



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2019, ТОМ 15, НОМЕР 2, 91–98

УДК 692:628.8; 699.86

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ НА ОСНОВЕ ПОТЕНЦИАЛА ВЛАЖНОСТИ

Т. А. Рафальская

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»

113, ул. Ленинградская, г. Новосибирск, РФ, 630008.

E-mail: rafalskaya.ta@yandex.ru

Получена 22 апреля 2019; принята 24 мая 2019.

Аннотация. В условиях эксплуатации содержание влаги в наружных ограждениях меняется в течение года, при этом в жилых, общественных зданиях оно возрастает обычно в апреле и мае, а зимой близко к среднегодовому значению. Влагонакопления играют важную роль при проектировании микроклимата помещений, поскольку оказывают существенное воздействие на теплопотери и теплоустойчивость наружных ограждений. Применение потенциала влажности в расчётах влагопереноса позволяет количественно учесть содержание влаги в конструкциях как в парообразном виде, так и в жидком и твёрдом состоянии, включая сорбированную влажность и область сверхсорбционного увлажнения. Такой анализ позволяет наиболее полно учесть количество влаги в строительных конструкциях. Проведённое исследование позволит повысить энергоэффективность и энергосбережение современных зданий.

Ключевые слова: потенциал влажности, наружные ограждения, влажностный режим, влагосодержание, влагонакопление.

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОНАКОПЛЕННЯ В БАГАТОШАРОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ НА ОСНОВІ ПОТЕНЦІАЛУ ВОЛОГОСТІ

Т. А. Рафальська

ФДБОУ ВО «Новосибірський державний архітектурно-будівельний університет (Сибстрин)»

113, вул. Ленінградська, м. Новосибірськ, РФ, 630008.

E-mail: rafalskaya.ta@yandex.ru

Отримана 22 квітня 2019; прийнята 24 травень 2019.

Анотація. В умовах експлуатації вміст вологи в зовнішніх огородженнях змінюється протягом року, при цьому в житлових, громадських будівлях він зростає зазвичай в квітні і травні, а взимку близький до середньорічного значення. Вологонакоплення відіграють важливу роль при проектуванні мікроклімату приміщень, оскільки істотно впливають на тепловтрати і теплостійкість зовнішніх огорожень. Застосування потенціалу вологості в розрахунках вологоперенесення дозволяє кількісно врахувати вміст вологи в конструкціях як в пароподібному вигляді, так і в рідкому і твердому стані, включаючи сорбовану вологість і зону понадсорбційного зволоження. Такий аналіз дозволяє найбільш повно врахувати кількість вологи в будівельних конструкціях. Проведене дослідження дозволить підвищити енергоефективність і енергозбереження сучасних будівель.

Ключові слова: потенціал вологості, зовнішні огороження, вологісний режим, вміст вологи, вологонакоплення.

DETERMINATION OF MOISTURE ACCUMULATIONS IN MULTI-LAYER ENCLOSING STRUCTURES BASED ON MOISTURE POTENTIAL

Tatyana Rafalskaya

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)

113, Leningradskay Str., Novosibirsk, Russian Federation, 630008.

E-mail: rafalskaya.ta@yandex.ru

Received 22 April 2019; accepted 25 May 2018.

Abstract. Under operating conditions, the moisture content in the outer fences changes during the year, while in residential, public buildings, it usually increases in April and May, and in winter it is close to the annual average. Water accumulations play an important role in the design of the indoor microclimate, since they have a significant impact on heat loss and heat resistance of external fences. The application of the potential of humidity in the calculations of moisture transfer allows one to quantitatively take into account the moisture content in structures, both in vapor form and in the liquid and solid state, including the sorbed moisture and the area of supersorption moisture. This analysis allows to more fully taking into account the amount of moisture in building structures. The study will improve the energy efficiency and energy saving of modern buildings.

Keywords: potential of moisture, external fences, moisture regime, moisture content, moisture accumulation.

