УДК 691.539.216

В.В. БЕЛОВ, д-р техн. наук, С.Л. СУББОТИН, д-р техн. наук, П.В. КУЛЯЕВ, инженер (p.kuliaev@yandex.ru)
Тверской государственный технический университет (170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22)

Прочностные и деформативные свойства бетонов с карбонатными микронаполнителями

При проектировании некоторых типов железобетонных конструкций, таких, например, как мембраны и оболочки, критическим является знание картины развития напряженно-деформированного состояния в бетоне при действии сжимающих нагрузок. В данной статье описано изучение деформативных свойств бетонов с тонкодисперсным известняковым компонентом, таких как краткосрочные и длительные ползучесть и усадка в упругой и неупругой областях развития и их сравнение с бездобавочными бетонами. Из прочностных свойств изучаются такие, как напряжения при начале трещинообразования и предел кубиковой прочности на сжатие. Сравнение теоретических расчетов с опытными данными приводится на основе феноменологического подхода к решению подобного рода задач.

Ключевые слова: бетон, известняковый микронаполнитель, деформации ползучести и усадки, мера ползучести, характеристика ползучести.

V.V. BELOV, Doctor of Sciences (Engineering), S. L. SUBBOTIN, Doctor of Sciences (Engineering), P. V. KULYAEV, Engineer (p.kuliaev@yandex.ru)
Tver State Technical University (22, Afanasiy Nikitin Embankment, Tver, 170026, Russian Federation)

Strength and Strain Properties of Concrete with Carbonate Microfillers

Knowledge of the stress-strain state distribution in concrete with limestone fines under compression is crucial for the design of certain kinds of reinforced concrete members, such as shells and membranes. The study focuses on strain characteristics of concrete with limestone fines, such as short-term and long-term creep and shrinkage, in elastic and plastic areas of their development, with comparison to ordinary concretes. The article enlightens such stress properties, as crack resistance and cubic strength. The comparison of theoretical figures with test data is drawn on the basis of phenomenological approach to solution of similar tasks.

Keywords: concrete, limestone microfillers, creep and shrinkage strains, creep modulus, creep characteristic.

Из всего разнообразия используемых в строительной индустрии конструкций можно выделить облегченные пространственные конструкции, например мембраны и оболочки, большепролетные конструкции, такие как арки и рамы, монолитные железобетонные покрытия больших цехов, стадионов, спортзалов, высотные конструкции в виде мачт и башен и многоэтажные гражданские здания из монолитного бетона. При возведении данных конструкций имеет место наиболее высокий расход товарного бетона, при этом требование улучшения деформативных и прочностных характеристик на единицу массы такого бетона является наиболее жестким. Удовлетворить эти противоречивые требования помогают новые подходы к рецептурам строительных композитов, в частности широкое использование наполнителей и микронаполнителей [1], в том числе на основе вторичных техногенных и местных сырьевых ресурсов [2].

Одним из таких материалов, используемых в качестве заполнителя и наполнителя тяжелых и мелкозернистых бетонов, является известняк. Известняковый тонкодисперсный компонент используется в качестве замены части вяжущего, тем самым способствуя экономии дорогостоящего цемента, а использование карбонатного заполнителя, обладающего меньшей плотностью в сравнении, например, с гранитным щебнем, ведет к снижению веса конструкции, что в отношении к эффективности использования строительных конструкций является весьма актуальным [3].

Использование известняка в качестве замены части вяжущего и тонкодисперсного наполнителя в бетонах с изучением прочностных свойств освещено во многих работах отечественных [2, 4] и зарубежных [1, 5] авторов. Ряд работ посвящен изучению свойств конкретных конструкций из бетона с карбонатным микронаполнителем, к прочностным свойствам которых предъявляются повышенные требования. К таким, например, относятся конструкции из преднапряженного железобетона [6]. К работам, освещающим опыты по изучению деформативных свойств бетонов с известняковым микронаполнителем, в которых отражен довольно узкий спектр изменяющихся исходных параметров, без вариации водотвердого отношения или процентного содержания известнякового наполнителя в вяжущей части относится [7].

