

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.51/55:666.041.2

*САРКИСОВ ЮРИЙ СЕРГЕЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,  
yu-s-sarkisov@yandex.ru*

*ГОРЛЕНКО НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,  
gorlen52@mail.ru*

*СУББОТИНА НАТАЛЬЯ ВАЛЕРЬЕВНА, ст. преподаватель,  
subnv@sibmail.com*

*ШЕПЕЛЕНКО ТАТЬЯНА СТАНИСЛАВОВНА, канд. хим. наук, доцент,  
shepta72@mail.ru*

*СЕДЛОВСКИЙ СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ, студент,  
sergeisedlovskii@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

## КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Древесно-цементные композиции находят все более широкое применение в строительной индустрии. В работе рассматриваются комбинированные процессы, лежащие в основе формирования структур твердения, связанные, с одной стороны, с реакциями гидратации и гидролиза клинкерных минералов цемента, а с другой стороны, с образованием фосфатов кальция разной основности, состав которых регулируется введением буферных растворов и катализатора – уксусной кислоты. В работе использованы современные методы физико-химического анализа, позволяющие идентифицировать продукты твердения в исследуемых системах, ответственные за формирование прочности древесно-цементных композиций. Показано, что использование буферных растворов в качестве жидкости затворения улучшает эксплуатационные характеристики древесно-цементных композиций по сравнению с известными аналогами.

**Ключевые слова:** древесно-цементные композиции; жидкость затворения; фосфатный буферный раствор; водопоглощение.

*YURY S. SARKISOV, DSc, Professor,*

*yu-s-sarkisov@yandex.ru*

*NIKOLAY P. GORLENKO, DSc, Professor,*

*gorlen52@mail.ru*

*NATALIYA V. SUBBOTINA, Senior Lecturer,*

*subnv@sibmail.com*

*TAT'YANA S. SHEPELENKO, PhD, A/Professor,*

*shepta72@mail.ru*

*SERGEY S. SEDLOVSKIY, Student,*

*sergeisedlovskii@mail.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,*

*2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

## COMBINED PROCESSES OF STRUCTURIZATION OF WOOD-CEMENT COMPOSITIONS

Wood-cement compositions are being more and more widely used in construction industry. The paper is dealt with the combined processes underlying the structure formation of cement hardening connected one hand with hydration and hydrolysis of cement minerals and on the other, with the formation of calcium phosphates of different basicity. The composition of calcium phosphates is regulated by the introduced amount of buffer solutions and acetic acid. The modern methods of physicochemical analysis are used in the experiment that allow the identification of hardening products in wood-cement compositions. It is shown that buffer solutions used as mixing liquid improve the serviceability of wood-cement compositions as compared to the known analogs.

**Keywords:** wood-cement composition; mixing liquid; phosphatic buffer solution; water absorption.

Древесина и цемент по праву относятся к одним из самых важных видов строительных материалов. Но если древесину (деревянные компоненты) начали использовать ещё на заре человечества, то цемент только на протяжении последних 180–200 лет. Древесина обладает рядом уникальных свойств, таких как низкая тепло- и электропроводность, высокая прочность на сжатие, изгиб, растяжение, морозостойкость и др. Но, как и у любого материала, у нее есть и недостатки: относительно высокое водопоглощение, низкие коррозионная, био- и огнестойкость и др. Величайшим природным достоинством древесины является многообразие её видов, практически ничем не ограниченная возобновляемость сырья, а также способность легко поддаваться различным видам обработки, как сугубо механическим, так и физическим, химическим, биологическим и комбинированным. Способность дерева запоминать и фиксировать в собственной структуре любые, даже очень слабые, изменения в окружающей среде [1] практически совсем не используется в строительных технологиях. Древесина является также одним из представителей так называемых неравновесных строительных материалов [2]. К сожалению, современные технологии деревообработки отрицательно влияют на сохранность «живых» вышеперечисленных свойств и тем самым не позволяют получать действительно качественный материал – строительный материал нового поколения.

