
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

SECTION OF SCIENTIFIC METHODOLOGY

Известия вузов. Строительство. 2022. № 8. С. 95–101.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (8): 95–101.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 69.022: 691.11: 539.217.3

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-764-8-95-101

РАСЧЕТ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ В ДЕСЯТИЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНОЙ СТЕНЫ ИЗ ДЕРЕВА

Рашит Анварович Назиров, Семур Асиф оглы Алиев

Сибирский федеральный университет (СФУ), Красноярск, Россия

Аннотация. Рост деревянного домостроения отмечается уже третий год, что обуславливается введением новой нормативной документации и практически неограниченным материалом для строительства. Было проведено много исследований на тему влагонакопления в стеновых конструкциях, но в них не было нестационарного расчета для длительного периода времени для отражения тенденций накопления или ухода влаги из слоев конструкций. Актуальным является изучение влагонакопления за десятилетний цикл в стеновой конструкции из дерева для I климатического района ввиду недостаточного исследования в данной области. Целью работы является расчет влагонакопления конструкции стены из дерева в десятилетнем цикле для климатических условий на примере Красноярска. Рассмотрен типовой узел углового сопряжения. Прослеживается зависимость сорбционной влажности на влагонакопление материалов конструкции.

Ключевые слова: дерево, влагонакопление, сорбционная влажность, численный расчет, угловое сопряжение

Для цитирования: Назиров Р.А., Алиев С.А. Расчет влагонакопления в десятилетнем цикле для многослойной стены из дерева // Известия вузов. Строительство. 2022. № 8. С. 95–101. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-764-8-95-101.

Original article

CALCULATION OF MOISTURE ACCUMULATION IN A TEN-YEAR CYCLE FOR A MULTI-LAYER WALL MADE OF WOOD

Rashit A. Nazirov, Semur A. Aliev

Siberian Federal University (SFU), Krasnoyarsk, Russia

Abstract. The growth of wooden housing construction has been noted for the third year in a row, this is due to the introduction of new regulatory documents and practically unlimited material for construction. Many studies have been done on the topic of moisture

accumulation in wall structures, but they did not have a non-stationary calculation for a long period of time to reflect the trends in the accumulation or removal of moisture from the layers of structures. The study of moisture accumulation over a ten-year cycle in a wooden wall structure for the I climatic region is relevant due to insufficient research in this area. The aim of the study is to calculate the moisture accumulation of a wooden wall structure in a ten-year cycle for the climatic conditions of Krasnoyarsk. A typical node of the angular conjugation is considered. The purpose of the study is to identify moisture accumulation in the corner junction of walls made of solid timber, insulated with mineral wool board in a ten-year cycle. The dependence of sorption humidity on the moisture accumulation of construction materials is traced.

Keywords: wood, moisture accumulation, sorption moisture, numerical calculation, angular conjugation

For citation: Nazirov R.A., Aliev S.A. Calculation of moisture accumulation in a ten-year cycle for a multi-layer wall made of wood. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2022; (8): 95–101. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-764-8-95-101.

Введение. Последние десятилетия деревянным домостроением в России системно не занимались. Первые изменения стали появляться в 2017 г. с введением СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции», в котором идет речь об использовании перекрестно-клееной древесины, позволяющей строить многоэтажные здания. Дальнейшее развитие связано с введением в 2020 г. двух новых нормативов – СП 451.1325800.2019 «Здания общественные с применением деревянных конструкций» и СП 452.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций», отражающих использование деревянных конструкций для общественных и жилых многоквартирных домов. В 2021 г. произошли изменения требований по расчету перекрестно-клееной древесины в СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции». В 2022 г. появились СП 515.1325800.2022 «Здания из клееного деревянного бруса. Правила проектирования и строительства» и СП 516.1325800.2022 «Здания из деревянных срубных конструкций. Правила проектирования и строительства».

Минстроем и МЧС России утверждена дорожная карта до 2024 г. по развитию деревянного домостроения. Планируется увеличить область применения деревянных конструкций, проведение технических регламентов, а также подготовку пилотных проектов жилых и общественных зданий этажностью от 3 до 12, построенных по технологии CLT (перекрестно-клееной древесины). В связи с этим немаловажную роль играет определение влажности в стенной конструкции. Этому были посвящены исследования как в прошлом [1–7], так и в настоящее время [8–11], в частности, многослойность в деревянных конструкциях. Поэтому проблема переувлажнения ограждающих конструкций остается наиболее актуальной.

Учитывая перспективность применения деревянных конструкций, можно констатировать, что влагонакопление стеновой конструкции из дерева в десятилетнем цикле является актуальной целью для исследования.

Материалы и методы исследования. Для исследования была выбрана наружная ограждающая деревянная конструкция из бруса с наружным утеплением и облицовкой (рис. 1).

