

Бозылев Василий Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Белорусский национальный технический университет, г. Минск (Беларусь)

Ягубкин Александр Николаевич, начальник проектного института реконструкции и строительства, Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк (Беларусь)

Vasili Bozylev, PhD in Engineering Science, Associate Professor, Belarussian National Technical University, Minsk (Belarus)

Alexander Yagubkin, Head of the Design Institute of Reconstruction and Construction, Polotsk State University, Novopolotsk (Belarus)

ИННОВАЦИОННЫЙ АРБОЛИТ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

INNOVATIVE ARBOLIT WITH DESIRED PROPERTIES

АННОТАЦИЯ

В Республике Беларусь одной из приоритетных является задача увеличения объемов индивидуального жилищного строительства и обеспечения снижения его стоимости. Расширение спектра стеновых строительных материалов, отвечающих требованиям создания благоприятного микроклимата для проживания людей является актуальной задачей.

В статье проанализированы преимущества нового вида арболита, изготавливаемого по разработанной авторами технологии колебательного уплотнения. Для обеспечения набора прочности и снижения эксплуатационной влажности в стеновом материале построенных зданий авторами предложена новая добавка – модификатор арболита.

Данный материал производится с использованием доступного местного сырья – древесной щепы, а, следовательно, он имеет низкую стоимость. Инновационные решения позволяют получать стеновые арболитовые изделия на уровне лучших мировых аналогов.

Выполнена сравнительная оценка качества традиционного арболита и арболита с направленной укладкой заполнителя. Представлены структурная модель определения качества арболита и ориентированные графы оценки качества сравниваемых материалов. Показана возможность устранения основных недостатков традиционного арболита – уменьшение неоднородности структуры и снижение адсорбционной влажности стенового материала.

В работе обосновывается необходимость оптимизации параметров уплотнения как древесного заполнителя, так и цементного теста. Приведены результаты подбора оптимальной частоты и амплитуды колебаний с определением структуры арболита. Уст ановлено, что оптимальными параметрами, которые обеспечивают направленную укладку древесного заполнителя в арболите, являются горизонтальные колебания с амплитудой 10 см и частотой 1 гц.

В результате проведенных исследований разработан инновационный арболит, обеспечивающий повышение прочности и снижение влажности стен построенных зданий.

ABSTRACT

In the Republic of Belarus one of the priorities is the task of increasing the volume of individual housing construction and reducing its cost. Expanding the range of wall construction materials that meet the requirements to create a favorable climate for human habitation is an urgent task.

The article analyzes the benefits of a new kind of arbolit, which was developed by authors the technology of the vibrating seal. To ensure strength and reduce operational humidity in the wall material of buildings the authors propose a new additive – modifier of arbolit.

This material is manufactured using locally available raw materials – wood chips, and therefore it has a low cost. Innovative solutions allow you to wall-concrete products at the best world analogues.

Comparative quality assessment of traditional arbolit and arbolit with directional styling the placeholder. Presents the structural model determine the quality of arbolit and directed graphs evaluation of the quality of comparable materials. The possibility of eliminating the major

drawbacks of traditional arbolit—a reduction in the heterogeneity of the structure and decrease the adsorption of moisture of wall material.

The work substantiates the necessity of optimizing the parameters of the seal as a wood filler and cement paste. The results of the selection of the optimum frequency and amplitude of vibration with the definition of the structure of the arbolit. It is established that the optimal parameters that provide directional styling of wood filler in the arbolit is the horizontal oscillations with amplitude 10 sm and frequency of 1 Hz.

As a result of research innovative arbolit, providing increase durability and decrease moisture of the walls of buildings, has been developed.

Ключевые слова: арболит, структурная модель, ориентированный граф оценки качества, режимы формования, колебательное уплотнение, отпуская влажность, добавка-модификатор.