Применение цемента со времён Егора Челиева и Джозефа Аспида [3] постоянно расширялось, и до сих пор этот материал по праву называют «хлебом» производства. Цемент – это искусственный материал, созданный человеком, и можно только удивляться его способности при взаимодействии с водой образовывать прочный камень и эволюционировать во времени. Технологическая доступность и эффективность, экологическая безопасность, биосовместимость

и природная сбалансированность, а также экономическая целесообразность [4], наряду с энерго- и ресурсосбережением, являются бесспорными условиями его широкой распространенности в современных технологиях. Новые идеи и возможности получения различных видов цемента, развиваемые в работах отечественных и зарубежных учёных [5–10], включая создание смешанных (композиционных) вяжущих [11], являются фундаментальной основой расширения области его применения.

Попытки соединить положительные свойства природного и искусственного материалов в одном композиционном материале продолжают уже более 100 лет. В настоящее время номенклатура древесно-цементных композиций (ДЦК), производимых по современным технологиям, включает в себя арболит, фибролит, цементно-стружечные плиты, ксилолит, скопобетон и многие другие виды [12]. Такое многообразие связано с интенсивным применением в качестве древесного заполнителя самых разных отходов лесопиления и лесозаготовок, растительного сырья природного происхождения и сельскохозяйственного производства. Например, таких как фаунтная и дровяная древесина, тонкомер, сучья, ветви, горбыль, костра льна, конопли, джута, стебли хлопчатника, тростника, рисовой шелухи, соломы, камыша, а также отходы картонно-бумажного производства и других вторичных материалов и некондиционных видов сырья современных производств. Оптимальное сочетание различных видов древесного заполнителя друг с другом, а также его сочетание с торфом, мхом, резиновой крошкой, пенополистиролом и т. д. является фундаментальной базой развития производства ДЦК как самостоятельной ветви промышленности строительных материалов.

Управление качеством древесно-цементных композиций должно осуществляться с учетом всех специфических особенностей заполнителя растительного происхождения, таких как повышенная агрессивность по отношению к цементу и другим видам вяжущих, значительные объёмные влажностные деформации, анизотропность свойств, низкая адгезия к цементу и др.

Известно, что такие составляющие компонентов древесины и других видов растительного сырья, как сахара, кислоты, дубильные вещества, камеди, фенолы, хиноны и другие, оказывают отрицательное влияние на свойства и твердение цементного камня [13]. Но мономерные сахара (глюкоза, ксилоза, дериваты глюкуроновой и аскорбиновой кислоты) в небольшом количестве (до 0,125 масс. %) ускоряют процессы схватывания и способствуют процессам структурообразования, а при концентрации уже более 0,25 масс. %, наоборот, замедляют процессы схватывания и твердения цемента, что полностью исключает возможность получить прочные композиции [14].

Сегодня считается общепринятым, что для получения высококачественной ДЦК необходимо соблюдать следующие принципы: 1) правильно подобранный состав композита определяет его оптимальную структуру; 2) с увеличением расхода вяжущего уменьшается соотношение дисперсионная среда / дисперсная фаза; 3) с увеличением плотности смесей расход вяжущего уменьшается; 4) оптимальный состав и структура композита в существенной мере зависят от технологических параметров [15].

Позднее было показано, что повышение качества ДЦК возможно путём направленного регулирования структуры на разных масштабных уровнях: на

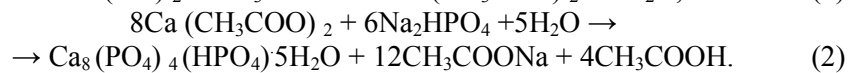
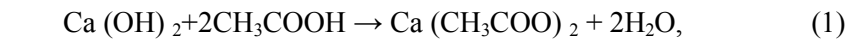
нано-, микро- и макроуровнях – за счёт оптимизации размеров древесного заполнителя, введения добавок наномикрокремнезёма и других наночастиц [16]. Так, установлено, что введение наноразмерного кремнезёма в ДЦК до 0,2 % приводит к снижению объёма пор в 4 раза и увеличению предела прочности при сжатии от 0,24 до 3,15 МПа [17].