В связи с этим важным представляется исследование бетонов с минеральными добавками в виде известнякового микронаполнителя с изучением влияния разнообразных факторов на физико-механические свойства с целью прогноза эксплуатационных и надежностных показателей [8, 9]. Такое исследование позволит дать надлежащую оценку деформативных свойств бетонов с карбонатным микронаполнителем. Эти свойства характеризуются деформациями ползучести и усадки. На данные деформации существенно влияют многочисленные факторы, главными из которых являются водотвердое отношение, максимальный размер и минералогическая природа [8] заполнителя, состав и тонкость помола вяжущего, влажность, возраст бетона и величина изменения прилагаемой нагрузки. Влияние таких параметров, как структура, состав бетона, процентное содержание пластифицирующих и минеральных добавок и технология введения их в матрицу бетона, изучалось в работах [11, 12]. В [13] отмечается влияние известнякового тонкодисперсного наполнителя на реологические и технологические свойства бетона.

Деформации ползучести очень существенно влияют на работу и устойчивость конструкций с применением бетона, и важно правильно оценивать ту или иную роль тонкодисперсного карбонатного компонента в развитии деформаций так называемой кратковременной и долговременной ползучести. Поскольку не существует физической теории, способной количественно описать ползучесть и изменения физико-механических свойств бетона во времени, помимо вероятностно-стохастических подходов к данной проблеме, используются так называемые феноменологические подходы к исследованию ползучести и усадки, заключающиеся в сопоставлении теоретических данных с экспериментальными [7].

В данной работе, выполненной в Тверском государственном техническом университете, представлены ре-

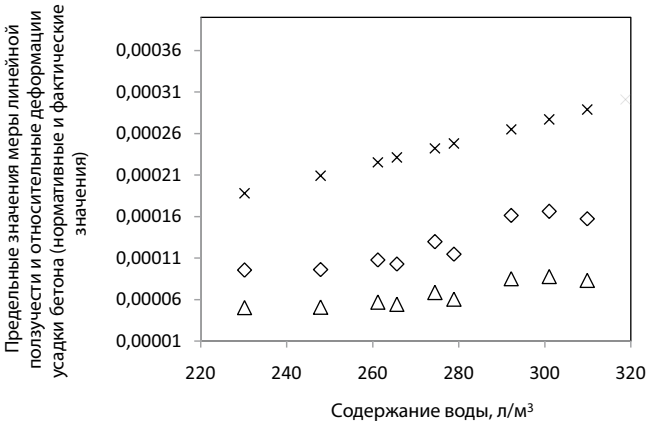


Рис. 1. График зависимости деформативных характеристик бетона $C_{cr}(28)_н$, $C_{cr}(28)_ф$ и $\varepsilon_{srф}$ от фактического содержания воды в смеси, л/м^3

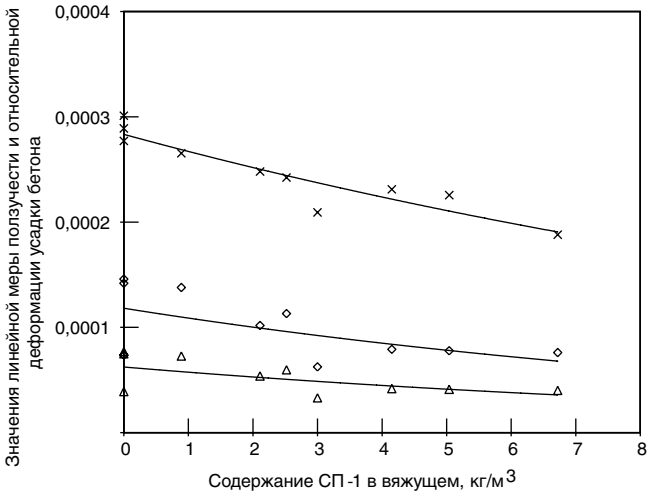


Рис. 2. График зависимости деформативных характеристик бетона $C_{cr}(28)_н$, $C_{cr}(28)_ф$ и $\varepsilon_{srф}$ от фактического содержания СП-1 в вяжущей части, %

