

РОЛЬ ОПТИМАЛЬНОЙ ГРАНУЛОМЕТРИИ ИЗВЕСТНЯКОВОЙ ДОБАВКИ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ СОСТАВЛЯЮЩИМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

П.В. Куляев, В.В. Белов

Тверской государственной технической университет (г. Тверь)

© Куляев П.В., Белов В.В., 2020

Аннотация. В статье показана роль наноразмерной составляющей известняковой добавки и различные аспекты ее применения. Карбонатные добавки относятся к наиболее значимым инертным и псевдоинертным добавкам в бетон. Отмечается, что частицы наноразмерной составляющей тонкомолотого известнякового порошка при условии равномерного распределения внутри матрицы композита выполняют важную функцию в управлении процессом твердения бетона. Вопрос об известняковой добавке рассматривается в свете внутренних процессов заполнения известняковым порошком матрицы, уплотнения структуры композита через воздействие на процесс гидратации и окутывания цементных ядер, армирования матрицы на микроуровне (все это в целом повышает прочность, трещино- и кислотостойкость бетона).

Ключевые слова: наночастицы, наноразмерная составляющая, тонкомолотый известняковый порошок, окутывание ядер, ядра цемента, армирование на микроуровне, оптимальная гранулометрия, упаковка частиц, программное моделирование.

DOI: 10.46573/2658-7459-2020-3-25-31

В настоящее время использование мелкозернистого известнякового порошка с микро- и наноразмерными компонентами крайне необходимо для повышения эксплуатационно-технологических свойств бетона. Это требование обусловлено способностью тонкозернистого карбонатного порошка и наноразмерных дисперсий химически связываться с трехкальциевым алюминатом и алюмоферритом и при этом создавать синтерные микрзоны (зоны спекания) на физическом уровне. Эти зоны и сложные соли из гидратных микрокристаллов клинкера образуют внутреннюю структуру композита, представляющую собой соты и заполненную вяжущим компонентом и добавками [1].

Дисперсную часть мелкозернистого бетона составляют различные минеральные полидисперсные добавки (наполнители) и основное вяжущее. Наполнители – полидисперсные и полиморфные частицы. Их габариты не формируют явным образом картину распределения внутреннего напряженно-деформированного состояния, которое бы существенно отражалось на свойствах матрицы и каркаса-сот из крупно- и среднеразмерных заполнителей. Их свойства тем самым определяются характеристиками сыпучих дисперсных систем, критически не влияющих на собственные свойства связующего. Влияние наполнителей на свойства бетонов рассматривалось в предыдущих публикациях [2, 3], где было показано, в частности, что применение в качестве наполнителя цементных систем молотого известняка и суперпластификатора позволяет регулировать свойства мелкозернистых карбонатных бетонов.

Физико-химическая совместимость наноразмерного компонента мелкозернистого известняка с вяжущим и твердыми дисперсными структурами карбонатного бетона приводит к появлению у него ряда свойств, таких как равномерное заполнение объема композита микродисперсным минеральным компонентом и внутреннее, структурное микроармирование «межсотовых» перегородок – продуктов комплексной гидратации компонентов бетона и их частичного синтер-взаимодействия. Модели плотнейших структур упаковок представлены на рис. 1.