Введение

Основным приоритетным направлением в современном строительстве является повышение энергосбережения и энергоэффективности зданий и инженерных сооружений и коммуникаций. Наиболее энергосберегающим способом теплоснабжения является так называемая связанная подача теплоты. В этом случае расход воды из теплосети в первую очередь идёт на обеспечение тепловой мощности горячего водоснабжения, а система отопления в случае максимального водоразбора в системе горячего водоснабжения недополучает необходимого количества теплоты. Восстановление тепловой мощности системы отопления происходит при незначительном водоразборе и в часы отсутствия водоразбора. При этом важную роль играет теплоустойчивость наружных ограждений, которая позволяет сгладить колебания внутренней температуры, вызванные переменным суточным режимом работы системы горячего водоснабжения. При связанной подаче теплоты значительно сокращаются расходы сетевой воды, количество необходимого топлива и стоимость электроэнергии на перекачку теплоносителя, но при этом значительно повышаются требования к теплозащите строительных конструкций зданий, т.к. необходимо

учитывать не только климатические факторы, но также переменные теплоступления от тепловой сети, поскольку при низких наружных температурах теплотери помещений могут не компенсироваться системой отопления, что может привести к переувлажнению материалов конструкций.

Целью работы является разработка методики определения влагонакоплений в конструкциях зданий, расположенных в различных климатических зонах. Это позволит выполнить количественную оценку влагосодержания материалов строительных конструкций при любом фазовом состоянии влаги.

Анализ современного состояния исследований

Анализ современного состояния исследований Влагозащитные свойства ограждающих конструкций определяются согласно методике СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» по предельно допустимому состоянию увлажнения на основе определения плоскости максимального увлажнения. При этом в балансовых уравнениях не учитывается изменение параметров микроклимата (температура и относительная влажность внутреннего воздуха) в различные периоды года [1, 2]. Кроме того, сами влагонакопления будут

оказывать воздействие на теплоустойчивость и термическое сопротивление наружных ограждений, и микроклимат помещений будет меняться [3–7].

К. Ф. Фокиным [8] был разработан метод расчета влажностного режима ограждающих конструкций, основанный на модели диффузии водяного пара за счет разности парциального давления пара с двух сторон ограждения. Этот метод позволяет определить зону возможной конденсации влаги в конструкции. Влага конденсируется в ограждающей конструкции при выполнении следующего условия:

$$e \geq E, \quad (1)$$

где e – парциальное давление водяного пара в порах материалов;

E – парциальное давление насыщенного водяного пара.

Достоинством теории потенциала влажности является возможность учесть не только скопившуюся влагу, но и содержание влаги в материале в любой фазе. Теория потенциала влажности была разработана В. Н. Богословским [9–11], но единой методики расчета влагонакоплений разработано не было.

Основная сложность заключается в построении годового хода потенциала влажности, зависящего от текущей наружной температуры и относительной влажности воздуха, интенсивности и продолжительности осадков, скорости ветра, интенсивности и продолжительности солнечной радиации [9]. Кроме того, коэффициенты влагопроводности строительных материалов определялись, в основном, экспериментально, для отдельных материалов ограждений [9, 13, 16, 17]. В настоящей работе сделана попытка собрать имеющиеся исследования в единую систему и разработать методику расчета влагонакоплений в строительных конструкциях.

Методика расчета влагонакоплений

Физико-математическое понятие потенциала влажности θ , °В, аналогично потенциалу температуры t , °С. По аналогии с основным законом теплопроводности, удельный поток влаги через ограждение i , кг/(м²·ч), пропорционален градиенту потенциала влажности [12]:

$$i = -\chi \nabla \theta, \quad (2)$$

где χ – коэффициент влагопроводности, кг/(м·ч·°В);

$\nabla \theta$ – градиент потенциала влажности, °В/м. Коэффициент влагопроводности в отличие от коэффициента теплопроводности будет зависеть также от климатических условий местности, в которой расположено здание.

Коэффициент влагопроводности строительных материалов определяется по зависимости:

$$\chi = (e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}) \mu / (\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}}), \quad (3)$$

где $e_{\text{int}}, e_{\text{ext}}$ – соответственно упругости водяного пара с внутренней и наружной сторон ограждения, Па;

$\theta_{\text{int}}, \theta_{\text{ext}}$ – соответственно потенциалы влажности воздуха с внутренней и наружной сторон ограждения, °В;

μ – коэффициент паропроницаемости материала, кг/(м·ч·Па).

