



Тепломассообмен при тепловлажностной обработке силикатного кирпича с добавками шлама

О.В. Ермак¹, Н.И. Шестаков²

¹ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

²ФГБОУ ВПО Череповецкий государственный университет, 162600, Россия, Череповец, Пр-т. Луначарского, 5.

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 691	Подана в редакцию 22 февраля 2014 Оформлена 20 апреля 2014	силикатный кирпич; шлам;
Научная статья	Согласована 30 апреля 2014	тепловая обработка; периоды прогрева; химическая реакция;

АННОТАЦИЯ

Внедрение малоотходных и безотходных технологических процессов способствует оздоровлению окружающей среды. К наименее утилизируемым выбросам металлургических предприятий относятся пыли и шламы, систем очистки аспирационных и технологических пылегазовых выбросов. В связи с физико-химическим составом металлургических шламов, они являются ценным сырьем для строительной индустрии, в частности, при изготовлении силикатного кирпича. Важной частью технологического процесса при изготовлении силикатного кирпича является тепловая обработка в значительной степени определяющая строительно-прочностные свойства готовых изделий. В работе рассматривается зависимость начала химических реакций на поверхности заготовки от её геометрических размеров. При увеличении размеров заготовки время, необходимое для наступления периода начала действия химических реакций на поверхности, увеличивается.

Содержание

1. Введение	76
2. Цель исследования	76
4. Стадии прогрева заготовки	76
5. Изменение температуры заготовки от различных параметров	76
6. Выводы	78

¹ Контактный автор:
+7 (921) 773 9058, ermak_olga@valentinovna@mail.ru (Ермак Ольга Валентиновна, к.т.н., доцент)

² +7 (820) 251 7829, shestakovni@chsu.ru (Шестаков Николай Иванович, д.т.н., профессор)

1. Введение

Значительное влияние на ухудшение состояния воздушной среды оказывают выбросы мелкодисперсной пыли. К наименее утилизируемым относятся пыли и шламы, систем очистки аспирационных и технологических пылегазовыбросов. Известны методики использования отходов электростанций для производства силикатного кирпича [3, 9]. Основными показателями, определяющими выбор направления утилизации отходов, являются их химический состав и влажность. В связи с физико-химическим составом металлургических шламов, они являются ценным сырьем для строительной индустрии, в частности, при изготовлении силикатного кирпича.

Важной частью технологического процесс при изготовлении силикатного кирпича является тепловая обработка [2, 4-6, 11, 13], в значительной степени определяющая строительно-прочностные свойства готовых изделий. Математическое моделирование процесса тепловой обработки выполнено в работах [7, 9, 10, 12, 14].

2. Цель исследования

Целью исследования является установление зависимости начала действия химических реакций на поверхности заготовки от геометрических размеров.

4. Стадии прогрева заготовки

В момент помещения материала в камеру заготовка имеет начальную температуру $T_0, ^\circ\text{C}$, которая равномерно распределена по всему объему. Затем материал начинает прогреваться за счет теплоты газов, имеющих температуру $T_c, ^\circ\text{C}$. При достижении поверхностью заготовки температуры реакции $T_p, ^\circ\text{C}$, при которой начинается химическая реакция, заканчивается первая стадия прогрева материала.

5. Изменение температуры заготовки от различных параметров

Расчет динамики роста температуры на поверхности заготовки при различных значениях критерия Био производится по формулам [1]. Расчет выполнен в соответствии с рекомендациями [8]. Результаты расчета представлены на рисунк 1.