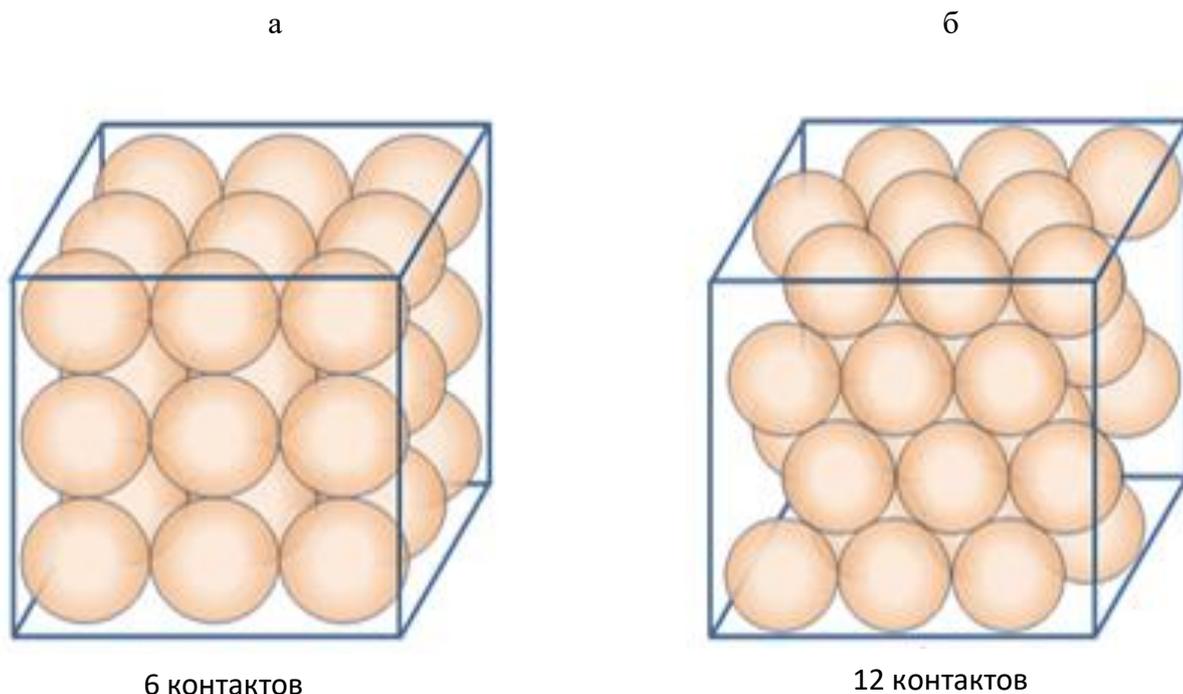


Рис. 1. Одномодальная плотная упаковка частиц:
а – кубическая; б – гексагональная [4]

На кафедре производства строительных изделий и конструкций Тверского государственного технического университета (руководитель – профессор В.В. Белов) теоретические положения были апробированы в рамках исследования механизмов модификации мелкозернистых бетонов. Изучение компьютерных моделей наиплотнейших упаковок дисперсных зерновых систем было выполнено инженером кафедры И.В. Образцовым. Процесс заполнения бункера одномодальными сферическими частицами различной дисперсности представлен на рис. 2 (позволяет проследить влияние масштабного фактора). С уменьшением размеров частиц их упаковка становится более плотной за счет уменьшения сдерживающего влияния силами трения стенок бункера и количественно по пустотности находится между правильными кубической и гексагональной упаковками.

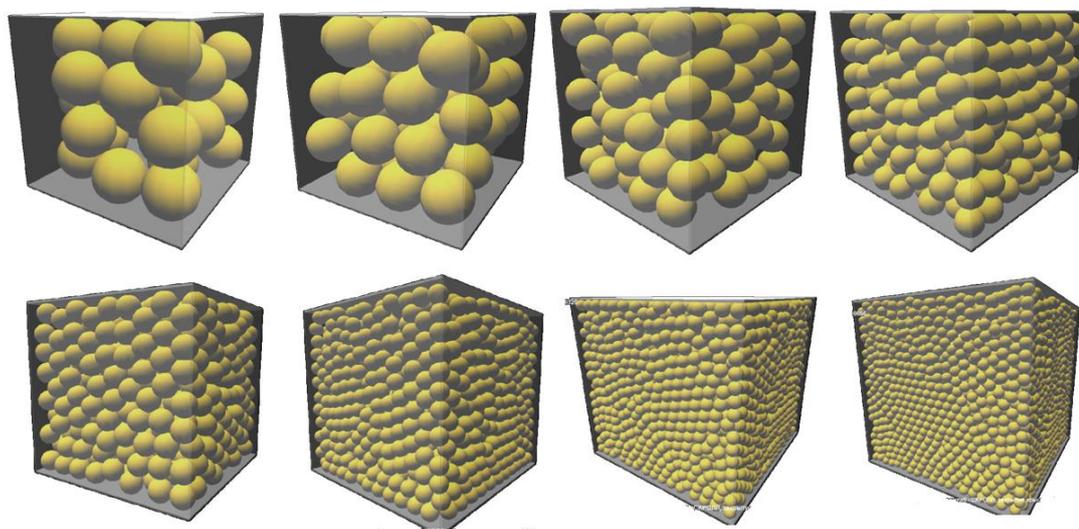


Рис. 2. Модели случайных одномодальных упаковок частиц

Двухмодальная упаковка частиц размером 0,63 и 0,16 относительных единиц (D_1 и D_2 соответственно) при различном их соотношении по количеству (N_1 и N_2 соответственно) представлена на рис. 3.