зультаты такого подхода, в котором в теоретической части рассчитаны значение начального модуля упругости бетона при загружении E_b в возрасте *t*, расчетные предельные значения линейной меры ползучести $C_{cr}(28)_ф$; расчетные предельные значения относительной усадки $\varepsilon_{srф}$, а в экспериментальной – определены фактические деформации для десяти вариантов приготовления мелкозернистой бетонной смеси на основе карбонатного заполнителя – песка с крупностью зерен от 0,16 до 5 мм и фракционным составом, отвечающим максимально плотной упаковке частиц и подобранным согласно оптимальной гранулометрической кривой Функа-Дингера, а также с карбонатным микронаполнителем – тонкомолотым известняком с удельной поверхностью 550 м^2/кг по ПСХ-11. Расход воды определялся исходя из равноподвижности смесей, соответствующей расплыву конуса на встряхивающем столике по стандартной методике 120 мм. Экспериментальные составы бетонной смеси приведены в табл. 1.

Предел прочности бетона на сжатие определялся на образцах-кубах 7×7×7 см в возрасте 20 суток. По фактическому количеству воды затворения рассчитывалось нормативное значение меры линейной ползучести бетона по формуле, взятой из «Методических рекомендаций по расчету напряженного состояния железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом ползучести и усадки бетона, № 1987-04-06, ЦНИИС, 2011», далее Рекомендаций, для каждого из десяти опытных составов:

$$C_{cr}(28)_н = \mathrm{K_c} \times \frac{W+V}{4+B}, \qquad (1)$$

где, K_c – безразмерный коэффициент, для мелкозернистых и тяжелых бетонов K_c = 15,5*10-6; W – удельное (по объему) количество воды затворения в смеси, л/м^3; V – удельное по объему количество вовлеченного воздуха в уплотненной бетонной смеси, для бетонов с суперпластифицирующими добавками принимается равным 10 л/м^3. На рис. 1 показана соответствующая зависимость.

С увеличением фактического содержания воды в смеси (рис.1), соответствующие показатели деформативности бетона, как правило, возрастают, но при увеличении содержания тонкодисперсного известнякового компонента в вяжущей части, эти показатели, особенно в краткосрочный период, имеют тенденцию к выравниванию и снижению. Это объясняется более равномерным распределением гранул цемента, примерно той же фракции, в объеме теста, их обволакиванием частицами известняка, и, следовательно, пролонгацией процесса гидратации. Данное утверждение справедливо для всех партий, независимо от состава и процентного содержания суперпластификатора.

В соответствии с Рекомендациями гарантированное значение кубиковой прочности бетона при сжатии Rb(t), соответствующее возрасту бетона t, с обеспеченностью 0,95, в нормальных условиях твердения определяется по формуле:

Таблица 1

Составы бетона на 1 м^3

№ состава	Известняковый заполнитель 0,16/40 мм оптимального граулометрического состава, кг	Цемент, кг	Микронаполнитель – молотый известняк, кг	Суперпластификатор СП-1, кг	Вода, л
1	1528	672	0	0	319
2	1528	336	115	0	301
3	1528	672	0	1,7	261
4	1528	672	0	2,3	230
5	1528	672	0	1	248
6	1528	472	69	0	309
7	1528	472	69	0,7	278
8	1528	553	41	1,4	266
9	1528	336	115	0,3	292
10	1528	336	115	0,9	275

