

УДК 691: 035.267

ВЛИЯНИЕ СОРБЦИОННОЙ ВЛАЖНОСТИ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ, СОДЕРЖАЩИХ ЗАПОЛНИТЕЛИ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.В. Должонок, аспирант;

А.А. Бакатович, канд. техн. наук, доцент

Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Республика Беларусь

Аннотация. Рассмотрен вопрос влияния сорбционной влажности на долговечность стеновых блоков с крупным наполнителем на основе ржаной и гречишной соломы, и мелким – кострой льна и измельченной гречихой. С этой целью определена сорбционная влажность стеновых блоков при относительной влажности воздуха 40 – 97%, а также исследована кинетика сорбции водяных паров композитными материалами с учетом временного параметра. Изучены условия возможного появления плесневых грибов на поверхности наполнителя.

Ключевые слова: сорбционная влажность, наполнитель, солома, костра льна, гречишная солома.

INFLUENCE OF SORPTION HUMIDITY ON THE LASTING QUALITY OF WALL BLOCKS CONTAINING AGGREGATES FROM PLANT WASTE OF AGRICULTURAL PRODUCTION

A.V. Dalzhonak, graduate student;

A.A. Bakatovich, Candidate of Technical Sciences

Polotsk State University, Navapolatsk, Republic of Belarus

Annotation. The subject of the influence of sorption humidity on the lasting quality of wall blocks with coarse aggregate based on rye and buckwheat straw, and small – flax boon and grinded buckwheat is studied. For this purpose, the sorption humidity of wall blocks was determined at a relative air humidity of 40–97%, and the kinetics of water vapor sorption by composite materials was studied regarding the time rate. The conditions for the possible occurrence of molds on the surface of the aggregate were studied.

Key words: sorption humidity, aggregate, straw, flax boon, buckwheat, straw.

Введение

Одним из важнейших показателей стеновых материалов, совмещающих ограждающую функцию с тепловой защитой зданий и сооружений, является коэффициент теплопроводности. Изменение коэффициента теплопроводности связано не только с характером структуры материала, но и с явлениями, возникающими в процессе эксплуатации. Так, негативным фактором, изменяющим свойства стеновых и теплоизоляционных материалов в период эксплуатации, является воздействие влаги [1].

Данному вопросу посвящен ряд научных работ, указывающих на важность проблемы. В университете Орлеана (Франция) выполнялись исследования по установлению влияния влаги на теплотехнические свойства материалов на основе древесных опилок и соломы эксикаторным методом [2]. Сорбционная влажность стенового материала на основе наполнителей пшеничной или ячменной соломы на известковом вяжущем при относительной влажности воздуха 97% составляет 23 – 25%. В то же время, при введении только гипса, показатель сорбционной влажности равен 14 – 16%. По результатам исследований выявлено, что использование пшеничной или ячменной соломы не оказывает существенного влияния на сорбционную влажность композитных материалов, а основным определяющим фактором является вид используемого вяжущего.

Также учеными из Франции [3] исследована сорбционная влажность соломенных трубок ячменя и пшеницы разных годов урожая. Полученные изотермы сорбции показали, что независимо от возраста солома является отличным регулятором уровня воды и повышает гидротермальный комфорт здания.

В России разработаны составы и исследованы свойства эффективных теплоизоляционных материалов с использованием в качестве наполнителя многотоннажных растительных отходов Пензенской области [4]. В ходе исследований по определению сорбционной влажности выявлено, что с применением в качестве наполнителя овсяной лузги при относительной влажности воздуха 90%, показатель сорбционной влажности равен 23%, что на 35% меньше в сравнении с теплоизоляционным материалом на основе гипсоцементнопуццуланового вяжущего без

растительного заполнителя. По результатам экспериментов установлено, что при одинаковой относительной влажности воздуха на кинетику сорбции значительное влияние оказывает структура композитного вяжущего, а также количественное содержание вяжущего и растительного заполнителя.

