

УДК: 699.86  
DOI: 10.52409/20731523\_2022\_3\_45  
EDN: JDAYJE



## К вопросу оценки переувлажнения конструкций в местах теплотехнических неоднородностей

А.С. Петров<sup>1</sup>, А.М. Юзмухаметов<sup>1</sup>, А.И. Иванцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация:** *Постановка задачи.* В действующих нормативных документах (СП 50.13330 и ISO 13788) учёт защиты от переувлажнения выполняют по глади конструкции, то есть в теплотехнически однородных частях ограждения. Требование защиты от переувлажнения неоднородных узлов отсутствует. Вместе с тем, натурные и численные исследования показывают, что во многих случаях переувлажнение происходит именно в местах теплотехнической неоднородности. Поэтому не учёт данной проблемы на этапе проектирования может привести к потере теплофизических свойств конструкций и их долговечности. Качественная оценка степени увлажнения теплотехнической неоднородности становится доступной широкому кругу инженеров в связи с появлением специализированного программного обеспечения (ПО). Однако остаются неясными вопросы как самого метода подобного расчета, так и трактовки полученных результатов. Таким образом целью исследования является оценка действующих методов определения влажностного состояния ограждающих конструкций на примере типового узла теплотехнической неоднородности.

*Результаты.* Приведены результаты численного исследования влажностного состояния фрагмента ограждения на основе программного комплекса с двухмерным переносом парообразной влаги по Г. Глазеру. По полученным полям влажности уточнены расчетные величины теплопроводности по сечению фрагмента. Приведен пример оценки переувлажнения конструкции, разработанный на основе упрощенных стационарных методов Г. Глазера, а также Сафина И.Ш. и Куприянова В.Н.

*Выводы.* Показано, что выполнение требований по защите от переувлажнения однородного фрагмента конструкции согласно п.8 СП 50.13330 недостаточно, в дополнение к существующим расчетам необходима оценка возможного переувлажнения в местах теплотехнической неоднородности. Предложен альтернативный метод оценки влажностного состояния конструкций от переувлажнения в местах теплотехнической неоднородности, разработанный на основе методов Г. Глазера, И. Ш. Сафина и В. Н. Куприянова.

**Ключевые слова:** конструкции наружных стен, температурно-влажностное состояние, конденсация, поля влажности, теплотехническая неоднородность.

**Для цитирования:** А.С. Петров, А.М. Юзмухаметов, А.И. Иванцов К вопросу оценки переувлажнения конструкций в местах теплотехнических неоднородностей // Известия КГАСУ, 2022, №3 (61), с. 45-55, DOI:10.52409/20731523\_2022\_3\_45, EDN: JDAYJE

# Assessing overmoistening of structures in places of heat engineering inhomogeneities

A.S. Petrov<sup>1</sup>, A.I. Ivantsov<sup>1</sup>, A.M. Yuzmukhametov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

**Abstract:** In existing regulatory documents (SP 50.13330 and ISO 13788), overmoistening protection is taken into account along the surface of the structure, that is, in thermally homogeneous parts of the enclosure. There is no requirement for protection against overmoistening of inhomogeneous nodes. At the same time, field and numerical studies show that in many cases overmoistening occurs precisely in places of thermal inhomogeneity. A qualitative assessment of the degree of moistening of thermal inhomogeneity becomes available to a wide range of engineers in connection with the advent of specialized software. However, the questions of both the method of such a calculation and the interpretation of the results obtained remain unclear.

The results of a numerical study of the moisture state of the enclosure fragment based on a software package with a two-dimensional transfer of vaporous moisture according to G. Glaser are presented. Based on the moisture fields obtained, the calculated values of thermal conductivity over the fragment cross section were refined. An example of assessing overmoistening of a structure based on simplified stationary methods by G. Glaser, Safin I.Sh. and Kupriyanov V.N. is given.

It is shown that the fulfillment of the requirements for protection against overmoistening of a homogeneous fragment of a structure in accordance with paragraph 8 of SP 50.13330 is not enough, in addition to existing calculations, it is necessary to assess possible moistening in places of heat engineering heterogeneity. The alternative method for protecting structures from moistening in places of heat engineering heterogeneity is proposed based on the methods of G. Glaser, I. Sh. Safin and V.N. Kupriyanov.

**Key words:** external wall structures, temperature and humidity conditions, condensation, humidity fields, heat engineering inhomogeneity.