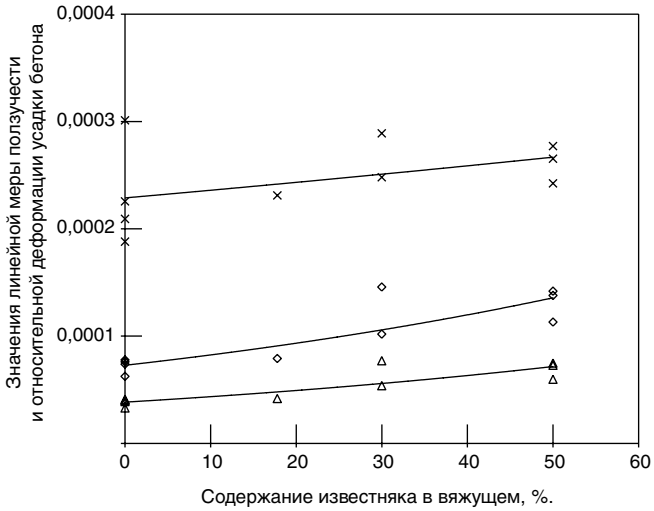


Рис. 3. График зависимости деформативных характеристик бетона $C_{cr}(28)_н$, $C_{cr}(28)_ф$ и $\varepsilon_{srф}$ от фактического содержания известнякового микронаполнителя в вяжущей части, %

$$R_b(t) = \left[1 + \left(\frac{a}{c+B}\right)\left(\frac{t-28}{t+d}\right)\right] \cdot B \qquad (2)$$

где B – проектный класс бетона по прочности на сжатие; *a, c, и d* – коэффициенты, принимаемые по табл. 1 Рекомендаций.

Для обычного бетона при B=30 МПа, a=23 МПа, c=55 МПа, d=11 сут.

$$R_b(t) = \left[1 + \left(\frac{23}{55+30}\right)\left(\frac{20-28}{20+11}\right)\right] \cdot 30 = 27{,}9 \text{ МПа}$$

Соответствующее значение нормативного сопротивления бетона осевому сжатию определяем по формуле Рекомендаций.

$$R_{es} = [0{,}77 - 0{,}001\, R_b(t)] \cdot R_b(t) \qquad (3)$$

$$R_{es} = [0{,}77 - 0{,}001 \cdot 27{,}9] \cdot 27{,}9 = 20{,}8 \text{ МПа}$$

Значение начального модуля упругости бетона Eb, МПа, при загружении в возрасте t, определяем по формуле:

$$E_b(t) = \frac{400 \cdot S \cdot R_b(t)}{S \cdot P_{\text{paste}} + R_b(t)} \cdot Ag \qquad (4)$$

где S – коэффициент, учитывающий влияние вида заполнителя, для известняка S=115 МПа; =0,2 – удельное (по массе) содержание цементного теста в смеси; Ag=0,94 – коэффициент, учитывающий максимальную крупность заполнителя, принимаем по таблице 2 Рекомендаций для диаметра фракции известнякового заполнителя 5 мм.

$$E_b(t) = \frac{400 \cdot 115 \cdot 27{,}9}{115 \cdot 0{,}2 + 27{,}9} \cdot 0{,}94 = 23701{,}2 \text{ МПа} = 23{,}7 \text{ ГПа}$$

Расчетные предельные значения меры линейной ползучести и относительной усадки получаются из формул (табл. 5 Рекомендаций):

$$C_{cr}(28)_ф = C_{cr}(28)_н \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3, \qquad (5)$$

$$\varepsilon_{srф} = \varepsilon_{srн} \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3, \qquad (6)$$

Результаты расчетов приведены на рис. 2–3.

Рис. 2 показывает, что с увеличением содержания суперпластификатора СП-1 показатели деформативности имеют тенденцию к снижению, сближаясь по значениям, что наиболее явно выражено для образцов с тонкодисперсным известняковым компонентом, вне зависимости от процентного содержания последнего в смеси. Данный факт объясняет и меньший разрыв между значениями напряжений при начале трещинообразования и значениями кубиковой прочности на сжатие именно для образцов с содержанием минерального тонкодисперсного компонента в вяжущей части, особенно фракции 0,063, наличие которой в вяжущей части ведет к сглаживанию отрицательного влияния на деформативно-прочностные свойства повышения значения водотвердого отношения.