Потенциалы влажности внутреннего и наружного воздуха можно определить по аналитическим зависимостям [12, 13]:

$$\lg \theta = 0,057d + 0,829 \quad \text{при } t \leq 10^\circ\text{C и любой } \varphi, \%; \quad (4a)$$

$$\lg \theta = 0,12d - 0,049t + 1,056 \quad \text{при } t > 10^\circ\text{C, } \varphi \geq 80\%; \quad (4b)$$

$$\lg \theta = 0,057d + 0,829 \quad \text{при } t > 10^\circ\text{C, } \varphi < 80\%, 0 < d \leq 20 \text{ г/кг}. \quad (4c)$$

Влагосодержание воздуха d , г/кг, можно определить по формуле [9, 10]

$$\varphi = k_t d, \quad (5)$$

где угловой коэффициент k_t при различных значениях температуры [14]:

$$k_t = 24,39e^{-0,062t}. \quad (6)$$

Наружные ограждения должны иметь приведённое сопротивление влагопередаче R_0^0 , м²·ч·В/кг, не меньше нормируемого значения определяемого по формуле [15]:

$$R_{\text{req}}^0 = (\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}}) / \Delta \theta_n \beta_{\text{int}}^0, \quad (7)$$

где $\Delta \theta_n$ – нормируемый перепад потенциалов влажности, °В;

β_{int}^0 – коэффициент влагообмена на внутренней поверхности ограждения, кг/(м²·ч·В).

Сопротивление влагонепроходимости R_0^0 ограждающей конструкции равно [14, 16, 17]:

$$R_0^0 = \sum_{i=1}^n (\delta_i / \chi_i), \quad (8)$$

где δ_i – толщина i -го слоя ограждающей конструкции, м;

χ_i – коэффициент влагопроводности материала i -го слоя, кг/(м·ч·°В);

n – число слоёв в ограждении.

Результаты исследования

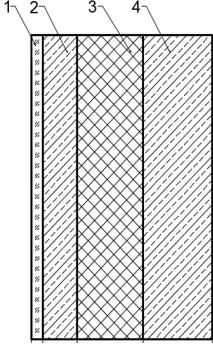
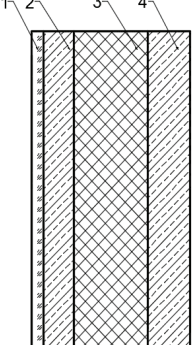
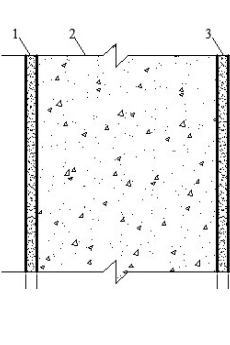
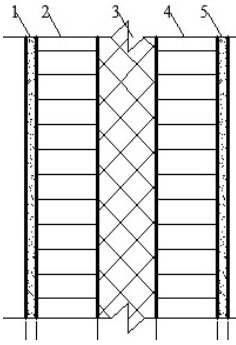
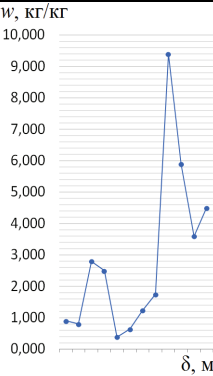
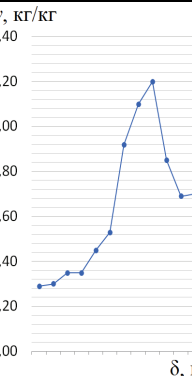
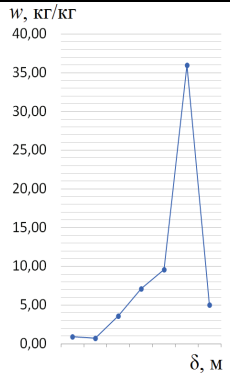
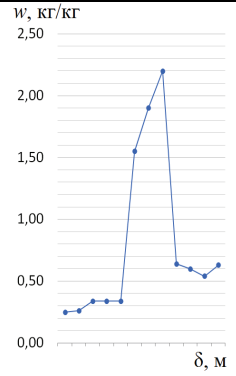
Расчет ограждающих конструкций на основе потенциала влажности производился по следующей

методике [18]. По профилю температуры $t(x)$ определялся профиль максимального сорбционного потенциала влажности $\theta(x)$. По наибольшему положительному отклонению θ от θ_{ms} определялось наиболее опасное сечение в конструкции – плоскость наибольшего увлажнения. Затем строился профиль относительного потенциала влажности $\theta_\phi(x)$. На основе зависимостей $w(\theta_\phi)$ [19] строился профиль равновесного влагосодержания материалов ограждающей конструкции $w(x)$, (таблица).

