

УДК 674.816.2

И. Г. Федосенко, А. В. Усович

Белорусский государственный технологический университет

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

В статье описывается исследование влияния структурообразующих факторов на физико-механические свойства древесно-цементных и древесно-гипсовых композиционных материалов.

Оценено влияние различных модифицирующих минеральное связующее добавок на прочность, плотность и стойкость к увлажнению древесно-минеральных композитов. Проведено исследование фракционного состава и начальной влажности древесины на количество наполнителя в композите. Оценено предельное значение уплотнения древесно-минеральной смеси при свободном ее отверждении.

Полученные данные помогут спланировать свойства композиционных материалов на основе измельченной древесины и минеральных вяжущих в процессе производства. Выбор индивидуальных рецептур композиционных материалов для изготовления отдельных изделий и элементов зданий позволит обеспечить рациональную стоимость объектов строительства.

Ключевые слова: древесина, портландцемент, гипс, комплексные добавки, размягчение, водостойкость, уплотнение, структура.

I. G. Fedosenko, A. V. Usovich

Belarussian State Technological Univesity

PRODUCTION PLANNING OF PROPERTIES OF WOOD BASED MATERIALS WITH MINERAL BINDERS

The article describes the study of the influence of structure-forming factors on the physical and mechanical properties of wood-cement and wood-gypsum composite materials.

The influence of various modifying mineral binder additives on the strength, density and resistance to moistening of wood-mineral composites is estimated. Investigation of the fractional composition and the initial moisture content of the wood on the amount of filler in the composite materials. The limiting value of compaction of a wood-mineral mixture with its free curing is estimated.

The obtained data will help to plan properties of composite materials on the basis of chipped wood and mineral binders in the production process. The choice of individual formulations of composite materials for the manufacture of individual products and building elements will provide a rational cost of construction objects.

Key words: wood, portland cement, gypsum, complex additives, softening, water resistance, compaction, structure.

Введение. Древесные композиционные материалы на основе минеральных вяжущих обладают хорошей тепло- и звукоизоляцией, при этом имеют конструкционную прочность, достаточную для использования в несущих конструкциях малоэтажных зданий. Они экологически безопасны и экономически доступны как в производстве, так и в использовании.

Однако все пористые материалы способны поглощать воду и удерживать ее в своей структуре. Эту способность усиливает наличие древесных частиц с открытой структурой. Содержание воды в древесно-минеральных композиционных материалах способствует снижению их прочности и разрушению кристаллической структуры вяжущих под действием изменения линейных размеров наполнителя. Кроме того, замерзающая вода в структуре любых материалов способна значительно разрушать их структуру с образованием развивающихся трещин.

Из-за того, что композиционные органико-минеральные материалы с пористой структурой имеют пониженную прочность и водостойкость их применение для устройства подвалов и цокольных этажей не допускается.

Прочность древесно-минеральных композиционных материалов можно повысить за счет снижения пористости и оптимально выбранного времени схватывания и отверждения вяжущего, а водостойкость – за счет специальных гидрофобизирующих добавок.

Основная часть. С целью определения влияния фракционного состава измельченной древесины на плотность композиционного материала на основе древесины было проведено экспериментальное исследование по определению максимального уплотнения измельченной древесины, измеренного после снятия нагрузки.

В качестве объекта исследования выбрана щепка хвойных пород, без содержания коры,

фракций 20/10, 10/5 и 5/2 мм. Щепы при комнатной температуре была предварительно доведена до влажности: 12, 30, 48, 66, 84% по абсолютной величине.

Уплотнение производили по ГОСТ 22733-2016 [1] в приборе стандартного уплотнения СоюзДорНИИ до максимальной усадки.

По отношению показателей плотности щепы после ($\rho_{\text{после упл.}}$) и до ($\rho_{\text{до упл.}}$) уплотнения определяли коэффициент уплотнения K_y :

$$K_y = \frac{\rho_{\text{после упл.}}}{\rho_{\text{до упл.}}} \quad (1)$$

Так, при использовании выделенных фракций 20/10, 10/5 и 5/2 мм, как видно из табл. 1, самой предпочтительной является наиболее мелкая щепы фракцией 5/2 мм.

