ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ ПРИРОДНОГО КАМЫША И РАЗРАБОТКА НА ЕГО ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА

Р.В. Муканов, Е.М. Дербасова, М.А. Олейникова¹, Л.В. Боронина, В.Я. Свинцов

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ),

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18;

¹«Многопрофильная фирма «СТИЛЬ-КЛИМАТ», 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 22/4

Предмет исследования: рассматривается вопрос о возможности использования дикорастущего камыша в качестве эффективного теплоизоляционного материала при возведении зданий различного назначения. Проанализированы основные достоинства и недостатки камыша, выявлено что по теплотехническим характеристикам камыш может достаточно эффективно использоваться в качестве теплоизоляционного материала. В связи с тем, что теплопроводность (термическое сопротивление) гигроскопичных теплоизоляционных материалов зависит от их увлажнения, была проведена серия экспериментов по оценке влагонасыщения природного камыша в условиях повышенной влажности воздуха. Полученные результаты обрабатывались с целью получения математических моделей набора влаги камышом при эксплуатации материала.

Цели: создание математической модели для расчета параметров набора влажности камышитовых стеблей при различных параметрах влажности окружающего воздуха.

Материалы и методы: для достижения поставленной цели была разработана экспериментальная установка по увлажнению стеблей камыша, в которой образцы выдерживались в течении нескольких дней. Подобраны три вида стеблей камыша: стебли длиной 70 мм и средним диаметром 10 мм без листочков; с листочками по всей длине камыша; с листочками и узловыми перегородками. Лабораторные образцы в разработанной авторами камере с инфракрасными нагревателями доводили до своего естественного веса в среде прокаленного хлористого кальция с целью абсорбирования влаги. После проведения экспериментов увлажненный камыш взвешивался для определения влагонасыщения.

Результаты: экспериментально подтверждено, что кривые насыщения влаги камышом имеют нелинейный характер. Скорость водопоглощения в первые двое суток составила 7,9 % для первого типа, 8,7 % для второго типа и 9,8 % для третьего типа камыша. После первых двух суток скорость водопоглощения уменьшилась и через восемь суток (168 ч) составила 15,6 % для образцов первого типа, 15,9 % второго типа, и 16,3 % для третьего типа. За следующие десять суток (240 ч) изменение влагосодержания образцов практически не менялось и составило для образцов первого типа 16,1 %, 16,6 % для второго типа и 17,3 % для третьего типа.

Выводы: получены графические зависимости влагонасыщения камыша от времени воздействия влажной среды; определены предельные значения влагосодержания для природного камыша на основании экспериментов; получены математические зависимости влагонасыщения от времени, которые можно считать математическими моделями набора влажности для природного камыша.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: камыш, влагонасыщение, камера естественного увлажнения, математическая модель, нелинейная зависимость, тепловая изоляция, теплозащитные свойства

Благодарности. Авторы выражают благодарность ректору АГАСУ профессору Д.П. Ануфриеву и проректору по научной работе профессору Л.В. Борониной за возможность проводить исследования на базе научной лаборатории кафедры инженерных систем и экологии.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Муканов Р.В., Дербасова Е.М., Олейникова М.А. Исследование процессов водонасыщения природного камыша и разработка на его основе математической модели процесса // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 12 (111). С. 1375–1384.

INVESTIGATION OF PROCESSES OF WATER CONSUMPTION BY NATURAL REEDS AND DEVELOPMENT ON ITS BASIS OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS

R.V. Mukanov, E.M. Derbasova, M.A. Oleynikova¹, L.V. Boronina, V.Y. Svintsov

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE),

18 Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russian Federation;

¹Multiprofile firm "STIL-KLIMAT", 22/4 Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russian Federation

Subject: the article considers the possibility of using wild-growing reeds as an effective heat-insulating material in the construction of buildings for various purposes. The main advantages and disadvantages of reeds are analyzed, and it is

shown that according to the thermo-technical characteristics cane can be used effectively as a heat-insulating material. Since the thermal conductivity (thermal resistance) of hygroscopic heat-insulating materials depends on their moisture content, a series of experiments was conducted to assess the moisture saturation of natural reeds under conditions of high air humidity. The obtained results were processed to obtain mathematical models for consumption of moisture by reeds during the material exploitation.

Research objectives: creation of a mathematical model for calculating the moisture consumption parameters of reed stalks at high humidity parameters of the ambient air.