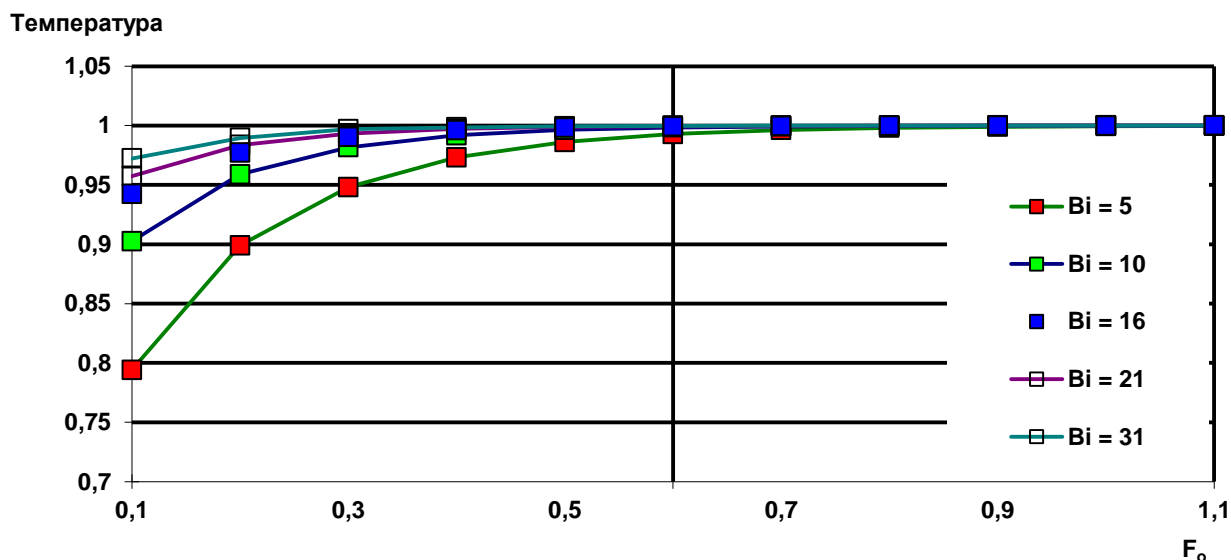


Рисунок 1. Зависимость безразмерной температуры от числа F_0 на поверхности заготовки в центральной плоскости

Анализ данных графика позволяет определить продолжительность периода прогрева заготовки при различных значениях критерия Bi . С увеличением критерия Bi продолжительность стадии прогрева заготовки одинакового размера уменьшается.

Зависимость критерия F_o от критерия Bi можно наблюдать на рисунке 2.