**For citation:** Petrov A.S., Juzmukhametov A. M., Ivantsov A. I. Assessing overmoistening of structures in places of heat engineering inhomogeneities // News KSUAE, 2022, №3 (61), pp. 45-55, DOI: 10.52409/20731523\_2022\_3\_45, EDN: JDAYJE

## 1. Введение

Представление о влажности материальных слоев ограждающих конструкций зачастую играет решающую роль при обеспечении тепловой защиты зданий, защиты ограждений от переувлажнения, коррозии металлических деталей и т.п. От значений расчетной эксплуатационной влажности материалов зависят величины теплопроводности ( $\lambda$ ) и паропроницаемости ( $\mu$ ) [1], которые применяются в стандартах стационарного [СП 50.13330, ISO 13788] и нестационарного [ГОСТ 32494, BS EN 15026] методов оценки влажностного состояния конструкций. На этапе проектирования инженеру необходимо знать как величину эксплуатационной влажности материалов, так и обеспечить защиту от их переувлажнения. Эксплуатационная влажность материалов ограждающих конструкций уточнялась и обобщалась с 60х годов [2, 3] по настоящее время, согласно НИИСФ РААСН [4] и других [5–8]. Здесь стоит отметить, что таким образом были получены величины эксплуатационной влажности для однородных фрагментов наружных стен. Расчетная эксплуатационная влажность в местах стыков различных элементов, откосах и других теплотехнических неоднородностях изучена в гораздо меньшей степени, как и вопрос их защиты от переувлажнения. Стандартный расчет защиты от переувлажнения согласно п.8 СП 50.13330 выполняется для однородной части стены и не учитывает теплотехнические неоднородности в оболочке здания. Существует опасение, что развитие стандартной методики защиты от переувлажнения [9–11] в этом плане может оказаться тупиковым так как введенные авторами абстрактные математические понятия как  $f_{L,M,Y}$  и набор правил определения «плоскости максимального

увлажнения» справедливы только для простых однородных фрагментов стен, а их применение в области неоднородных узлов конструкций невозможно или приведет к существенному увеличению справочных таблиц и абстрактных правил. Данный подход согласно СП 50.13330 не позволяет прогнозировать даже качественную картину увлажнения конструкций в ее неоднородных фрагментах, не говоря уже об обеспечении защиты от переувлажнения. В качестве альтернативы продолжают активно разрабатываться инженерные методы оценки переувлажнения, не требующие комплексных и трудоемких расчетов [12–14]. При этом данные методы свободны от абстрактных понятий и базируются на ясных принципах возникновения конденсата, а их применение вкупе с программным обеспечением с учетом двухмерного переноса парообразной влаги по сечению фрагмента позволит решить указанные выше проблемы.

Таким образом, в настоящем исследовании поставлены следующие задачи:

1. Оценить действующие стандартные методы защиты конструкций от переувлажнения с точки зрения учета увлажнения материалов в местах теплотехнической неоднородности.

2. Разработать упрощенный стационарный метод определения степени увлажнения теплотехнически неоднородных узлов конструкций.

3. Дать сравнительный анализ результатов расчета количества конденсированной влаги в ограждениях по нормативной литературе.

4. Оценить действующий стандартный метод определения расчетной теплопроводности материалов ограждающих конструкций на этапе проектирования.

## 2. Материалы и методы

Объектом исследования выбран типовой узел примыкания плиты перекрытия к наружной стене, рисунок 1.

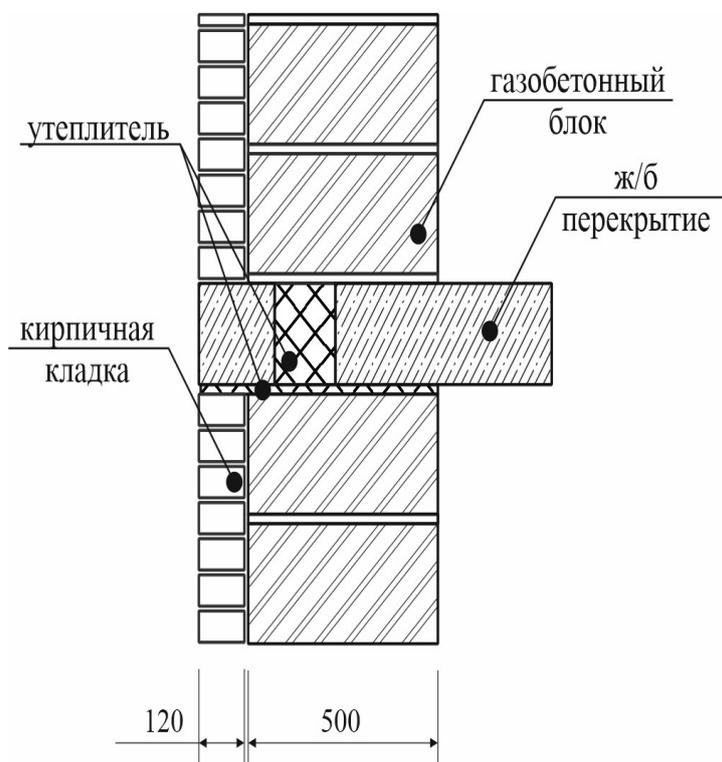


Рис. 1: Узел теплотехнической неоднородности. Примыкание плиты перекрытия к наружной стене (иллюстрация авторов)