Materials and methods: to achieve the goal, an experimental plant was developed for moistening the reed stalks, in which the samples were kept for several days. Three types of reed stalks were selected: stems with a length of 70 mm and an average diameter of 10 mm: 1 — without leaves; 2 — with leaves along the entire length of the cane; 3 — with leaves and nodal septa. Laboratory samples were brought to the state of their natural weight in the author-developed chamber with infrared heaters in the medium of calcined calcium chloride to absorb the moisture. After conducting the experiments, the moistened reed was weighed to determine the moisture saturation.

Results: it has been experimentally confirmed that the curves of moisture saturation of reeds have a nonlinear character. The rate of water absorption in the first two days was 7.9 % for the first type, 8.7 % for the second type and 9.8 % for the third type of reeds. After the first two days the rate of water absorption decreased and after eight days (168 hours) was 15.6 % for samples of the first type, 15.9 % for the second type, and 16.3 % for the third type. Over the next ten days (240 hours), the change in the moisture content of the samples remained practically unchanged and amounted to 16.1 % for the samples of the first kind, 16.6 % for the second type, and 17.3 % for the third type.

Conclusions: graphic dependencies of the moisture saturation of reeds on duration of exposure to wet media are obtained; limiting values of moisture content for natural reeds are determined on the basis of experiments; mathematical dependencies of moisture saturation on time are obtained, which can be considered as mathematical models for humidity consumption by natural reeds.

KEY WORDS: reeds, moisture saturation, natural humidification chamber, mathematical model, nonlinear dependence, thermal insulation, heat-insulating properties

Acknowledgements: The authors are grateful to the Rector of ASUACE, Professor D.P. Anufriev, and Vice-Provost for Research, Professor L.V. Boronina, for the opportunity to conduct research in the Scientific Laboratory of the Department of Engineering Systems and Ecology.

FOR CITATION: Mukanov R.V., Derbasova E.M., Oleynikova M.A., Boronina L.V., Svintsov V.Y. Issledovanie protsessov vodonasyscheniya prirodnogo kamysha i razrabotka na ego osnove matematicheskoy modeli protsessa [Investigation of processes of water consumption by natural reeds and development on its basis of the mathematical model of the process]. Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 12 (111), pp. 1375–1384.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших вопросов, связанных со строительством индивидуального жилого дома, является выбор ограждающих конструкций наружных стен. Правильно подобранное конструктивное решение наружной стены позволит значительно снизить расходы на строительство жилья, если оно ведется силами индивидуального застройщика.

Известно, что стоимость строительства напрямую зависит от материалоемкости конструкции. Поэтому одним из перспективных направлений в области жилищного домостроения является снижение массы строящегося объекта, в том числе и за счет внедрения новых теплоизоляционных материалов, обладающих хорошей теплоустойчивостью, способных создать оптимальные параметры микроклимата в здании как в летний, так и в зимний периоды года. В качестве одного из таких материалов могут выступать камышитовые изделия, выполненные по новым технологиям, которые и на сегодняшний момент не потеряли своей актуальности.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Российская Федерация, особенно ее южные регионы, богата дикорастущим природным камышом.

С давнего времени он использовался как строительный материал при возведении жилых домов. Пик применения камышита в качестве строительного материала приходится на 50-е гг. XX в. Во многих регионах нашей страны возводятся предприятия по выпуску камышитовых изделий. Большое количество зданий с применением камыша было построено в районах Астрахани, Краснодар, Ростова, Одессы, Воронежа, Западной Сибири. В этот период в СССР ежегодно производилось до 15 млн м² камыша [1–4].

В период с 1955–1957 гг. в Казахстане из камышита построено более 10 тыс. жилых объектов, а на Украине выстроено несколько крупных жилых поселков. В 60-е гг. значительное количество камыша производилось и в Астраханской области. В Астрахани находился ряд крупнейших в стране заводов по заготовке и выработке камышитовых плит. Трест Астраханькамшит вырабатывал до 8 млн м² камышита в год [4, 5].

Камышит, в качестве строительного материала, широко применялся не только в южных регионах нашей страны, но и в ее северной части. В условиях Севера камыш в сочетании с отходами лесопереработки, золой и шламом использовался в качестве заполнителя для создания легкого бетона (арболит), который применялся для изготовления теплоизоляционных материалов, стеновых блоков и панелей,

плит перекрытий, сборных и монолитных конструкций, зданий различного назначения [6–9]. Подобное сочетание материалов придавало изделию хорошие показатели прочности, огнестойкости, тепловой защиты и биостойкости. При этом для получения высоких прочностных показателей в состав арболита добавлялись шлако- и золощелочные вяжущие, которые без дополнительной обработки придавали готовому изделию необходимые свойства [10, 11]. Большим преимуществом камышита является и тот факт, что данный материал относится к возобновляемым природным ресурсам. В России ежегодно восстанавливаемые запасы камыша исчисляются в количестве 50...60 млн т [12]. Однако в настоящее время использование камыша в качестве строительного материала значительно сократилось.