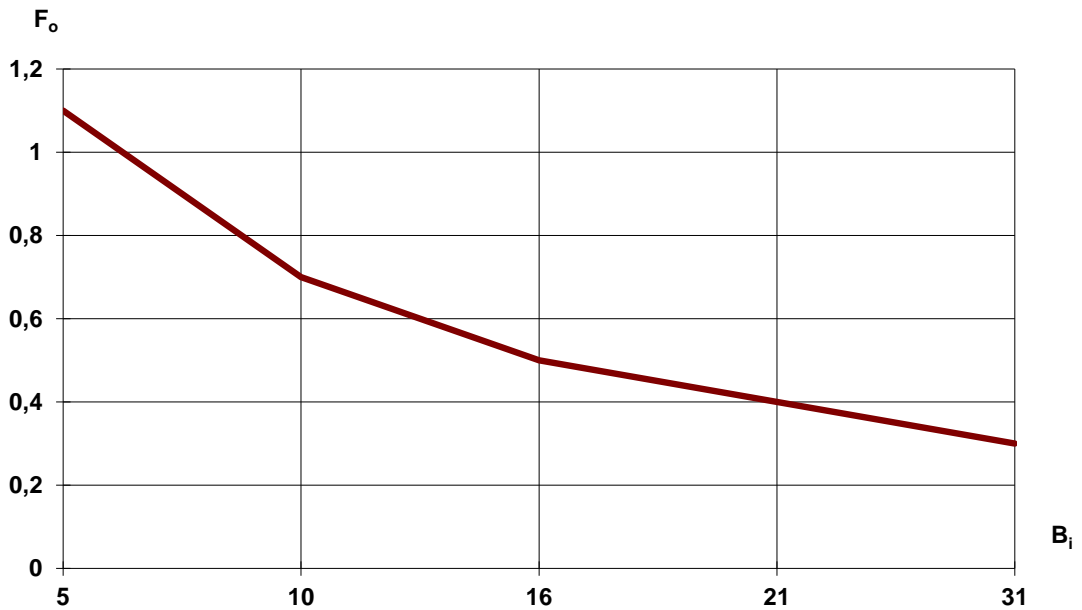


Рисунок 2. Зависимость F_o для периода прогрева от значений критерия Bi

Анализ данных графика позволяет сделать вывод о том, что на продолжительность стадии прогрева заготовки существенное влияние оказывает коэффициент теплоотдачи. С увеличением значения критерия Bi продолжительность стадии прогрева уменьшается, стремясь к нулю (при увеличении коэффициента теплоотдачи с $Bi = 5$ до $Bi = 31$ время достижения поверхностью заготовки температуры реакции уменьшается с $F_o = 1,1$ до $F_o = 0,3$). При дальнейшем увеличении коэффициента теплоотдачи поверхность заготовки достигает температуры начала протекания химической реакции довольно быстро.

Средние температуры по толщине заготовки рассчитываем по формулам [1]. Распределение температуры по толщине заготовки при различных значениях критерия Bi представлены на графике (рисунок 3).

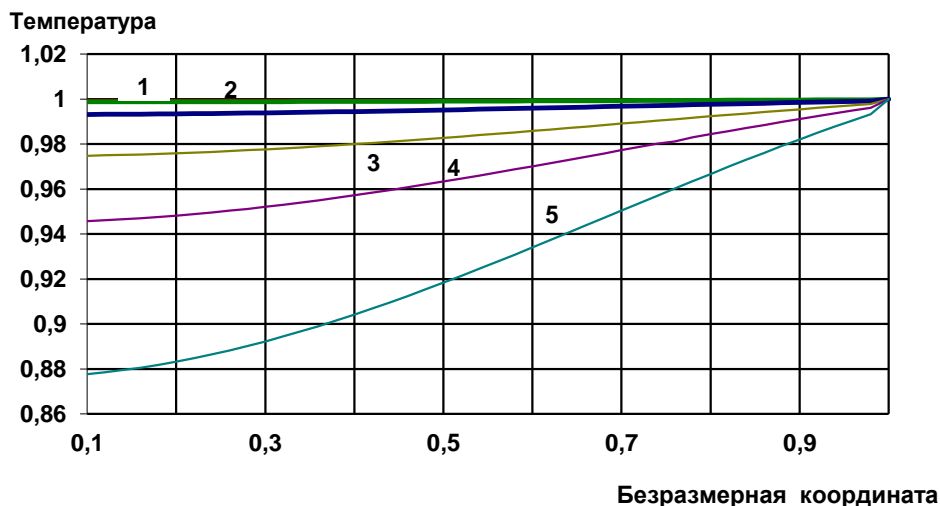


Рисунок 3. Температурное поле заготовки в конце стадии прогрева:

1 – $Bi = 5$; 2 – $Bi = 10$; 3 – $Bi = 16$; 4 – $Bi = 21$; 5 – $Bi = 31$

При небольших значениях критерия Био температура по толщине заготовки распределяется достаточно равномерно, значение средней температуры близко к значению температуры поверхности. Разность значений температуры между поверхностью и центром заготовки составляет: при $Bi = 5$ – 0,1%; при $Bi = 31$ – 12%. При больших значениях коэффициента теплоотдачи температура в центре заготовки практически не изменяется при достижении поверхностью температуры реакции. Уменьшение температуры от поверхности к центру происходит плавно, без видимых скачков. Средняя температура в конце стадии прогрева уменьшается с увеличением значений критерия Bi , т.к. с уменьшением продолжительности прогрева уменьшается температура в центре заготовки. Данный расчет верен для заготовок различных размеров.

Зависимость продолжительности первого периода от размера заготовки отражена на рисунке 4.