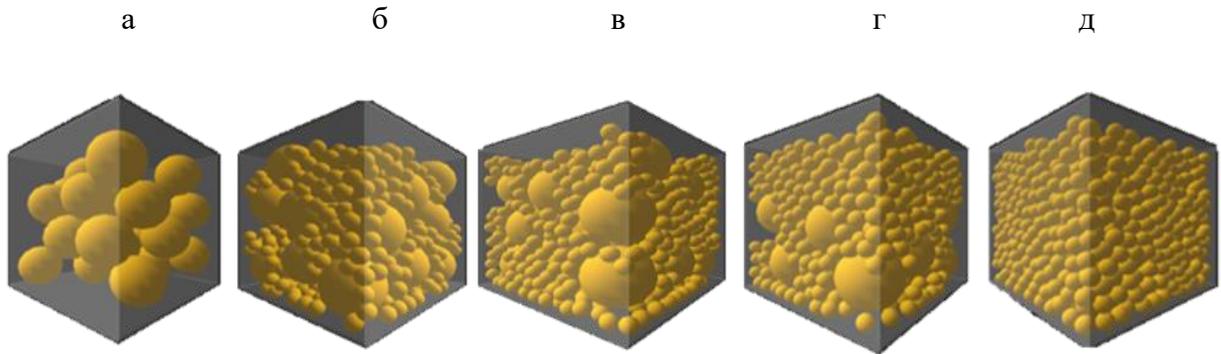


Рис. 3. Модели случайных двухмодальных упаковок частиц и их пустотности Π при соотношении размеров частиц $D_1:D_2 = 0,63:0,16$ и различном их соотношении по количеству: а – $N_1:N_2 = 100:0$ %, $\Pi = 61,6$ %; б – $N_1:N_2 = 80:20$ %, $\Pi = 46,4$ %; в – $N_1:N_2 = 50:50$ %, $\Pi = 43,1$ %; г – $N_1:N_2 = 20:80$ %, $\Pi = 46,0$ %; д – $N_1:N_2 = 0:100$ %, $\Pi = 48,8$ %

Наименьшая пустотность двухмодальных систем имеет место в нашем случае при одинаковой пропорции крупных и мелких частиц (рис. 4), что подтверждает представления о том, что наименьшая пустотность двухмодальных систем, как правило, соответствует соотношению больших и малых фракций по объему 70:30 %. При этом учитываются их объемно-массовые показатели. В то же время это правило, по нашим данным, не является универсальным и должно быть скорректировано с помощью компьютерного моделирования с учетом реального гранулометрического состава фракций.