Fig. 1: Construction fragment of thermal inhomogeneity. Adjacency of the floor slab to the outer wall (illustration by the authors)

Граничные условия определены для климатических условий города Казани. Теплофизические характеристики материалов, используемые в конструкции указаны в таблице 1.

Таблица 1

Материал	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda_A$ , Вт/м·°С	$\mu^*$	$\delta$ , мм
Железобетон	2500	1,92	80	220
Термовкладыш «Технофас»	160	0,042	2,4	160
Газобетон	400	0,14	3,13	500
Цементно-песчаный раствор	1800	0,76	8	10
Кирпичная кладка	1800	0,70	6,5	120

\*Примечание – величина паропроницаемости  $\mu$  дана в относительных величинах, как отношение паропроницаемости воздуха  $\mu_v$  к паропроницаемости материала, где  $\mu_v = 0,72$  мг/м·ч·Па

Для оценки влажностного состояния узла конструкции предложен упрощенный стационарный метод определения степени увлажнения теплотехнически неоднородных узлов конструкций на основе методов Г. Глазера, И. Ш. Сафина и В. Н. Куприянова. Суть метода сводится к определению двухмерного влажностного поля по сечению конструкции с последующим расчетом температуры начала конденсации, что позволяет определить местоположение конденсата в узле конструкции и количество конденсата за период влагонакопления.

Для анализа влажностного состояния узла конструкции использовалась программа двухмерного моделирования переноса тепла и водяного пара NTflux. Алгоритм программного обеспечения (ПО) базируется на расчете двухмерного перемещения парообразной влаги по сечению конструкции без учета перемещения жидкой влаги. С помощью данного ПО были получены температуры начала конденсации, поля относительной и конденсированной влаги по сечению конструкции, включая количество конденсата в сутки.

По методу [13, 15] определены температуры начала конденсации в однородном фрагменте конструкции  $t_{нк}$  и сопоставлены с результатом компьютерного анализа NTflux. Продолжительность конденсации водяного пара в заданных климатических условиях определялась путем сопоставления величины  $t_{нк}$  ограждающей конструкции с годовым ходом температуры наружного воздуха [13].

С целью определения весовой влажности материальных слоев конструкции использовались справочные данные значений сорбционных влажностей материалов, таблица 2.

Таблица 2

### Значения сорбционных влажностей материалов

Отн. влаж. воздуха, $\phi$ , %	Влажность по массе, $w_m$ , %/по объёму, $w_o$ , %									
	Ж/б		Газобетон		ЦП раствор		Кирпич керамический		Мин. вата	
	2500 кг/м <sup>3</sup>		400 кг/м <sup>3</sup>		1800 кг/м <sup>3</sup>		1800 кг/м <sup>3</sup>		160 кг/м <sup>3</sup>	
	$w_m$	$w_o$	$w_m$	$w_o$	$w_m$	$w_o$	$w_m$	$w_o$	$w_m$	$w_o$
10	0,15	0,375	1,1	0,44	0,5	0,9	0,01	0,017	0,07	0,007
20	0,3	0,75	1,8	0,72	0,9	1,62	0,03	0,051	0,1	0,01
30	0,4	1	2,1	0,84	1,1	1,98	0,04	0,068	0,15	0,015
40	0,45	1,125	2,3	0,92	1,3	2,34	0,05	0,085	0,2	0,02
50	0,55	1,375	2,5	1	1,5	2,7	0,07	0,119	0,25	0,025
60	0,7	1,75	2,7	1,08	1,8	3,24	0,1	0,17	0,3	0,03
70	0,8	2	3,0	1,2	2,1	3,78	0,16	0,272	0,35	0,035
80	0,9	2,18	3,6	1,44	2,7	4,86	0,24	0,408	0,6	0,06
90	1	2,5	5,5	2,2	3,2	5,76	0,36	0,612	0,8	0,08
97	1,14	2,85	10,4	4,16	3,76	6,77	0,49	0,833	1,25	0,125
100	1,2	3	12,5	5	4	7,2	0,55	0,935	1,45	0,145

