

К вопросу производства высокопрочных бетонов в Социалистической Республике Вьетнам

Г.В. Несветаев¹, Ву Ле Куен²

¹Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

²Ханойский Архитектурный Университет, Вьетнам

Аннотация: Произведена оценка возможности получения высокопрочных бетонов на основе некоторых материалов СРВ. Выполнен анализ влияния на предел прочности бетона на сжатие продолжительности твердения, величины водоцементного отношения и свойств материалов. Приведена методика выбора эффективных для производства высокопрочных бетонов материалов на основе оценки показателя удельного расхода цемента. Показано, что на основе материалов, имеющих в северных регионах СРВ, могут быть получены высокопрочные бетоны с показателем удельного расхода цемента порядка 6 (кг/м³)/МПа. Сделано заключение о целесообразности при производстве высокопрочных бетонов повышения сцепления цементного камня с крупным заполнителем, например, посредством введения в состав бетонной смеси активного микрокремнезема в виде золы рисовой шелухи. Высказано предположение о необходимости исследования влияния суперпластифицирующих добавок, применяемых в СРВ, на кинетику твердения цементов с целью определения группы добавок, оказывающих минимальное замедляющее действие на рост прочности бетона в ранний период.

Ключевые слова: удельный расход цемента, высокопрочный бетон, предел прочности, цемент, крупный заполнитель, мелкий заполнитель, сцепление цементного камня с заполнителем, кинетика твердения.

Как известно, основные рецептурные факторы для высокопрочных бетонов должны соответствовать следующим требованиям [1-11,16,18]:

- цементы – высокоактивные с содержанием C_3A в клинкере не более 7% и C_3S в пределах 58 – 63%, с нормальной плотностью до 27%, удельной поверхностью 3400 – 3900 см²/г при дозировке гипсового камня в зависимости от количества C_3A , например, по Meissner $SO_2 = a + 0,115 \cdot C_3A$, что соответствует пределу 2,65 – 3,1%, с минимальной контракционной (аутогенной) и влажностной усадкой в присутствии суперпластифицирующей добавки;
- крупный заполнитель - с развитой шероховатой поверхностью и формой зерен, близкой к кубовидной с гранулометрическим составом, максимально

соответствующим кривой Фуллера и содержанием ПГ до 0,5%, с пределом прочности не менее чем на 20% превышающим предел прочности бетона;

- мелкий заполнитель – с содержанием ПГ до 1% и модулем крупности более 2,5, с гранулометрическим составом, максимально соответствующим кривой Фуллера;
- сцепление цементного камня с заполнителем - максимальное, в т.ч. за счет химического взаимодействия заполнителя с продуктами гидратации портландцемента.

В [12,17] показано, что в Социалистической Республике Вьетнам (СРВ) в принципе имеются материалы, удовлетворяющие указанным требованиям, за исключением сцепления цементного камня с заполнителем, поскольку, согласно оценке [13], величина сцепления крупного заполнителя с маркой по прочности М1100 – М1200 с цементным камнем составила от 0,29 до 0,74 МПа, что соответствует значениям сцепления цементного камня с прочностью на растяжение 4,4 МПа с полированной поверхностью гранита и известняка. В [13] сделан вывод о пониженном сцеплении цементного камня с исследованными заполнителями СРВ. В связи с вышеизложенным актуальной задачей является оценка целесообразности и эффективности применения материалов СРВ для производства высокопрочных бетонов классов В60 и выше. Многочисленность факторов, определяющих предел прочности бетонов, особенно высокопрочных, предопределяет необходимость для оценки целесообразности применения тех или иных материалов и ранжирования их по эффективности использования количественного показателя, позволяющего выполнить технико-экономическое сравнение. В качестве такого показателя может быть использован, например, показатель удельного расхода цемента [5, 14, 20], численно равный отношению расхода цемента, кг/м^3 , к пределу прочности бетона на сжатие, МПа.

Проведены исследования свойств бетонов с расчетным расходом цемента от 400 до 520 кг/м³ при расчетном расходе воды 170 л/м³ с использованием эффективных суперпластифицирующих добавок и материалов, представленных в табл. 1. Подвижность бетонной смеси соответствовала марке П4 по ГОСТ 7473.