Keywords: arbolit, the structural model, directed graph of quality assessment, formation modes, vibrational compaction, moisture release, an additive modifier.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время строящиеся в Республике Беларусь здания усадебного типа имеют существенные эксплуатационные недостатки, связанные с видом материала стен. В домах, возводимых из железобетонных панелей, из-за недостаточной влажности в помещениях у жителей обостряются астматические заболевания. В домах со стенами из ячеистых газосиликатных блоков наблюдается плесень, грибок на стенах, что приводит к аллергическим заболеваниям.

В условиях рыночной экономики стеновые материалы должны отвечать новым современным требованиям по созданию благоприятного микроклимата в жилых помещениях, стремясь к признанному эталону – стенам, изготовленным из натурального дерева.

Перспективным направлением в решении данной задачи может быть организация производства стеновых материалов из арболита, получаемого по новой технологии колебательного уплотнения.

Для производства арболита используется доступное местное сырье – древесная щепа. В настоящее время во многих районах Республики Беларусь котельные в малых населенных пунктах работают на древесной щепе.

Следовательно, наработанные технологии получения древесной щепы, доступность сырья, не загруженность оборудования в летнее время делают задачу организации производства арболитовых стеновых материалов актуальной. При этом инновационные решения в технологии получения арболита, новые добавки-модификаторы позволяют значительно улучшить качественные показатели материала.

В настоящее время стеновые материалы на основе дробленой древесины выпускаются в Австрии, Великобритании, Германии, Голландии, Словакии, США, Японии и других странах.

В Советском Союзе изделия из арболита выпускались на более чем 100 заводах. В России в настоящее время ряд предприятий выпускают стеновые материалы из арболита, но составы и технология остались неизменными со времён Советского Союза.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АРБОЛИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Для сравнительной оценки качества традиционного арболита и разработанного авторами инновационного арболитового материала использована методология, изложенная в опубликованных работах [1,2].

На первом этапе установлена функциональная зависимость от тех факторов, которые оказывают влияние на свойства и характеристики арболита A в виде следующей формулы:

$$A = f \left\{ \left[(V, Z, J, D) F \right] T \right\} E | P \}, \quad (1)$$

где V – вяжущее, Z – наполнитель, J – жидкость затворения, D – добавка, F – способ формования, T – условия твердения, E – экономический фактор, P – прочие параметры.

Каждый аргумент функциональной зависимости (1) в свою очередь является функцией от других аргументов. Так, например,

для вяжущего аргументами будут – состав и свойства клинкерных минералов, тонкость помола и другие факторы; для заполнителя – состав и свойства экстрагируемых веществ, гемицеллюлоз, фракционный состав и т.д. для каждого аргумента.

На втором этапе из дифференциальных качеств (частных целей) формируется интегральный показатель качества K арболита:

$$K = \sigma (R, \rho, M, \tau, OV, PU, VP, UR, GO, SE, LP) \quad (2)$$

где R – прочность, ρ – плотность, M – морозостойкость, τ – теплопроводность, OV – отпускная влажность, PU – пустотность, VP – водопоглощение, UR – удельная активность радионуклидов, GO – горючесть, SE – стоимость, LP – лингвистическая переменная (отзывы потребителей).

На третьем этапе формируется обобщенная структура интегрального качества арболита, как обобщенная цель его создания (рисунок 1).