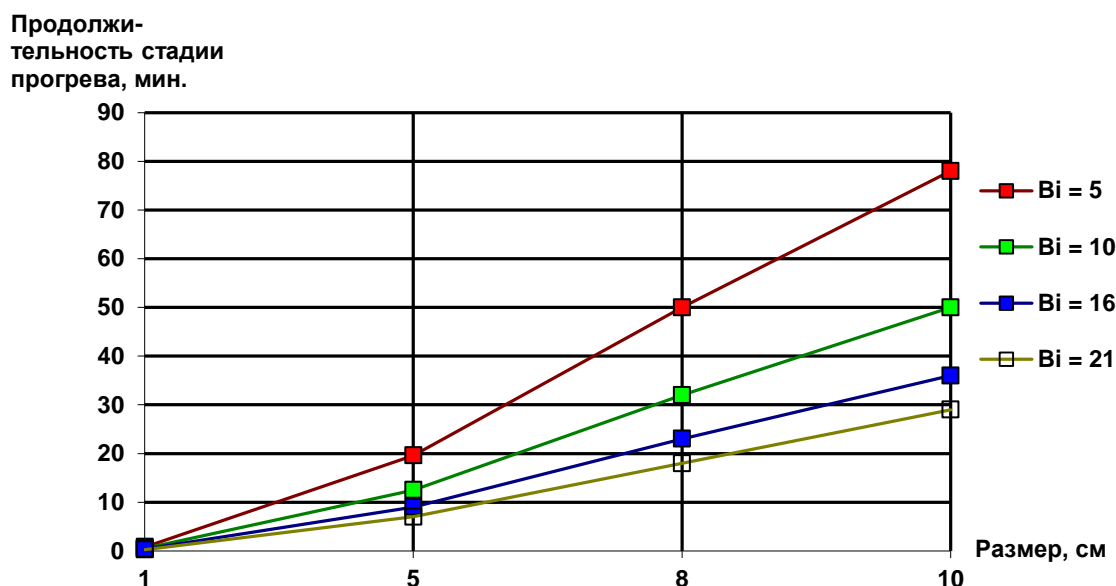


Рисунок 4. Зависимость продолжительности стадии прогрева от размеров заготовки

При изменении начального размера заготовки увеличивается период прогрева при неизменном значении критерия Bi .

6. Выводы

С увеличением критерия Bi продолжительность стадии прогрева заготовки одинакового размера уменьшается.

При увеличении коэффициента теплоотдачи с $Bi = 5$ до $Bi = 31$ время достижения поверхностью заготовки температуры реакции уменьшается с $F_0 = 1,1$ до $F_0 = 0,3$.

Средняя температура по толщине заготовки в конце стадии прогрева уменьшается с увеличением значений критерия Bi .

При увеличении размеров заготовки время, необходимое для наступления периода начала действия химических реакций на поверхности, увеличивается.