Основная часть

В настоящее время в Полоцком государственном университете проводятся комплексные исследования по разработке стеновых блоков с повышенными теплоизоляционными свойствами. Для получения блоков в качестве крупного заполнителя используется дробленая солома ржи и гречихи фракцией 20 – 40 мм. Мелким заполнителем выступает костра льна и измельченная гречишная солома размером до 10 мм. Цемент и известь вводятся как вяжущие компоненты. Расход компонентов экспериментального состава на 1 м³ равен: цемент – 289 кг, известь – 71 кг, заполнитель – 170 кг.

Сорбционную влажность стеновых блоков определяли по ГОСТ 24816 [5]. Предварительно высушенные до постоянной массы образцы, отобранные из стеновых блоков, помещали в эксикаторы. Паровоздушная среда в эксикаторах создавалась искусственно с помощью химического раствора серной кислоты различной концентрации, обеспечивающего относительную влажность воздуха 40 – 97%. Влажность образцов определяли путем взвешивания через каждые 15 дней в течение первых 2-х месяцев испытаний, затем через каждые 10 дней до достижения образцами постоянной массы на электронных весах марки ВК-300. При определении сорбционной влажности образцов температура воздуха в эксикаторах и помещении соответствовала $+20\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Кинетика сорбции водяных паров при определенном значении относительной влажности воздуха представлена на рисунках 1 – 5. При относительной влажности воздуха 40% (рис. 1) за первые 20 суток показатель сорбционной влажности образцов из костросоломенной смеси достиг 1,8%, что меньше на 20% в сравнении с образцами из соломы ржи. За тот же временной период сорбционная влажность образцов на основе гречишной соломы составила 4,1%, что выше на 5% в сравнении с образцами на основе гречишной смеси. Сорбционная влажность образцов из гречишной соломы превышает в 1,9 раза показатель сорбционной влажности образцов на основе соломы ржи равный 2,2% за 30 суток. Сорбционная влажность образцов из костросоломенной смеси меньше в 2,1 раза в сравнении с образцами на заполнителе из гречишной смеси за аналогичный временной отрезок. Максимальная сорбционная влажность образцов из соломы ржи составляет 2,5% в возрасте 68 суток, а образцов из костросоломенной смеси достигает 2,4% через 80 суток. Сорбционная влажность образцов на основе гречишной соломы достигла 4,4% за 60 суток, а показатель образцов на основе гречишной смеси составил 4,3% за 65 суток. По окончании процесса сорбции влажность образцов 3 и 4 превысила значение образцов 1 и 2 на 74% и 76%.

При относительной влажности воздуха 60% сорбция водяных паров образцами интенсивно проходит в первые 30 суток (рис. 2). Показатель сорбционной влажности образцов на основе соломы ржи за данный временной период равен 3,5%, что выше на 13% при сравнении с образцами из костросоломенной смеси. Значение сорбционной влажности на основе гречишной соломы равно 5,7%, что на 21% больше показателя образцов из гречишной смеси. Поглощение водяных паров образцами на основе соломы ржи продолжается 78 суток и составляет 4,6%. Период сорбции образцами на заполнителе из смеси ржаной соломы с кострой длится 90 суток и равен 3,6%. Также отмечается, что после 78 суток сорбционная влажность образцов на заполнителе из костросоломенной смеси меньше на 28% в сравнении с образцами на заполнителе из соломы ржи. Сорбционная влажность образцов на основе гречишной соломы составляет 5,8% в возрасте 60 суток, что на 21% превышает показатель сорбционной влажности образцов 4 из гречишной смеси. Процесс сорбции образцами 4 продолжается 75 суток. Сорбционная влажность гречишной соломы и гречишной смеси больше показателя соломенных и костросоломенных образцов на 26% и 33% после окончания процесса сорбции.