Другим направлением повышения эксплуатационных характеристик ДЦК является использование смешанных вяжущих, и в первую очередь композиционных цементов [11].

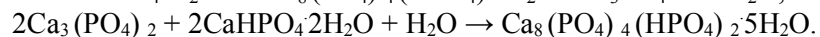
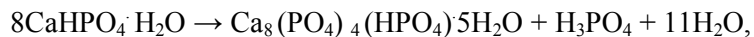
У авторов настоящей работы возникла идея направленного использования параллельно протекающих процессов, лежащих в основе формирования структур твердения ДЦК. Это позволяет значительно снизить отрицательное влияние агрессивных компонентов древесного заполнителя, уменьшить пористость, повысить водостойкость, коррозионную стойкость и прочность композиционных материалов. Достижение поставленной цели решалось путём совместного использования буферных растворов и процесса каталитического инициирования реакций образования полимерных цепочек неорганических полимеров.

В работе было изучено влияние фосфатного буфера, стимулированного уксусной кислотой, формирование полимерных структур на основе полифосфатов кальция. Добавление щёлочи (а её роль может выполнять и гидроксид кальция – продукт гидролиза основного клинкерного минерала – алита) к буферной смеси  $\text{Na}_3\text{PO}_4 - f - \text{NaH}_2\text{PO}_4$  приводит к сохранению постоянства pH среды и одновременно к образованию фосфатов кальция, обладающих пониженной растворимостью и более высокой прочностью структур по сравнению с фосфатами натрия [18].

Исследования [19] показывают, что синтезированные продукты чувствительны к уровню pH среды. Это позволяет направленно регулировать последовательность протекания реакций образования фосфатов кальция путём использования в качестве катализатора уксусную кислоту. В этом случае вероятность протекания процессов может быть следующей:



При этом реакции (1) и (2) взаимосвязаны друг с другом. Далее возможно протекание следующих реакций:



Не исключено образование других форм фосфатов по мере взаимодействия компонентов с продуктами гидролиза древесного заполнителя и цементной матрицы. В результате наблюдается возникновение структур типа «каркас в каркасе». При этом все эксплуатационные характеристики ДЦК должны многократно улучшаться [20].

Для приготовления древесно-цементной смеси использовался портландцемент класса 42,5Н (ГОСТ 31108–2003) и древесный заполнитель в виде опилок хвойных пород. В лабораторных условиях готовились образцы размером  $(2 \times 2 \times 2)10^{-3}$  м, которые выдерживали в камере стандартного твердения

в течение 28 сут при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $(70 \pm 10)\%$ . Образцы ДЦК испытывались на прочность при сжатии по стандартной методике. Результаты испытаний представлены на рис. 1.