Наибольшее распространение в строительстве получили камышитовые плиты, фашины, маты, гипсокамышитовые плиты (в том числе с железобетонной обвязкой), камышебетон, камышитовые панели, брусья, теплоизоляционный и конструкционно-теплоизоляционный камышелит и камышефибrolит. Два последних материала относятся к группе камышесечковые и камышестружечные изделия на минеральных вяжущих. В табл. 1 представлены основные свойства современных изделий из камыша.

Вышеперечисленные материалы могут использоваться в качестве относительно самостоятельных конструктивных элементов при формировании стеновых панелей зданий и сооружений по существующим технологиям.

Технологии изготовления камышитовых изделий достаточно просты и не требуют сложного оборудования и больших затрат. Большинство камышитовых изделий изготавливают методом прессования в плиты, которые затем скрепляют проволокой. В заводских условиях готовые элементы камышитовых панелей обрабатывают антисептиком и 2%-ным

раствором медного купороса для защиты от грызунов и насекомых. Существует способ, при котором камыш прессуется в плиты после предварительного его нагрева до $t = 180...200$ °С. Перечислим основные достоинства использования камыша и продуктов его переработки в качестве строительных материалов:

- доступность материала в природе и ежегодное восстановление его запасов;
- высокие теплозащитные свойства в зимний период, особенно в регионах с резко-континентальным климатом;
- хорошие теплозащитные свойства в летний период, защита от солнечной радиации;
- быстрота возводимого жилья;
- отсутствие необходимости времени на усадку ограждающих конструкций перед внутренними отделочными работами;
- пожаробезопасность при обработке огнезащитными составами;
- высокие звукоизолирующие свойства;
- низкая стоимость возводимого жилья.

Кроме достоинств, жилье из камыша обладает также комплексом недостатков, которые все-таки не перевешивают его достоинств:

- низкая тепловая инертность ограждающих конструкций;
- достаточно высокая гигроскопичность камыша, влияющая на ухудшение теплозащитных свойств при насыщении его влагой;
- возможность повреждения грызунами или из-за развития плесневых грибов;
- необходимость во внутренней отделке и защите камыша от воздействия окружающей среды.

Проведенный анализ достоинств и недостатков использования камыша в качестве строительного материала показывает, что важными характеристиками теплозащитных свойств материала, исполь-

Табл. 1. Основные теплофизические свойства камышитовых изделий

Наименование изделия	Объемный вес, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, ккал/м·ч·град при н. у. э.	Прочность при изгибе, кг/см ²	Прочность при сжатии, кг/см ²	Водопоглощение, %	Термическое сопротивление стены R, м ² ·К/Вт	Способ твердения
Камышитовая плита (фашины, маты)	175...250 (350)	0,06...0,11	2,7...3,5	На сжатие не работает	18	2,4	—
Камышитовая плита (с железобетонной обвязкой)	350	0,042	—	—	18	2,4	Естественный
Камышебетон	1000...1200	0,28...0,4	—	—	—	1,37...1,72	Пропаривание или электропрогрев

зуемого в качестве ограждающих конструкций, являются стабильность теплотехнических характеристик (термическое сопротивление или коэффициент теплопроводности) в зависимости от увлажненности материалов.

В настоящее время в технической литературе имеется ограниченное исследование теплозащитных свойств камыша в зависимости от его увлажненности, а также отсутствуют данные о механизмах и процессах водонасыщения применительно к камышу. Это объясняется тем, что с середины 60-х гг. прошлого века строительные материалы на основе камыша были практически выведены из строительной отрасли промышленности, так как СССР перешел к индустриальному строительству на основе типовых проектов. Ставка была сделана на быстроту возведения жилья на основе стандартизированных железобетонных конструкций, а альтернативные строительные материалы, в том числе и камыш, стали использоваться преимущественно в частном индивидуальном домостроении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В современной технической литературе имеются сведения о механизмах влагопоглощения изделий