Временной период интенсивного роста показателя сорбции образцов в 30 суток сохраняется для относительной влажности воздуха 80%. Сорбционная влажность образцов на основе соломы ржи равна 5%, что превышает показатель сорбции образцов из костросоломенной смеси на 22%. В то же время сорбционная влажность образцов на основе гречишной соломы составляет 7,2%, что выше значения образцов на основе гречишной смеси на 26%. Установлено, что за 95 суток максимальная сорбционная влажность образцов на основе заполнителя из ржаной соломы на 31% больше, чем у образцов на основе костросоломенной смеси за тот же период и равна 4,3%. Сорбция влажности образцами на заполнителе из смеси соломы ржи с кострой заканчивается на 110 суток (рис. 4). Образцы на основе гречишной соломы поглощают влагу на протяжении 80 суток при показателе сорбционной влажности равной 7,5%. Максимальной сорбционной влажности в 6% образцы на основе гречишной смеси достигают за 90 суток. Влажность образцов 3 превышает значение образцов 4 по окончании насыщения на 25%. После завершения процесса сорбции влажность гречишных образцов превышает показатель соломенных образцов на 34%. Значение сорбционной влажности образцов на основе гречишной смеси выше на 40% в сравнении с костросоломенными образцами.

При относительной влажности воздуха 90% наблюдается значительный рост сорбционной влажности за первые 18 суток (рисунок 5). Так, для образцов содержащих ржаную солому показатель влажности равен 6,5%, что на 30% выше в сравнении с образцами из костросоломенной смеси. Величина влажности

образцов на основе гречишной соломы достигает 9,1% и превышает показатель сорбционной влажности образцов из гречишной смеси на 23%. Период сорбции образцами на ржаной соломе продолжается 100 суток, что на 10 суток меньше в сравнении с костросоломенными образцами. Сорбционная влажность образцов на основе ржаной соломы составляет 8,0%, что на 20% превышает показатель образцов на заполнителе из костросоломенной смеси. Процесс сорбции гречишных образцов заканчивается на 85 сутки, а образцов на основе гречишной смеси на 97 сутки. Сорбционная влажность образцов на основе гречишной соломы равна 11,2%, что на 32% выше показателя образцов на основе гречишной смеси. После окончания периода сорбции зафиксировано, что сорбционная влажность гречишных образцов выше показателя соломенных образцов на 44%. Влажность образцов на основе гречишной смеси превышает значение сорбционной влажности костросоломенных образцов на 27%.

При относительной влажности воздуха 97% в первые 18 суток наблюдается ускоренный прирост сорбционной влажности для всех образцов. При этом показатель сорбции образцов на основе ржаной соломы равен 9%, что на 29% выше значения образцов из костросоломенной смеси. Влажность гречишных образцов равна 11,2% и превышает показатель сорбционной влажности образцов на основе гречишной смеси на 27%. Продолжительность сорбции ржаных образцов составляет 132 суток, что на 18 суток меньше, чем у образцов из смеси ржаной соломы и костры льна. Показатели сорбционной влажности образцов на заполнителях из ржаной соломы и костросоломенной смеси составляют 14,5% и 10,5% соответственно (рисунок 6). Также необходимо отметить, что по окончании поглощения водяных паров сорбционная влажность образцов на заполнителе из костросоломенной смеси меньше на 41% в сравнении с образцами на основе ржаной соломы. Процесс сорбции гречишных образцов продолжается 110 суток, что на 10 суток меньше в сравнении с образцами на основе гречишной смеси. Сорбционная влажность образцов на основе гречишной соломы и гречишной смеси по окончании насыщения равна 18,2% и 13,5% соответственно. Превышение сорбционной влажности образцами 3 и 4 при сравнении с образцами 1 и 2 составило 26% и 29%. Таким образом, можно утверждать, что в результате введения в состав мелкого заполнителя в виде костры льна или измельченной фракции гречихи зафиксировано снижение сорбционной влажности образцов. После окончания процесса сорбции во всех случаях наблюдается стабилизация поглощения водяных паров образцами.