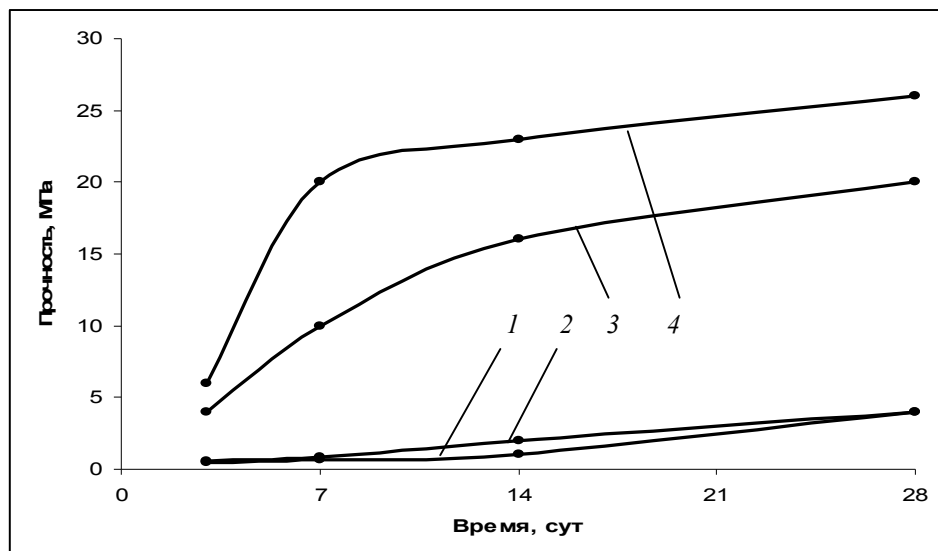


Рис. 1. Кинетика твердения древесно-цементной композиции в зависимости от кислотности среды фосфатного буферного раствора:

1 – контроль (ДЦК +  $\text{H}_2\text{O}$ ); 2 – ДЦК с фосфатным буфером  $\text{pH} = 7,0$ ; 3 – ДЦК с фосфатным буфером  $\text{pH} = 8,5$ ; 4 – ДЦК с фосфатным буфером  $\text{pH} = 4,8$

Из рисунка видно, что для образцов, затворенных нейтральным фосфатным буфером ( $\text{pH} = 7$ ), прочность по сравнению с контрольным образцом практически не изменяется, для образцов с щелочным и кислотным фосфатным буфером наблюдается существенное различие в приросте прочности. Причем в кислой среде прочность выше по сравнению с щелочной.

При этом также в кислой среде наблюдаются наименьшие показатели водопоглощения в 28-суточном возрасте твердения (табл. 1).

Таблица 1

#### Водопоглощение образцов ДЦК в зависимости от $\text{pH}$ буферного раствора

Система	Водопоглощение, %
ДЦК с фосфатным буфером $\text{pH} = 4,8$	5,0
ДЦК с фосфатным буфером $\text{pH} = 7,0$	8,5
ДЦК с фосфатным буфером $\text{pH} = 8,5$	10,0
ДЦК + $\text{H}_2\text{O}$	11,0

Для выявления особенностей структурообразования твердеющих ДЦК были проведены физико-химические методы анализа, в частности рентгеноструктурный фазовый анализ и ИК-спектроскопия.

Результаты экспериментов приведены на рис. 2, 3.

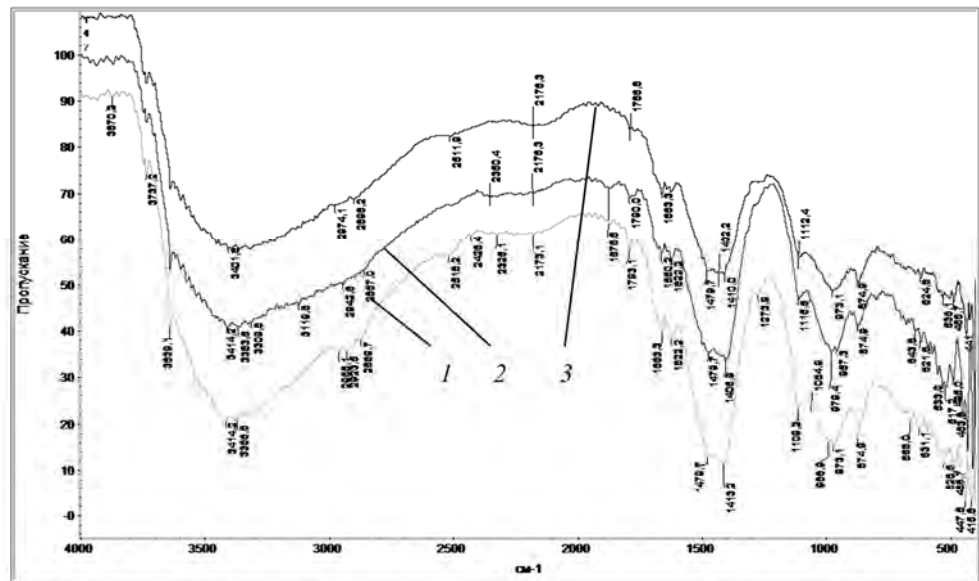


Рис. 2. ИК-спектры пропускания образцов древесно-цементных композиций, затворенных фосфатными буферными растворами при различных значениях pH: 1 – pH = 4,8; 2 – pH = 7,0; 3 – pH = 8,5