из камыша, в частности камышитовых плит, но не описаны экспериментальные исследования по влагопоглощению камыша и изделий из него [14]. Присутствие влаги в изделиях из камыша, заполняющей пустоты, будет оказывать негативное влияние на теплозащитные свойства ограждающих конструкций из камыша или изделий из него при его намокании. Поэтому авторами на первоначальном этапе были проведены экспериментальные исследования по определению влагонасыщения природного камыша в условиях повышенной влажности воздуха. Были отобраны три вида камыша в виде стеблей длиной 70 мм и средним диаметром 10 мм без листочков; с листочками по всей длине камыша; с листочками и узловыми перегородками. Лабораторные образцы доводили до своего естественного веса в разработанной авторами камере с инфракрасными нагревателями [15] в среде прокаленного хлористого кальция для абсорбирования влаги. Данная установка также использовалась для экспериментальных исследований процессов тепловлажностной обработки керамзитобетонных изделий. Камера оснащена теплоизолированным корпусом, съемной крышкой со стеклом для закладки образцов с жаропрочным герметическим уплотнением, системой автоматического поддержания температуры и автоматики безопас-

Рис. 1. Камера для ИК-сушки образцов

Рис. 2. Схема камеры для увлажнения образцов: 1 — полиэтиленовая емкость; 2 — герметичная крышка; 3 — металлические стойки из нержавеющей стали; 4 — металлическая сетка из нержавеющей стали; 5 — вода; 6 — испытываемый образец

ности. В стенки и пол камеры вмонтированы гибкие инфракрасные нагреватели, обеспечивающие равномерный нагрев образцов до температуры 30...40 °С. Общий вид установки изображен на рис. 1.

Далее образцы взвешивались и закладывались в установку естественного увлажнения строительных и теплоизоляционных материалов (рис. 2) при температуре 18...20 °С и выдерживались в течение 20 дней (480 ч). Камера увлажнения представляла собой герметичную емкость, в которую за-

кладывались образцы и заливалась вода. Образцы находились в контейнере из металлической сетки, расположенном над водой. Камера устанавливалась в помещении с закрытыми окнами, в котором поддерживалась температура, а пределах 18...20 °С. Взвешивание образцов производилось один раз в сутки в одно и то же время, показания заносились в табл. 2.

Для иллюстрации полученных результатов были построены кривые водопоглощения по усред-

Табл. 2. Изменение среднего влагосодержания образцов за время эксперимента

Дни	Влагосодержание, %		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
1	4,1	5,0	6,2
2	7,9	8,7	9,8
3	10,4	11,3	12,2
4	12,2	12,7	13,5
5	13,3	13,7	14,5
6	14,0	14,3	15,2
7	14,6	14,8	15,7
8	15,0	15,3	16,0
9	15,3	15,6	16,2
10	15,6	15,9	16,3
11	15,7	16,1	16,5
12	15,8	16,2	16,7
13	15,9	16,3	16,8
14	15,9	16,4	16,9
15	16,0	16,5	17,0
16	16,0	16,5	17,1
17	16,0	16,5	17,2
18	16,1	16,5	17,2
19	16,1	16,6	17,3
20	16,1	16,6	17,3

Рис. 3. Влагопоглощение камыша по средним данным для серии образцов: 1 — чистых; 2 — с листочками; 3 — с листочками и узлами

ненным данным для всех образцов каждой серии экспериментов (рис. 3). Экспериментальные исследования состояли из трех серий экспериментов для трех видов камыша. Среднее значение влагосодержания вносилось в таблицу. Анализ графика показывает, что интенсивность водопоглощения с течением времени неравномерна. Наиболее интенсивно образцы забирают влагу в первые 2 сут (48 ч) эксперимента, причем графическая зависимость линейная, а образцы набирают более половины максимального значения влагосодержания. Далее в течение еще семи суток (168 ч) происходит набор влаги, но интенсивность его уменьшается, а графическая зависимость носит нелинейный характер. На третьем этапе влагосодержание практически не изменяется и этот промежуток времени можно исключить из набора воды камышом и принять его как $d = \text{idem}$. Наиболее интенсивно набирают воду стебли с перегородками и листочками, менее интенсивно без листочков. Скорость водопоглощения в первые двое суток составила 7,9 % для первого типа камыша, 8,7 % для второго и 9,8 % для третьего. После первых двух суток скорость водопоглощения уменьшилась, а через восемь суток (168 ч) составила 15,6 % для образцов первого типа, 15,9 % для второго типа и 16,3 % для третьего типа. За следующие десять суток (240 ч) изменение влагосодержания образцов практически не менялось и составило для образцов первого типа 16,1 %, 16,6 для второго типа и 17,3 % для третьего типа.