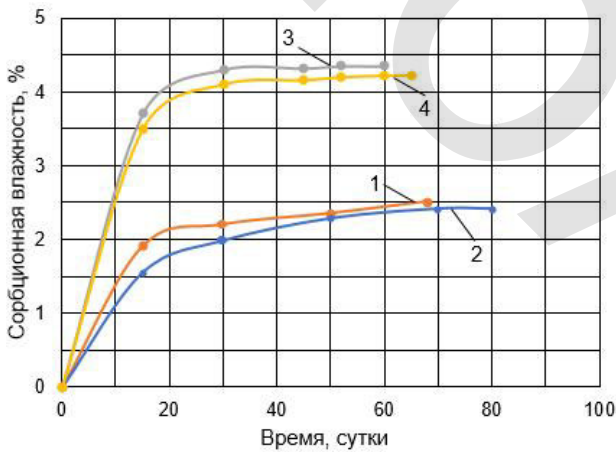


Рисунок 1 – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 40%

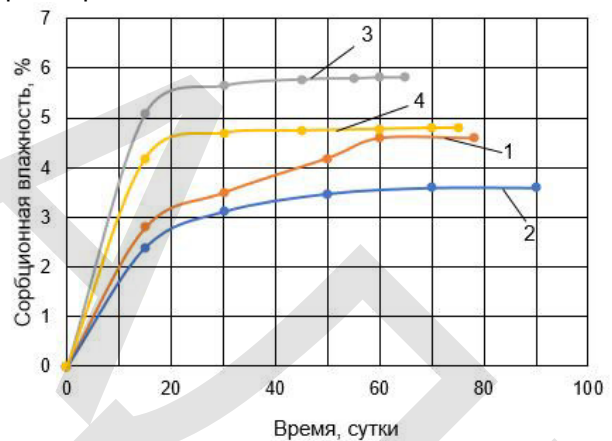


Рисунок 2 – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 60%

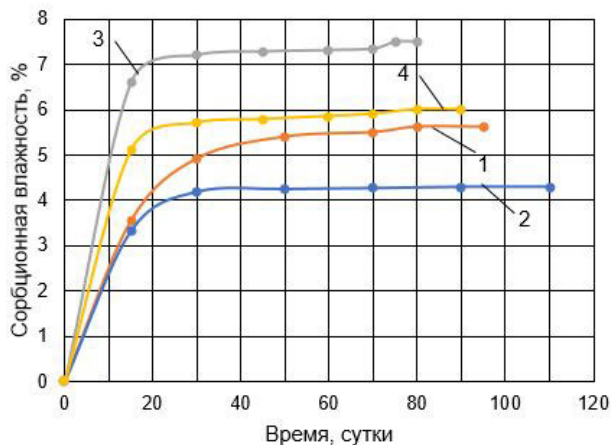


Рисунок 3 – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 80%

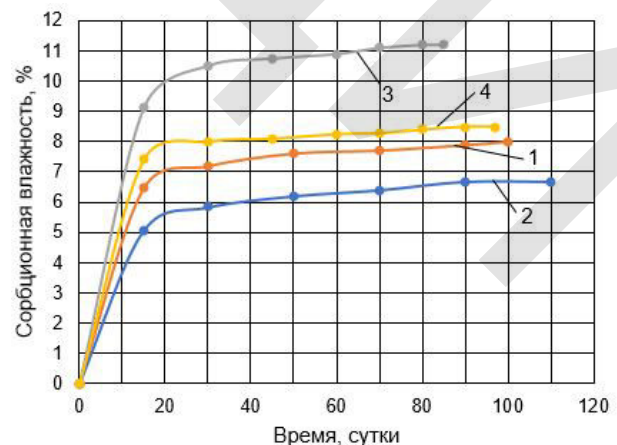
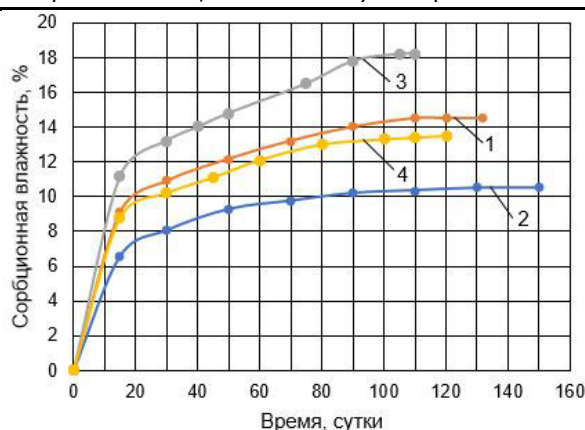