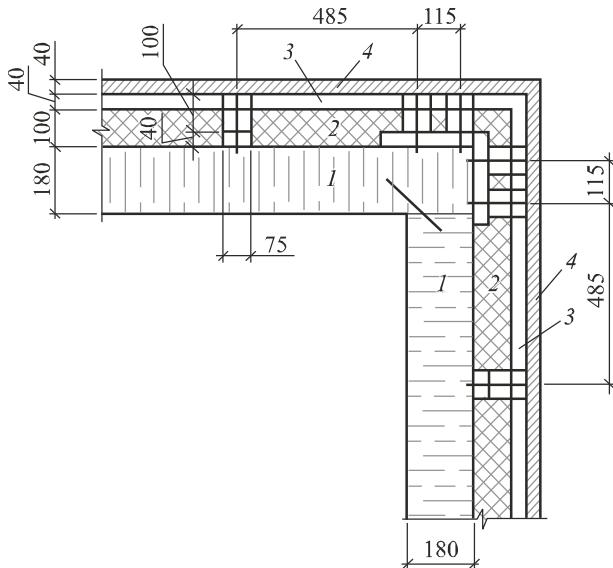


Рис. 1. Исследуемый узел деревянной ограждающей конструкции

1 – деревянный брус 180×180 мм; 2 – утеплитель; 3 – вертикальная воздушная прослойка; 4 – облицовочный слой

Fig. 1. The investigated node a wooden enclosing structure

1 – timber 180×180 mm; 2 – insulation; 3 – vertical air layer;
4 – cladding layer

Решение задачи тепло- и массообмена в наружных ограждающих конструкциях сводится к совместному решению уравнений теплопроводности и диффузий:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + L_v \delta_p \left(\frac{\partial^2 \varphi p_{sat}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi p_{sat}}{\partial y^2} \right) = 0 \\ \left(\frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial e}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial e}{\partial y} \right) + L_v \delta_p \left(\frac{\partial^2 \varphi p_{sat}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi p_{sat}}{\partial y^2} \right) = 0 \\ E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp \left(\frac{-5330}{T} \right) \\ \varphi = \frac{e}{E} 100 \% \end{array} \right.$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт / (м · град);

T – температура, К;

μ – коэффициент паропроницаемости, кг / (с · м · Па);

φ – относительная влажность, %;

e – парциальное давление водяного пара, Па;

E – давление насыщенного водяного пара, Па.

Результаты и обсуждение. При численном расчете тепловлажностные характеристики строительных материалов заданы функциональными зависи-

Таблица 1. Тепловлажностные характеристики материалов

Table 1. Thermal-moisture characteristics of materials

Материал	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м · °C)	Коэффициент паропроницаемости μ , с
UPM ProFi – облицовочный слой ($\rho = 540$ кг/м ³)	$\lambda(\varphi)$	$2,5 \cdot 10^{-11}$
Воздушная прослойка	$\lambda(\varphi)$	$2,0 \cdot 10^{-10}$
Утеплитель ТЕХНОВЕНТ ПРОФ – плиты минераловатные из каменного волокна ($\rho = 100$ кг/м ³)	$\lambda(\varphi)$	$8,9 \cdot 10^{-11}$
Несущий слой из сосны ($\rho = 540$ кг/м ³) по ГОСТ 8486–86	$\lambda(\varphi)$	$1,67 \cdot 10^{-11}$
Винт самонарезающий из углеродистой стали 4,2×70 по ГОСТ 10621–80	58	–

мостями [12] (табл. 1). Коэффициент теплопроводности выбран в зависимости от влажности и температуры (табл. 2).

В табл. 3 для наружного воздуха представлены относительная влажность и температура в двух вариантах – первый, когда температура соответствует нормативу и при ухудшающихся условиях на 10 %, что отражено в таблице через черту.

Таблица 2. Границные условия

Table 2. Boundary conditions

Граница	Коэффициент теплоотдачи α_b, α_h , Вт/(м ² · °C)	Температура, °C	Влажность, %
Внешняя	23	Табл. 3	72
Внутренняя	8,7	21	50

Таблица 3. Климатические параметры в г. Красноярске

Table 3. Climatic parameters in Krasnoyarsk

Месяц	Температура наружного воздуха t_{ext} , °C	Относительная влажность наружного воздуха φ_{ext} , %
Январь	-16,3 / -17,9	0,89 / 0,98
Февраль	-13,9 / -15,3	0,83 / 0,91
Март	-5,9 / -6,5	0,72 / 0,80
Апрель	2,4 / 2,6	0,6 / 0,66
Май	9,7 / 10,7	0,56 / 0,62
Июнь	16,4 / 18,0	0,64 / 0,71
Июль	18,7 / 20,6	0,71 / 0,79
Август	15,6 / 17,2	0,77 / 0,84
Сентябрь	9,0 / 9,9	0,77 / 0,84
Октябрь	1,7 / 1,9	0,75 / 0,82
Ноябрь	-7,4 / -8,1	0,84 / 0,92
Декабрь	-13,6 / -15,0	0,86 / 0,94