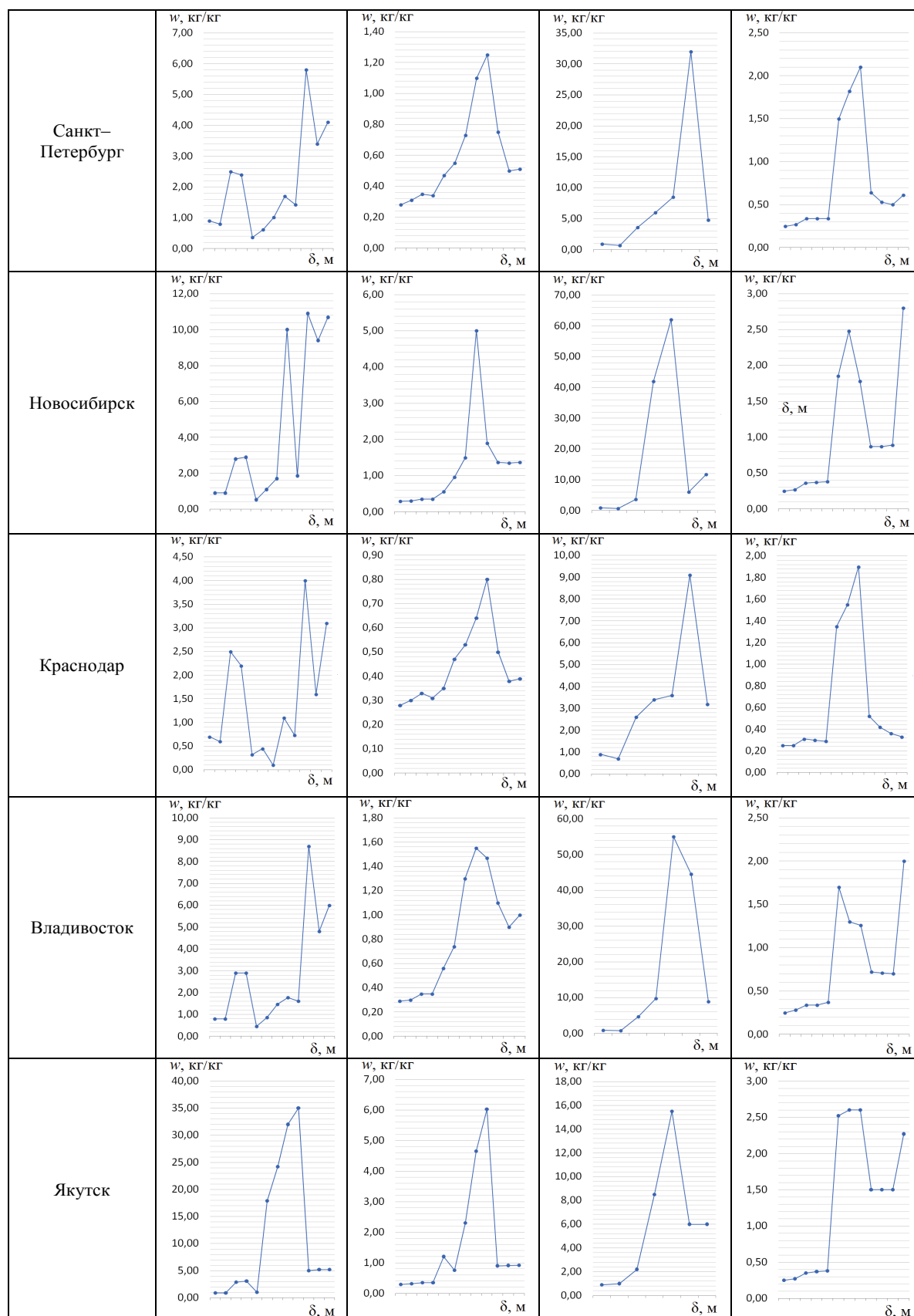
Максимальный сорбционный потенциал влажности определялся по формуле [14, 17]:

$$\theta_{ms} = \frac{5314}{1 + 107,08 \cdot e^{-0,106t}}. \quad (9)$$

Таблица. Результаты расчёта влагонакоплений в наружных ограждениях

	Конструкция наружной стены			
	 <p>1 – цементно-песчаный раствор ($\rho = 1\,800 \text{ кг/м}^3$) 2, 4 – керамзитобетон ($\rho = 1\,300 \text{ кг/м}^3$) 3 – плиты минераловатные жесткие ($\rho = 200 \text{ кг/м}^3$)</p>	 <p>1 – гипсовый обшивной лист ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$) 2, 4 – железобетон ($\rho = 2\,500 \text{ кг/м}^3$) 3 – плиты минераловатные жесткие ($\rho = 200 \text{ кг/м}^3$)</p>	 <p>1 – цементно-песчаный раствор ($\rho = 1\,800 \text{ кг/м}^3$) 2 – пенобетон ($\rho = 400 \text{ кг/м}^3$) 3 – известняк ($\rho = 1\,400 \text{ кг/м}^3$)</p>	 <p>1, 5 – гипсовый обшивной лист ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$) 2, 4 – кладка из глиняного кирпича 3 – пенополистирол</p>
Москва	Влагонакопления, w , кг/кг			
				

Окончание таблицы



По максимальному сорбционному потенциалу влажности определялись влагонакопления в стенах строительных конструкций [19]. Анализ профиля влагосодержания показывает, сколько влаги содержится на стыках различных материалов. Расчёт проводился для четырёх конструкций наружных стен жилых помещений ($t_g = 21^\circ \text{C}$; $\varphi_g = 50$) в шести городах Российской Федерации.

Выводы

Результаты расчёта позволили сделать выводы о целесообразности применения строительных конструкций разного типа по условиям влагонакопления.

Пористые конструкции из пенобетона в большинстве городов накапливают значительно больше влаги, чем конструкции из других мате-

риалов. При этом такие конструкции обладают наибольшей теплоустойчивостью в сухом состоянии. Очевидно, что значительное влагонакопление будет снижать теплоустойчивость конструкций из пористых бетонов, что необходимо учитывать при проектировании микроклимата помещений.

Применение теории потенциала влажности в расчете переноса влаги через наружные ограждения даёт возможность одновременно учитывать перемещение жидкой и парообразной влаги под действием градиента потенциала влажности в условиях нестационарной влагопередачи.

Расчет наружных ограждений на основе теории потенциала влажности позволит повысить качество проектирования, приведет к повышению надёжности и долговечности строительных конструкций и к поддержанию оптимальных параметров микроклимата.

Литература

1. Корниенко, С. В. Уточнение расчётных параметров микроклимата помещений при оценке влагозащитных свойств ограждающих конструкций [Текст] / С. В. Корниенко // Вестник МГСУ. 2016. № 11. С. 142–145.
2. Revel, G. M. Development and Experimental Evaluation of a Thermography Measurement System for Real-Time Monitoring of Comfort and Heat Rate Exchange in the Built Environment [Text] / G. M. Revel, F. Sabbatini, M. Arnesalo // Measurement Science and Technology. 2012. Vol. 23, № 3. P. 223–231.
3. Lee, R. J. The effect of a surfactant monolayer of oxygen transfer across an air/water interface during mixed convection [Text] / R. J. Lee, J. R. Saylor // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2010. Vol. 53. P. 3405–3413.
4. D'Agostino, D. Moisture dynamics in an historical masonry structures: the Cathedral of Lecce (South Italy) [Text] / D. D'Agostino // Building and Environment. 2013. Vol. 63. P. 122–133.
5. Pasztory, Z. Multi-Layer Heat-Insulation System for Frame Construction Buildings [Text] / Z. Pasztory, P. N. Peralta, I. Peszlen // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. Issues 2–3. P. 713–717. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.016>.
6. Heat transfer model for a cementitious-based insulation with moisture [Text] / H. Sadiq, M. B. Wong, X. L. Zhao, R. Al-Mahaidi // Fire and materials. 2014. Vol. 38. Issue 5. P. 550–558.