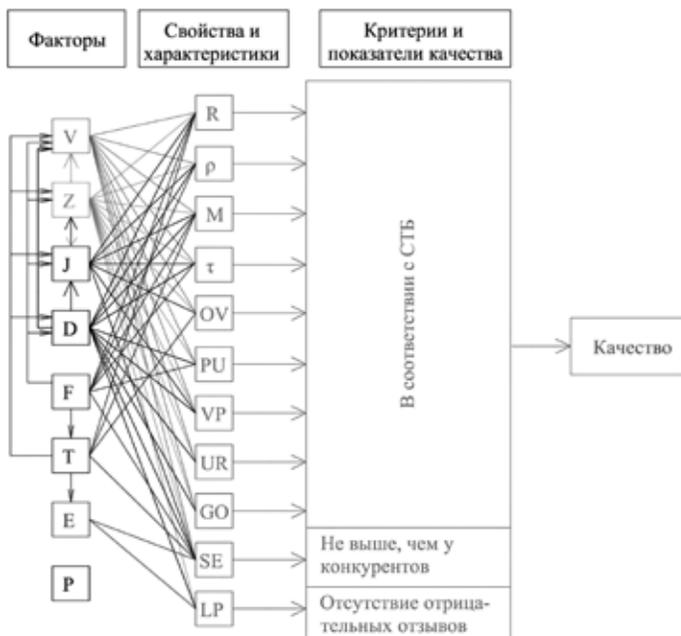


Рисунок 1. Структурная модель определения качества арболита

Критерии качества, аналитические и экспертные зависимости согласованности целей между собой для традиционного арболита определены в опубликованных работах Наназашвили И. Х. и Бужевича Г. А. [3, 4]. С использованием полученных данных выполнено построение ориентированного графа оценки качества традиционного арболита (рисунок 2).

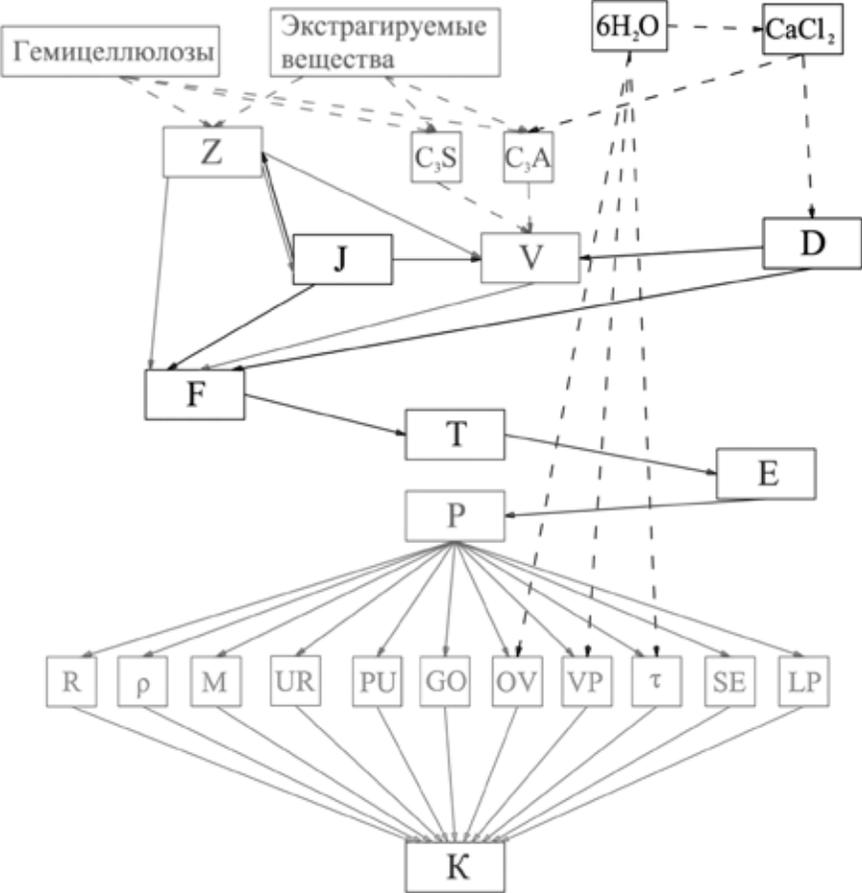


Рисунок 2. Ориентированный граф оценки качества арболита

Основными недостатками традиционного арболита исходя из ориентированного графа оценки качества (рисунок 2) являются:

1. Использование добавки хлористого кальция, которая рекомендуется нормативными документами, а также большинством исследователей в качестве основной добавки-модификатора при получении арболита. Отрицательное влияние добавки на качество арболита выражается в высокой влагоудерживающей способности CaCl_2 . Вследствие большого размера катионных радиусов добавка хлористого кальция притягивает к себе до 6 молекул воды. Это в свою очередь приводит к ухудшению таких показателей качества как теплопроводность, водопоглощение, отпускная влажность. Это может приводить к появлению сырости в помещениях дома.
2. Следует отметить неоднородность структуры традиционного арболита, что приводит к низкой воспроизводимости показателей качества. Это связано с тем, что при формовании арболита древесный наполнитель остается в неупорядоченном хаотичном состоянии, что приводит к неоднородности арболита по физико-механическим показателям и делает практически невозможным их теоретическое определение (прогнозирование), например, при подборе состава.