Наблюдается (рис. 3) незначительное повышение предельных деформаций линейной ползучести при изменении общего содержания известняка в вяжущем от 0 до 40% при их выравнивании и понижении в случае наличия в составе вяжущего тонкодисперсной фракции менее 0,063 мм известняка, хотя снижение прочностных показателей более существенно, порядка 40%. Также имеет место тенденция некоторого сближения деформативных показателей с повышением содержания известнякового компонента в смеси, уменьшается разрыв меж-

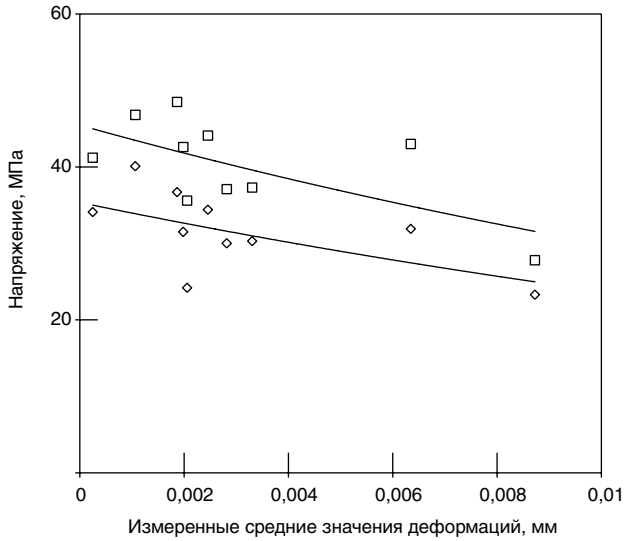


Рис. 4. Зависимость средних значений линейных деформаций от значений напряжения

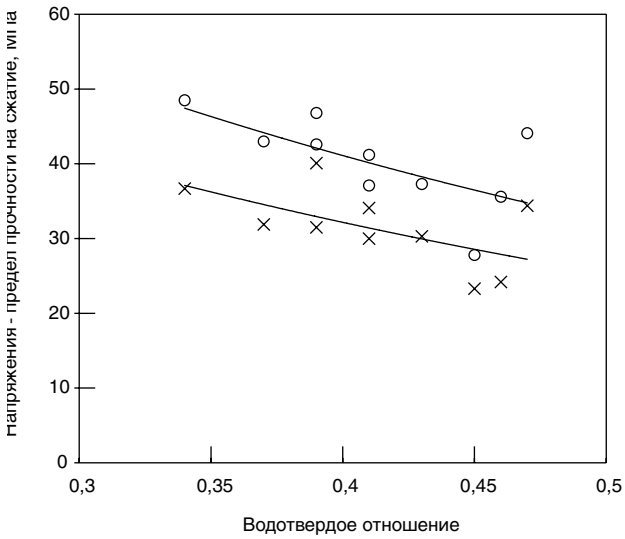
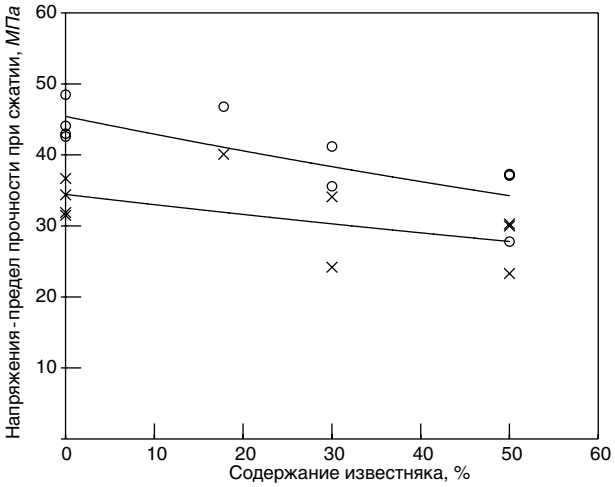