Литература

1. Математическая модель температурного поля в декоративном силикатном кирпиче в период прогрева заготовки / Белозор М.Ю., Меньшакова Т.Н., Шестакова Е.А., Синицын Н.Н. // Современные промышленные технологии. Материалы XIX всероссийской научно-технической конференции. Н.Новгород: НИИМЦ «Диалог». 2007. С. 12-13.
2. Клименти Н.Ю., Власова О.С., Николенко М.А. О свойствах пыли в воздухе рабочей зоны на предприятиях по производству силикатного кирпича // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 33 (52). С. 139-142.
3. Воронин В. П., Заровнятных В. А. Эффективный силикатный кирпич на основе золы ТЭС и порошкообразной извести // Строительные материалы. 2000. № 8. 24 с.
4. Дмитриевич А. Д. Тепло и массообмен при твердении кирпича в паровой среде. М. 1967. 244 с.
5. Зохарович В.С., Шукуров Э.Д. Производство кирпича. Ленинград: Стройиздат, 1988. 232 с.
6. Зейфман М.И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов. М.: Стройиздат, 1990. 184 с.
7. Белозор М.Ю., Меньшакова Т.Н., Шестакова Е.А. Математическая модель температурного поля в декоративном силикатном кирпиче в период развитой гидратации Современные прямолинейные технологии // Материалы Всероссийской научнотехнической конференции (Computer Based Conferences) – Нижний Новгород: Нижегородский научный и информационно-методический центр «Диалог» (НИИМЦ «Диалог»), 2007. С.10-11.
8. Кирсанов Ю.А. Теория теплопроводности в циклических тепловых процессах // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2005. № 6. С. 39-50.
9. Митрохина М.М., Хвостенков С.И. Использование отходов ТЭС в производстве силикатного кирпича. // Труды ВНИИстром. М., 1977. №26. 64 с.
10. Обещенко Г.А., Шифрин Е.И. Математическая модель и эффективные режимы ТВО силикатного кирпича // Силикатная промышленность 1981. № 12. С. 9-11.
11. Шестаков Н.И., Синицын Н.Н., Меньшакова Т.Н. Технология изготовления силикатного кирпича с добавками шлама кислородно-конвертерного производства // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т.6. №2. С. 77-80.
12. Шестаков Н.И., Ермак О.В. Моделирование тепловых процессов при производстве силикатного кирпича с использованием отходов металлургической промышленности. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №8 (13). С. 29-33
13. Purton M.J., Coldrey J.M. The effect of autoclaving conditions on the constitution and properties of calcium silicate brick spesiraens. Trans. Brit. Ceram. Soc., 1970 №3.
14. Alonso A.A., Banga J.R. Perez-Martin R. Modeling and adaptive control for batch sterilization// Computers chemical engineering Vol.22, No.3, pp.445-458,1998.138
15. Utilization of copper tailing for autoclaved sand–lime brick / Yonghao Fang, Yamin Gu, Qiubo Kang, Quan Wen, Pin Dai // Construction and building materials. 2011. Vol. 25. Issue 2. Pp. 867-872.
16. Pytel Z., Malolepszy J. Effect of mineral admixtures on some properties of sand-lime bricks // Waste management series. 2000. Vol. 1. Pp. 371-382.
17. Lianyang Zhang. Production of bricks from waste materials – A review // Construction and building materials. 2013. Vol. 47. Pp. 643-655.
18. Raut S. P., Ralegaonkar R. V., Mandavgane S. A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks // Construction and building materials. 2011. Vol. 25. Issue 10. Pp. 4037-4042.
19. Saeed Ahmari, Lianyang Zhang. Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolymerization // Construction and building materials. 2012. Vol. 29. Pp. 323–331.

Heat and mass transfer in thermal-treated silica brick with mud additives

O.V. Ermak¹, N.I. Shestakov²

¹*Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.*

²*Cherepovets State University, 5 Lunacharsky prospect, Cherepovets, Vologda region, 162600, Russia*

ARTICLE INFO

Article history

Keywords

Original research article

Received 22 February 2014
Received in revised form 20 April 2014
Accepted 30 April 2014

sand-lime brick
sludge;
heat treatment;
warm periods;
the chemical reaction;

ABSTRACT

The introduction of low-waste and waste-free processes promotes a healthier environment. The least recyclable steel plants emissions are dust and sludge, cleaning systems and technological pylegazovybrosov aspiration. Due to the physico-chemical composition of metallurgical sludge, they are valuable raw materials for the building industry, particularly in the manufacture of silica bricks. An important part of the technological process in the manufacture of sand-lime brick is a heat treatment to a large extent determines the construction and mechanical properties of the finished products. This paper considers the relationship start chemical reactions on the surface of the workpiece on its geometrical dimensions. By increasing the size of the workpiece the time required for the occurrence period of the start of the chemical reactions at the surface increases.

¹ Corresponding author:
+7 (921) 773 9058, ermak_olgavalentinovna@mail.ru (Olga Valentinovna Ermak, Ph.D., Associate Professor)
² +7 (820) 251 7829, shestakovni@chsu.ru (Nikolay Ivanovich Shestakov, D.Sc., Professor)