Максимальное влагосодержание в стеблях камыша достигло 17,3 % для стеблей с листиками и перегородками — это соотносится с данными из табл. 1. Экспериментальные исследования доказали, что при реальных условиях эксплуатации без прямого контакта с водой влагонасыщение камыша не превысит 16...18 %, и эти значения можно принять как предельные значения влагонасыщения. Также, из результатов исследований можно сделать вывод, что наименьшее водопоглощение имеют

стебли без листьев и перегородок, но эти отличия незначительны.

В описываемых экспериментах водопоглощение определялось на малых образцах. В натуральных условиях камыш укладывается в плиты и другие изделия с несколькими междоузлиями по длине стебля, что, конечно, будет вносить некоторые коррективы в полученные результаты. Эти отличия, по мнению авторов, будут возникать из-за закрытых полостей между узлами, а значит, водонасыщение у длинных стеблей будет меньше, чем у коротких. В связи с отсутствием технической возможности реализации экспериментов на длинных стеблях авторы ограничились малыми моделями, приняв эти результаты достоверными и применимыми с большой точностью к длинным стеблям.

Для получения математических зависимостей влагонасыщения воспользуемся методами корреляционного математического анализа с целью получения уравнений процесса в двух зонах [16–19]: линейная (первые 48 ч) и нелинейная (последующие 168 ч), которые будут являться математическими моделями набора влаги для камыша в этих зонах [20]. Математическая обработка проводится для трех образцов по средним значениям из табл. № 2.

Проведем математический анализ полученных экспериментальных зависимостей.

Линейная зависимость вида $y = a \times x + b$ набора влаги за первые 48 ч, где y — влагосодержание, %, а x — время процесса, ч.

Вычислим коэффициенты a и b уравнения линейной регрессии по известным формулам:

$$a = \frac{\sum x_i \sum y_i - n \sum x_i y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2}, \quad (1)$$

$$b = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i - \sum x_i^2 \sum y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2}. \quad (2)$$

Табл. 3. Коэффициенты линейной регрессии, линейной парной интерполяции и детерминации для уравнения влагонасыщения для первой зоны (первых 48 ч)

Тип камыша	Параметры			
	a	b	r_{xy}	R^2
Образец № 1	0,1646	0,05	0,9998	0,9995
Образец № 2	0,1812	0,2167	0,9963	0,9926
Образец № 3	0,2042	0,4333	0,9885	0,9771

Вычислим коэффициенты линейной парной корреляции r_{xy} и детерминации R^2 :

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i^2 \sum y_i}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}} \quad (3)$$

следовательно,

$$R^2 = r_{xy}^2. \quad (4)$$

Результаты математического анализа для линейного участка влагосодержания приведены в табл. 3.

Полученные линейные зависимости за первые 48 ч являются математическим описанием и моделью начального процесса и уравнения изменения влагосодержания.

Нелинейная зависимость вида $y = ax^2 + bx + c$ набора влаги за последующие 168 ч, где y — влагосодержание, %, x — время процесса, ч, от начала нелинейного процесса.

Найдем коэффициенты a , b и c уравнения квадратичной регрессии $y = ax^2 + bx + c$ из системы уравнений

$$\begin{cases} a \sum x_i^2 + b \sum x_i + nc = \sum y_i, \\ a \sum x_i^3 + b \sum x_i^2 + c \sum x_i = \sum x_i y_i, \\ a \sum x_i^4 + b \sum x_i^3 + c \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i. \end{cases} \quad (5)$$

Решаем эту систему линейных уравнений методом Крамера и вычисляем индекс корреляции (6) и детерминации R^2 :

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (6)$$

Средняя ошибка аппроксимации составит

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100 \%. \quad (7)$$

Результаты математического анализа для нелинейного участка набора влаги за следующие 168 ч приведены в табл. 4.

Результаты математической обработки позволяют сделать вывод, что полученные математические модели набора влажности в стеблях камыша являются корректными, что подтверждается коэффициентами корреляции и детерминации. Представленные модели могут быть использованы для расчета параметров набора влажности камышитовых стеблей при высоких параметрах влажности окружающего воздуха, а в дальнейшем — как основа для создания математической модели процесса изменения коэффициента теплопроводности строительных материалов на основе камыша при их эксплуатации и расчета оптимальных толщин ограждающих конструкций.