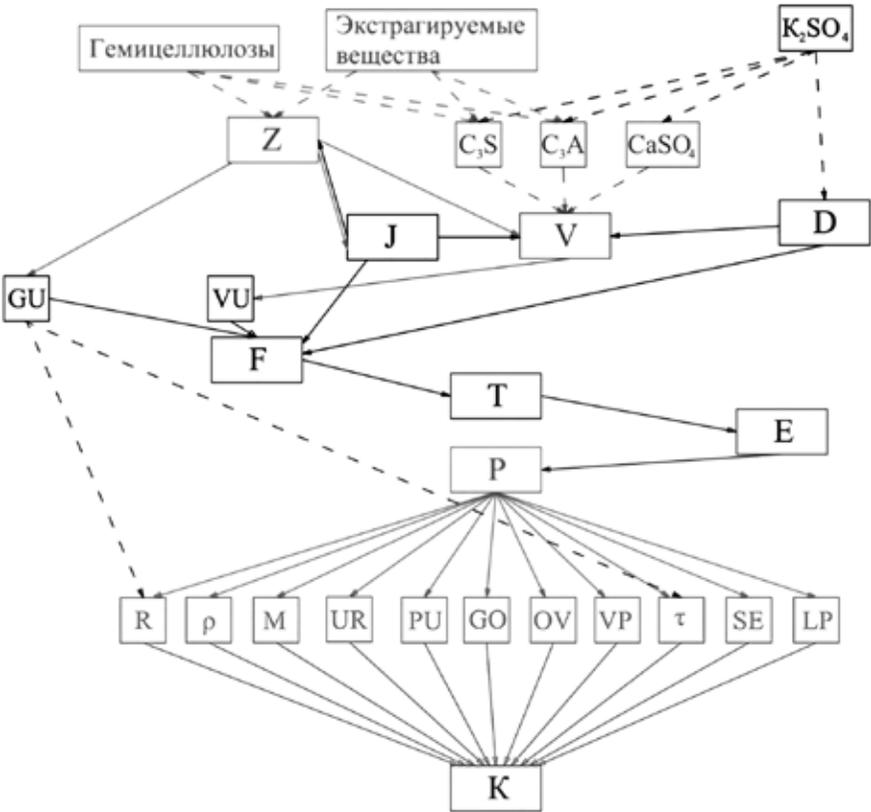
Улучшение качественных показателей арболита возможно, если устранить недостатки традиционного арболита. Это позволяет сформулировать основные направления дальнейших исследований:

- поиск для арболита добавки-модификатора, которая не притягивает молекулы воды и в тоже время нейтрализует вредное влияние древесного наполнителя на вяжущее;
- подбор такого режима формования, который обеспечит упорядоченное расположение древесного наполнителя в арболите и сделает возможным прогнозирование его структурно-механических характеристик.

Выполненные исследования разработанных авторами технологии колебательного уплотнения арболита и предложенной авторами добавки-модификатора арболита опубликованы в работах [5, 6].

С учетом полученных результатов исследований выполнено построение ориентированного графа оценки качества

модифицированного арболита с направленной укладкой заполнителя (рисунок 3). Показатели инновационного арболита лишены основных недостатков традиционного арболита, что позволяет точно прогнозировать свойства материала.



GU – горизонтальное уплотнение для направленной укладки заполнителя;
 VU – виброуплотнение для вяжущего.

Рисунок 3. Ориентированный граф оценки качества арболита с заданными свойствами

КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАПРАВЛЕННОЙ УКЛАДКИ ДРЕВЕСНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Разработанная авторами колебательная технология направленной укладки древесного заполнителя подтверждена экспериментально и может быть обоснована следующим образом.

