

3. ГОСТ 13015-2012 Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки маркировки. – Введ. 2014-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – V, 34 с. : ил.
4. ГОСТ 22690-2012. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – Введ. 2010-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – V, 27 с. : ил.
5. МДС 62-1.2000. Методические рекомендации по статистической оценке прочности бетона. – М.: ИНФРА, 2000. – 62 с.
6. СП 63.132330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – Введ.2013-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2013. – II, 67 с. : ил.
7. Лифанов, И.С. Метрология, средства и методы контроля качества в строительстве / И.С. Лифанов, Н.Г. Шерстюков – М.: Стройиздат, 1979. – 223 с.
8. Горчаков, Г.И. Основы стандартизации и управления качеством продукции промышленности строительных материалов / Г.И. Горчаков, Э.Г. Мурадов. – М.: Высшая школа. – 335 с.

MASTER CLASS ON THE PRODUCT IPS-MG4.01 FOR RESEARCH METHODOLOGY RESEARCH STRENGTH CONCRETE STRUCTURES

A.F.Andryushenkov, N.S.Volovnik

Abstract. The article describes how to obtain the students skills with the appliance IPS-MG4.01 to determine the strength of reinforced concrete structures on a stand laboratory of the department «Organization and technology of construction» and on construction sites. A method for shock pulse, on the basis of which the device works, the impact energy is recorded and strength values are fixed. We consider the measurement of concrete strength range of the instrument, the scope of the device, the measurement error.

Keywords: IPS-MG4.01 device, strength of materials, non-invasive method of monitoring the strength, method of a shock pulse, measurements of space, the number of tests, calibration dependence.

Андрюшенков Александр Федорович – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Организация и технология строительства» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира 5).

Воловник Наталья Сергеевна – кандидат технических наук кафедры «Организация и технология строительства» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира 5; e-mail: volovnik.natalya@mail.ru).

Andryushenkov Alexander Fedorovich – candidate of economic sciences, associate professor of the department «Organization and technology of construction» FSBEI HE «SibADI» (644080, Omsk, Mira Ave. 5).

Volovnik Natalia Sergeevna – candidate of technical sciences, department «Organization and technology of construction» FSBEI HE «SibADI» (644080, Omsk, Mira Ave. 5; e-mail: volovnik.natalya@mail.ru).

УДК 666.973.2:666.972.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИХ ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОСТРОСОЛОМЕННЫХ ПЛИТ

А.А. Бакатович, Н.В. Давыденко

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь, г. Новополоцк

Аннотация. Определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на физико-механические характеристики теплоизоляционных костросоломенных плит. Приведены полиномиальные модели параметров в кодированных переменных. Представлены однофакторные графики влияния изменения переменных на свойства материала. Установлены границы варьирования факторов, позволяющие сохранить капиллярную структуру крупного заполнителя и получить композиционный теплоизоляционный материал с заданными характеристиками.

Ключевые слова: теплоизоляционный материал, жидкое стекло, заполнитель, теплопроводность, костросоломенные плиты.

Введение

Растительные отходы сельскохозяйственного производства, такие как солома зерновых культур, ковра льна, стебли хлопчатника, табака и др. являются многотоннажными продуктами, получаемыми во всех частях мира. Использование отходов для производства новых изделий является актуальным направлением в промышленности строительных теплоизоляционных материалов. Существенных результатов по обеспечению высоких теплотехнических характеристик удалось достичь, прежде всего, за счет композиционных растительных наполнителей. Как следствие, по своим теплотехническим характеристикам материалы на основе отходов растениеводства вплотную приблизились к показателям искусственных органических утеплителей.

Основным требованием при разработке утеплителя должна являться низкая теплопроводность с относительно высокими механическими характеристиками в комплексе с экологической чистотой материала. Только выполнение таких условий позволит получить высокоэффективный теплоизоляционный материал с широкой областью применения в строительстве.