Рис. 5. Зависимость напряжений трещинообразования и предела прочности при сжатии в образцах от водотвердого отношения в момент трещинообразования и разрушения



× Момент трещинообразования, МПа
○ Предел прочности на сжатие, МПа

Рис. 6. Зависимость напряжений при начале трещинообразования и предела прочности при сжатии в образцах от содержания известняка в % от твердого компонента вяжущего в момент трещинообразования и разрушения

ду значениями меры линейной ползучести и усадки, что говорит в пользу сдерживания деформаций так называемой внутренней усадки без учета поверхностного влагообмена, что подтверждает идею выравнивания во времени и придания большей равномерности в объеме теста, гидратационного и консолидационного процессов.

В экспериментальной части нагружение образцов осуществлялось пошагово, нагрузка на шаг принималась равной 50 кН. Измерения деформаций проводились с помощью тензометрического моста Уинстона с использованием высокоточного электронного гальванометра с разрешающей способностью 10^{-7}. База тензорезисторов составляла 20 мм. Для компенсации контактных (локальных) напряжений при передаче нагрузки на образец использовалась схема свободной (шарнирной) верхней опоры и неподвижной нижней:

В табл. 2 для некоторых составов бетона приведено сравнение теоретически рассчитанных и экспериментально определенных деформаций предельной ползучести.

Результаты измерений деформаций отражены на рис. 4–6.

Рис. 4 иллюстрирует закон изменения (снижения) относительных деформаций с повышением напряжений. С наличием известнякового тонкодисперсного компонента в бетоне деформации несколько возрастают, но при равных значениях напряжения в образцах сближаются границы трещинообразования и разрушения, что важно при прогнозировании надежности и долговечности конструкций из бетонов с карбонатным микронаполнителем, особенно тонкостенных, с учетом динамики развития деформативного процесса.

Как уже отмечалось, повышение относительного содержания воды в смеси ведет явным образом к снижению прочности образцов. При повышении водотвердого показателя от 0,35 до 0,5% это снижение особенно заметно для образцов без содержания известняковой части в вяжущем (рис. 5). Но особенно показателен феномен влияния на прочностные свойства бетона совместного введения суперпластификатора СП-1 и тонкодисперсной фракции известняка менее 0,063 мм, введенной в смесь согласно распределению Вейбулла: чем больше в смеси содержание компонента 0,063, тем в меньшей степени сказывается на деформативно-прочностных свойствах бетонов отрицательное влияние повышенного содержания пластифицирующей добавки.

Таблица 2

Сравнение значений деформаций предельной ползучести, рассчитанных по методике Рекомендаций и по результатам экспериментов

Состав №	Теоретические значения деформаций предельной ползучести, $*10^{-5}$ (округленно)	Экспериментальные значения деформаций предельной ползучести, $*10^{-5}$ (округленно)
4	4	2
2	7,5	5
8	4,2	3
10	6	1
6	7,7	2,5

Наличие карбонатного компонента как во фракции заполнителя, так и в виде наполнителя в сравнении, например, с бетонами на гранитном щебне и с добавками кремнезема несколько снижает прочностные показатели (рис. 6), но сказывается положительно на деформативных характеристиках бетона: мгновенные и длительные неупругие деформации развиваются более пропорционально, причем деформации усадки и ползучести могут изменяться инверсно при существенном колебании модуля упругости композита на стадии нагружения, как с разным составом и пропорциями компонентов, так и на разных стадиях твердения. Кроме того, как уже отмечалось, наличие тонкодисперсной карбонатной составляющей в вяжущей части выравнивает скачкообразность набора прочности в силу сдерживания процесса гидратации и более равномерного распределения зерен цемента в смеси, тем самым существенно улучшая как эксплуатационные и технологические, так и реологические свойства бетонов с карбонатным компонентом. Повышаются значения начального модуля деформаций и ударной вязкости, что повышает износостойкость и долговечность конструкций на основе бетона с карбонатным микрокомпонентом.