Уплотняемость характеризует способность материала (тела) пластически деформироваться (сжиматься) под действием собственной массы и приложенного силового воздействия без нарушения структурной сплошности. Она влияет на такие свойства как средняя плотность, деформативность, прочность.

Арболитовая смесь представляет собой сыпучее тело, которое можно охарактеризовать как дискретную систему, включающую частицы древесины, связующее (цементное тесто), влагу (в т.ч. внутри заполнителя) и воздух [7].

Древесный заполнитель, в отличие от цемента, не образует связной системы при взаимодействии с водой. При вибрационном уплотнении в арболитовой смеси происходят два процесса: тиксотропное разжижение цементного теста и изменение пространственной упаковки зёрен древесного заполнителя. Ряд исследователей [8] предлагают рассматривать эти процессы раздельно, потому что параметры источника колебаний по-разному влияют на компоненты арболитовой смеси. Ими предлагается вести вибрирование арболита с разной частотой для цементного теста и заполнителя соответственно.

Арболитовая смесь в зависимости от состава состоит на 50–90% из древесного заполнителя, что эквивалентно 30–40% древесины в плотном состоянии [3]. Но так как древесина проявляет упругоэластические свойства, то и смесь в процессе уплотнения также проявляет эти свойства. В этом случае для разжижения цементного теста требуются высокие частоты колебаний, а для компактной упаковки заполнителя необходима большая амплитуда колебаний вибратора.

Поскольку в арболитовой смеси древесный заполнитель связан между собой цементным тестом, то предполагается, что собственные колебания заполнителя возбуждаются колебаниями сольватированных частиц цемента. Но амплитуды колебаний

сольватированных частиц цемента очень малы и они не могут ощутимо перемещать зёрна заполнителя. Следовательно, для компактной упаковки древесного заполнителя в арболитовой смеси определяющим параметром является не частота, а амплитуда колебаний.

Причем значительно проще создать большую амплитуду в горизонтальной плоскости (горизонтальные колебания), т.к. в противном случае потребуются создание фиксирующих крышек или пригрузов большой массы [8].

В процессе уплотнения свойства формируемой смеси изменяются, она приобретает новую макроструктуру, предопределённую во многом выбранным способом уплотнения. Поэтому характер образования макроструктуры арболита может быть определён взаимодействием древесных частиц друг с другом [3]. Оптимальной структурой, по мнению большинства учёных, является такая, при которой все частицы древесного заполнителя займут горизонтальное положение с ориентацией параллельно дну формы.

Разработанная авторами технология колебательного уплотнения арболитовой смеси обеспечивает для частиц древесного заполнителя возможность наиболее просто принять горизонтальное положение. Снижение отрицательного влияния редеформации (распрессовки) упругой арболитовой смеси при формовании изделий по новой технологии обеспечивает компактную упаковку твердой фазы, а, следовательно, позволяет на этапе подбора состава достоверно прогнозировать свойства арболита.

Для оценки начального этапа структурообразования, воздействия вибрации на формирование структуры предложено большое количество моделей, которые составлены из различных комбинаций гукова, ньютонова и сен-венанова элементов. К ним относятся модели Бингама, Кельвина, Шоффилда-Скотт-Блера, Пойтинга-Томсона (кнезеровская среда), Бюргера, Максвелла, модели теории эффективной среды и др. [7, 8].

Ввиду сложности зависимости вязкости арболитовой смеси от характера ее дисперсной структуры, влияния архимедовой силы, во всех моделях присутствуют эмпирические коэффициенты, что не позволяет достаточно точно спрогнозировать необходимые параметры колебаний [8].

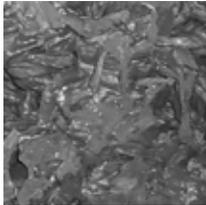
По данным Ахвердова И. Н. [7] для того, чтобы частицы заполнителя различной крупности преодолели сопротивление структуры цементного теста и при этом возникли вихревые составляющие, которые могут обеспечить их направленную укладку, необходима амплитуда колебаний более 1 см.