$w_v, w_o$  – весовая и объемная влажность материала, %

Определение расчетных величин теплопроводности в зависимости от влажности материала выполнялось на основе исследований Кауфмана согласно:

$$\Delta\lambda = \Delta w_0 \cdot m, \quad (1)$$

где  $\Delta w_0$  – приращение объемной влажности материала,  $m$  – процент увеличения теплопроводности материала на 1 % объемной влажности. Величина  $m$  для минеральной ваты плотностью 150 кг/м<sup>3</sup> равна  $m=6,6$  %; для газобетона плотностью 400 кг/м<sup>3</sup> – 15 %;

для бетона плотностью  $2500 \text{ кг/м}^3$  – 6,3 %, для керамического кирпича плотностью  $1700 \text{ кг/м}^3$  – 7,35 %; для цементно-песчаного раствора плотностью  $1800 \text{ кг/м}^3$  – 7,1 %.

### 3. Результаты

Температура начала конденсации в рассматриваемом узле оказалась равной  $4,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Конденсат образуется между наружной поверхностью термовкладыша и железобетонным перекрытием, как показано флажком на рисунке 2.

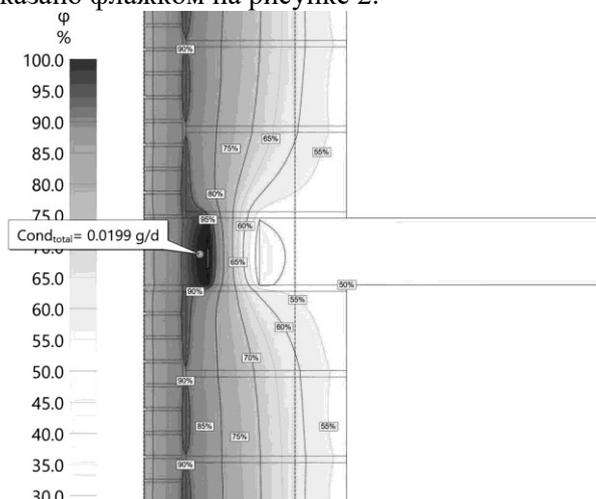


Рис. 2: Поля влажности. Флажком указано место начала конденсации (иллюстрация авторов)  
 Fig. 2: Humidity fields. The flag indicates the place where condensation began (illustration by the authors)

Таким образом, можно видеть, что первоначально конденсат образуется не в однородном участке стены, а в теплотехнической неоднородности, что невозможно определить по стандартному методу СП 50.13330. Период влагонакопления определен как период со среднемесячными температурами наружного воздуха ниже  $4,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , соответственно, что для Казани составило по климатическим данным около 150 суток. Результаты расчета характеристик периода влагонакопления сведены в таблицу 3.

Таблица 3  
 Граничные условия для г. Казани и результаты расчета в теплотехнической неоднородности узла конструкции

Температура внутреннего воздуха $t_{в}, \text{ }^\circ\text{C}$	Температура наружного воздуха $t_{н}, \text{ }^\circ\text{C}$	Относит. влажность внутреннего воздуха $\varphi_{в}, \text{ %}$	Относит. влажность наружного воздуха $\varphi_{н}, \text{ %}$	Температура начала конденсации $t_{нк}, \text{ }^\circ\text{C}$	Период влагонакопления для условий Казани, суток
20	4,7	50	80	4,7	150

Температура начала конденсации в однородной части узла оказалась равной  $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , рисунок 3. Конденсат образуется на стыке между газоблоком и наружной кирпичной кладкой.

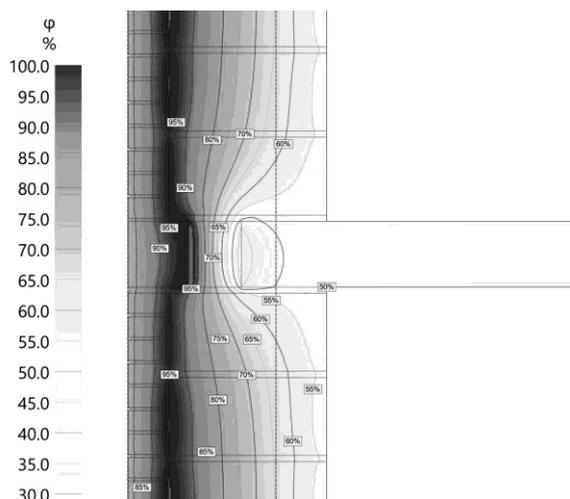


Рис. 3: Поля влажности. Момент начала конденсации в однородной части стены. (иллюстрация авторов)