Рисунок 4 – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 90%



1 – образцы на основе соломы ржи; 2 – образцы на основе смеси соломы ржи с кострой льна; 3 – образцы на основе гречишной соломы; 4 – образцы на основе гречишной смеси

Рисунок 5 – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 97%

Дополнительно проведены исследования по определению влажности соломы ржи и гречихи, костры льна и измельченной соломы гречихи в насыпном состоянии в камере над водой при относительной влажности воздуха 97%. Исследования показали, что максимального значения равного 35% показатель влажности ржаной соломы достигает через 15 суток, а предельная влажность костры льна составляет 10 – 12% на 9 сутки при температуре +20°C. Влажность гречишной соломы и измельченной гречихи после 15 суток испытаний составила 40%, что превышает показатель влажности соломенных трубок ржи на 14%. Влажность костры льна в 3 – 3,5 раза ниже показателя соломы ржи и в 3,3 – 4 раза – измельченной гречихи.

Полученные результаты также подтверждаются исследованиями научных сотрудников Российского государственного аграрного университета [6]. Установлено, что влажность костры зависит от размера частиц. Так для костры длиной 5 – 18 мм показатель влажности равен 15%, а для размолотой льняной костры фракцией до 1,5 мм влажность увеличивается до 17%.

Наиболее низкая сорбционная влажность соломы ржи по сравнению с соломой гречихи обусловлена присутствием тонкого воскового слоя на поверхности сухого стебля, препятствующего проникновению водяных паров. Наличие воскового покрытия на стеблях ржи отмечено в исследованиях ученых Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры [7].

При формовке стеновых блоков на основе только соломы ржи или гречихи происходит смятие и деформация соломенных трубок по всему объему заполнителя, что приводит к нарушению целостности внешних и внутренних оболочек, а также вызывает локальные разрушения микроструктуры трубок соломы [8]. В процессе смешивания крупного заполнителя в виде трубок соломы гречихи или ржи с вяжущим, цементно-известковое тесто расходуется на заполнение пустот в структуре и образование защитной оболочки на поверхности соломенных трубок. Однако прессование смеси вызывает смятие внутренней части трубок с образованием разорванных участков капилляров, не имеющих защитного цементно-известкового слоя, что впоследствии дает возможность водяным парам проникать в глубь структуры, увеличивая сорбционную влажность стеновых блоков на основе гречишной и ржаной соломы.

Также после прессования в результате смятия трубок соломы, находящихся в оболочке из вяжущего, происходит появление продольных разрывов в структуре внешней области. При этом вяжущее не покрывает поврежденные участки и разорванные капилляры микроструктуры остаются незащищенными от проникновения влаги. Таким образом, локальные нарушения сплошности защитного слоя внешней области и разрывы капилляров способствуют увеличению сорбции водяных паров соломенными трубками ржи и гречихи.

Измельченная гречишная солома при перемешивании с цементно-известковым тестом полностью обволакивается вяжущим, что позволяет защитить оголенную нарушенную микроструктуру мелкого заполнителя от контакта с водяными парами, содержащимися в воздухе и тем самым снизить сорбционную влажность стеновых блоков на основе гречишной смеси.