Кроме того, необходимо выполнение ряда дополнительных условий: скорость колебаний (произведение амплитуды на частоту) должна находиться в интервале от 10 до 50 сантиметров в секунду [8], интенсивность колебаний (произведение квадрата амплитуды на куб частоты) должна находиться в интервале от 80 до 300 см²/сек³ [9].

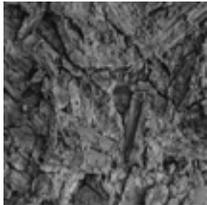
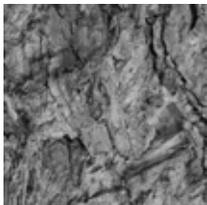
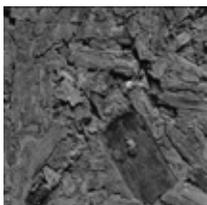
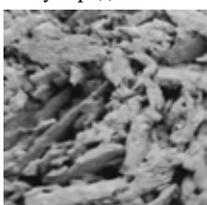
Результаты подбора оптимальной частоты и амплитуды колебаний представлены в таблице 1.

Таблица 1

Определение оптимальной частоты и амплитуды колебаний

Амплитуда, см	Оптимальные частоты при скорости колебаний, Гц		Оптимальные частоты при интенсивности колебаний, Гц		Оптимальные частоты при выполнении обоих условий, Гц	Структура арболита
	10 см/сек	50 см/сек	80 см ² /сек ³	300 см ² /сек ³		
1	2	3	4	5	6	7
1	10,00	50,00	4,31	6,69	-	-
2	5,00	25,00	2,71	4,22	-	-
3	3,33	16,67	2,07	3,22	-	-
4	2,50	12,50	1,71	2,66	2,5	неупорядоченная 

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
5	2,00	10,00	1,47	2,29	2	неупорядоченная 
6	1,67	8,33	1,30	2,03	1,7	неупорядоченная 
7	1,43	7,14	1,18	1,83	1,4	неупорядоченная 
8	1,25	6,25	1,08	1,67	1,6	неупорядоченная 

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
9	1,11	5,56	1,00	1,55	1,1	неупорядоченная 
10	1,00	5,00	0,93	1,44	1	упорядоченная 
11	0,91	4,55	0,87	1,35	1	упорядоченная 
12	0,83	4,17	0,82	1,28	0,9	неупорядоченная 

Как видно из таблицы 1 оптимальными параметрами, которые обеспечат направленную укладку древесного заполнителя в арболите и создадут упорядоченную структуру материала, являются горизонтальные колебания с амплитудой 10 см и частотой 1 Гц.

В опубликованных авторами статьи работах [2, 10] также приведены теоретические и экспериментальные данные, подтверждающие возможность получения арболита с заданными свойствами по представленному ориентированному графу. Полученные результаты подтверждены и в производственных условиях на предприятии ООО «Арбодом» (г. Минск), где организовано производство стеновых арболитовых блоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новая технология колебательного уплотнения обеспечивает горизонтальную укладку древесного заполнителя. Установлено, что для создания упорядоченной структуры материала необходимы горизонтальные колебания с амплитудой 10 см и частотой 1 Гц.

Для обеспечения набора прочности и снижения сорбционной влажности в стеновом материале построенных зданий авторами предложена новая добавка – модификатор арболита.

Разработанный авторами инновационный арболит отличается от традиционного арболита упорядоченной структурой (обеспечивает увеличение прочности изделий до 70%) и низкой адсорбционной влажностью (обеспечивает снижение теплопроводности материала до 20%).

Инновационный арболит позволяет более точно прогнозировать характеристики материала на этапе подбора состава, а в строящихся зданиях создавать благоприятный для проживания микроклимат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лесовик, В. С. Методология проектирования состава искусственных конгломератов / В. С. Лесовик // Бетон и железобетон. – 2008. – № 5. – С. 4–7.