Таблица 1

Коэффициент максимального уплотнения щепы

Фракция	Коэффициент максимального уплотнения K , при влажности древесины W , %				
	12	30	48	66	84
5/2	1,39	1,42	1,48	1,57	1,52
10/5	1,29	1,29	1,40	1,33	1,38
20/10	1,31	1,42	1,43	1,45	1,46

С целью оценки влияния смешивания различных фракций для получения более плотной структуры для каждого уровня влажности были построены диаграммы типа «состав – свойство» с коэффициентом максимального уплотнения в качестве выходной величины [2]. Влажность древесины не оказывает значительного влияния на характер изменения коэффициентов уплотнения в зависимости от содержания различных фракций в смеси. На рис. 1 приведена диаграмма, построенная по усредненным значениям коэффициента уплотнения при всех уровнях влажности, позволяющая спрогнозировать запас объема щепы до формирования.

Эти диаграммы показали, что смешиванием фракций добиться большего уплотнения не получится, причем более мелкие частицы, помещенные в пространства между крупными, препятствуют деформации частиц под действием внешнего нагружения. Также фракция щепы 10/5 в смеси с другими не обеспечивает прочного удержания объема после уплотнения, что приводит к значительному восстановлению объема смеси за счет упругих сил. При влажности более 30% щепы крупной фракции 20/10 способна хорошо деформироваться и удерживать структуру после снятия нагрузки. Мелкая фракция 5/2 хорошо уплотняется и удерживает объем из-за возможности частиц малого размера поворачиваться на

нужный угол в формируемой структуре, занимая при этом свободное пространство.

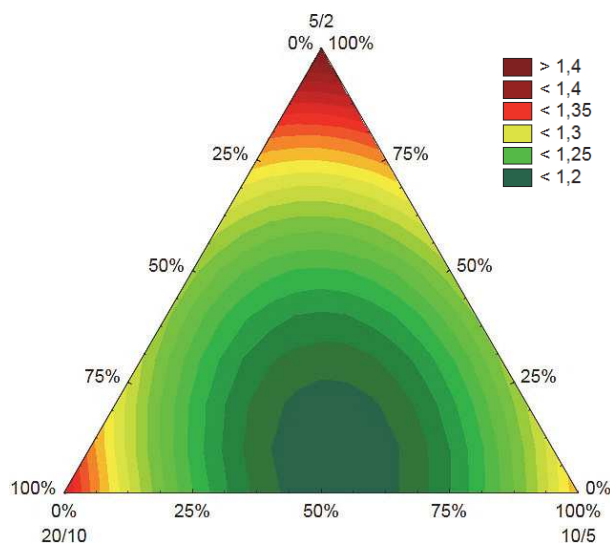


Рис. 1. Диаграмма «состав – свойство»

Были получены эмпирические зависимости, позволяющие определять значение коэффициента уплотнения на разных уровнях влажности (12, 30, 48, 66, 84% соответственно) в зависимости от состава смеси щепы трех фракций (2)–(6).

$$K_y^{12} = 1,2612 \cdot C_{20/10} + 1,3019 \cdot C_{10/5} + 1,3456 \cdot C_{5/2} - 0,3606 \cdot C_{20/10} \cdot C_{10/5} - 0,2206 \cdot C_{20/10} \cdot C_{5/2} - 0,0907 \cdot C_{10/5} \cdot C_{5/2}, \quad (2)$$

где $C_{20/10}$, $C_{10/5}$ и $C_{5/2}$ – соответственно содержания фракций 20/10, 10/5 и 5/2 (в процентах).

$$K_y^{30} = 1,3398 \cdot C_{20/10} + 1,2504 \cdot C_{10/5} + 1,2479 \cdot C_{5/2} - 0,3611 \cdot C_{20/10} \cdot C_{10/5} - 0,3102 \cdot C_{20/10} \cdot C_{5/2} - 0,2588 \cdot C_{10/5} \cdot C_{5/2}; \quad (3)$$

$$K_y^{48} = 1,3702 \cdot C_{20/10} + 1,3667 \cdot C_{10/5} + 1,4721 \cdot C_{5/2} - 0,5056 \cdot C_{20/10} \cdot C_{10/5} - 0,4301 \cdot C_{20/10} \cdot C_{5/2} - 0,6009 \cdot C_{10/5} \cdot C_{5/2}; \quad (4)$$