Fig. 3: Humidity fields. Moment of the beginning of condensation in a homogeneous part of the wall. (authors illustration)

При этом можно видеть, что плоскость конденсации между термовкладышем и плитой перекрытия при данной температуре (1,5°C) представляет собой уже зону конденсации. Период влагонакопления определен как период со среднемесячными температурами наружного воздуха ниже 1,5 °С, соответственно, что для Казани составило по климатическим данным около 120 суток. Результаты расчета характеристик периода влагонакопления сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Граничные условия для г. Казани и результаты расчета в теплотехнической неоднородности узла конструкции

Температура внутреннего воздуха $t_{в}, °C$	Температура наружного воздуха $t_{н}, °C$	Относит. влажность внутреннего воздуха $\phi_{в}, \%$	Относит. влажность наружного воздуха $\phi_{н}, \%$	Температура начала конденсации $t_{нк}, °C$	Период влагонакопления для условий Казани, суток
20	1,5	50	80	1,5	120

Расчет степени увлажнения материалов определялся в приложении NTflux для железобетонной плиты и газобетонного блока. Количество конденсата определяется программным приложением по традиционному методу Г. Глазера согласно выражению:

$$G = \frac{e_{в} - E_{к}}{R_{пв}} - \frac{E_{к} - e_{н}}{R_{пн}}, \text{ мг/м}^2\text{ч} \tag{2}$$

где  $e_{в}$  и  $e_{н}$  – парциальное давление внутреннего и наружного воздуха соответственно, Па;  $E_{к}$  – парциальное давление в плоскости конденсации, Па;  $R_{пв}$  и  $R_{пн}$  – величина сопротивления паропроницанию внутренней части конструкции до плоскости конденсации и величина сопротивления паропроницанию наружной части конструкции, соответственно,  $\text{м}^2\text{чПа/мг}$ .

Величина приращения весовой влажности в материалах  $\Delta w, \%$  определялась по выражению:

$$\Delta w = \frac{g}{\rho \cdot V} \cdot 100, \% \tag{3}$$

где  $g$  – количество конденсата, выпадающего в одном квадратном метре конструкции за весь период влагонакопления,  $\text{кг/м}^2$ ;  $\rho$  – плотность материала при 100% сорбционном увлажнении,  $\text{кг/м}^3$ ;  $V$  – объем одного квадратного метра увлажняемой части конструкции,  $\text{м}^3$ .

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.

Таблица 5

Характеристики увлажнения материалов конструкции за период влагонакопления и соответствие требованиям нормативной литературы

	железобетон	газобетон
период влагонакопления, сут	150	120
$G, \text{ г/м}^2\text{сут}$	3,67	2,69
$g, \text{ кг/м}^2$	0,55	0,32
$d, \text{ м}$ толщина увлажняемого слоя (определена графически по HTflux)	0,01	0,02
$\Delta w, \%$	2,17	2,86
соответствие требованиям СП 50.13330	не соответствует $2,17 > 2,0$	соответствует $2,86 < 6,0$
соответствие требованиям ISO 13788	не соответствует $550 \text{ г/м}^2 > 200 \text{ г/м}^2$	не соответствует $320 \text{ г/м}^2 > 200 \text{ г/м}^2$

#### 4. Обсуждение

Анализ результатов показывает, что приращение весовой влажности в увлажняемом участке железобетонной плиты превышает нормативную величину на 2,0 % согласно п.8 СП 50.13330, в то время как весовая влажность газобетона находится в пределах нормы. Данный факт может указывать на непригодность данного конструктивного решения в условиях эксплуатации Казани с точки зрения защиты от переувлажнения. Стоит также отметить и различия в трактовке полученных результатов в нормативной литературе. Согласно ISO 13788 максимально допустимое количество влаги за период влагонакопления не должно превышать  $200 \text{ г/м}^2$  вне зависимости от вида материала. В рассмотренных материалах конструкции количество конденсата превышает эту величину. Следовательно, однородная часть конструкции удовлетворяет требованиям СП 50.13330, но не удовлетворяет требованиям ISO 13788.

Здесь стоит отметить, что использованный метод расчета имеет тенденцию к завышению получаемых результатов, так как степень увлажнения определена для стационарного процесса конденсации. Также метод Г. Глазера применим преимущественно для плоскостей конденсации. Если в конструкции появляется зона конденсации, то определение количества конденсата по выражению (2) может дать существенное завышение результатов. Вместе с тем, выполненный пример расчета наглядно демонстрирует качественную картину и указывает на необходимость защиты от переувлажнения не только однородных фрагментов наружных стен, но и узлов теплотехнической неоднородности.