На втором этапе экспериментальных исследований планируется качественная оценка изменения коэффициента теплопроводности материала в зависимости от влагосодержания. Оценочные опыты будут проводиться при помощи измерителя теплопроводности ИТП-МГ4-100, предназначенного для определения теплопроводности и термического сопротивления строительных материалов, а также материалов, предназначенных для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при стационарном режиме по ГОСТ 7076-99¹ и методом теплового зонда.

¹ ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме.

Табл. 4. Коэффициенты регрессии, индекс корреляции, детерминации и ошибка аппроксимации для уравнения влагонасыщения для второй зоны (последующие 168 ч)

Тип камыша	Параметры					
	a	b	c	R	R^2	$A, \%$
Образец № 1	−0,0002	0,0605	10,6333	0,9951	0,9902	1,1956
Образец № 2	−0,0001	0,0498	11,4583	0,9968	0,9936	0,7706
Образец № 3	−0,0002	0,0526	12,2833	0,9987	0,9974	0,4449

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведены экспериментальные исследования по влагонасыщению природного камыша в разработанной камере увлажнения; получены графические зависимости влагонасыщения камыша от времени воздействия влажной среды; определены предель-

ные значения влагосодержания для природного камыша на основании экспериментов.

Получены математические зависимости влагонасыщения от времени, которые можно считать математическими моделями набора влажности для природного камыша.

Определены направления для следующего этапа экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дербасова Е.М., Муканов Р.В., Олейникова М.А. Энергоэффективные одноэтажные каркасные дома с теплоизоляцией из камышитовых блоков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2014. № 3 (9). С. 25–28.
2. Лакатош Б.К., Аванесов А.И. Применение камыша в строительстве. Ростов н/Д, 1958. 96 с.
3. Крутов П.И. Применение камыша в строительстве. М. : Госстройиздат, 1963. 203 с.
4. Чугай А.М., Савранчук П.Т. Применение камыша в строительстве Казахстана. Алма-Ата, 1961. 15 с.
5. Успенский В.Н., Моциль В.Е. Применение камыша в строительстве на Украине. М. : Госстройиздат, 1958. 8 с.
6. Аннаев К. Разработка и исследование теплозащитных свойств ограждающих конструкций из местных материалов : дис. ... канд. техн. наук. Ашхабад, 1984. 187 с.
7. Умняков П.Н. Теплоизоляция ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. М. : Стройиздат, 1978. 161 с.
8. Петров А.Н. Теплоизоляционные материалы на основе соломы и неорганических связующих : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 1998. 20 с.
9. Шахматов К.Л. Обоснование круглогодичной добычи торфяного сырья и технология производства композиционных теплоизоляционных материалов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тверь, 2011. 15 с.
10. Солдатов Д.А. Теплоизоляционные материалы на основе растительного сырья и органоминеральных поризованных связующих : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2000. 18 с.
11. Якубов С.Э. Теплопроводность и механические свойства строительных материалов на основе минерального и растительного сырья : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Душанбе, 2006. 21 с.
12. Олейникова М.А., Муканов Р.В., Яковлев П.В. Разработка технологии строительства каркасных домов с утеплителем из камышитовых блоков // Исследования молодых ученых вклад в инновационное развитие России : докл. мол. уч. в рамках программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («У.М.Н.И.К.»). Астрахань : Нижневолжский экоцентр, 2014. С. 127–128.
13. Пат. РФ 2184817 МПК E04B1/76, B27J1/00, B27N3/20/ Способ изготовления камышитовых плит / заяв. и патентообл. Ушаков В.М. №2001101666/03; заявл. 17.01.2001; опубл. 10.07.2002, бюл. № 19.
14. Иванов Ю.М. Защита камыша и древесины от гниения / под ред. д.т.н., профессора Ю.М. Иванова. М. : Гос. Изд-во лит-ры по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. 127 с.
15. Пат. РФ 2499665 МПК 51 В 28 В 11/24, С 04 В 40/02 Камера для ускоренного твердения бетонных изделий с использованием энергии электромагнитных волн в видимой части спектра искусственного и естественного происхождения / Е.М. Дербасова, Р.В. Муканов, В.А. Филин; заяв. и патентообл. Астраханский инженерно-строительный институт. № 2012111581/03; заявл. 26.03.2012; опубл. 27.11.2013, бюл. № 33.
16. Костин В.Н., Тишина Н.А. Статистические методы и модели. Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. 138 с.
17. Губин В.И., Остаишников В.Н. Статистические методы обработки экспериментальных данных. Тюмень : Изд-во ТюмГНГУ, 2007. 202 с.
18. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М. : Высш. шк., 1967. 325 с.
19. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и механики жидкости / пер. с англ. под ред. Е.Д. Виленского. М. : Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
20. Дербасова Е.М., Муканов Р.В., Губа О.Е. Анализ процессов нестационарной теплопроводности применительно к технологии тепловлажностной обработки бетонных изделий при ИК-излучении // Промышленные АСУ и контроллеры. 2012 № 11. С. 18–21.

