочность и деформации высокопрочного модифицированного бетона / В. И. Корсун, А. В. Корсун. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2014. – № 3. – С. 179–188.
2. Волков, А. С. Влияние повышенных температур (до +200 °С) и длительности нагрева на диаграммы деформирования высокопрочного модифицированного бетона / А. С. Волков. – Текст : непосредственный // Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник НДІБК. – 2013. – Випуск 2013(78), т. 2. – С. 117–123.
3. Корсун, В. И. Оценка эффективности применения высокопрочных бетонов для возведения дымовых труб / В. И. Корсун, А. С. Волков. – Текст : непосредственный // Вісник ДонНАБА. – 2009. – Випуск 2009-4(78) Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. – С. 60–64.
4. Корсун, В. И. Механические и реологические свойства высокопрочных модифицированных бетонов при осевом сжатии / В. И. Корсун, А. С. Волков. – Текст : непосредственный // Научно-технический сборник Харьковской национальной академии городского хозяйства. – 2009. – Выпуск 86. – С. 130–140.
5. Effect of Short-Term Heating up to +90 °C on Deformation and Strength of High-Strength Concrete / K. Khon, V. Korsun, Q. Ha, A. Volkov. – Текст : непосредственный // Conference proceedings ECECE 2019. Part of the Lecture Notes in Civil Engineering book series (LNCE, volume 70). – [S. l.] : Springer Nature Switzerland AG 2020, 2020. – P. 585–592.
6. Blanks, R. F. Mass Concrete Tests in Large Cylinders / R. F. Blanks, C. C. McNamara. – Текст : непосредственный // ACI Journal. – 1935. – Vol. 31. – P. 280–303.
7. 2002: Summary of Research on Concrete-Filled Structural Steel Tube Column System Carried Out Under The USJAPAN Cooperative Research Program on Composite and Hybrid Structures / I. Nishiyama, S. Morino, K. Sakino, H. Nakahara. – Japan : [s. n.]. – 176 p. – Текст : непосредственный.
8. Korsun, V. Characteristics of mechanical and rheological properties of concrete under heating conditions up to 200 °C / V. Korsun, A. Korsun, A. Volkov. – Текст : электронный // Concrete Spalling due to Fire Exposure : Proceedings of the 3rd International Workshop : MATEC Web of Conferences 6 : 07002. Paris, September 25-27, 2013. – 2013. – № 6. – P. 1–8. – URL: <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20130607002> (дата обращения 11.02.2021).
9. Некрасов, К. Д. Тяжелый бетон в условиях повышенных температур / К. Д. Некрасов, В. В. Жуков, В. Ф. Гуляева. – Москва : Стройиздат, 1972. – 128 с. – Текст : непосредственный.
10. Берг, О. Я. Высокопрочный бетон / О. Я. Берг, Е. Н. Шербаков, Г. Н. Писанко. – Москва : Стройиздат, 1971. – 208 с. – Текст : непосредственный.