Для анализа расчетных величин теплопроводности материалов был выполнен расчет весовой влажности каждого сегмента конструкции при средней температуре наиболее холодного месяца ( $-11,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ), рисунок 4.

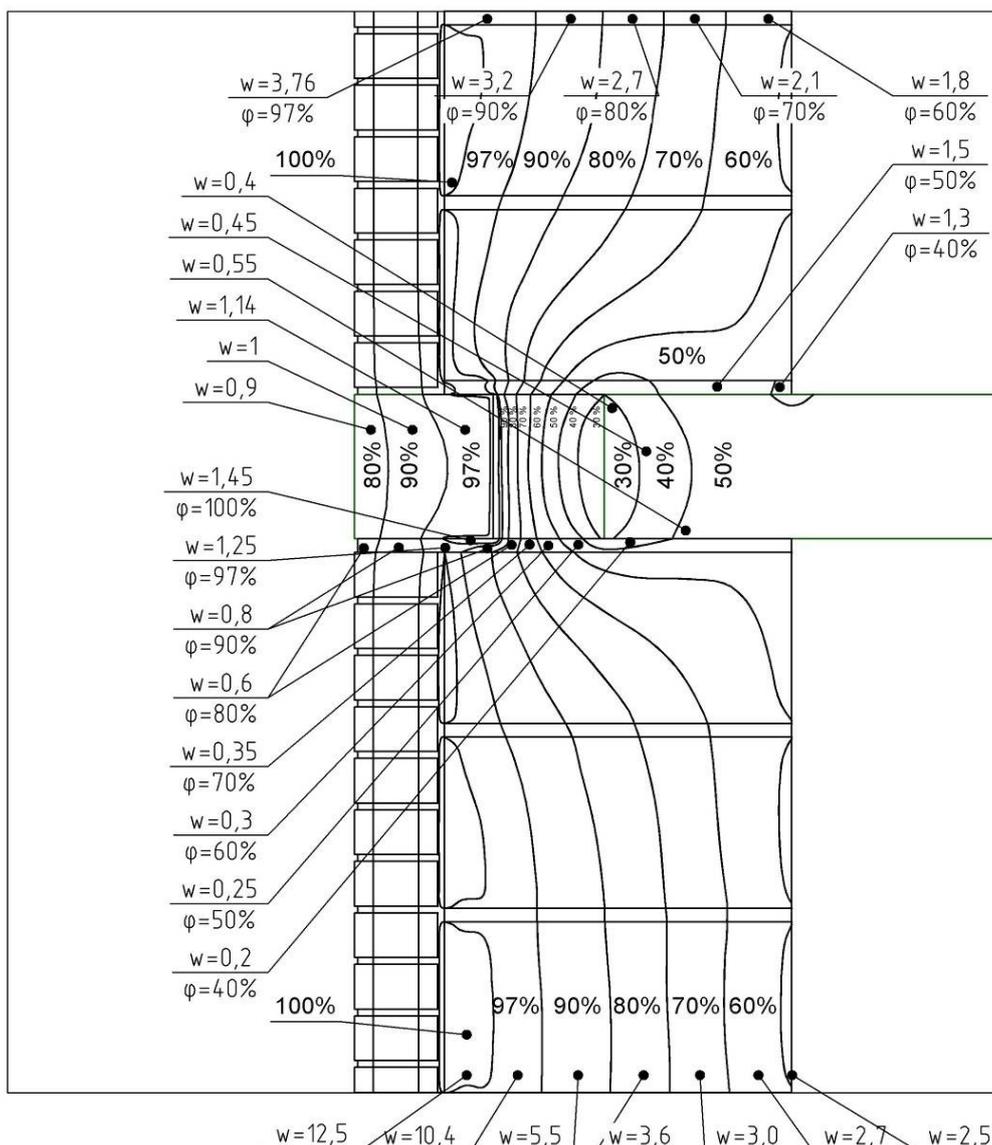


Рис. 4: Поля влажности по сечению конструкции с указанием весовой влажности для каждого сегмента. Каждый сегмент подписан величиной весовой и относительной влажности, % (иллюстрация авторов)

Fig. 4: Humidity fields along the structure section with indication of weight moisture content for each segment. Each segment is signed by weight and relative humidity, % (illustration by the authors)