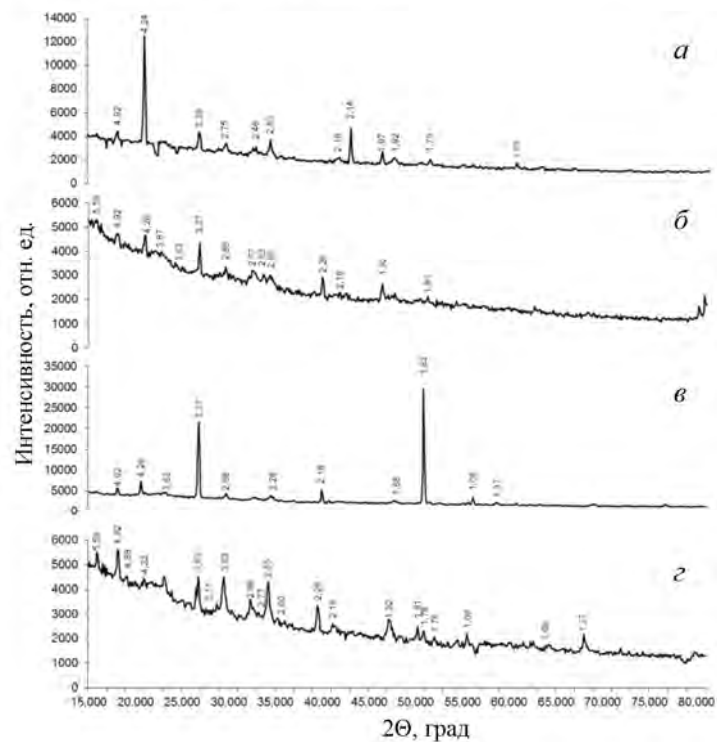


Рис. 3. Рентгенограммы образцов: а – ДЦК, затворенных водой (контроль); б – ДЦК с фосфатным буфером pH = 8,5; в – ДЦК с фосфатным буфером pH = 7; г – ДЦК с фосфатным буфером pH = 4,8

Как следует из анализа ИК-спектров образцов (рис. 2), кривые пропускания при затворении системы фосфатными буферными растворами независимо от pH среды практически не изменяются. Следовательно, можно утверждать, что формирование новообразований в исследуемых композициях имеет близкую природу. В ИК-спектре выделяются группы полос поглощения в следующих областях: 670–790, 860–1030, 1085–1160 и 1255–1290  $\text{см}^{-1}$ . Наблюдается смещение положения максимумов полос поглощения групп O–P–O и P–O–R в длинноволновую область, а также изменение их интенсивности, что свидетельствует об образовании более сложных полимерных структур различного строения.

Из результатов рентгенофазового анализа видно (рис. 3), что на рентгенограмме контрольного образца присутствуют линии, характерные для алита, что свидетельствует о замедлении процессов гидратации в присутствии экстрактивных водорастворимых веществ древесины. При введении буферных растворов  $\text{C}_3\text{S}$  практически полностью гидратируется, о чем свидетельствует снижение интенсивности дифракционного отражения его пиков.

Сравнивая рентгенограммы образцов с фосфатной буферной системой разной pH, следует отметить появление дифракционных отражений, характерных для гидро- и дигидрофосфата кальция. В кислой среде в большей степени образуется нерастворимый гидрофосфат кальция, а в щелочной – растворимый дигидрофосфат кальция. Этим объясняется наибольшая прочность материала с кислым фосфатным буфером.