Reference

1. Korsun, V. I.; Korsun, A. V. Influence of the scale factor and elevated temperatures on the strength and deformation of high-strength modified concrete. – Text : direct. – In: *Bulletin of the MSUCE*. – 2014. – № 3. – P. 179–188. (in Russian)
2. Volkov, A. S. Influence of elevated temperatures (up to +200 °C) and heating duration on deformation diagrams of high-strength modified concrete. – Text : direct. – In: *Building structures: Interdepartmental scientific and technical collection SRIBS*. – 2013. – Issue 2013(78), vol. 2. – P. 117–123. (in Russian)
3. Korsun, V. I.; Volkov, A. S. Evaluation of the effectiveness of the use of high-strength concrete for the construction of chimneys. – Text : direct. – In: *Bulletin of the DNACEA*. – 2009. – Issue 2009- 4(78) Tower structures: materials, structures, technologies. – P. 60–64. (in Ukrainian)
4. Korsun, V. I.; Volkov, A. S. Mechanical and rheological properties of high-strength modified concretes under axial compression. – Text : direct. – In: *Scientific and technical collection of the Kharkiv National Academy of Urban Economy*. – 2009. – Issue 86. – P. 130–140. (in Russian)
5. Khon, K.; Korsun, V.; Ha, Q.; Volkov, A. Effect of Short-Term Heating up to +90 °C on Deformation and Strength of High-Strength Concrete. – Text : direct. – In: *Conference proceedings ECECE 2019*. Part of the Lecture Notes in Civil Engineering book series (LNCE, volume 70). – [S. l.] : Springer Nature Switzerland AG 2020, 2020. – P. 585–592. (in English)
6. Blanks, R. F.; McNamara, C. C. Mass Concrete Tests in Large Cylinders. – Text : direct. – In: *ACI Journal*. – 1935. – Vol. 31. – P. 280–303. (in English)
7. Nishiyama, I.; Morino, S.; Sakino, K.; Nakahara, H. 2002: Summary of Research on Concrete-Filled Structural Steel Tube Column System Carried Out Under The USJAPAN Cooperative Research Program on Composite and Hybrid Structures. – Japan : [s. n.]. – 176 p. – Text : direct. (in English)
8. Korsun, V.; Korsun, A.; Volkov, A. Characteristics of mechanical and rheological properties of concrete under heating conditions up to 200 °C. – Text : direct. – In: *Concrete Spalling due to Fire Exposure : proceedings of the 3rd International Workshop: MATEC Web of Conferences 6 : 07002*. – 2013. – № 6. – P. 1–8. – URL: <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20130607002> (date of the application 11.02.2021). (in English)
9. Nekrasov, K. D.; Zhukov, V. V.; Gulyayeva, V. F. Heavy concrete at elevated temperatures. – Moscow : Stroiizdat, 1972. – 128 p. – Text : direct. (in Russian)
10. Berg, O. Ya.; Shcherbakov, Ye. N.; Pisanko, G. N. High strength concrete. – Moscow : Stroiizdat, 1971. – 208 p. – Text : direct. (in Russian)
11. Kharlab, V. D. Generalization of the Weibull statistical theory of brittle fracture. – Text : direct. – In:

11. Харлаб, В. Д. Обобщение вейбуловской статистической теории хрупкого разрушения / В. Д. Харлаб. – Текст : непосредственный // Механика стержневых систем и сплошных сред. – 1987. – № 11. – С. 150–152.
12. Кришан, А. Л. Учет масштабного фактора при определении прочности сжатого бетона / А. Л. Кришан. – Текст : непосредственный // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – 2014. – № 5-3(5). – С. 64–65.
13. Фрактальная природа масштабного эффекта прочности бетона / В. П. Селяев, П. В. Селяев, А. О. Горенков [и др.]. – Текст : непосредственный // Эксперт: теория и практика. – 2020. – № 4(7). – С. 53–59.
14. Карапетян, К. А. Влияние масштабного фактора на сопротивляемость влажностной усадке старого бетона / К. А. Карапетян, Д. Г. Клекчян, Е. С. Манукян. – Текст : непосредственный // Mechanics. Proceedings of National Academy of Sciences of Armenia. – 2012. – 65 (2). – С. 77-82. – ISSN 0002-3051.
15. Карапетян, К. С. Влияние размеров образца на усадку и ползучесть бетона / К. С. Карапетян. – Текст : непосредственный // Изв. АН Арм. ССР. Серия физ.-мат., естеств. и техн. наук. – 1956. – Т. 9, № 1. – С. 87–100.
16. Александровский, С. В. О влиянии масштабного фактора на пластические деформации бетона / С. В. Александровский. – Текст : непосредственный // Расчет железобетонных конструкций. Экспериментально-теоретические исследования по усовершенствованию расчета. Труды НИИЖБ. – Выпуск 23. – Москва : Госстройиздат, 1961. – С. 207–228.
17. Корсун, В. И. Неоднородность прочностных и деформационных свойств бетона по объему массивных элементов конструкций / В. И. Корсун, Ю. Ю. Калмыков. – Текст : непосредственный // Современные проблемы строительства. – 2002. – Т. 2. – С. 95–102.
18. Кричевский, А. П. Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия / А. П. Кричевский. – Москва : Стройиздат, 1984. – 148 с. – Текст : непосредственный.
19. СП 27.13330.2011. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур = Concrete and Reinforced Concrete Structures intended for the Service in Elevated and High Temperatures : издание официальное : утверждено и введен в действие приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. № 827 : актуализированная редакция СНиП 2.03.04-84 : дата введения 2011-05-20 / подготовлен Департаментом архитектуры, строительства и градостроительной политики. – Москва : Минрегион России, 2011. – 121 с. – Текст : непосредственный.
20. ГОСТ 20910-90. Бетоны жаростойкие. Технические условия = Refractory concretes. Specifications : *Mechanics of Rod Systems and Continuous Media.* – 1987. – № 11. – P. 150–152. (in Russian)
21. Krishan, A. L. Consideration of the scale factor when determining the strength of compressed concrete. – Text : direct. – In: *Eurasian Union of Scientists (EUS).* – 2014. – № 5-3(5). – P. 64–65. (in Russian)
22. Selyayev, V. P.; Selyayev, P. V.; Gorenkov, A. O. [et. al.]. Fractal nature of the scale effect of concrete strength. – Text : direct. – In: *Expert: theory and practice.* – 2020. – № 4(7). – P. 53–59. (in Russian)
23. Karapetyan, K. A.; Klekchyan, D. G.; Manukyan, Ye. S. Influence of the scale factor on the resistance to moisture shrinkage of old concrete. – Text : direct. – In: *Mechanics. Proceedings of National Academy of Sciences of Armenia.* – 2012. – 65 (2). – P. 77–82. – ISSN 0002-3051. (in Russian)
24. Karapetyan, K. S. Effect of sample size on shrinkage and creep of concrete. – Text : direct. – In: *Bulletin of the Academy of Sciences of the Armenian SSR. Series of Physics and Mathematics, Natural and Technical Sciences.* – 1956. – Vol. 9, № 1. – P. 87–100. (in Russian)
25. Aleksandrovsky, S. V. On the influence of the scale factor on moisture deformation of concrete. – Text : direct. – In: *Calculation of reinforced concrete structures. Experimental and theoretical studies to improve the calculation. Proceedings CRCRI.* – Issue 23. – Moscow : Gosstroizdat, 1961. – P. 207–228. (in Russian)
26. Korsun, V. I.; Kalmykov, Yu. Yu. Inhomogeneity of strength and deformation properties of concrete over the volume of massive structural elements. – Text : direct. – In: *Modern construction problems.* – 2002. – Vol. 2. – P. 95–102. (in Russian)
27. Krichevsky, A. P. Calculation of reinforced concrete engineering structures for temperature effects. – Moscow : Stroizdat, 1984. – 148 p. – Text : direct. (in Russian)
28. SP 27.13330.2011. Concrete and Reinforced Concrete Structures intended for the Service in Elevated and High Temperatures. – Moscow : Ministry of Construction and Housing and Communal Services of Russia, 2011. – 121 p. – Text : direct. (in Russian)
29. GOST 20910-90. Refractory concretes. Specifications. – Moscow : Standards Publishing House, 1991. – 19 p. – Text : direct. (in Russian)

издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного строительного комитета СССР от 12 октября 1990 г. № 86 : на замену ГОСТ 20956-75, ГОСТ 20955-75, ГОСТ 23283-78, ГОСТ 23521-79, ГОСТ 20910-82 : дата введения 1991-07-01 / подготовлен Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона (НИИЖБ) Госстроя СССР. – Москва : Издательство Стандартов, 1991. – 19 с. – Текст : непосредственный.

Волков Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование прочностных и деформативных свойств конструкций из модифицированного высокопрочного бетона, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Волков Андрій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження міцності і деформативних властивостей конструкцій з модифікованого високоміцного бетону, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Volkov Andrei – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientifics interests: determination of strength and strain propertied of modified high strength concrete structures, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.