В ходе исследований установлено, что наполнитель, состоящий из смеси рубленой ржаной соломы и костры льна существенно улучшает физико-механические характеристики теплоизоляционного материала по отношению к утеплителям, состоящим из однокомпонентных наполнителей, таких как солома или ковра льна [1]. Экспериментально определены размеры крупного и мелкого наполнителей: длина трубки рубленой ржаной соломы составляет 20-40 мм, фракция костры льна равна 5 мм. В качестве вяжущего использовали натриевое жидкое стекло [2].

Экспериментальные исследования

По результатам исследований выявлено, что основными факторами, оказывающими наибольшее влияние на физико-механические характеристики разработанных теплоизоляционных костросоломенных плит являются расход вяжущего, количество соломы в общем расходе наполнителя и давление формования.

С целью установления степени влияния количества вводимого вяжущего, количества соломы в общем расходе наполнителя и давления формования на физико-механические свойства теплоизоляционного костросоломенного материала реализован 3-х факторный эксперимент. Факторы и интервалы варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Единицы измерения	Обозначения в кодированных переменных	Уровни факторов			Интервалы варьирования факторов
			-1	0	+1	
Расход вяжущего	массовая доля	X_1	1	1,4	1,8	0,4
Количество соломы в общем расходе наполнителя	массовая доля	X_2	0,3	0,6	0,9	0,3
Давление формования	МПа	X_3	0,01	0,03	0,05	0,02

Обработка опытных данных выполнена методом регрессионного анализа с применением программы «Statistica» [3]. Произведенная проверка значимости найденных коэффициентов регрессии с учетом критерия Стьюдента [4] позволила получить полиномиальные модели средней плотности, прочности на сжатие при 10% деформации, прочности при изгибе и коэффициента теплопроводности костросоломенных плит в кодированных переменных.

Ниже представлены полиномиальные модели выходных величин в кодированных переменных:

- средняя плотность

$$Y_1 = 245,33 + 20,3 \cdot X_1 + 35,2 \cdot X_3; \quad (1)$$

- прочность на сжатие при 10% деформации

$$Y_2 = 0,278 + 0,083 \cdot X_1 - 0,049 \cdot X_2 + 0,13 \cdot X_3 - 0,241 \cdot X_2^2; \quad (2)$$

- предел прочности при изгибе

$$Y_3 = 1,154 + 0,08 \cdot X_1 + 0,041 \cdot X_2 + 0,129 \cdot X_3 - 0,317 \cdot X_3^2; \quad (3)$$

- коэффициент теплопроводности

$$Y_4 = 0,0508 + 0,0033 \cdot X_1 + 0,0022 \cdot X_2 + 0,0091 \cdot X_3^2. \quad (2)$$

Для установления степени влияния факторов на выходные параметры (среднюю плотность, прочность на сжатие при 10% деформации, предел прочности при изгибе, коэффициент теплопроводности) построены однофакторные графики влияния изменения переменных на свойства материала при нулевых значениях остальных факторов и нулевом значении свободного члена уравнения. В качестве примера на рисунках 1, 2 приведены зависимости влияния изменения факторов на прочность на сжатие при 10% деформации и коэффициент теплопроводности.

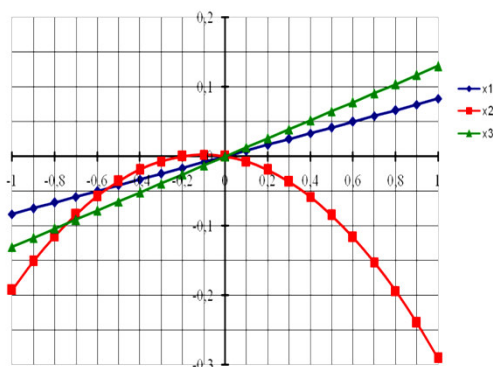


Рис. 1. Влияние изменения факторов на прочность на сжатие при 10% деформации (в кодированных переменных)