Таким образом, наблюдаемые эффекты в системе ДЦК в условиях постоянства кислотности среды, на наш взгляд, обусловлены многообразием процессов структурообразования, в основе которых лежат реакции гидратации, нейтрализации и поликонденсации, протекающие с образованием полимерных продуктов линейного и разветвленного типов, в том числе с участием функциональных групп древесины. И основной вклад в развитие процессов структурообразования системы, во-первых, вносит свойство буферной системы поддерживать постоянство кислотности среды, что способствует формированию близких по химическому составу структур новообразований, а, во-вторых, процессы полимеризации протекают с участием фосфат-ионов, что и приводит к упрочнению системы ДЦК.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Yamamoto, S.I.* The gap theory in forest dynamics / S.I. Yamamoto // *Botanical Magazine.* – 1992. – V. 105. – P. 375–383.
2. *Саркисов, Ю.С.* Синергетика и принципы неравновесного строительного материаловедения / Ю.С. Саркисов, Т.В. Кузнецова // *Техника и технология силикатов.* – 2009. – № 4. – С. 2–6.
3. *Челиев, Е.Г.* Полное наставление, как готовить дешевой и лучший мертель или цемент, весьма прочный для подводных строений, как-то: каналов, мостов, бассейнов, плотин, подвалов, погребов, и штукатурки каменных и деревянных строений: Изданное по опыту произведенных в натуре строений, начальником Московской военнорабочей бригады мастерских команд 2-го разряда, 6-го класса и кавалером Челиевым / Е.Г. Челиев. – М. : Тип. Пономарева, 1825. – 28 с.
4. *Бесцементные, безобжиговые, не требующие воды для затворения композиционные материалы* на основе минеральных, органических и органоминеральных наполнителей и органических связующих / Ю.С. Саркисов, Н.П. Горленко, О.А. Зубкова [и др.] // *Ро-*

- говские чтения. Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии урбанизированных территорий : материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 85-летию со дня рождения профессора Геннадия Маркеловича Рогова. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015. – С. 265–269.
5. Саркисов, Ю.С. О некоторых путях энерго- и ресурсосбережения в производстве бетонных изделий / Ю.С. Саркисов, Ю.Ф. Асоков // Технологии бетонов. – 2012. – № 5–6. – С. 49–53.
  6. Синергетические принципы создания строительных и композиционных материалов полифункционального назначения / В.И. Верещагин, Л.П. Рихванов, Ю.С. Саркисов [и др.] // Известия Томского политехнического ун-та. – 2009. – Т. 315. – № 3. – С. 12–15.
  7. Саркисов, Ю.С. Управление процессами структурообразования дисперсных систем / Ю.С. Саркисов // Известия вузов. Строительство. – 1993. – № 2. – С. 106.
  8. Zhu, D. Use of Geopolymeric Cements as a Refractory Adhesive for Metal and Ceramic Joins / D. Zhu // Advances in Ceramic Coatings and Ceramic. Metal System: Ceramic Engineering and Science Proceedings. – 2008. – V. 26. – № 3. – P. 407–413.
  9. The early hydration of ordinary portland cement (OPC): An approach comparing measured heat flow with calculated heat flow from QXRD / D. Jansen, F. Goetz-Neunhoffer, B. Lothenbach, J. Neubauer // Cement and Concrete Research. – 2012. – V. 42. – P. 134–138.
  10. Feldman, R.F. The effect of sand cement ration and silica fume on the microstructure of mortars / R.F. Feldman // Cement and Concrete Research. – 1986. – V. 16. – № 3. – P. 31–39.
  11. Малова, Е.Ю. Композиционные портландцементы с карбонатсодержащими добавками и бетоны на их основе : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2015. – 182 с.
  12. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И.Х. Наназашвили. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Стройиздат, 1990. – 415 с.
  13. Руденко, Б.Д. Добавка для цементно-древесных композиций / Б.Д. Руденко // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2006. – № 16. – С. 337–339.
  14. Влияние продуктов сахарной коррозии цемента на кинетику структурообразования системы «цемент – вода» / Н.В. Акимова, Т.С. Шепеленко, Ю.С. Саркисов [и др.] // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 6 (53). – С. 128–134.
  15. Руденко, Б.Д. Влияние цементно-древесного отношения на прочность цементно-древесных композитов / Б.Д. Руденко // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – Т. XXV. – № 3–4. – С. 337–339.
  16. Бердов, Г.И. Влияние минеральных микронаполнителей на свойства композиционных строительных материалов / Г.И. Бердов, Л.В. Ильина, В.Н. Зырянова // Новосиб. гос. архит.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2013. – 175 с.
  17. Горностаева, Е.Ю. Повышение эффективности древесно-цементных композиций комплексными добавками : дис. ... канд. техн. наук. – Белгород, 2012. – 145 с.
  18. Крешков, А.П. Основы аналитической химии / А.П. Крешков. – М. : Химия, 1965. – 498 с.
  19. Сафронова, Т.В. Медицинское неорганическое материаловедение в России: кальций-фосфатные материалы / Т.В. Сафронова, В.И. Пуляев // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2013. – № 4. – С. 24–47.
  20. Седловский, С.С. Процессы твердения древесно-цементных композиций с использованием буферных растворов / С.С. Седловский, А.А. Банников, Н.В. Субботина // Материалы II Международной конференции студентов и молодых ученых. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015. – С. 489–492.