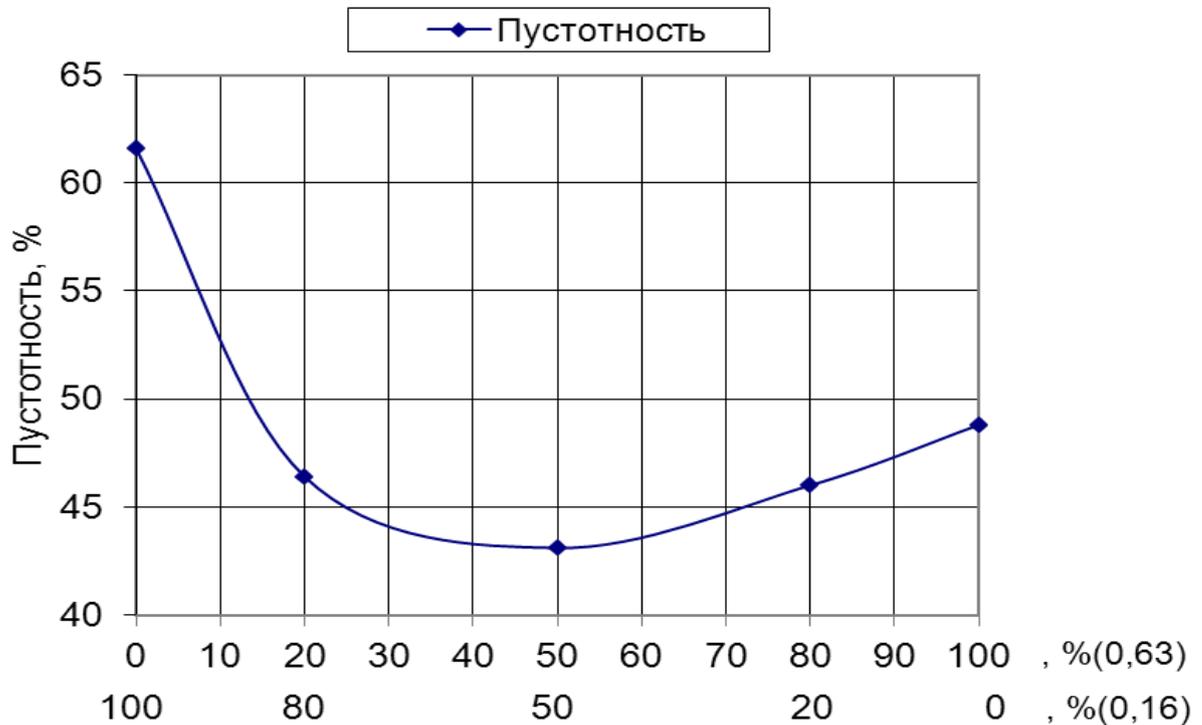


Рис. 4. Изменение пустотности двухмодальной упаковки частиц

в зависимости от их относительного количества в смеси
по данным компьютерного моделирования

Оптимальный гранулометрический состав многомодальных систем описывают известным уравнением Функа – Дингера:

$$G_{np} = 100 \cdot \left(\alpha + (1 - \alpha) \frac{D^n - D_{\min}^n}{D_{\max}^n - D_{\min}^n} \right),$$

где G_{np} – проход частиц, %, через сито размером D , мм; D_{\max} D_{\min} – наибольшая и наименьшая крупность зерна в смеси соответственно, мм; n – коэффициент распределения; α – коэффициент, учитывающий форму частиц: $\alpha = 1$ (для реальных частиц сыпучих систем может изменяться в пределах от 0,08 до 0,14).

Экспериментально полученным соотношениям фракционного состава модельной двухфракционной песчаной смеси ставится в соответствие расчет ее зернового состава с использованием уравнения Функа – Дингера. Расчет зернового состава тонкодисперсной смеси цемента и микронаполнителя – тонкомолотого известняка – по уравнению Функа-Дингера позволяет достигнуть плотной упаковки частиц на тонкодисперсном уровне. Пропорции компонентов, соответствующие оптимальному зерновому составу, а именно 88 % портландцемента и 12 % молотого известняка, способствуют не только сохранению прочности на прежнем уровне, что уже является новым и весьма неожиданным результатом, но и повышению прочности вяжущей части до 50 %. Оптимизация гранулометрического состава позволяет добиться приведенных результатов. При этом такой синергетический эффект, по-видимому, во многом обусловлен наличием в молотом известняке наноразмерных составляющих в количестве до 5 % (рис. 5), которые обеспечивают повышенную реакционную способность материала.

На повышение прочностных характеристик композита влияют, наряду с гранулометрией минеральной части композита, дополнительные факторы. Оценивалось соотношение суперпластификатора, цемента и известнякового порошка. На графике (рис. 6) показано влияние удельной поверхности и способа измельчения на физико-механические параметры бетона. Оправдала себя схема совместного помола цемента, карбонатной крошки и суперпластификатора.