После завершения изучения процесса сорбции образцы оставались в эксикаторах с относительной влажностью воздуха 80%, 90%, 97% для определения времени начала появления плесневых грибов на поверхности образцов. При относительной влажности воздуха 97% появление плесневых грибов на поверхности образцов из соломы ржи зафиксировано на 140 суток, а на образцах на основе соломы ржи с кострой через 180 суток. Появление плесневых грибов на образцах содержащих гречишную солому выявлено на 135 суток, а на образцах из гречишной смеси на 150 суток. После 170

суток испытаний при относительной влажности воздуха 90 % плесневые грибы образовались на поверхности соломенных образцов, а на образцах из гречишной соломы образование плесневых грибов выявлено на 155 сутки. Через 240 суток при влажности 90% плесневые грибы на поверхности образцов из костросоломенной и гречишной смеси отсутствовали и испытания были завершены. Выдерживание в эксикаторах 240 суток при относительной влажности воздуха 80% не привело к появлению плесневых грибов на поверхности всех образцов.

Заключение

По итогам испытаний установлено, что показатели сорбционной влажности соломенных и костросоломенных блоков составляют 14,5% и 10,5% соответственно при относительной влажности воздуха 97%. Сорбционная влажность стеновых материалов на основе гречишной соломы равна 18,2%, а на основе гречишной смеси 13,5%. Таким образом, блоки на основе гречишной соломы превысили граничные условия по показателю сорбционной влажности равному 15%, что в дальнейшем может привести к снижению эксплуатационных характеристик, включая долговечность, путем запуска механизма биоразложения соломы, и станет причиной разрушения стеновых блоков и конструкции в целом. Сорбционная влажность блоков на заполнителе из соломы ржи также практически достигает влажности в 15%, что требует проведения мониторинга с увеличенной частотой контрольных измерений влажности стеновых блоков при эксплуатации зданий. Для блоков на заполнителе из костросоломенной и гречишной смеси с учетом максимальной сорбционной влажности подтверждена возможность долгосрочной эксплуатации в стеновой конструкции с сохранением целостности композитного материала.

Полученные результаты по кинетике сорбции водяных паров стеновыми блоками дают возможность производить расчет влажностного режима конструкции. Экспериментальные данные позволяют выполнить прогноз по изменению теплотехнических характеристик и долговечности ограждающих конструкций из блоков на основе соломы ржи или гречихи, а также костросоломенной или гречишной смеси при эксплуатации зданий и сооружений.

Библиографический список

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. – М., АВОК-ПРЕСС, 2006. – 252 с.
2. N. Belayachi, D. Hoxha, I. Redikutseva, N. Belayachi, D. Hoxha, and I. Redikutseva, "Etude Comparative du comportement hygrothermique des matériaux à base de fibres végétales," Rencontres Universitaires de Génie Civil, Bayonne France, 2015.
3. M. Bouasker, N. Belayachi, D. Hoxha, M. Al-Mukhtar, Physical Characterization of Natural Straw Fibers as Aggregates for Construction Materials Applications, *Materials*. 7 (2014) 3034–3048. doi:10.3390/ma7043034.
4. Солдатов, С.Н. Создание и исследование свойств утеплителей на основе местного сырья: дис. канд. тех. наук: 05.23.05 / С.Н. Солдатов. – Пенза, 2001. – 138 с.
5. ГОСТ 24816-2014. Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности.– Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартиформ. – 2015. – 7 с.
6. Барыкина Ю.А. Исследование сорбции паров воды целлюлозосодержащими материалами / А.Ю. Барыкина, С.Л. Белопухов // Известия ТСХА. – Москва. – 2016. – № 2. – С. 69-75
7. Савицкий Н.В. Исследование теплофизических свойств вторичных продуктов сельскохозяйственного производства органического происхождения / Н.В. Савицкий, К.С. Собинова, О.Г. Зинкевич, О.А. Ожищенко, Ф. Аит Ишу // Сборник научных трудов строительства, материаловедения, машиностроения – 2015. – № 81. – С. 217-223.
8. Должонок, А.В. Влияние показателя влажности на коэффициент теплопроводности стеновых материалов из отходов растениеводства / А.В. Должонок, А.А. Бакатович, // Материалы XXI Международного научно-методического семинара «Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров», 25-26 октября 2018 г. / Брест: Брестский государственный технический университет, 2018. – С. 39-43.