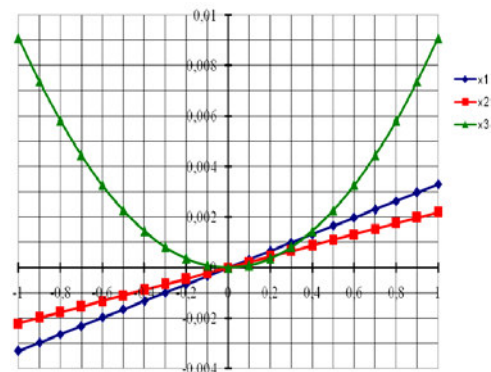


Рис. 2. Влияние изменения факторов на коэффициент теплопроводности (в кодированных переменных)

Анализ графиков влияния изменения переменных на показатели прочности на сжатие при 10% деформации (рисунок 1) показал, что увеличение расхода вяжущего фактор (X_1) и давления формования фактор (X_3) приводит к увеличению прочности образца. Фактор (X_2) оказывает отрицательное влияние на параметры (Y_2). Однако, существует область «нулевого» значения фактора, где отрицательное влияние наименьшее. При этом наибольшее влияние на прочностные свойства материала фактор (X_2) оказывает при своих граничных значениях. Наибольшее положительное влияние на параметр (Y_2) оказывает давление формования (X_3).

Как следует из графика влияния входных переменных на показатель теплопроводности материала (рисунок 2), увеличение расхода вяжущего, соломы и давления формования приводит к увеличению коэффициента теплопроводности. Причем давление формования (X_3) оказывает наибольшее влияние из всех трех факторов на увеличение выходного параметра (Y_4). Увеличение факторов (X_1) и (X_2) приводит к линейному увеличению коэффициента теплопроводности (Y_4). Коэффициент теплопроводности (Y_4) изменяется по параболическому закону в зависимости от величины давления формования (X_3). В диапазоне изменения фактора (X_3) от -1 до 0 величина теплопроводности уменьшается, а в диапазоне от 0 до $+1$ значение теплопроводности увеличивается. Из условия необходимости снижения коэффициента теплопроводности материала, удовлетворяющая требованию величина давления формования находится в диапазоне от $-0,2$ до $+0,2$ изменения фактора (X_3).

Введение большого количества крупного заполнителя – ржаной соломы является причиной формирования рыхлой структуры со значительным количеством незаполненных пустот и отсутствия связанного каркаса из мелкого заполнителя – костры льна, что приводит к снижению прочностных показателей теплоизоляционного материала.

В тоже время, малое количество ржаной соломы не позволяет получить связный и прочный каркас из крупного заполнителя. Трубки соломы, либо располагаются отдельно друг от друга, находясь в структуре каркаса из мелкого заполнителя, либо имеют малое количество точек

соприкосновения и, следовательно, небольшую площадь контакта друг с другом. При крайних значениях расходов соломы и костры льна не обеспечивается одновременное формирование «жестких» каркасов из крупного и мелкого заполнителей для получения прочной структуры «каркас в каркасе». Сбалансированное соотношение расхода крупного и мелкого заполнителей позволяет получить структуру из двух полноценных сформированных взаимопроникающих каркасов – ржаной соломы и костры льна. Каркас из мелкого заполнителя занимает пространство существующих сообщающихся пустот в каркасе крупного заполнителя. Таким образом, происходит формирование жесткой структуры с более высокими прочностными характеристиками.

Соотношение ржаной соломы и костры льна оказывает значительное влияние на теплоизолирующую способность материала. При высоком расходе крупного заполнителя имеется достаточно большое количество сообщающихся пустот между трубками соломы, незаполненных или частично заполненных мелким заполнителем – кострой льна. В результате происходит формирование и свободное перемещение воздушных потоков в структуре материала, что приводит к повышению коэффициента теплопроводности и снижению термического сопротивления.