Таблица №1

Материалы, использованные в исследованиях

Материал	Маркировка	Производитель	Технические характеристики	Стоимость \$ (руб)/т
Портландцемент	№1	Тханг Лонг	НГ 26,8%; А _Ц 52,5 МПа S _{вд} = 3430 см ² /Г	57 (3764)
	№2	Бут Шон	НГ 27%; А _Ц 51,1 МПа S _{вд} = 3520 см ² /Г	54,4 (3597)
Крупный заполнитель	№1	Фу Ман	M1100; V _П = 47,4%	10,5 (697)
	№2	Хоа Бинь	M1200; V _П = 45%	11,2 (739)
Мелкий заполнитель	№1	Ло	M _к = 2,5; ПГ 0,4%	10,8 (711)
	№2	Хонг	M _к = 2,9; ПГ 0,5%	11,4 (753)

С применением указанных в табл. 1 материалов получены бетоны с пределом прочности в 28 сут от 42,4 до 67,6 МПа, в возрасте 90 сут от 53,8 до 85,3 МПа (рис. 1). Из представленных на рис. 1 данных очевидно:

- в принципе высокопрочные бетоны могут быть получены с применением исследованных материалов, особенно на цементе 2 после твердения в течение 90 сут;
- разброс значений прочности бетонов при постоянном значении В/Ц превышает 10%, причем с увеличением возраста бетона разброс возрастает;
- для бетонов с более высоким значением В/Ц разброс значений прочности выше.

Для анализа эффективности применения различных материалов далее применен показатель удельного расхода цемента. Согласно [14],

эффективный удельный расход цемента для высокопрочных бетонов не должен превышать величины

$$\frac{Ц}{R_6} = \frac{(B)^{1.17}}{29 \cdot Ц^{0.17}} \quad (1)$$

где Ц, В – соответственно расход цемента и воды, кг/м³; R₆ – предел прочности бетона на сжатие, МПа,

или для состава бетона с расходом воды 170 л/м³:

$$\frac{Ц}{R_6} = 15,5 \cdot R_6^{-0.205} \quad (2)$$

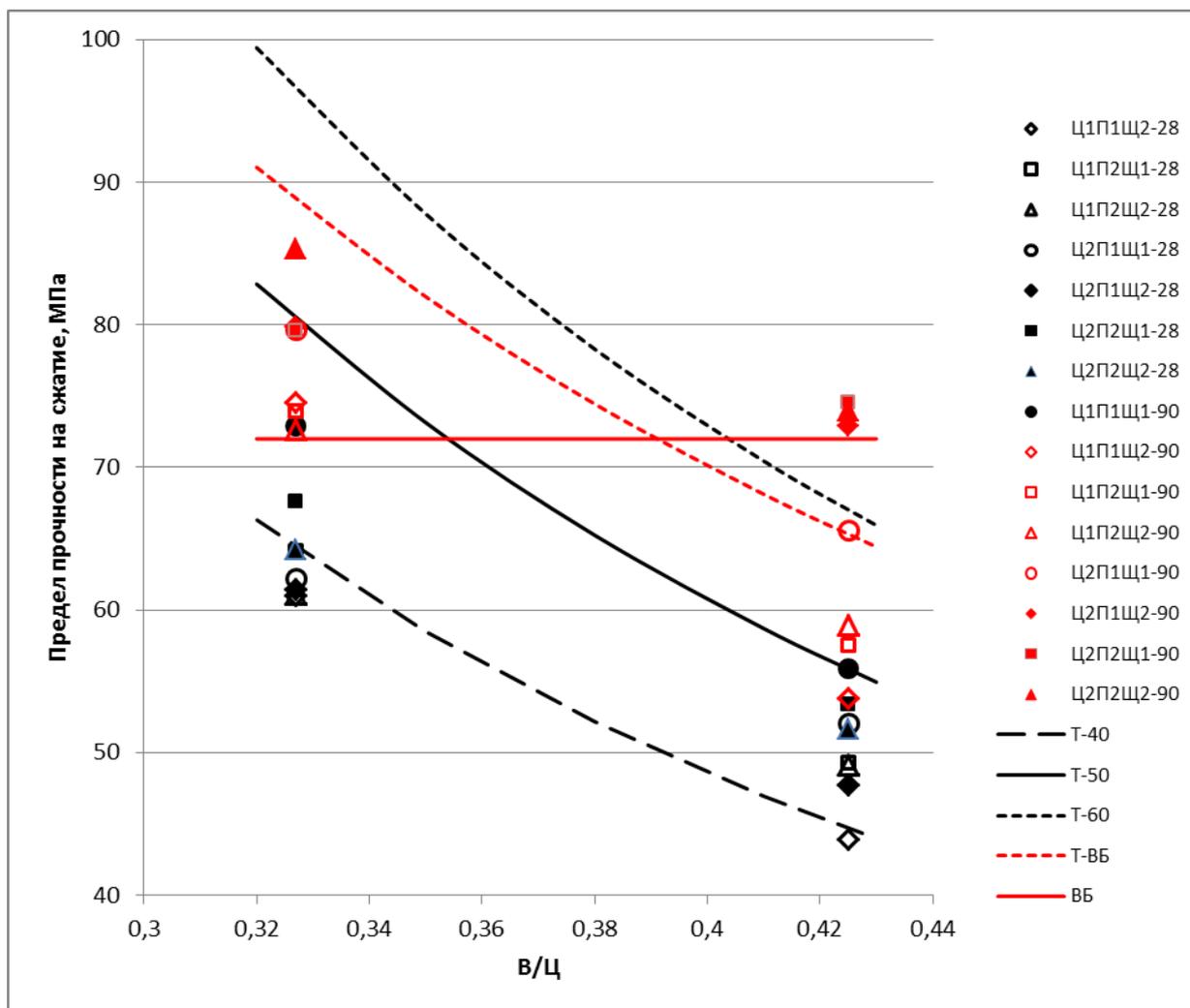


Рис. 1 – Зависимость предела прочности бетона на сжатие от величины В/Ц
 Ц1П2Щ1-28 – соответственно цемент №1, мелкий заполнитель №2, крупный

заполнитель №1 по табл. 1, возраст 28 сут; Т – по формуле $R = \frac{0,34 \cdot R_{ц}}{C^{1,29}}$ [5] при активности цемента 40,50, 60 МПа; Т-ВБ – по формуле $R = \frac{24}{C^{1,47}}$ для высокопрочного бетона [5]; ВБ – высокопрочный бетон (В60 и выше)

На рис. 2 представлена зависимость удельного расхода цемента от предела прочности бетона в возрасте 28 сут.