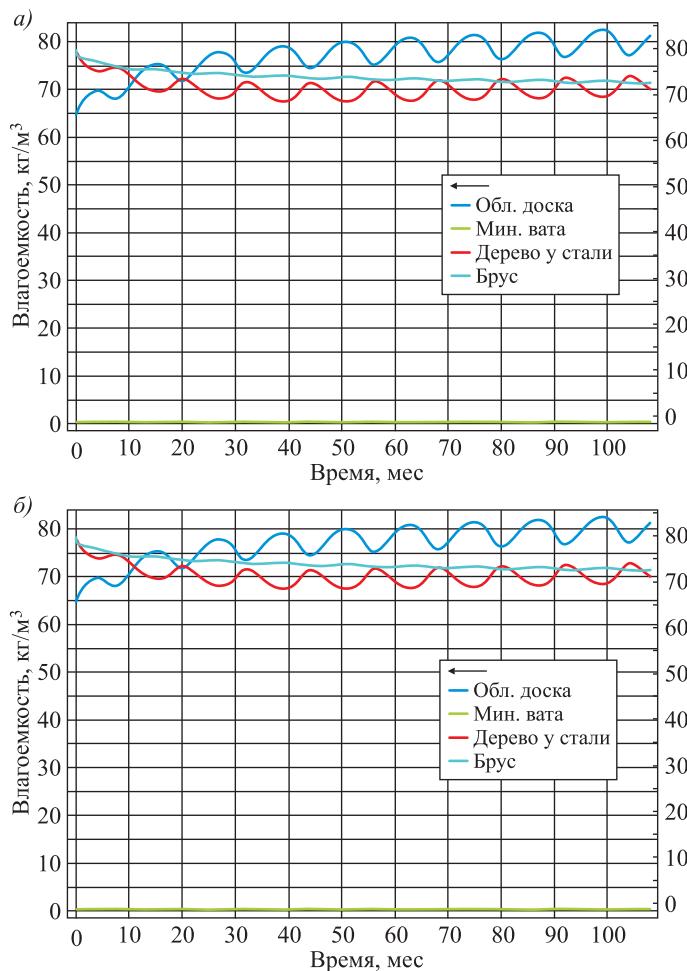


Рис. 2. Влагонакопления за десятилетний цикл (а) и при ухудшающихся условиях (б)

Fig. 2. Moisture accumulation over a ten-year cycle (a) and with deteriorating conditions (b)

Границные условия с внешней стороны задавались согласно требованиям СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» для г. Красноярска, с внутренней – СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

На рис. 2 приведен расчет в десятилетнем цикле для каждого слоя конструкции, дополнительно выделен участок, где саморезы контактируют с деревянными направляющими.

Выводы. Как видно из табл. 4, наибольшая влагоемкость в начале цикла наблюдается у несущего слоя и дерева у стали ($77,6 \text{ кг}/\text{м}^3$), тогда как у облицовочного слоя она ниже ($64,6 \text{ кг}/\text{м}^3$). Наименьшая влагоемкость у утеплителя ($0,29 \text{ кг}/\text{м}^3$) ввиду его низкой плотности.

В конце цикла во всех слоях ограждающей конструкции снижается влагоемкость, кроме облицовочного слоя, в котором наблюдается существенное повышение содержания влаги по массе (на 25,9 %). Этим и объясняется выход облицовочного материала из строя в первую очередь.

Таблица 4. Влагонакопление по слоям конструкции, кг/м³

Table 4. Moisture accumulation by structure layers, kg/m³

Слой	В начале цикла	В конце цикла	Процентное соотношение
Брус (несущий слой)	77,6	71,3	8,12
Дерево у стали	77,6	69,9	9,92
Облицовочная доска	64,6	81,3	-25,9
Минеральная вата	0,29	0,14	51,7

Предлагаемое решение устранения этой проблемы в подборе другого облицовочного материала с лучшим сопротивлением влагонаколению или же использование гидрофобного покрытия.