Поступила в редакцию 11 сентября 2017 г.

Принята в доработанном виде 9 октября 2017 г.

Одобрена для публикации 21 ноября 2017 г.

О Б А В Т О Р А Х: **Муканов Руслан Владимирович** — старший преподаватель кафедры инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева д. 18, rvmukanov@mail.ru;

Дербасова Евгения Михайловна — кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18, ederbasova@ausu.ru;

Олейникова Мария Андреевна — инженер-проектировщик, ООО «Многопрофильная фирма «СТИЛЬ_КЛИМАТ», 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 22/4, mushindra@mail.ru;

Боронина Людмила Владимировна — кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева д. 18; boroninalv@gmail.com;

Свинцов Владимир Яковлевич — доктор технических наук, профессор кафедры инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева д. 18; vladimir_svintsov@mail.ru.

REFERENCES

1. Derbasova E.M., Mukanov R.V., Oleynikova M.A. Energoeffektivnye odnoetazhnye karkasnye doma s teploizo-lyatsiey iz kamyshitovykh blokov [Energy-efficient single-story frame houses with heat insulation from reed blocks]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and construction herald of the Caspian Sea]. 2014, no. 3 (9), pp. 25–28. (In Russian)
2. Lakatosh B.K., Avanesov A. I. *Primenenie kamysha v stroitel'stve* [Reed application in construction]. Rostov n/D, 1958. 96 p. (In Russian)
3. Krutov P. I. *Primenenie kamysha v stroitel'stve* [Reed application in construction]. Moscow, GosStroyizdat Publ., 1963. 203 p. (In Russian)
4. Chugay A.M., Savranchuk P.T. *Primenenie kamysha v stroitel'stve Kazakhstana* [Reed application in the construction of Kazakhstan]. Alma-Ata, 1961. 15 p. (In Russian)
5. Uspenskiy V.N., Moshchil' V.E. *Primenenie kamysha v stroitel'stve na Ukraine* [Reed application in the construction of Ukraine]. Moscow, GosStroyizdat Publ., 1958. 8 p. (In Russian)
6. Annaev K. *Razrabotka i issledovanie teplozashchitnykh svoystv ograzhdayushchikh konstruksiy iz mestnykh materialov* : dis. ... kand. tekhn. nauk [Development and study of heat-shielding properties of enclosing structures from local materials: thesis of candidate of technical sciences]. Ashkhabad, 1984. 187 p. (In Russian)
7. Umnyakov P.N. *Teploizolyatsiya ograzhdayushchikh konstruksiy zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Thermal insulation of enclosing structures of residential and public buildings]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1978. 161 p. (In Russian)
8. Petrov A.N. *Teploizolyatsionnye materialy na osnove solomy i neorganicheskikh svyazuyushchikh* : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Heat-insulating materials on the basis of straw and inorganic binders : author's abstract of the thesis of candidate of technical sciences]. Kazan', 1998. 20 p. (In Russian)
9. Shakhmatov K.L. *Obosnovanie kruglogodichnoy dobychi torfyannogo syr'ya i tekhnologiya proizvodstva kompozitsi-onnykh teploizolyatsionnykh materialov* : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Justification of the year-round extraction of peat raw materials and the technology of production of composite heat insulation materials : author's abstract of the thesis of candidate of technical sciences]. Tver', 2011. 15 p. (In Russian)
10. Soldatov D.A. *Teploizolyatsionnye materialy na osnove rastitel'nogo syr'ya i organomineral'nykh porizovan-nykh svyazuyushchikh* : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Heat-insulating materials on the basis of vegetable raw materials and organomineral porous binders : author's abstract of the thesis of candidate of technical sciences]. Kazan', 2000. 18 p.
11. Yakubov S.E. *Teploprovodnost' i mekhanicheskie svoystva stroitel'nykh materialov na osnove mineral'nogo i rastitel'nogo syr'ya* : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Thermal conductivity and mechanical properties of building materials on the basis of mineral and vegetable raw materials : author's abstract of the thesis of candidate of technical sciences]. Dushanbe, 2006. 21 p. (In Russian)
12. Oleynikova M.A., Mukanov R.V., Yakovlev P.V. *Razrabotka tekhnologii stroitel'stva karkasnykh domov s utepli-telem iz kamyshitovykh blokov* [Development of the technology for building frame houses with insulation from the reed blocks]. *Issledovaniya molodykh uchenykh vklad v innovatsionnoe razvitie Rossii : doklady molodykh uchenykh v ramkakh programmy «Uchastnik molodezhnogo nauchno-innovatsionnogo konkursa» («U.M.N.I.K.»)* [Studies of young scientists contribution to the Russia's innovative development : reports of young scientists in the framework of the program "Participant of the Youth Scientific and Innovation Contest" ("UMNIK")]. Astrakhan', Nizhnevolszhiy ekotsentr Publ., 2014. Pp. 127–128. (In Russian)
13. Pat. RF 2184817 IPC E04B1/76, B27J1/00, B27N3/20. *Sposob izgotovleniya kamyshitovykh*