$$K_y^{66} = 1,4123 \cdot C_{20/10} + 1,3237 \cdot C_{10/5} + 1,5069 \cdot C_{5/2} - 0,8278 \cdot C_{20/10} \cdot C_{10/5} - 0,4904 \cdot C_{20/10} \cdot C_{5/2} - 0,5583 \cdot C_{10/5} \cdot C_{5/2}; \quad (5)$$

$$K_y^{84} = 1,4259 \cdot C_{20/10} + 1,3523 \cdot C_{10/5} + 1,5063 \cdot C_{5/2} - 0,9019 \cdot C_{20/10} \cdot C_{10/5} - 0,8534 \cdot C_{20/10} \cdot C_{5/2} - 0,3096 \cdot C_{10/5} \cdot C_{5/2}. \quad (6)$$

Гидрофобизация вяжущих проводится путем создания водоотталкивающего барьера [3], уплотнения зерновой структуры смеси [4], в том числе предотвращением трещинообразования в структуре при отверждении [5].

Исследования влияния гидрофобизирующих компонентов на свойства бетонов хорошо изучены [6], однако сведений влияния таких компонентов на неоднородную структуру древесно-минеральных композиционных материалов нет.

Для изучения этого влияния наиболее подходящим древесно-минеральным строительным материалом выбран арболит. В качестве вяжущего был использован портландцемент марки 500 Д-0, в качестве наполнителя – щепа.

Учитывая тот факт, что крупность частиц высокопористых древесно-минеральных композитов является определяющим фактором их прочности ввиду преобладающего количества наполнителя, для определения влияния гидрофобизирующих добавок в вяжущие была выбрана фракция щепы 20/10 мм.

В качестве добавок к вяжущему были выбраны: для создания водоотталкивающего барьера – кремнийорганические жидкости ГКЖ-11П и DALI Гидростоп; для уплотнения структуры – микрокремнезем МКУ-85; для предотвращения трещинообразования при отверждении – суперпластификатор Стахемикс, позволяющий снизить содержание воды при подготовке раствора; для комплексного модифицирования – добавка в раствор Кальматрон-Д [7]. Комплексная добавка в цемент Кальматрон-Д относится к группе новых модификаторов цементных смесей, которые обладают эффектом «самозаживления» мелких трещин при увлажнении.

По рецептурам (табл. 2) были подготовлены смеси вяжущего, после чего при перемешивании с древесным наполнителем были изготовлены образцы кубической формы с длиной ребра 200 мм. Для более полного заполнения образцов наполнителем использовали вибросиловую подпрессовку с нагрузкой не более 20 кг на образец. После формования нагрузку снимали и образцы отверждались в ненагруженном состоянии. Их выдерживали до проектного возраста 32 сут., после чего половину образцов выдерживали в воде с температурой $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ до максимального водонасыщения [8].

Таблица 2

**Массовые соотношения компонентов
для приготовления одного образца арболита
200×200×200 мм**

Наименование добавки	Соотношение компонентов, кг			
	цемент	вода	щепа	добавка
ГКЖ-11П	2,5	2,5	1,5	0,004
Кальматрон-Д	2,5	2,5	1,5	0,028
Стахемикс	2,5	2,5	1,5	0,025
МКУ-85	2,5	2,5	1,5	0,25
DALI Гидростоп	2,5	2,5	1,5	0,06

Для изучения различий в структурообразовании композита и плотной минеральной смеси аналогичным образом были подготовлены образцы из смесей, в которых в качестве заполнителя использовали песок в пропорции к портландцементу 3 : 1 кубической формы с ребром 100 мм.

Образцы композиционного материала и минеральной смеси были испытаны на сжатие по ГОСТ 10180-2012 [9], а среднюю плотность определяли по ГОСТ 12730.1-78 [10]. Коэффициент размягчения представляет собой отношение предела прочности при сжатии сухого образца к аналогичному показателю образца в водонасыщенном состоянии [11].