Повышение коэффициента теплопроводности материала при малом расходе крупного заполнителя, несмотря на отсутствие сообщающихся пустот в структуре, обусловлено преобладанием мелкого заполнителя имеющего более высокий коэффициент теплопроводности по сравнению с крупным заполнителем, что объясняется наличием менее эффективной структуры у костры льна по сравнению со ржаной соломой и подтверждается микроскопическими исследованиями [5]. Наиболее полное заполнение пространства между трубками соломы кострой льна позволяет формировать структуру «каркас в каркасе» с минимальным количеством мелких не сообщающихся пустот и предотвращает возможность свободного перемещения воздушных потоков в материале.

Формование теплоизоляционного материала при малом давлении является причиной формирования неплотной рыхлой структуры. В такой структуре трубки соломы и костра льна неплотно прилегают друг к другу, что способствует образованию сообщающихся пустот в структуре материала, обуславливающих повышение теплопроводности материала.

Высокое давление формования вызывает деформацию трубок крупного заполнителя. Избыточное давление приводит к смятию ячеистой структуры капилляров соломы и костры льна. В результате происходит уплотнение структуры трубок соломы, при этом часть замкнутых ячеек капилляров в заполнителе полностью разрушается, а в оставшихся поврежденных ячейках нарушается герметичность и геометрия. Таким образом, высокое давление формования позволяет получать структуру, обеспечивающую отсутствие пустот в материале, но в тоже время разрушает структуру трубок соломы, что и объясняет повышение теплопроводности композита.

Следует отметить, что повышение давления формования вызывает деформации трубок каркаса из соломы вплоть до полного смятия и формирование пластин ломаного очертания. Каркас из соломы, состоящий из деформированных трубок, полностью или частично смятых, приводит к снижению жесткости и прочности структуры «каркас в каркасе» в целом.

Давление формования при низких значениях не позволяет формировать жесткую структуру с высокой прочностью при сжатии и изгибе по причине недостаточно плотного прилегания трубок крупного заполнителя к частицам мелкого заполнителя. Формирующаяся в таких условиях структурная система «каркас в каркасе» имеет достаточно низкую плотность и характеризуется рыхлой структурой с наличием значительного количества пустот. Правильно подобранное необходимое давление формования обеспечивает максимальное заполнение объема соломой и кострой при условии формирования структуры «каркас в каркасе» с минимальным количеством мелких пустот и отсутствием деформаций трубок соломы, что и позволяет достичь наилучших теплотехнических показателей.

Для подтверждения выявленных закономерностей и степени влияния факторов, позволяющих обеспечить требуемые физико-механические характеристики костросоломенных плит, проведен комплекс исследований и получены графики изменения средней плотности, прочности на сжатие при 10% деформации, прочности при изгибе и коэффициента теплопроводности в зависимости от давления формования и количества соломы в общем расходе заполнителя при фиксированных значениях расхода вяжущего. На рисунках 3, 4 в качестве примера представлены зависимости изменения прочности на сжатие при 10% деформации и коэффициента теплопроводности при расходе вяжущего, равном 1,4 массовых долей.

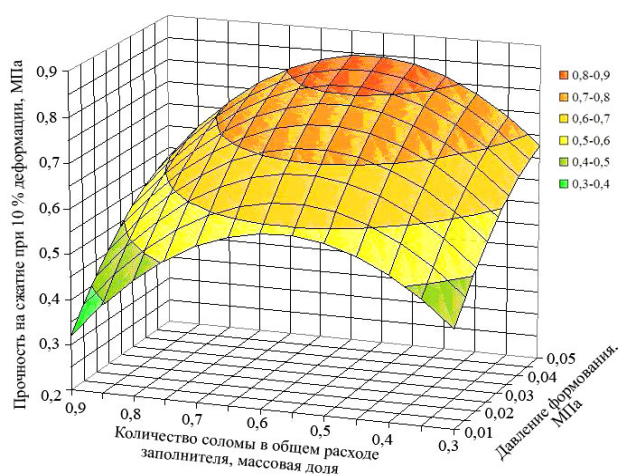


Рис. 3. Изменение прочности на сжатие при 10% деформации в зависимости от давления формования и количества соломы в общем расходе заполнителя