Можно видеть, что распределение влажности по сечению конструкции неравномерное, что может повлиять на величину расчетной теплопроводности материалов. Для каждого сегмента конструкции по выражению (1) были определены и усреднены величины теплопроводности материалов. Для оценки величин расчетной теплопроводности удобно воспользоваться таблицей 6, где они представлены в зависимости от весовой влажности. Сравнение расчетных величин теплопроводности (столбец 5) со справочными величинами (столбцы 6 и 7), позволяет говорить лишь о некоторой согласованности этих величин. Так, расчетная теплопроводность железобетона и газобетона оказалось несколько выше справочных значений, в то время как эти величины для кирпичной кладки и утеплителя оказались несколько заниженными. Данные результаты демонстрируют неопределенность в данном вопросе, что может привести к погрешности вычислений при применении справочных величин теплопроводности, которые представлены в СП 50.13330 как  $\lambda_A$  и  $\lambda_B$ , соответственно. Следовательно, существует необходимость научного развития метода определения расчетной теплопроводности ограждающих конструкций на этапе проектирования.

Таблица 6

Оценка величины теплопроводности материалов узла конструкции с учетом полей влажности

1	2	3	4	5	6	7
Материал	Сегмент поля по отн. влажности %	$w_{cp}$ сегмента, %	$\lambda_1$ сегмента, Вт/(м·°С)	$\lambda_{пр}$ , Вт/(м·°С) Средняя	$\lambda_{пр}$ , Вт/(м·°С) А	$\lambda_{пр}$ , Вт/(м·°С) Б
Железобетон $w_A=2\%$ ; $w_B=3\%$	30	0.4	1,8	2,02	1,92	2,04
	40	0.45	1,81			
	50	0.55	1,84			
	80	0.872	1,92			
	90	1	1,96			
	97	1.14	1,99			
	100	4	2,75			
Газобетон $w_A=8\%$ ; $w_B=12\%$	40	2.3	0,13	0,17	0,14	0,15
	50	2.5	0,13			
	60	2.7	0,13			
	70	3	0,13			
	80	3.6	0,13			
	90	5.5	0,15			
	97	10.4	0,18			
Рас-р цем.-песчаный $w_A=2\%$ ; $w_B=4\%$	40	1.3	0,68	0,8	0,76	0,93
	50	1.5	0,69			
	60	1.8	0,71			
	70	2.1	0,74			
	80	2.7	0,78			
	90	3.2	0,82			
	97	3.7	0,86			
Кир. кл. $w_A=1\%$ ; $w_B=2\%$	80	0.24	0,58	0,585	0,7	0,81
	90	0.36	0,59			
	97	0.49	0,59			
Мин. вата $w_A=2\%$ ; $w_B=5\%$	30	0.15	0,0360	0,0361	0,042	0,045
	40	0.2	0,0360			
	50	0.25	0,0361			
	60	0.3	0,0361			
	70	0.35	0,0361			
	80	0.6	0,0361			
	90	0.8	0,0362			
	97	1.25	0,0363			
100	1.45	0,0363				

### 5. Заключение

На основании выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Существующие стандартные методы защиты конструкций от переувлажнения (СП 50.13330) требуют научного развития, так как не учитывают увлажнение материалов в местах теплотехнической неоднородности.

2. Предложен упрощенный стационарный метод определения степени увлажнения теплотехнически неоднородных узлов конструкций на основе методов Г. Глазера, И. Ш. Сафина и В. Н. Куприянова. Метод заключается в определении двухмерного влажностного поля по сечению конструкции с последующим расчетом температуры начала конденсации, что позволяет определить местоположение конденсата в узле конструкции и количество конденсата за период влагонакопления.

3. Существует несогласованность оценки результатов расчета количества конденсированной влаги в ограждениях по нормативной литературе. Так однородный фрагмент исследованного узла удовлетворяет требованиям СП 50.13330, но не удовлетворяет требованиям ISO 13788;

4. Показана необходимость совершенствования метода определения расчетной теплопроводности материалов ограждающих конструкций на этапе проектирования.