Результаты испытания арболита и соответствующих минеральных смесей представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Физико-механические показатели
арболита с добавками
(соответствующих минеральных смесей)**

Название добавки	Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа		Коэффициент размягчения
		сухого образца	водонасыщенного образца	
Стахемикс	530 (2122)	0,918 (23,441)	0,713 (14,211)	0,777 (0,606)
Кальматрон-Д	529 (2046)	0,988 (17,864)	0,8 (14,637)	0,809 (0,819)
ГКЖ-11П	575 (2080)	0,994 (13,125)	0,79 (9,622)	0,795 (0,733)
МКУ-84	563 (2025)	0,720 (20,398)	0,534 (14,650)	0,742 (0,718)
DALI Гидростоп	529 (2050)	0,597 (15,819)	0,431 (12,179)	0,722 (0,77)

Максимальное значение прочности показали образцы с добавкой ГКЖ-11П, однако они обладают большей плотностью и меньшим коэффициентом размягчения в сравнении с комплексной добавкой Кальматрон-Д. Плотность образцов с добавкой Кальматрон-Д на 8,6% меньше, чем у добавки ГКЖ-11П; прочность на 0,6% меньше, а коэффициент размягчения больше на 1,8%.

Минеральная смесь обладает максимальной прочностью при добавлении суперпластификатора Стахемикс, а максимальный коэффициент размягчения показала бетонная смесь с добавкой Кальматрон-Д.

Немного иной подход наблюдается при модифицировании гипса. Строительный гипс отверждается крайне быстро и при производстве плитных древесно-гипсовых композици-

онных материалов этот аспект нежелателен для ряда поточного оборудования. Это вынуждает использовать замедлители схватывания, такие как кислоты, известь [12] и пр. Тем не менее сам гипс способен аккумулировать воду [13] в структуре композита, и он также, как и портландцементные смеси, нуждается в гидрофобизации.

Снизить природный недостаток гипса и обеспечить устойчивость композитов можно несколькими путями: использовать отделочную или конструктивную гидроизоляцию; снизить количество гипса в структуре материала; добавлять химические компоненты, уменьшающие реакционную способность гипса к воде и заполняющие пористую структуру композита [14].

Выбрано комбинированное решение поставленной задачи, состоящее из 2-го и 3-го пути.

В качестве наполнителя использовали стружку фракции 5/2 мм при наполнении измельченной древесиной 20,3% по массе, в то время как стандартная технология предусматривает использование более мелкой фракции стружки и наполнение ею материала не более 15% по массе. Эти меры призваны решить задачу по пути 2.

В качестве химических добавок были использованы гидрофобизирующее кремнийорганическое соединение ГКЖ-11П, ингибиторы схватывания (лимонная кислота и известь), пластификатор и наполнитель – Наногипс, упрочнители (силикагель и лигносульфонаты). Эти меры призваны обеспечить решение задачи по пути 3.

Для того чтобы обеспечивать непрерывный технологический процесс, гипс должен схватываться через установленное время. Учитывая специфику большинства линий, – это от 8 мин и более после затворения водой. С этой целью проведена первая стадия экспериментальных исследований, в которых определяли время начала и окончания схватывания гипса с введенными в рекомендуемых пропорциях добавками на приборе Вика по ГОСТ 23789-79 [15]. Была установлена оптимальная концентрация добавок, позволяющая начать схватывание гипса не ранее чем через 8 мин после приготовления смеси. Так, содержание извести должно быть не менее 14% по массе, лимонная кислота и Наногипс – 0,04% и 1,3% по массе гипса соответственно. Другие добавки не оказывали существенного влияния на время схватывания гипса, но были выбраны следующие концентрации по массе гипса: лигносульфоната и ГКЖ-11П – по 2,5%, а силикагеля – 5%.

Были оценены физико-механические свойства гипсостружечных плит с вышперечисленными добавками в связующее (табл. 4).

Таблица 4

Физико-механические показатели гипсостружечных плит с добавками в связующее

Добавка	Плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Прочность, МПа, при	
			изгибе	растяжении перпендикулярно пласти плиты
1	2	3	4	5
Известь	702	43,85	0,8	0,04
Лимонная кислота	753	39,71	2,45	0,19
Наногипс	843	35,35	1,43	0,09
Лигносульфонат	768	37,44	4,05	0,27
ГКЖ-11П	876	22,34	4,32	0,26
Силикагель	872	30,4	3,99	0,28
Нет	812	34,67	3,72	0,23

Очевидно, что применение замедлителей схватывания отрицательно сказывается на свойствах получаемых плит. Так, снижается прочность при изгибе и разрыве перпендикулярно пласти плиты, хотя и наблюдается снижение плотности получаемой плиты.