2. Ягубкин, А. Н. Проектирование составов модифицированного арболита на основе структурно-механических моделей / А. Н. Ягубкин, В. В. Бозылев // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сб. тр. XX междунар. науч.-метод. семинара, г. Гродно. – 2016. – С. 333-337.
3. Наназашвили, И. Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И. Х. Наназашвили. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.
4. Бужевич, Г. А. Арболит / Г. А. Бужевич. – М.: Изд-во литер. по строительству, 1968. – 244 с.
5. Ягубкин, А. Н. Изучение механизма действия добавки Арбел на процессы набора прочности цементной составляющей арболита / А. Н. Ягубкин, В. В. Бозылев // Вест. Полоцкого гос. ун-та. Серия F, Прикладные науки. Строительство. – 2011. – № 8. – С. 89-97.
6. Ягубкин, А. Н. Технология получения стеновых блоков из арболита с направленной укладкой заполнителя / А. Н. Ягубкин, В. В. Бозылев // Строительная наука и техника. – 2011. – № 6. – С. 66-69.
7. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
8. Овчинников, П. Ф. О механизме виброуплотнения строительных смесей / П. Ф. Овчинников, Е. Д. Кузьмин. – М.: НИИЖБ, 1966. – 190 с.
9. Строительство и недвижимость [Электронный ресурс] / Мазовский В. В. Формирование изделий. Особенности уплотнения бетонных смесей. – Режим доступа: <http://www.nestor.minsk.by/sn/2003/19/sn31920.html>. – Дата доступа: 19.09.2017.
10. Ягубкин, А. Н. Комплексная структурно-механическая модель для получения арболита с направленной укладкой заполнителя / А. Н. Ягубкин, В. В. Бозылев // Инновации в бетоноведении, строительном производстве и подготовке инженерных кадров: сборник статей по материалам

Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения И. Н. Ахвердова и С. С. Атаева, Минск, 9–10 июня 2016 г. : сб. тр. в 2 ч. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: Э. И. Батыновский, В. В. Бабицкий. – Минск, 2016. – Ч. 1. – С. 40-45.

REFERENCES

1. Lesovik, V. S. *Concrete and reinforced concrete*. 2008. No. 5. pp. 4-7. (rus)
2. Yagubkin, A. N., Bazylev V. V. *The design compositions of modified cement wood-based structural-mechanical models // Prospects of development of new technologies in the construction and the training of engineers of the Republic of Belarus : sat. Tr. Hamidoune. scientific.-method. workshop in Grodno*. 2016. pp. 333-337. (rus)
3. Nanazashvili I. H. *Building materials from wood-cement compositions*. Leningrad: Stroyizdat, 1990. 415 p. (rus)
4. Buzhevich G. A. *Arbolit*. Moscow: Publishing house of construction literature, 1968. 244 p. (rus)
5. Yagubkin A. N., Bazylev V. *Bulletin of Polotsk state University*. Series F. Applied science. Construction. 2011. No. 8. pp. 89-97. (rus)
6. Yagubkin, A. N., Bazylev V. *Building science and technology*. 2011. No. 6. pp. 66-69. (rus)
7. Akhverdov I. N. *Fundamentals of concrete physics*. Moscow: Stroiizdat, 1981. 464 p. (rus)
8. Ovchinnikov, P. F., Kuzmin E. D. *On the mechanism of vibration compaction mixes*. Moscow: NIIZHB, 1966. 190 p. (rus)
9. Mazovski V.V. *Formation of products. Features of compaction of concrete mixtures*. <http://www.nestor.minsk.by/sn/2003/19/sn31920.html>. Date of access: 19.09.2017. (rus)
10. Yagubkin, A. N., Bazylev V. *Complex structural-mechanical model to obtain arbolit with directional styling placeholder*. In:

Innovation in concrete science, construction production and training of engineers: a collection of articles on materials of International scientific and technical conference devoted to the 100 anniversary from the birthday of I. N. Akhverdov and S. Ataev, Minsk, June 9-10, 2016 : sat. Tr. 2 h / Belarusian national technical University; redkol.: E. I. Baranovski, V. Babitsky. Minsk, 2016. Part 1. pp. 40-45. (rus)

Статья поступила в редколлегию 06.12.2017.