## REFERENCES

1. Yamamoto S.I. The gap theory in forest dynamics. *Botanical Magazine*. 1992. No. 105. Pp. 375–383. (transl. from Engl.)
2. Sarkisov Yu.S., Kuznetsova T.V. Sinergetika I printsipy neravnovesnogo stroitel'nogo [Synergetics and principles of non-equilibrium building materials]. *Technika i tehnologiya silikatov*. 2009. No. 4. Pp. 2–6. (rus)
3. Cheliev E.G. Polnoe nastavlenie, kak prigotovlyat' deshevyy i luchshii mertel' ili tsement, ves'ma prochnyi dlya podvodnykh stroenii, kak-to: kanalov, mostov, basseinov, plotin, podvalov, pogrebov, i shtukaturki kamennykh i derevyannykh stroenii: Izdannoe po opyту proizvedennykh v nature stroenii, nachal'nikom Moskovskoi voennorabochei brigady masterskikh komand 2 go



- razryada, 6 go klassa i kavalerom Chelievym [Full instruction how to prepare cheap and the best mortar or cement, very durable for underwater structures, such as canals, bridges, pools, dams, basements, cellars, and plaster stone and wooden buildings: Published according to the experience made in the nature of buildings, the head of the Moscow waterbody brigade workshops teams and the knight Cheliev]. Moscow : Ponomarev Publ., 1825. 28 p. (rus)
4. Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Zybikova O.A. Bestsementnye, bezobzhigovye, ne trebyuyushchuyee vody dlya zatvoreniya kompozitsionnye materialy na osnove mineralnykh, jrganicheskikh i organomineralnykh napolniteley i organicheskikh vyazhishchikh [Cement-free, chemically bonded composite materials based on mineral, organic and organic-mineral fillers and organic binders]. *Proc. All-Rus. Conf. 'Problems of Engineering Geology, Hydrogeology and Geoecology of Urban Areas'*. Tomsk, 2015. Pp. 265–269. (rus)
  5. Sarkisov Yu.S., Asoskov U.F. O nekotorykh putyakh energo- i resursosberezheniya v proizvodstve betonnykh izdelii [Energy and resource saving problems of production of concrete products]. *Tekhnologii betonov*. 2012. No. 5–6. Pp. 49–53. (rus)
  6. Vereshchagin V.I. Rikhvanov L.P., Sarkisov Yu.S. Sinergeticheskie printsipy sozdaniya stroitel'nykh i kompozitsionnykh materialov polifunktsional'nogo naznacheniya [Synergistic principles of construction and composite materials production]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2009. V. 315. No. 3. Pp. 12–15. (rus)
  7. Sarkisov Yu.S. Upravlenie protsessami strukturoobrazovaniya dispersnykh sistem [Structurization control for disperse systems]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 1993. No. 2. 106 p. (rus)
  8. Zhu D. Use of geopolymeric cements as a refractory adhesive for metal and ceramic joins. *Advances in Ceramic Coatings and Ceramic-Metal Systems: Ceramic Engineering and Science Proceedings*. 2008. V. 26. No. 3. Pp. 407–413.