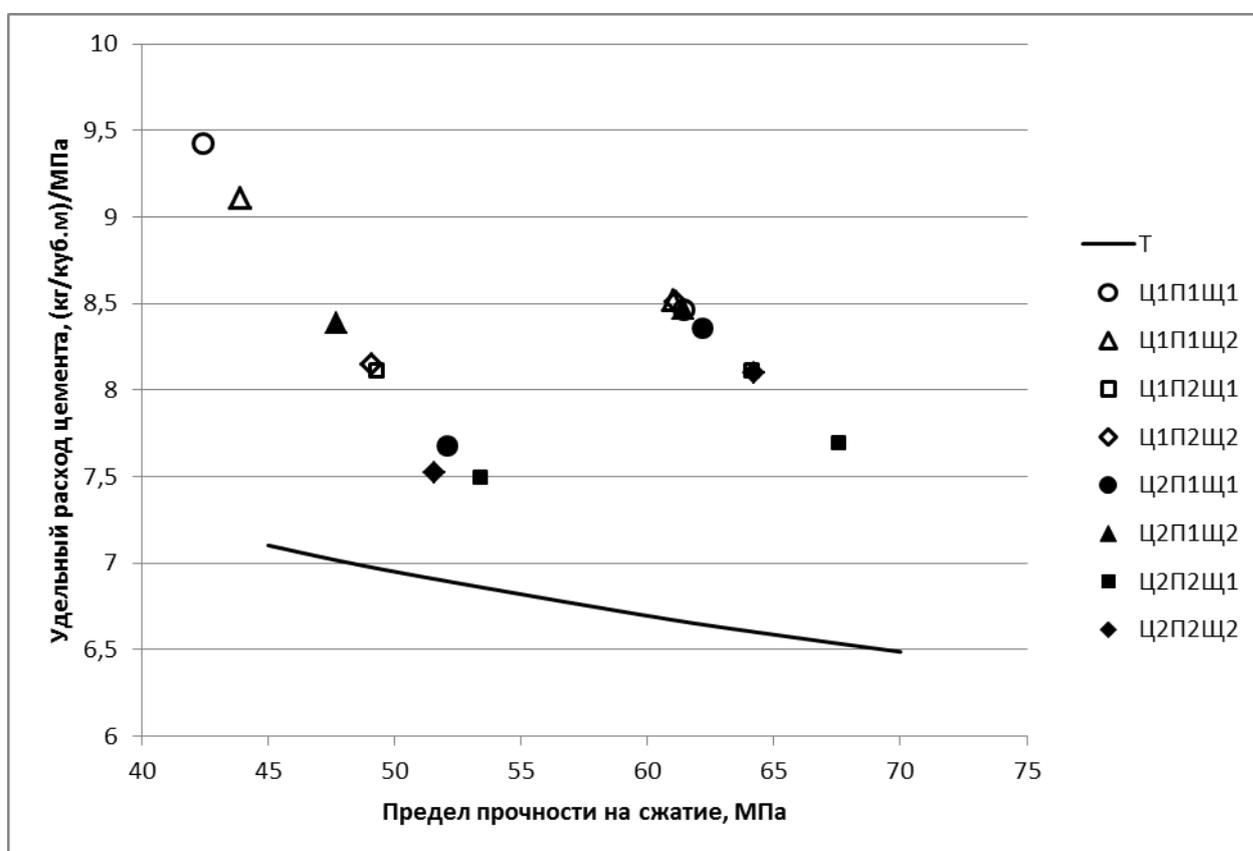


Рис. 2 – Зависимость удельного расхода цемента от предела прочности бетона в возрасте 28 сут; Т – по формуле (2); Ц1П2Щ1 – соответственно цемент №1, мелкий заполнитель №2, крупный заполнитель №1 по табл. 1

Из представленных на рис. 2 данных очевидно:

- удельный расход цемента снижается с ростом предела прочности бетона на сжатие, что соответствует данным [5,14,17,19];
- все данные четко оформились в две группы – левая характеризуется расходом цемента порядка 400 кг/м^3 , а правая – 520 кг/м^3 , при этом очевидно, что в исследованных составах с высоким расходом цемента эффективность использования его активности низкая, что может быть обусловлено, в т.ч., низким сцеплением заполнителя с цементным камнем, собственными деформациями цементного камня, которые при низком значении В/Ц более выражены [9,15,18];
- все значения удельного расхода цемента исследованных составов бетона на рис. 2 превышают значения, определенные по ф.(2, линия Т на рис. 2), что свидетельствует о невысокой эффективности использования потенциала цемента в бетоне;
- лучшими показателями удельного расхода цемента характеризуются составы Ц2П2(П1)Щ1(Щ2), в связи, с чем можно сделать вывод о том, что влияние заполнителей на предел прочности бетона явно не выражено, при этом предпочтение следует отдать цементу Ц2, хотя его активность по паспорту несколько ниже, чем Ц1.

На рис. 3 представлена зависимость удельного расхода цемента от предела прочности бетона в возрасте 90 сут.