References

1. Kornienko, S. V. Refinement of the calculated parameters of the indoor microclimate in assessing the moisture-proof properties of enclosing structures [Text] / S.V. Kornienko // In: *Vestnik MGSU*. 2016. № 11. P. 142 – 145. (in Russian)
2. Revel, G. M. Development and Experimental Evaluation of a Thermography Measurement System for Real-Time Monitoring of Comfort and Heat Rate Exchange in the Built Environment [Text] / G. M. Revel, F. Sabbatini, M. Arnesalo // In: *Measurement Science and Technology*. 2012. Vol. 23, № 3. P. 223–231.
3. Lee, R. J. The effect of a surfactant monolayer of oxygen transfer across an air/water interface during mixed convection [Text] / R. J. Lee, J.R Saylor // In: *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2010. Vol. 53. P. 3405–3413.
4. D'Agostino, D. Moisture dynamics in an historical masonry structures: the Cathedral of Lecce (South Italy) [Text] / D. D'Agostino // In: *Building and Environment*. 2013. Vol. 63. P. 122–133.
5. Pasztory, Z. Multi-Layer Heat-Insulation System for Frame Construction Buildings [Electronic resource] / Z. Pasztory, P. N. Peralta, I. Peszlen // In: *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. Issues 2–3. P. 713–717. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.016>.
6. Heat transfer model for a cementitious-based insulation with moisture [Text] / H. Sadiq, M. B. Wong, X. L. Zhao, R. Al-Mahaidi // In: *Fire and materials*. 2014. Vol. 38. Issue 5. P. 550–558.