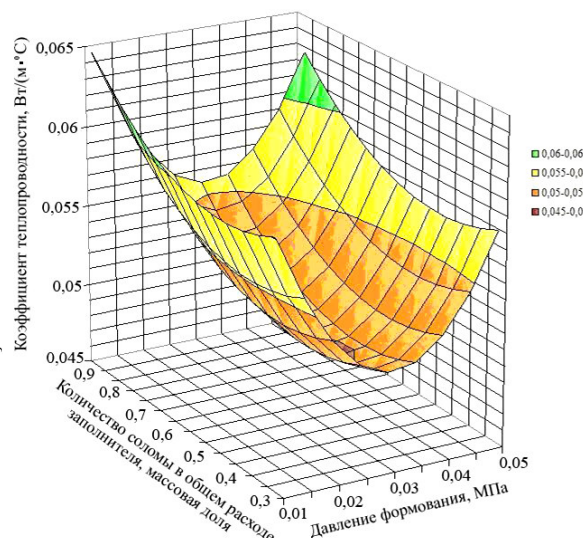


Рис. 4. Изменение коэффициента теплопроводности в зависимости от давления формования и количества соломы в общем расходе заполнителя

В таблице 2 приведены показатели, позволяющие получить костросоломенные плиты со следующими характеристиками: плотность 220-250 кг/м³, прочность на сжатие при 10% деформации 0,65-0,8 МПа, прочность при изгибе 1-1,2 МПа, коэффициент теплопроводности 0,046-0,055 Вт/(м·°С) [6].

Таблица 2 – Показатели давления формования при заданных расходах вяжущего и количестве соломы в общем расходе заполнителя

Расход вяжущего (жидкого стекла), массовая доля	Давление формования, МПа, при количестве соломы в общем расходе заполнителя, массовая доля		
	0,7	0,6	0,5
1,0	0,04	0,04	0,04
1,1	0,04	0,04	0,04
1,2	0,03	0,03	0,03
1,3	0,03	0,03	0,03
1,4	0,03	0,03	0,03
1,5	0,03	0,03	0,03
1,6	0,02	0,02	0,02
1,7	0,02	0,02	0,02

По данным таблицы 2 можно сделать вывод о том, что для обеспечения необходимых показателей теплоизоляционного материала, при увеличении расхода вяжущего, независимо от количества соломы в смеси заполнителя требуется уменьшать давление формования с 0,04 до 0,02 МПа. При низких расходах вяжущего, соответствующего 1-1,1 массовых долей, и количестве соломы, равном 0,5-0,7 массовых долей, необходимо обеспечить более высокое давление формования соответствующее 0,04 МПа. С увеличением расхода вяжущего в пределах до 1,7 массовых долей требуемое давление формования составляет 0,02-0,03 МПа и данный показатель смещается в сторону уменьшения для всех значений расходов соломы.

Установленные в результате комплексных исследований границы варьирования позволили определить, что необходимыми условиями для получения композиционного теплоизоляционного материала с высокими физико-механическими характеристиками являются: количество соломы в общем расходе заполнителя 0,5-0,7 массовых долей, расход вяжущего 1-1,7 массовых долей, давление формования 0,02-0,04 МПа. Варьирование факторов в указанных пределах позволяет сохранить капиллярную структуру соломы, особенно тонкостенных ячеек капилляров внутренней области стебля в процессе формовки изделий, что и делает возможным производить костросоломенные плиты с высокими прочностными и теплотехническими характеристиками.