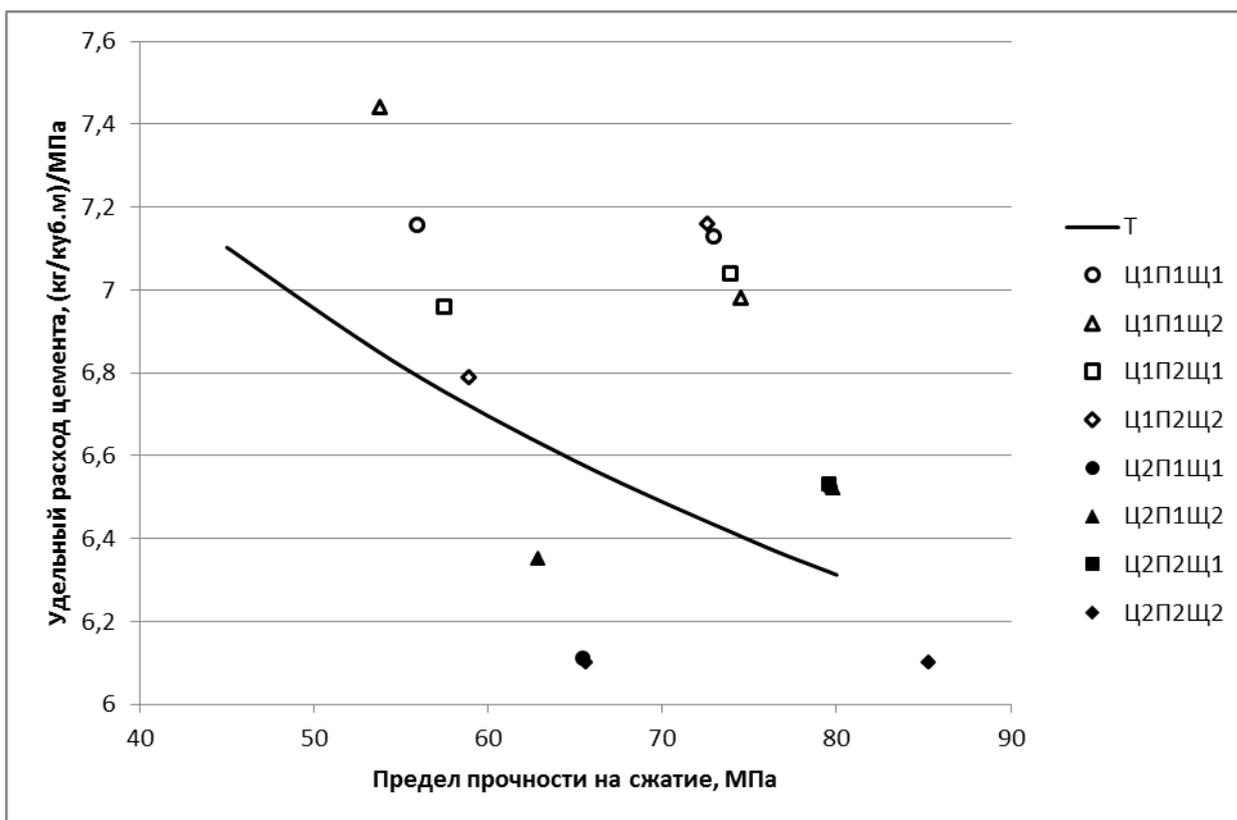


Рис. 3 – Зависимость удельного расхода цемента от предела прочности бетона в возрасте 90 сут; Т – по формуле (2); Ц1П2Щ1 – соответственно цемент №1, мелкий заполнитель №2, крупный заполнитель №1 по табл. 1

Из представленных на рис. 3 данных очевидно, что все закономерности, отмеченные для данных на рис. 2, сохранились, при этом четко фиксируются составы, для которых удельный расход цемента ниже определенного по ф.(2 – линия Т на рис.3), что свидетельствует о высокой эффективности использования потенциала вяжущего в бетоне в возрасте 90 сут, особенно для состава Ц2П2Щ2, показатель удельного расхода цемента у которого менее 6,2 (кг/м³)/МПа. При этом лучший показатель удельного расхода цемента у составов на цементе Ц1 составляет 6,8 (кг/м³)/МПа, причем для бетонов с более высокой прочностью он несколько возрастает, что противоречит общей тенденции. Особенно наглядно сравнение состава Ц2П2Щ2 с пределом прочности 85,3 МПа ($C/R_6 = 6,1$ (кг/м³)/МПа) и

Ц1П2Ц2 с пределом прочности 72,6 МПа ($\text{Ц}/R_6 = 7,16 \text{ (кг/м}^3\text{)}/\text{МПа}$). В возрасте 90 сут класс бетона В60 ($R_6 = 72 \text{ МПа}$) на цементе Ц2 может быть получен при расходе цемента примерно 440 кг/м^3 , а Ц1 – 515 кг/м^3 , т.е. с перерасходом 75 кг/м^3 , что в денежном эквиваленте для СРВ составляет \$ $5,42/\text{м}^3$ (270 руб/м^3).

Особого внимания заслуживает тот факт, что показатели предела прочности на сжатие исследованных составов и, закономерно, значения удельного расхода цемента значительно улучшились к трехмесячному возрасту. Рост прочности по исследованным составам к трем месяцам составил от 15 до 33%. Согласно EN 1992-1-1 нарастание прочности бетона во времени описывается формулой

$$\frac{R_t}{R_{28}} = \exp\left(k\left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right)\right), \quad (3)$$

согласно которой за период от 28 до 90 сут нарастание прочности для медленнотвердеющего бетона составляет 18%.