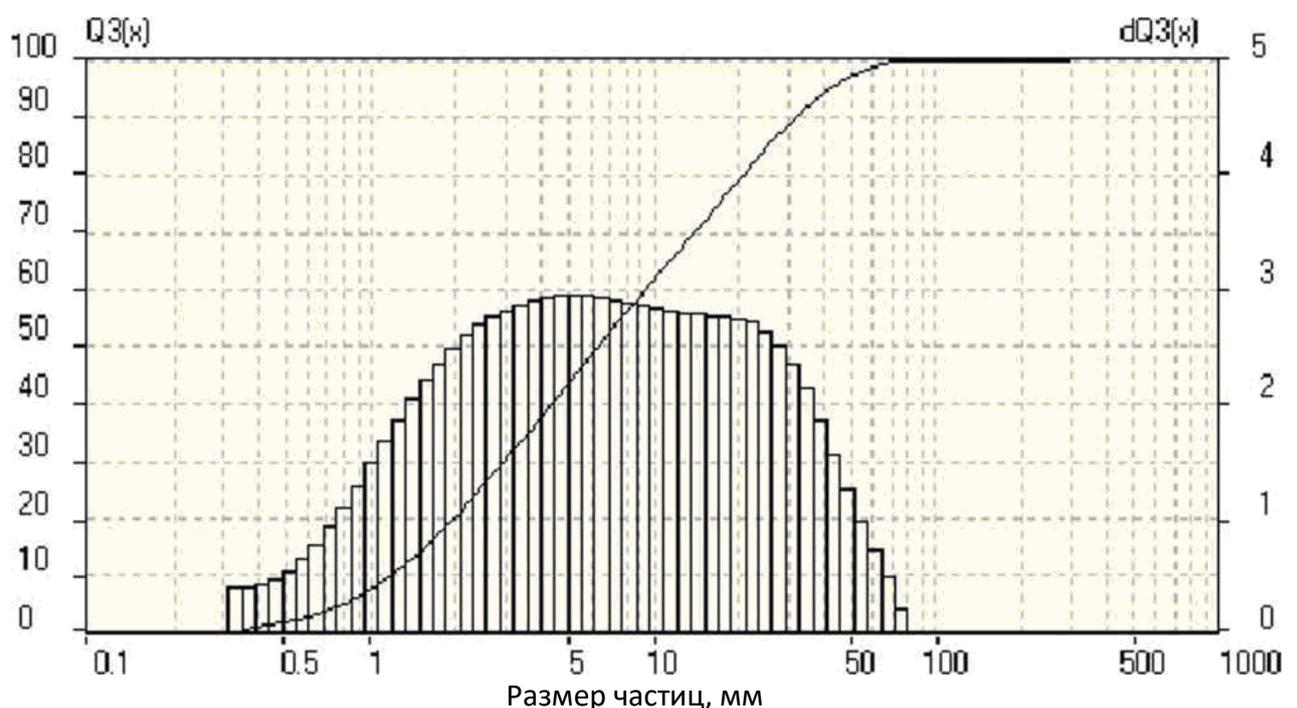


Рис. 5. Гранулометрическая кривая известнякового наполнителя с удельной поверхностью 600 м²/кг

Оптимизация зернового состава исходной смеси и регулирование содержания в системе определенного количества нанодисперсных частиц способствуют заполнению нанодисперсными частицами известняка мельчайших пор между наночастицами цемента с высвобождением «свободной воды» и переводу пористости из капиллярной в гелевую области; улучшению структуры контактной зоны наполнителя, что выражается в повышении сцепления между наполнителем и цементным камнем.

Таким образом, мелкодисперсная известняковая добавка к бетону с наноразмерным компонентом имеет ряд следующих преимуществ: экономию до 25 % дорогостоящего вяжущего с повышенными физико-механическими свойствами бетона; повышение сульфатной стойкости бетона благодаря пролонгированию процесса твердения и синтер-взаимодействию компонентов клинкера и нанодисперсной минеральной составляющей; улучшение структуры бетона, обусловленное переключением зон пористости (воздушно-капиллярной и гелевой).