Список источников

1. Корниенко С.В. Температурно-влажностный режим наружных стен с вентилируемым фасадом // Academica. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 389–394.
2. Гагарин В.Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // Academica. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 297–305.
3. Солошенко С.С. Влажностный режим конструкции вентилируемого штукатурного фасада // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 8. С. 10–15.
4. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Горшков А.С. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 6. С. 19–33.
5. Вороненко Б.А. Аналитическое описание процесса нестационарной теплопроводности: Учеб.-метод. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 84 с.
6. Корниенко С.В. Инженерная оценка влажности наружных стен // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2015. № 1. С. 1–19.
7. Козлов В.В. Метод инженерной оценки влажностного состояния современных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты при учете паропроницаемости, влагопроводности и фильтрации воздуха: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2004. 24 с.
8. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Зубарев К.П. Анализ расположения зоны наибольшего увлажнения в ограждающих конструкциях с различной толщиной теплоизоляционного слоя // Жилищное строительство. 2016. № 6. С. 8–12.
9. Гагарин В.Г., Зубарев К.П. Применение теории потенциала влажности к моделированию нестационарного влажностного режима ограждений // Вестник МГСУ. 2019. № 4. С. 484–495.
10. Некрасов А.К., Логинов В.И., Архиреев К.Э., Михайлов Е.С. Математическое моделирование сложного нестационарного теплообмена в многослойных теплозащитных конструкциях с воздушными прослойками // Пожарная безопасность. 2016. № 2. С. 37–42.
11. Добросмыслов С.С., Пылаева М.М., Огорельцева Н.В., Перъкова М.А. Изменение теплофизических характеристик наружных ограждающих конструкций в условиях реального температурно-влажностного режима // Известия КГАСУ. 2018. № 3. С. 114–120.
12. Kielsgaard K. Sorption isotherms a catalogue // Building materials laboratory the technical university of Denmark, 1986.

References

1. Kornienko S.V. Temperature and humidity conditions of exterior walls with a ventilated facade. *Academiya. Arkhitektura i stroitel'stvo = Academia Architecture and construction.* 2009; (5): 389–394. (In Russ.).

2. Gagarin V.G. Thermophysical problems of modern wall enclosing structures of multistory buildings. *Academiya. Arkhitektura i stroitel'stvo = Academia Architecture and construction.* 2009; (5): 297–305. (In Russ.).
3. Soloshchenko S.S. Moisture regime of the ventilated plaster facade structure. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal = Engineering and Construction Journal.* 2010; (8): 10–15. (In Russ.).
4. Kornienko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.R., Gorshkov A.S. Estimation of moisture mode of multilayer wall construction in the annual cycle. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy = Construction of unique buildings and structures.* 2015; (6): 19–33. (In Russ.).
5. Voronenko B.A. Analytical description of the process of nonstationary heat conduction. St. Petersburg, 2014. 84 p. (In Russ.).
6. Kornienko S.V. Engineering assessment of the moisture of exterior walls. *Internet-vestnik VolgGASU = VolgGASU Internet Messenger.* 2015; (1): 1–19. (In Russ.).
7. Kozlov V.V. Method of engineering evaluation of moisture state of modern enclosing structures with an increased level of thermal protection when taking into account vapor permeability, moisture conductivity and air filtration: Abstract ... PhD. Moscow, 2004. 24 p. (In Russ.).
8. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Zubarev K.P. Analysis of the location of the highest moisture zone in fencing structures with different thickness of the thermal insulation layer. *Zhilishchnoye stroitel'stvo = Housing construction.* 2016; (6): 8–12. (In Russ.).
9. Gagarin V.G., Zubarev K.P. Application of the theory of moisture potential to modelling of unsteady moisture regime of fences. *Vestnik MGSU = MSCU Bulletin.* 2019; (4): 484–495. (In Russ.).
10. Nekrasov A.K., Loginov V.I., Arkhireev K.E., Mikhaylov E.S. Mathematical modelling of complex non-stationary heat exchange in multilayer heat protection structures with air layer. *Pozharnaya bezopasnost' = Fire safety.* 2016; (2): 37–42. (In Russ.).
11. Dobrosmyslov S.S., Pylaeva M.M., Ogoreltseva N.V., Perkova M.A. Variation of thermal physical characteristics of external enclosing structures in conditions of real temperature and humidity regime. *Izvestiya KGASU = Proceedings of KGASU.* 2018; (3): 114–120. (In Russ.).
12. Kielsgaard K. Sorption isotherms a catalogue. Building materials laboratory the technical university of Denmark, 1986.

Информация об авторах

Р.А. Назиров – доктор технических наук, профессор

С.А. Алиев – аспирант, semyr.aliev97@yandex.ru

Information about the authors

R.A. Nazirov – DSc, Professor

S.A. Aliev – Post-graduate Student, semyr.aliev97@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.06.2022

Одобрена после рецензирования 20.07.2022

Принята к публикации 27.07.2022

The article was submitted 20.06.2022

Approved after reviewing 20.07.2022

Accepted for publication 27.07.2022