7. Woroniak, G. Effects of pollution reduction and energy consumption reduction in small churches in Drohiczyn community [Text] / G. Woroniak, J. Piotrowska – Woroniak // *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 72. P. 51–61.
8. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст] / К. Ф. Фокин; Под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
9. Богословский, В. Н. Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий [Текст] / В. Н. Богословский. – М.: МГСУ, 2013. – 112 с.
10. Богословский, В. Н. К определению потенциала влажности наружного климата [Текст] / В. Н. Богословский, Б. В. Абрамов // Сборник трудов Московского инженерно-строительного института. – М.: Моск. инженер.-строит. ин-т., 1980. – Вып. 176. – С. 33–41.
11. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика [Текст] / В. Н. Богословский. – М.: АВОК Северо-Запад, 2006. – 400 с.
12. Кучеренко, М. Н. Термодинамическое обоснование графоаналитического решения задачи влагопереноса в слое биологически активной продукции [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Кучеренко Марина Николаевна. – Нижний Новгород : [б. и.], 2005. – 21 с.
13. Кучеренко, М. Н. Применение теории потенциала влажности для расчёта переноса влаги через наружные ограждения [Текст] / М. Н. Кучеренко, Е. В. Чиркова // Известия вузов. Строительство. 2013. № 5. С. 63–67.
14. Корниенко, С. В. Температурно-влажностный режим наружных стен с вентилируемым фасадом [Текст] / С. В. Корниенко // ACADEMIA. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 389–394.
15. Бодров, В. И. Регулирование интенсивности потоков влаги в наружных ограждениях [Текст] / В. И. Бодров, М. Н. Кучеренко // Приволжский научный журнал. 2012. № 4. С. 85–89.
16. Корниенко, С. В. Инженерная оценка влажности наружных стен [Текст] / С. В. Корниенко // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2015. Вып. 1(37). С. 1–13.
17. Корниенко, С. В. Метод инженерной оценки влажностного режима ограждающих конструкций на основе потенциала влажности [Текст] / С. В. Корниенко // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 2. С. 46–48.
18. Применение теории потенциала влажности для оценки влагозащитных свойств ограждающих конструкций [Текст] / Т. А. Рафальская, Р. Ш. Мансуров, А. С. Митапов, Е. А. Ракова // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : матер. X Всероссийской научно-техн. конф. (11–13 апреля 2017 г., г. Новосибирск) / НГАСУ (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2017. – С. 224–232.
7. Woroniak, G. Effects of pollution reduction and energy consumption reduction in small churches in Drohiczyn community [Text] / G. Woroniak, J. Piotrowska-Woroniak // In: *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 72. P. 51–61.
8. Fokin, K. F. Building heat engineering of enclosing parts of buildings [Text] / K. F. Fokin ; Ed. Yu. A. Tabunshchikova, V. G. Gagarin. – M.: AVOK-PRESS, 2006. – 256 p. (in Russian)
9. Bogoslovsky, V. N. Fundamentals of the theory of the potential of moisture of a material with reference to external enclosures for building envelopes [Text] / V. N. Bogoslovsky. – M.: MGSU, 2013. – 112 p. (in Russian)
10. Bogoslovsky, V. N. On the definition of the humidity potential of the outdoor climate [Text] / V. N. Bogoslovsky, B. V. Abramov // In: *Proceedings of the Moscow Civil Engineering Institute*. – M.: MEBI, 1980. – Vol. 176. – P. 33–41. (in Russian)
11. Bogoslovsky, V. N. Building Thermal Physics [Text] / V. N. Theological. – M.: AVOK North-West, 2006. – 400 p. (in Russian)
12. Kucherenko, M. N. Thermodynamic substantiation of a graph-analytical solution of the moisture transfer problem in a layer of biologically active products [Text] : author. dis. ... Ph.D. (Eng.) : 05.23.03 / Kucherenko Marina. – Nizhny Novgorod : [s. l.], 2005. – 21 p. (in Russian)
13. Kucherenko, M. N. Application of the theory of the potential of humidity to calculate the moisture transfer through external fences [Text] / M. N. Kucherenko, E. V. Chirkova // In: *Izvestiya Vuzov. Building*. 2013. № 5. P. 63–67. (in Russian)
14. Kornienko, S. V. Temperature and Humidity Regime of Exterior Walls with Ventilated Facade [Text] / S. V. Kornienko // In: *ACADEMIA. Architecture and construction*. 2009. № 5. P. 389–394. (in Russian)
15. Bodrov, V. I. Regulation of the intensity of moisture flows in external fences [Text] / V. I. Bodrov, M. N. Kucherenko // In: *Privolzhsky Scientific Journal*. 2012. № 4. P. 85–89. (in Russian)
16. Kornienko, S. V. Engineering estimation of moisture content of external walls [Text] / S. V. Kornienko // In: *VolgGASU Internet-Bulletin. Ser.: Polythematic*. 2015. Vol. 1(37). P. 1–13. (in Russian)
17. Kornienko, S. V. A method of engineering assessment of the moisture regime of enclosing structures based on the humidity potential [Text] / S. V. Kornienko // In: *Industrial and Civil Construction*. 2008. № 2. P. 46–48. (in Russian)
18. Application of the theory of the potential of humidity to assess the moisture-proof properties of enclosing structures [Text] / T. A. Rafalskaya, R. Sh. Mansurov, A. S. Mitapov, E. A. Rakova // Actual problems of architecture and construction: materials of the X All-Russian Scientific and Technical Conference (April 11–13 April 2017, Novosibirsk) / Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin). – Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2017. – C. 224–232. (in Russian)

19. Корниенко, С. В. Характеристики состояния влаги в материалах ограждающих конструкций зданий [Текст] / С. В. Корниенко // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 74–76.
19. Kornienko, S. V. Characteristics of the state of moisture in building envelope materials [Text] / S. V. Kornienko // In: *Building Materials*. 2007. № 4. P. 74–76. (in Russian)

Рафальская Татьяна Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)». Научные интересы: теплоснабжение, строительная теплофизика, микроклимат помещений, теплоэнергетика, энергосбережение.

Рафальська Тетяна Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання та вентиляції ФГБОУ ВО «Новосибірський державний архітектурно-будівельний університет (Сибстрін)». Наукові інтереси: теплопостачання, будівельна теплофізика, мікроклімат приміщень, теплоенергетика, енергозбереження.

Rafalskaya Tatyana – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin). Scientifics interests: heat supply, building heat physics, indoor microclimate, power system, energy saving.