В результате исследований установлено, что оптимальными добавками служат силикагель и ГКЖ-11П, они увеличивают прочность материала и снижают его водопоглощение. Эти добавки рекомендуют вводить для конструкционных плит из-за того, что они увеличивают плотность материала. Для теплоизоляционных плит выгоднее показала себя добавка лигносульфоната.

Заключение. Полученные результаты позволяют планировать свойства древесных материалов на основе минеральных вяжущих прямо на производстве, еще на стадии подготовки сырья.

Для производства конструкционных материалов не рекомендуется использовать щепу фракцией 10/5 мм в чистом виде. Применение смесей больше подходит для получения теплоизоляционных древесно-минеральных материалов или материалов с высоким содержанием минерального вяжущего.

Комплексные добавки в цемент с эффектом «самозаживления» мелких трещин при увлажнении, такие как Кальматрон-Д, способны создать наилучшие условия для получения композиционных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками.

Использовать замедлители схватывания для гипсов нужно только при сильной необходимости, так как это влечет к понижению физико-механических свойств древесно-минерального композиционного материала. Для изготовления конструкционных гипсостружечных плит хорошо подходят кремнийорганические жидкости, а для придания плитам теплоизоляционных свойств – лигносульфонаты.

Литература

1. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности: ГОСТ 22733-2016. Введ. 01.01.17. М.: Стандартиформ: ИПК Изд. стандартов, 2016. 16 с.
2. Федосенко И. Г., Усович А. В. Определение максимального уплотнения щепы в свободно-насыпанном состоянии в зависимости от начальной влажности // Технология и техника лесной промышленности: тезисы докладов 81-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–12 февраля 2017 г. / Белорусский государственный технологический университет. Минск: БГТУ, 2017. С. 84.
3. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные минеральные вяжущие материалы: учеб.-практ. пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 544 с.
4. Гринев А. П. Мелкозернистые бетоны для монолитного строительства на основе сырья Ханты-Мансийского автономного округа: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2011. 18 с.
5. Структуризация цементных вяжущих матриц многослойными углеродными нанотрубками / Г. И. Яковлев [и др.] // Строительные материалы. 2011. № 11. С. 22–24.
6. Юхневский П. И. Влияние химической природы добавок на свойства бетонов: монография / П. И. Юхневский. Минск: БНТУ, 2013. 309 с.
7. Состав добавки «Кальматрон» для бетонной смеси или поверхностной обработки бетона: пат. RU 2052413 / Акционерное общество закрытого типа Научно-производственное предприятие «Защита конструкций». Опубл. 20.01.1996.
8. Федосенко И. Г., Козека Д. В. Исследование влияния гидрофобизирующих добавок на свойства высокопустотного древесно-цементного композиционного материала // Технология и техника лесной промышленности: тезисы докладов 82-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–14 февраля 2018 г. / Белорусский государственный технологический университет. Минск БГТУ, 2018. С. 55.
9. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. Введ. 01.07.13. М.: Стандартиформ: ИПК Изд. стандартов, 2012. 31 с.
10. Бетоны. Методы определения плотности: ГОСТ 12730.1-78. Введ. 01.01.80. М.: Стандартиформ: ИПК Изд. стандартов, 2007. 5 с.
11. Белов В. В., Петропавловская В. Б., Храмов Н. В. Строительные материалы: учеб. для вузов. М.: Изд-во АСВ, 2014. 268 с.
12. Адгезионные свойства гипсового вяжущего в присутствии калийсиликатного цемента / С. А. Сеньков [и др.] // Строительные материалы, 2015. № 1. С. 69–71.
13. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция: монография / В. В. Белов [и др.]; под общ. ред. А. Ф. Бурьянова. М.: Де-Нова, 2012. 196 с.
14. Омурканова А. Т. Микроструктура образцов из гипсовых смесей и композиции // Вестник КРСУ. 2017. Т. 17. № 1. С. 162–164.
15. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний: ГОСТ 23789-79. Введ. 01.07.1980. М.: Стандартиформ: ИПК Изд. стандартов, 1980. 16 с.