  9. Jansen D., Goetz-Neunhoeffer F., Lothenbach B., Neubauer J. The early hydration of Ordinary Portland Cement (OPC): An approach comparing measured heat flow from QXRD. *Cement and Concrete Research*. 2012. V. 42. Pp. 134–138.
  10. Feldman R.F. The effect of sand cement ration and silica fume on the microstructure of mortars. *Cement and Concrete Research*. 1986. V. 16. No. 3. Pp. 31–39.
  11. Malova E.Ju. Kompozicionnye portlandcementy s karbonatsoderzhashhimi dobavkami i betony na ih osnove: avtoref. diss. kand. teh. nauk [Composite Portland cements with carbonate-containing additives and concretes produced therefrom. PhD Abstract]. Tomsk, 2015. 182 p. (rus)
  12. Nanazashvili I.H. Stroitel'nye materialy iz drevesno-cementnoj kompozicii [Wood-cement construction materials]. Leningrad : Stroyizdat Publ., 1990. 415 p. (rus)
  13. Rudenko B.D. Dobavka dlya tsementno-drevesnykh kompozitsii [Additive for cement-wood compositions]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2006. No. 16. Pp. 337–339. (rus)
  14. Akimova N.V. Shepelenko T.S., Sarkisov Yu.S. Vliyanie produktov sakharnoi korrozii tsementa na kinetiku strukturoobrazovaniya sistemy 'tsement-voda' [Corrosive effect of sucrose on structure formation of cement/water system]. *Vestnik TSUAB*. 2015. No. 6. Pp. 128–134. (rus)
  15. Rudenko B.D. Vliyanie tsementno-drevesnogo otnosheniya na prochnost' tsementno-drevesnykh kompozitov [Cement-wood ratio and strength of wood-cement composites]. *Khvoynye boreal'noi zony*. 2008. V. XXV. No. 3–4. Pp. 337–339. (rus)
  16. Berdov G.I., Il'ina L.V., Zyryanova V.N. Vliyanie mineral'nykh mikronapolnitelei na svoistva kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov [Mineral microfillers effect on properties of composite building materials]. Novosibirsk : NGASU Publ., 2013. 175 p. (rus)
  17. Gornostaeva E.Ju. Povyshenie effektivnosti drevesno-tsementnykh kompozitsii kompleksnymi dobavkami: dissertatsiya ... kand. teh. nauk [Efficiency improvement of wood-cement compositions using complex additives. PhD Thesis]. Belgorod, 2012. 145 p. (rus)
  18. Kreshkov A.P. Osnovy analiticheskoi khimii [Fundamentals of analytical chemistry]. Moscow : Khimiya Publ., 1965. 498 p. (rus)
  19. Safronova T.V., Putlyaev V.I. Meditsinskoe neorganicheskoe materialovedenie v Rossii: kal'tsiifosfatnye materialy [Medical inorganic materials science in Russia: calcium-phosphate materials]. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2013. No. 4. Pp. 24–47. (rus)
  20. Sedlovskii S.S., Bannikov A.A., Subbotina N.V. Protssesy tverdeniya drevesno-tsementnykh kompozitsii s ispol'zovaniem bufernykh rastvorov [The hardening processes of wood-cement compositions with buffer solutions]. *Proc. 2nd Int. Conf. of Students and Young Scientists*, Tomsk : TSUAB Publ., 2015. Pp. 489–492. (rus)