plit [Method of manufacturing cane plates]; claimer & patentholder Ushakov V.M, no.2001101666/03; claim 17.01.2001; published 10.07.2002, bul, no. 19. (In Russian)

14. Ivanov Yu.M. *Zashchita kamysha i drevesiny ot gnieniya* [Protection of reeds and wood from decay]. Moscow, Gos. Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, arkhitekture i stroitel'nym materialam Publ., 1961. 127 p. (In Russian)

15. Pat. RF 2499665 IPC 51 V 28 V 11/24, S 04 V 40/02. *Kamera dlya uskorennoy tverdeniya betonnykh izdeliy s ispol'zovaniem energii elektromagnitnykh voln v vidimoy chasti spektra iskusstvennogo i estestvennogo proiskhozhdeniya* [Chamber for accelerated hardening of concrete products with the use of energy of electromagnetic waves in the visible part of the spectrum of artificial and natural origin] / Derbasova E.M., Mukanov R.V., Filin V.A.; claimer and patentholder Astrakhan Civil Engineering Institute, no. 2012111581/03; claim 26.03.2012; published 27.11.2013, bul, no. 33. (In Russian)

16. Kostin V.N., Tishina N.A. *Statisticheskie metody i modeli* [Statistical methods and models]. Orenburg: GOU OGU, 2004. 138 p. (In Russian)

17. Gubin V.I., Ostashkov V.N. *Statisticheskie metody obrabotki eksperimental'nykh dannykh* [Statistical methods for processing experimental data]. Tyumen', Tyumen State Industrial University, 2007. 202 p. (In Russian)

18. Lykov A.B. *Teoriya teploprovodnosti* [Theory of heat conductivity.]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1967. 325 p. (In Russian)

19. Patankar S V. Numerical heat transfer and fluid flow. McGraw-Hill Inc. US, 1980.

20. Derbasova E.M., Mukanov R.V., Guba O.E. Analiz protsessov nestatsionarnoy teploprovodnosti primenitel'no k tekhnologii teplovlazhnostnoy obrabotki betonnykh izdeliy pri IK-izluchanii [Analysis of unsteady heat conduction processes according to heat and processing technology of concrete products for the infrared radiation]. *Promyshlennyye ASU i kontroly* [Industrial Automatic Control Systems and Controllers]. 2012, no. 11, pp. 18–21. (In Russian)

Received September 11, 2017.

Adopted in final form on October 9, 2017.

Approved for publication on November 21, 2017.

ABOUT THE AUTHORS: **Mukanov Ruslan Vladimirovich** — Senior Lecturer, Department of Engineering Systems and Ecology, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE)**, 18 Tatisheva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation, rvmukanov@mail.ru;

Derbasova Evgenia Mikhailovna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department Engineering Systems and Ecology, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE)**, 18 Tatisheva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation, ederbasova@au.ru;

Oleynikova Maria Andreevna — Design Engineer, **Multiprofile firm "STIL-KLIMAT"**, 22/4 Tatisheva street, Astrakhan, 414056, mushindra@mail.ru;

Boronina Lyudmila Vladimirovna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department Engineering Systems and Ecology, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE)**, 18 Tatisheva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation; boroninalv@gmail.com;

Svintsov Vladimir Yakovlevich — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department Engineering Systems and Ecology, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE)**, 18 Tatisheva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation; vladimir_svintsov@mail.ru.