References

1. GOST 22733-2016. Soils. Laboratory method for determining of maximum density. Moscow, Standartinform: IPK Izd-vo standartov Publ., 2016. 16 p. (In Russian).
2. Fedosenko I. G., Usovich A. V. [Determination of maximum compaction of chips in free-standing condition depending on the initial humidity]. *Tezisy dokladov 81-y nauch.-tekhn. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov («Tekhnologiya i tekhnika lesnoy promyshlennosti»)* [Abstracts of the reports of the 81st scientific and technical conference of professors and teachers, researchers and graduate students (“Technology and technique of the forest industry”)]. Minsk, 2017, p. 84 (In Russian).
3. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L. *Stroitel'nyye mineral'nyye vyazhushchiye materialy* [Building mineral astringent materials]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ., 2011. 544 p.
4. Grinev A. P. *Melkozernistyye betony dlya monolitnogo stroitel'stva na osnove syr'ya Hanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga. Avtoref. dis. cand. tekhn. nauk* [Fine-grained concrete for monolithic construction on the basis of raw materials of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. Abstract of thesis cand. of tech. sci.]. Belgorod, 2011. 18 p.
5. Yakovlev G. I., Pervushin G. N., Pudov I. A., Dulesova I. G., Bur'yanov A. F., Saber M. [Structuring cement binders with multi-layered carbon nanotubes]. *Stroitel'nyye materialy* [Building materials], 2011, no. 11. pp. 22–24 (In Russian).

6. Yuhnevskiy P. I. *Vliyaniye khimicheskoy prirody dobavok na svoystva betonov* [Influence of the chemical nature of additives on the properties of concrete]. Minsk, BNTU Publ., 2013. 309 p.
7. *Sostav dobavki "Kal'matron" dlya betonnoy smesi ili poverkhnostnoy obrabotki betona* [Composition of "Kalmatron" additive for concrete mix or surface treatment of concrete]. Patent RF, no. 2052413, 1996.
8. Fedosenko I. G., Kozeka D. V. [Investigation of the influence of water-repellent additives on the properties of high-hollow wood-cement composite material]. *Tezisy dokladov 82-y nauch.-tekhn. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov («Tekhnologiya i tekhnika lesnoy promyshlennosti»)* [Abstracts of the reports of the 82nd scientific and technical conference of professors and teachers, researchers and graduate students («Technology and technique of the forest industry»)]. Minsk, 2018. P. 55 (In Russian).
9. GOST 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow, Standartinform: IPK Izd-vo standartov Publ., 2012. 31 p. (In Russian).
10. GOST 12730.1-78. Concretes. Methods for density determination. Moscow, Standartinform: IPK Izd-vo standartov Publ., 2007. 5 p. (In Russian).
11. Belov V. V., Petropavlovskaya V. B., Hramtsov N. V. *Stroitel'nyye materialy* [Building materials]. Moscow, ASV Publ., 2014. 268 p.
12. Sen'kov S. A., Semeynykh N. S., Yakovlev G. I., Polyanskikh I. S. [Adhesive properties of gypsum binder in the presence of potassium silicate cement]. *Stroitel'nyye materialy* [Building materials], 2015, no. 1, pp. 69–71 (In Russian).
13. Belov V. V., Bur'yanov A. F., Yakovlev G. I., Petropavlovskaya V. B., Fisher H. B., Maeva I. S., Novichenkova T. B. *Modifikatsiya struktury i svoystv stroitel'nykh kompozitov na osnove sul'fata kal'tsiya* [Modification of the structure and properties of building composites based on calcium sulphate]. Moscow, De-Nova Publ., 2012. 196 p.
14. Omurkanova A. T. The microstructure of samples from plaster mixes and compositions. *Vestnik KRSU* [Herald of the KRSU], 2017, vol. 17, no. 1, pp. 162–164 (In Russian).
15. GOST 23789-79. Gypsum binders. Test methods. Moscow, Standartinform: IPK Izd-vo standartov Publ., 1980. 16 p. (In Russian).

Информация об авторах

Федосенко Иван Гаврилович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Ivan.fedosenko@mail.ru

Усович Артем Вячеславович – магистрант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tankotembl4@gmail.com

Information about authors

Fedosenko Ivan Gavriilovich – PhD (Engineering), Assisant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Ivan.fedosenko@mail.ru

Usovich Artem Viacheslavovich – Master's degree student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tankotembl4@gmail.com

Поступила 06.03.2018