References

1. Ponomarev A.N. *Vysokokachestvennyye betony. Analiz vozmozhnostey i praktika ispolzovaniya metodov nanotekhnologii* [High-quality concrete. Analysis of the opportunities and the practice of using nanotechnology techniques] // Magazine of Civil Engineering. 2009. №6. Pp. 25–33. (rus)
2. *Opyt promyshlennogo primeneniya nanomodifitsirovannykh betonnykh smesey* [Experience of industrial applications of nanomodified concrete mixtures] [web source] / Kovaleva A. Yu., Belyayeva Zh. V., Aubakirova I. U., Staroverov V. D. // Ves beton, 22.10.2008. URL: <http://www.allbeton.ru/article/265/18.html> (date of reference: 25.02.2014). (rus)
3. *Korroziionnostoykiye nanomodifitsirovannyye tsementnyye betony* [Corrosion-resistant nanomodified cement concrete] / Pukharenskiy Yu. V., Aubakirova I. U., Staroverov V. D., Gyunter T. V., Kudobayev M. K. // Tekhnologii betonov. 2010. № 7/8. Pp. 24-27. (rus)
4. Kishinevskaya Ye.V., Vatin N.I., Kuznetsov V.D. *Perspektivy primeneniya nanobetona v monolitnykh bolshheproletnykh rebrestykh perekrytiyakh s postnapryazheniyem* [Prospects of application of nanomodified concrete in monolithic slabs with big span with post-tension] // Magazine of Civil Engineering. №2. 2009. Pp. 54–58. (rus)
5. EN 1992 Eurocode 2. Design of concrete structures.
6. Kolb D.A., Chumadova L.I. *Perspektivy nanomodifikatsii betona* [Prospects of nanomodification of concrete] // Materialy NPKMU (XLI week of science of SPbGPU), 2011. Part 1. Pp. 14-16. (rus)
7. Vauchskiy M.N. *Nanobeton: mify i realnost* [Nano-concrete: Myths and reality] // Stroy PROFIL. 2007. № 8. Pp. 48 – 50.
8. Ta Van Fan, Nesvetev G.V. *Vliyaniye beloy sazhi i metakaolina na prochnost i deformatsionnyye svoystva tsementnogo kamnya* [Effect of fumed silica and metakaolin on the strength and deformation properties of cement paste] // *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2012. № 4. Part 1. (rus)
9. *Kontraktsiya portlandtsementa v prisutstvii superplastifikatorov i mineralnykh modifikatorov* [Contraction of Portland cement in the presence of superplasticizers and mineral modifiers] / Nesvetayev G.V., Kardumyan G.S., Ta Van Fan, Khomich L.A., Blyagoz A.M. // *Novyye tekhnologii*. 2012. №4. Pp.125-128. (rus)
10. *O vliyani superplastifikatorov i mineralnykh dobavok na velichinu nachalnogo modulya uprugosti tsementnogo kamnya i betona* [About the effect of superplasticizers and mineral supplements on the amount of the initial modulus of elasticity of cement paste and concrete] / Nesvetayev G.V., Kardumyan G.S., Ta Van Fan, Khomich L.A., Blyagoz A.M. // *Novyye tekhnologii*. 2012. № 4. Pp.118-121. (rus)
11. *O vliyani superplastifikatorov i mineralnykh dobavok na poristost tsementnogo kamnya* [About the effect of superplasticizers and mineral supplements on the porosity of the cement stone] / Nesvetayev G.V., Kardumyan G.S., Ta Van Fan, Khomich L.A., Blyagoz A.M. // *Novyye tekhnologii*, 2012. № 4. Pp.122-125. (rus)
12. Ta Van Fan. *Samouplotnyayushchiyesa vysokoprochnyye betony s kompensirovannoy usadkoy* [Self-sealing high-strength concrete with compensated shrinkage] // Materialy MNPК «Stroitelstvo 2012» RGSU, 2012 Pp.124-126. (rus)
13. Matveyeva Ye. G. *Povysheniye effektivnosti betona dobavkoy nanodispersnogo kremnezema* [Improving the efficiency of concrete with the addition of nanosized silica]. M.: Belgorod. 2011. 21 p. (rus)
14. Kapriyelov S.S. Batrakov V.G., Sheynfeld A.V. *Modifitsirovannyye betony novogo pokoleniya: realnost i perspektiva* [Modified concretes of a new generation: Reality and Prospects] // *Beton i zhelezobeton*. 1999. № 6. Pp. 6–10. (rus)
15. Davaasenge S.S., Burenina O.N. *Fiziko-mekhanicheskiye svoystva nanomodifitsirovannykh «toshchikh» betonov dlya ustroystva osnovaniy dorozhnoy odezhdyy* [Physical and mechanical properties of "lean" nano-modified concrete for structure of pavement of the road] // Scientific journal of KubGAU, 2011. №10 (074). Pp. 732 – 743. (rus)
16. Inozemtsev A.S, Korolev Ye.V. *Osnovy razrabotki nanomodifitsirovannykh vysokoprochnykh legkikh betonov* [Basics of Designing a high-strength lightweight nanomodified concrete] // *Nanotekhnologii v stroitelstve*, 2013. Vol.23. №1. 24 p. (rus)
17. Strength and breaking mechanism of multiwalled carbon nanotubes under tensile load / Yu, M.F.; Lourie, O., Dyer, M.J., Moloni, K., Kelly, T.F., Ruoff, R.S. // *Science*. 2000. Vol. 287. Pp. 637–640.
18. Mechanical properties of carbon nanotubes / Salvatet J.P., Bonard J.-M., Thomson N.H., Kulik A.J., Forró L., Benoit W., Zuppiroli L. // *Applied Physics A: Materials Science and Processing*. 1999. Vol. 69. Pp. 255–260.