Результаты данного исследования позволяют отнести бетон с карбонатным микронаполнителем к группе эффективных высокопрочных бетонов, которые по прочности и деформативности не уступают, а в некоторых аспектах и превосходят бетоны с добавками из микрокремнезема, базальта и гранита. Уменьшение разрыва между напряжениями начала трещинообразования и кубиковой прочности на сжатие обусловлено улучшенными деформативными свойствами бетонов с карбонатным микронаполнителем, что делает их незаменимыми при использовании в тонкостенных и преднапряженных конструкциях больших пролетов и многоэтажном монолитном строительстве.

Список литературы

1. Tarun R. Naik, FethullahCanpolat, Yoon-moon Chun. Limestone powder use in cement and concrete. Report No. CBU-2003-31 REP-525 // Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science. The University Of Wisconsin – Milwaukee. July. 2003.

Reference

1. Tarun R. Naik, FethullahCanpolat, Yoon-moon Chun. Limestone powder use in cement and concrete. Report No. CBU-2003-31 REP-525 // Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science. The University Of Wisconsin – Milwaukee. July. 2003.

2. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р., Гиззатулин А.Р., Харченко И.Я. Карбонатные цементы низкой водопотребности – зеленая альтернатива цементной индустрии России // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 76–82.
3. Бердов Г.И., Ильина Л.В., Зырянова В.Н., Никоненко Н.И., Мельников А.В. Повышение свойств композиционных строительных материалов введением минеральных микронаполнителей // *Стройпрофи: Строительные Технологии и Бетоны*. 2012. № 2. С. 26–30.
4. Плугин А.А., Костюк Т.А., Салия М.Г. Бондаренко Д.А. Применение карбонатных добавок в цементных составах для гидроизоляционных и реставрационных работ зданий и сооружений // *Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры МГСУ*. 2012. С. 224–227.
5. Chaid R., Jauberthie1 R. et Boukhaled A. Effet de l'ajout calcairesur la durabilite des betons // *Lebanese Science Journal*. 2010. Vol. 11. No. 1.
6. Amlan K Sengupta, Devdas Menon. Prestressed concrete structures. Indian Institute of technology. 2002.
7. Pieter Desnerck, Geert De Schutter, Luc Taerwe. Stress-strain behavior of self-compacting concretes containing limestone fillers // *Structural Concrete*. 2012. Vol. 13. Issue 2, pp. 95–101.
8. Лесовик В.С., Беленцов Ю.А., Куприна А.А. Использование положений геоники при проектировании конструкций для работы в условиях динамических и сейсмических нагрузок // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2013. № 2–3. С. 121–126.
9. Лесовик В.С., Агеева М.С., Денисова Ю.В., Иванов А.В. Использование композиционных вяжущих для повышения долговечности бетонной брусчатки // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2011. № 4. С. 52–54.
10. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов. Омск. СибАДИ. 2011. 459 с.
11. Белов В.В., Смирнов М.А. Теоретические основы методики оптимизации гранулометрического состава композиций для изготовления безобжиговых строительных конгломератов // *Вестник отделения строительных наук*. РААСН. 2011. Вып. 15. С. 175–179.
12. Белов В.В., Смирнов М.А. Новые принципы определения состава высококачественного бетона // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2008. Вып. 13. С. 341–346.
13. De Schutter G. Effect of limestone filler as mineral addition in self compacting concrete. 36 Conference on Our World in concrete & Structures. Singapore. October 14–16. 2011.

2. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Sibgatullin I.R., Gizzatullin A.R., Kharchenko I.Ya. Carbonate cements of low water-need is a green alternative for cement industry of Russia. *Stroite'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 76–82. (In Russian).
3. Berdov G.I., Ilyina L.V., Zyryanova V.N., Nikonenko N.I., Mel'nikov A.V. Improving the properties of composite building materials by introduction of mineral micro fillers. *Stroiprofi: Stroitel'nye Tehnologiii Betony*. 2012. No. 2, pp. 26–30. (In Russian).
4. Plugin A.A., Kostyuk T.A., Saliya M.G. Bondarenko D.A. Application of carbonate additives in cement compositions for waterproofing and restoration of buildings and structures. Collection of scientific papers of the institute of civil engineering and architecture MSUCE. 2012, pp. 224–227. (In Russian).
5. Chaid R., Jauberthie1 R. et Boukhaled A. Effet de l'ajout calcairesur la durabilite des betons. *Lebanese Science Journal*. 2010. Vol. 11. No. 1.
6. Amlan K Sengupta, Devdas Menon. Prestressed concrete structures. Indian Institute of technology. 2002.
7. Pieter Desnerck, Geert De Schutter, Luc Taerwe. Stress-strain behavior of self-compacting concretes containing limestone fillers. *Structural Concrete*. 2012. Vol. 13. Issue 2, pp. 95–101.
8. Lesovik V. S., Belentsov Yu.A., Kuprina A.A. The use of provisions of geonik when designing structures for work under dynamic and seismic loads. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2013. No. 2–3, pp. 121–126. (In Russian).
9. Lesovik V.S. Ageeva M.S., Denisova Yu.V., Ivanov A.V. The use of composite binding for durability of concrete pavers. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitete im. V.G. Shuhova*. 2011. No.4, pp. 52–54. (In Russian).
10. Lesovik V.S., Chulkova I.L. Upravlenie strukturo-obrazovaniem stroitel'nyh kompozitov [Management structure formation building composites]. Omsk. SibADI. 2011. 459 p.
11. Belov, V.V., Smirnov M.A. Theoretical Foundations of optimization techniques size distribution of compositions for the manufacture of nonfired construction conglomerates. *Vestnik otdeleniya stroitel'nyh nauk. RAACS*. 2011. Vol. 15, pp 175–179. (In Russian).
12. Belov V.V., Smirnov M.A. New guidelines for determining the composition of high-quality concrete. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*. 2008. Vol. 13, pp. 341–346. (In Russian).
13. De Schutter G. Effect of limestone filler as mineral addition in self compacting concrete. 36 Conference on Our World in concrete & Structures. Singapore. October 14–16. 2011.

НОВОСТИ

Новый пресс для силикатчиков

В январе 2015 г. на ЗАО «Силикатчик» (р.п. Силикатный Ульяновской обл.) запущен в эксплуатацию новый пресс одностороннего прессования с усилием 550 т VIKING SG-550. Серия прессов VIKING разработана и поставляется компанией «Инвест-Технология» (Челябинск).

В настоящее время технологические возможности предприятия «Силикатчик» позволяют выпускать на прессе более 87000 шт. утолщенного кирпича в сутки. Участок массоподготовки и автоклавное отделение для запуска нового пресса не модернизировались.

На модели пресса VIKING SG-550 внедрены новые узлы:

– *система, автоматически выравнивающая захват* автомата-укладчика по уровню поверхности вагонетки во время укладки кирпича. Такая система позволяет выполнять бережную укладку кирпича-сырца на вагонетки, у которых рабочая поверхность является плоской, но не горизонтальной. Негоризонтальность вагонетки может составлять 15 мм (максимально высокая точка рабочей поверхности вагонетки относительно самой низкой точки рабочей поверхности вагонетки). При этом обеспечивается высокое качество кирпича-сырца;

– *муфта ограничения* момента на приводе каретки. Предназначена для исключения аварийных ситуаций при попадании посторонних предметов вместе с силикатной массой в загрузочную каретку.

Специалисты завода в Ульяновской области отмечают простоту обучения операторов работе на прессе и получение кирпича с отличными геометрическими характеристиками при отклонении геометрических параметров вагонеток.

По материалам ООО «Инвест-Технология» и ЗАО «Силиктачик»