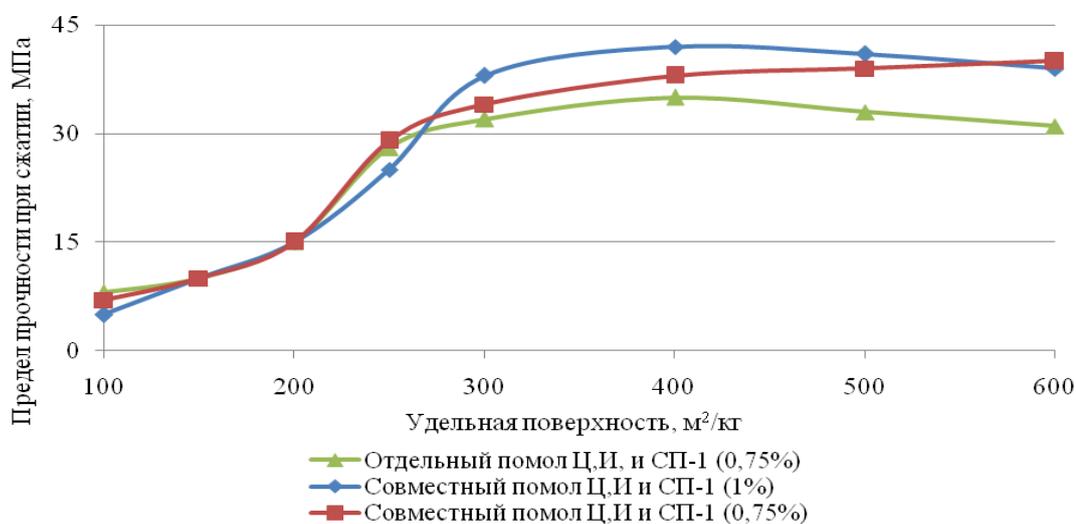


Рис. 6. Зависимость предела прочности мелкозернистого бетона при сжатии от удельной поверхности известнякового наполнителя и способа помола компонентов смеси

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хозин В.Г., Хохряков О.В. Карбонатные цементы низкой водопотребности // *Технологии бетонов*. 2009. № 11–12. С. 25.
2. Белов В.В., Смирнов М.А. Сухие строительные смеси оптимальной гранулометрии // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2004. № 5. С. 28–31.
3. Белов В.В., Смирнов М.А. Влияние фракционного состава сухих зернисто-дисперсных систем на их упаковку в свободном и уплотненном состояниях // *Восьмые Академические чтения отделения строительных наук РААСН*. Самара. 2004. С. 63–65.
4. Moser B., Pfeifer C. Microstructure and Durability of Ultra-High Performance Concrete. Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete Kassel, Germany March 05-07, 2008.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КУЛЯЕВ Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: p.kuliaev@yandex.ru

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Куляев П.В., Белов В.В. Роль оптимальной гранулометрии известняковой добавки с наноразмерными составляющими в производстве строительных композитов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 3 (7). С. 25–31.

ROLE OF OPTIMAL GRANULOMETRY OF LIMESTONE ADDITIVE WITH NANOSIZED COMPONENTS IN PRODUCTION OF BUILDING COMPOSITES

P.V. Kuliaev, V.V. Belov

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article highlights the role of the nanoscale component of the western additive in various aspects of its application. Among inert and pseudo inert additives in concrete, carbonate additives are among the most significant. It is noted that particles of nano-sized composite of finely ground limestone powder under condition of uniform distribution inside matrix of composite play an important role in control of concrete hardening process. This issue is considered in light of internal processes of filling with limestone powder of matrix, strengthening of composite structure through influence on process of hydration and wrapping of cement nuclei reinforcement of matrix at micro level (increases strength, cracking and acid resistance of concrete).

Keywords: nanoparticles, nanoscale component, toned limestone powder, cement cores wrapping, reinforcement at micro level, optimal granulometry, highest particle packing, software modeling.

REFERENCES

1. Khozin V.G., Khochryakov O.V. Carbonate cements of low water consumption. *Concrete technologies*. 2009. No. 11–12, pp. 25. (In Russian).
2. Belov V.V., Smyrnov M.A. Dry construction mixtures of optimal granulometry. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2004. No. 5, pp. 28–31. (In Russian).
3. Belov V.V., Smyrnov M.A. Influence of fractional composition of dry grain-dispersion systems on their packaging in free and compacted states. *Eighth academic readings of the building sciences department of RAASN*. Samara. 2004, pp. 63–65. (In Russian).
4. Moser B., Pfeifer C. Microstructure and Durability of Ultra-High Performance Concrete. Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete Kassel, Germany March 05-07, 2008.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

KULIAEV Pavel Viktorovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structures and Facilities, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: p.kuliaev@yandex.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Head of Chair of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Kuliaev P.V., Belov V.V. Role of optimal granulometry of limestone additive with nanosized components in production of building composites // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2020. No. 3 (7), pp. 25–31.