#### Список литературы / References

1. Куприянов В.Н., Юзмухаметов А. М. Разработка математической модели теплопроводности сухой и влажной минеральной ваты // Строительные материалы. 2018. № 11. С. 68. [Kupriyanov V.N., Juzmuhametov A. M. Development of mathematical model of heat conductivity of dry and wet mineral wool // Stroitel'nye materialy. 2018. № 11. P. 68.]
2. Васильев Б. Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима крупнопанельных жилых зданий. М.: Издат. литературы по строительству, 1968. [Vasiliev BF Field studies of the temperature and humidity regime of large-panel residential buildings. M.: Publishing house. literature on construction, 1968.]
3. Васильев Б. Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий. М.: Госстройиздат, 1957. – 214 с. [Vasiliev BF Field studies of the temperature and humidity regime of residential buildings. M.: Gosstroyizdat, 1957. - 214 p.]
4. Гагарин В. Г., Пастушков П. П., Реутова Н. А. К вопросу о назначении расчетной влажности строительных материалов по изотерме сорбции // Строительные материалы и технологии. 2015. № 4 (60). С. 152–154. [Gagarin V. G., Pastushkov P. P., Reutova N. A. On the appointment of the estimated moisture content of building materials according to the sorption isotherm // Stroitelnye materialy i tekhnologii. 2015. No. 4 (60). pp. 152–154.]
5. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. Thermophysical field testing of residential buildings made of autoclaved aerated concrete blocks // Magazine of Civil Engineering. No. 4. 2016. Pp. 10–25.
6. Протасевич А. М., Лешкевич В. В. Влажностный режим наружных стен в условиях Республики Беларусь // Жилищное строительство. 2013. № 9. С. 37–40. [Protasevich A. M., Leshkevich V. V. Moisture regime of external walls in the conditions of the Republic of Belarus // Housing construction. 2013. No. 9. P. 37–40.]
7. Гринфельд Г. И., Морозов С. А., Согомонян И. А., Зырянов П. С. Влажностное состояние современных конструкций из автоклавного газобетона в условиях эксплуатации // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 2 (20). С. 33–38. [G. I. Grinfeld, S. A. Morozov, I. A. Sogomonyan, and P. S. Zyryanov, Moisture state of modern structures made of autoclaved aerated concrete under operating conditions, Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal. 2011. No. 2 (20). pp. 33–38.]
8. Корниенко С. В. Совершенствование российских норм по влагозащите ограждающих конструкций // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 47(66). С. 18–29. [Korniyenko S. V. Improvement of Russian standards for moisture protection of building envelopes // Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture. 2017. Issue. 47(66). pp. 18–29.]
9. Gagarin V.G., Akhmetov V.K., Zubarev K.P. Graphical method for determination of maximum wetting plane position in enclosing structures of buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. С. 022046.
10. Gagarin V.G., Akhmetov V.K., Zubarev K.P. Position control of maximum wetting plane for building walls with foam polystyrene heat insulator // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. С. 022045.
11. Gagarin V.G., Khavanov P.A., Zubarev K.P. The position of the maximum wetting plane in building enclosing structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering (MPCPE 2020). 2020. С. 012016.
12. Куприянов В. Н. К расчету конденсата в ограждающих конструкциях. // Сборник научных трудов РААСН: в 2 томах. Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). Москва, 2021. С. 116–127. [Kupriyanov V.N. On the calculation of condensate in building envelopes. // Collection of scientific works of RAABS: in 2 volumes.

- Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RAABS). Moscow, 2021, pp. 116–127.]
13. Куприянов В. Н. Прогнозирование переувлажнения ограждающих конструкций при конденсации в них водяного пара // Приволжский научный журнал. 2021. № 2 (58). С. 84-91. [Kupriyanov V. N. Prediction of the overwetting of enclosing structures during water steam condensation in them // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2021. № 2 (58). pp. 84-91.]
  14. Перехоженцев А. Г. Проектирование многослойных ограждающих конструкций зданий с заданным тепло-влажностным режимом // В сборнике: Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Indoor air quality and environment. Материалы XIX Международной научной конференции. Волгоград. 2021. С. 44–52. [Perekhozhentsev A. G. Design of multilayer building envelopes with a given heat and humidity regime // In the collection: Quality of internal air and the environment. indoor air quality and environment. Proceedings of the XIX International Scientific Conference. Volgograd. 2021, pp. 44–52.]
  15. Куприянов В.Н. К расчету конденсата в ограждающих конструкциях // В сборнике: Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году. Сборник научных трудов РААСН: в 2 томах. Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). Москва, 2021. С. 116-127. [Kupriyanov V.N. To the calculation of condensate in the enclosing structures // In the collection: Fundamental, exploratory and applied research of the RAASN on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2020. Collection of scientific works of RAASN: in 2 volumes. Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RAABS). Moscow, 2021. pp. 116-127.]

#### Информация об авторах

**Артем Сергеевич Петров**, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: ruarty@mail.ru

**Алексей Игоревич Иванцов**, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: ivantsov.arch@mail.ru

**Айнур Мансурович Юзмухаметов**, ассистент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: aynur.yuzmuhametov@mail.ru

#### Information about the author

**Artem S. Petrov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: ruarty@mail.ru

**Aleksey I. Ivantsov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: ivantsov.arch@mail.ru

**Ainur M. Yuzmukhametov**, Assistant, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: aynur.yuzmuhametov@mail.ru