Исследованные составы характеризуются не меньшим, а в ряде случаев большим значением прироста прочности, что позволяет отнести их к медленнотвердеющим. Но медленное твердение не характерно для портландцемента на основе клинкера с содержанием C_3S более 64 % и удельной поверхностью не менее 3500 г/см^2 . Возможно, замедление твердения вызвано наличием суперпластификатора. Вопрос требует специального изучения. Получение высокопрочного бетона только за счет снижения величины В/Ц малоэффективно.

Таким образом, в СРВ могут быть получены высокопрочные бетоны с удельным расходом цемента порядка $6 \text{ (кг/м}^3\text{)}/\text{МПа}$, при этом для производства высокопрочных бетонов в северных областях СРВ целесообразно:



- использовать исследованные крупные и мелкие заполнители и портландцемент Бут Шон;
- исследовать возможность повышения сцепления цементного камня с крупным заполнителем, например, посредством введения в состав бетонной смеси активного микрокремнезема в виде золы рисовой шелухи [1,8];
- исследовать влияние суперпластифицирующих добавок, применяемых в СРВ, на кинетику твердения цементов и бетонов и определить группу добавок, оказывающих минимальное замедляющее действие на рост прочности бетона в ранний период.

Литература

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны: Издательство АСВ, 2006. 368 с.
2. Батудаева А.В., Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей / А.В. Батудаева, Г.С. Кардумян, С.С. Каприелов // Бетон и Железобетон. 2005. №4. С. 14-18.
3. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. - М.: Стройиздат, 1971. 208 с.
4. Гладков Г.И. Физико-химические основы прочности бетона. – М.: Изд-во АСВ, 1998. 136 с., ил.
5. Давидюк А.Н. Эффективные бетоны для современного высотного строительства: монография / А.Н. Давидюк, Г.В. Несветаев. - М.: Издательство ООО «НИПКЦ Восход-А», 2010. 148с.: ил.
6. Давидюк А.Н., Маилян Д.Р., Несветаев Г.В. Самоуплотняющиеся высокопрочные и легкие бетоны на пористых заполнителях для эффективных конструкций// Технологии бетонов. 2011. № 1-2. С. 57.

7. Калашников, В.И. Расчет состава высокопрочных самоуплотняющихся бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. 2008. №10. С. 4-6.
 8. Каприелов, С.С. Новые модифицированные бетоны / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардумян. - М.: «Типография «Парадиз», 2010. 258 с.
 9. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. Прочность цементного камня с суперпластификаторами и органоминеральными модификаторами с учетом его собственных деформаций при твердении// Бетон и железобетон. 2013. №5. С. 6-8.
 10. Структура и свойства высокопрочных бетонов, содержащих комплексный органоминеральный модификатор «ЭМБЭЛИТ»/ С.С.Каприелов [и др.] / Бетон и железобетон – пути развития: материалы II Всероссийской международной конференции по бетону и железобетону. М., 2005. Том 3. С.657-671.
 11. Структурообразование и разрушение цементных бетонов/ В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов, П.Г. Комохов. – Уфа, ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. 376 с.
 12. Несветаев Г.В., Ву Ле Куен Анализ материалов для производства бетонов классов В40 и выше во Вьетнаме // Наукоеведение, Том 7, №3 (2015) URL: 43 TVN 315
 13. Несветаев Г.В., Ву Ле Куен Модель для оценки сцепления цементного камня с заполнителем по величине предела прочности бетона при осевом растяжении Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) URL: 11TVN317.pdf
 14. Несветаев, Г.В. К вопросу выбора критериев эффективности бетонов/ Г.В. Несветаев, Е.В. Виноградова, Ю.Ю. Лопатина// Научное обозрение. 2016. №2. С. 34-41.
-