Заключение

По результатам исследований получены эффективные теплоизоляционные костросоломенные плиты, обладающие следующими физико-механическими характеристиками: средняя плотность 220-250 кг/м³, прочность на сжатие при 10% деформации 0,65-0,8 МПа, прочность при изгибе 1-1,2 МПа, коэффициент теплопроводности 0,046-0,055 Вт/(м·°С). Костросоломенные плиты являются экологически безопасным утеплителем для здоровья человека и окружающей среды, обладают высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками. Эффективность применения костросоломенных плит подтверждена теоретическими расчетами и натурными испытаниями в эксплуатируемых конструкциях наружных трехслойных стеновых ограждений, чердачных перекрытий и стен с устройством вентилируемой системы утепления.

Библиографический список

1. Давыденко, Н.В. Опыт применения теплоизоляционных плит на основе растительных отходов сельскохозяйственного производства / Н.В. Давыденко, А.А. Бакатович // Вестн. гражданских инженеров С.-Петерб. гос. архитектурно-строительного ун-та. – СПб. – 2014. – № 5 (46). – С. 77-95.
2. Давыденко, Н.В. Отходы сельскохозяйственной переработки в производстве теплоизоляционных материалов / Н.В. Давыденко, А.А. Бакатович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2009. – № 6. – С. 55-60.
3. Вознесенский, В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – Киев: Выща шк. Головное изд-во. – 1989. – 328 с.
4. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика. – 1981. – 263 с.
5. Давыденко, Н.В. Исследование факторов влияющих на физико-механические свойства костросоломенных теплоизоляционных плит / Н.В. Давыденко, А.А. Бакатович // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: сб. науч. ст. XIX Междунар. науч.-метод. семинара, Брест, 23-25 окт. 2014 г.: в 3-х т. / БрГТУ; ред.кол.: С.М. Семенюк [и др.]. – Брест: БрГТУ, 2014. – Ч. 2 – С. 44-51.
6. Давыденко, Н. В. Анализ эффективности применения костросоломенных плит для тепловой изоляции чердачного перекрытия / Н.В. Давыденко, А.А. Бакатович // Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах: материалы IV междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 1-2 дек. 2015 г., посвящ. 55-летию строительного ф-та и 85-летию БГИТУ: в 2-х т. / Брян. гос. инженер.-технол. ун-т; ред. кол.: Н.П. Лукутцова, В.С. Янченко, М.А. Сенюченков – Брянск, 2015. – Т. 1. – С. 21-25.

INFLUENCE FACTORS DETERMINING THE MAIN PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF BOON-STRAW SLABS

A.A. Bakatovich, H.V. Davydenko

Abstract. The article deals with the main factors influencing physical-mechanical characteristics of heat-insulating thatched slabs. The author gives the polynomial model of output characteristics in a coded variable. Single factor graphs showing how the change of variables influences the material property are also described. The border set of varying factors allowing to keep the capillary structure of a coarse aggregate and to obtain composite heat-insulating materials with the specified characteristics has been determined.

Keywords: thermal insulation material, sodium water glass, aggregate, thermal conductivity, boon-straw slabs.

Бакатович Александр Александрович (Республика Беларусь, Новополоцк) – доцент, доцент кафедры «Строительное производство», Полоцкий государственный университет (Республика Беларусь, Витебская обл., Новополоцк, ул. Блохина, 30; e-mail: a.bakatovich@psu.by).

Давыденко Надежда Владимировна (Республика Беларусь, Новополоцк) – старший преподаватель кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Полоцкий государственный университет (Республика Беларусь, Витебская обл., Новополоцк, ул. Блохина, 30, e-mail n.davydenko@psu.by).

Bakatovich Alexander Alexandrovich (Republic of Belarus, Novopolotsk) – docent, Associate Professor at the Department of Construction industry Polotsk State University (Republic of Belarus, Vitebsk region, Novopolotsk, Blokhin str., 30, e-mail a.bakatovich@psu.by).

Davydenko Nadezhda Vladimirovna (Republic of Belarus, Novopolotsk) – Senior Lecturer at the department of Heat and gas supply, and ventilation Polotsk State University (Republic of Belarus, Vitebsk region, Novopolotsk, Blokhin str., 30, e-mail n.davydenko@psu.by).