19. Elastic strain of freely suspended single-wall carbon nanotube ropes / Walters, D.A., Ericson, L.M., Casavant, M.J., Liu, J., Colbert, D.T., Smith, K.A., Smalley R.E. // Applied Physics Letters. 1999. Vol. 74. Pp. 3803–3805.
20. Sinnott, S.B., Andrews, R. Carbon nanotubes: Synthesis, properties and applications // Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences. 2001. Vol. 26. Pp. 145–249.
21. Berber S., Kwon Y.K., Tomanek D. Unusually high thermal conductivity of carbon nanotubes // Physical Review Letters. 2000. Vol. 84. Pp. 4613–4616.
22. Magnetic properties of multiwall carbon nanotubes and astralenes in strong electric fields / Brozdnicenko A.N., Ponomarev A.N., Pronin V.P., Rybalko V.V. // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2007. Vol. 1. №1. Pp. 110–112.
23. Yudovich M.Ye. *O nekotorykh osobennostyakh nanotekhnologii v plastifikaii* [About some peculiarities of nanotechnology in the plasticizing] // Magazine of Civil Engineering. 2008. №1. Pp. 30-32. (rus)
24. ZAO «Institute Stroiproekt» URL: <http://www.stpr.ru/> (date of reference: 30.04.2014)
25. *City news portal "St. Peterburg.ru" Na rekonstrukciyu Dvortsovogo mosta trebuetsya pochti 3 mlrd rubley i poltory tonny metalla* [To reconstruction of Palace Bridge it is required to nearly 3 billion rubles and one and a half tons of metal] [web source]. URL: <http://saint-petersburg.ru/m/307416/> 20.11.2011. (date of reference: 08.03.2014) (rus)
26. Frolov A.V., Kononov Yu.I. *Ispolzovaniye nanobetona v stroitelstve unikalnykh zhelezobetonnykh konstruktsiy i sooruzheniy* [The use of nanomodified concrete in the construction of unique reinforced concrete structures and buildings] // *Materialy NPKMU* (XLI week of science of SPbGPU), 2012. Part 1. Pp. 420-421. (rus)
27. Use of nanomaterials in the European construction industry and some occupational health aspects thereof / Pieter van Broekhuizen, Fleur van Broekhuizen, Ralf Cornelissen, Lucas Reijnders // Journal of Nanoparticle Research. 2011. Vol. 13. Issue 2. Pp. 447-462.
28. Buzea C., Pacheco I. I., Robbie K. Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity // *Biointerphases*. 2007. Vol. 2. Issue 4. Pp. MR17-MR71.
29. Harri Alenius, Julia Catalán, Hanna Lindberg et. al. Chapter 3 - Nanomaterials and Human Health. Handbook of Nanosafety, 2014. Pp. 59-133.
30. Pietrojusti A., Magrini A., Campagnolo L. 2 - Mechanisms of nanomaterial toxicity. Health and Environmental Safety of Nanomaterials, 2014. Pp. 28-43.
31. Jonathan D. Judy, Paul M. Bertsch. Chapter One - Bioavailability, Toxicity, and Fate of Manufactured Nanomaterials in Terrestrial Ecosystems // *Advances in Agronomy*. 2014. Vol. 123. Pp. 1-64.