15. Несветаев, Г.В. Влияние собственных деформаций на пористость и свойства цементного камня / Г.В. Несветаев, Г.С. Кардумян // Строительные материалы. 2015. №9. С. 38-42.
16. Zia P., Leming M.L., Ahmad S.H. High-Performance Concrete: A State-of-the-Art Report. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D. C., 1991, 251 p.
17. Несветаев Г.В., Нажуев М.П., Бу Ле Куен Изучение изменения состава бетонной смеси и кинетики прочности бетона при центрифугировании на примере опыта производства опор ЛЭП на предприятиях Социалистической Республики Вьетнам // Инженерный вестник Дона, 2018, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4861.
18. Marian Sabau, Traian Onet, Ana Ioana Petean. Hardened properties of self-compacting concrete / First International Conference for PhD students in Civil Engineering CE-PhD. DOI: 10.6084/M9.FIGSHARE.3483008.
19. Yuvaraj L. Bhirud, Keshav K. Sangle. Comparison of Shrinkage, Creep and Elastic Shortening of VMA and Powder Type Self-Compacting Concrete and Normal Vibrated Concrete // OJCE. 2017. Vol. 7. № 1. pp. 26-30.
20. Несветаев Г.В., Та Ван Фан. Влияние белой сажи и метакаолина на прочность и деформационные свойства цементного камня // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 1) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1110.

References

1. Bazhenov Yu.M., Dem`yanova V.S., Kalashnikov V.I. Modificirovanny`e vy`sokokachestvenny`e betony` [Modified high strength concretex]. Izdatel`stvo ASV, 2006. 368 p.

2. Batudaeva A.V., Vy`sokoprochny`e modifitsirovanny`e betony` iz samovy`ravnivayushhixsya smesey A.V. Batudaeva, G.S. Kardumyan, S.S. Kaprielov Beton i Zhelezobeton. 2005. №4. pp. 14-18.
 3. Berg O.Ya., Shherbakov E.H., Pisanko G.N. Vy`sokoprochny`j beton [High strength concrete]. M.: Strojizdat, 1971. 208 p.
 4. Gladkov G.I. Fiziko-ximicheskie osnovy` prochnosti betona [Physico-chemical basis of concrete strength]. M.: Izd-vo ASV, 1998. 136 p., il.
 5. Davidyuk A.N. E`ffektivny`e betony` dlya sovremennogo vy`sotnogo stroitel`stva [Effective concretes for modern high-rise construction]: monografiya «NIPKCz Vosход-A», 2010. 148 P.: il.
 6. Davidyuk A.N., Mailyan D.R., Nesvetaev G.V. Texnologii betonov. 2011. № 1-2. P. 57.
 7. Kalashnikov, V.I. Stroitel`ny`e materialy`. 2008. №10. pp. 4-6.
 8. Kaprielov, S.S. Novy`e modifitsirovanny`e betony` [New modified concretes] S.S. Kaprielov, A.V. Shejnfel`d, G.S. Kardumyan. M.: «Tipografiya «Paradiz», 2010. 258 p.
 9. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Beton i zhelezobeton. 2013. №5. pp. 6-8.
 10. S.S.Kaprielov [i dr.] Beton i zhelezobeton – puti razvitiya: materialy` II Vserossijskoj mezhdunarodnoj konferencii po betonu i zhelezobetonu. M., 2005. Tom 3. pp.657-671.
 11. Babkov V.V., Mokhov V.N., Kapitonov S.M., Komokhov P.G. Strukturoobrazovanie i razrushenie cementnykh betonov [Structure formation and destruction of cement concretes]. Ufa, GUP «Ufimskij poligrafkombinat», 2002. 376 p.
 12. Nesvetaev G.V., Vu Le Kuen Naukovedenie, Tom 7, №3 (2015) URL: 43 TVN 315
 13. Nesvetaev G.V., Vu Le Kuen Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 9, №3 (2017) URL: naukovedenie.ru/PDF/11TVN317.pdf
-



14. G.V. Nesvetaev, E.V. Vinogradova, Yu.Yu. Lopatina Nauchnoe obozrenie. 2016. №2. pp. 34-41.
15. Nesvetaev G.V., G.S. Kardumyan Stroitel'ny'e materialy'. 2015. №9. pp. 38-42.
16. Zia P., Leming M.L., Ahmad S.H. High-Performance Concrete: A State-of-the-Art Report. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D. C., 1991, 251 p.
17. Nesvetaev G.V., Nazhnev M.P., Vu Le Kuen Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4861.
18. Marian Sabau, Traian Onet, Ana Ioana Petean. First International Conference for PhD students in Civil Engineering CE-PhD. DOI: 10.6084/M9.FIGSHARE.3483008.
19. Yuvaraj L. Bhirud, Keshav K. Sangle. OJCE. Vol. 7. №1. pp. 26-30.
20. Nesvetaev G.V., Ta Van Fan Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4 (Part 1). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1110.