



Оценка и регулирование конденсации водяного пара в ограждающих конструкциях.

В.Н. Куприянов¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: известно, что сопротивление паропрооницанию материальных слоев и их сочетание изменяют закономерности конденсации водяного пара в ограждающих конструкциях. В результате возникает неконтролируемая конденсация водяных паров, увлажнение материалов и снижение эксплуатационных свойств ограждающих конструкций. В связи с этим оценка и регулирование конденсации водяного пара в ограждающих конструкциях являются весьма актуальной проблемой. Цель исследования - установить влияние конструктивного решения на формирование температуры начала конденсации ограждающих конструкций и оценки продолжительности конденсации в заданном климате.

В статье установлена корреляция между долей сопротивления паропрооницанию наружного слоя в сопротивлении паропрооницанию ограждения в целом и температурой начала конденсации. Получено уравнение регрессии с достоверностью аппроксимации 0,924, которое позволяет определять температуру начала конденсации по параметрам ограждающих конструкций. Показано, что изменением параметров ограждающих конструкций можно регулировать их температуру ограждающих конструкций, а по выбранному значению температуры ограждающих конструкций проектировать ограждающие конструкции с требуемым соотношением между долей сопротивления паропрооницаемости наружного слоя и сопротивлению паропрооницанию в целом. Разработан графический метод определения календарной продолжительности конденсации водяного пара в заданном климате путем сопоставления температуры начальной конденсации ограждающих конструкций с годовым ходом температуры наружного воздуха в месте строительства. Получены инструменты для проектирования ограждающих конструкций, которые позволят снижать или исключить конденсацию водяного пара в заданном климате, что имеет большое значение для строительной отрасли.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, сопротивление паропрооницанию, конденсация водяного пара, температура начала конденсации, продолжительность периода конденсации.

Для цитирования: В.Н. Куприянов, Оценка и регулирование конденсации водяного пара в ограждающих конструкциях//Известия КГАСУ 2022 № 1(59). С 29-40.
DOI: 10.52409/20731523_2022_1_29

Evaluation and regulation of water vapor condensation in enclosing structures.

V.N. Kupriyanov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation.

Abstract: problem statement. It is known that the resistance to vapor permeability of material layers and their combination change the patterns of water vapor condensation in enclosing structures. The purpose of the study is to establish the features of a constructive solution for the temperature formation at the beginning of condensation of enclosing structures and to estimate

the duration of condensation in the given climate.

A correlation has been established between the proportion of resistance to vapor permeability of the outer layer in the resistance to vapor permeability of the fence as a whole and the temperature of the onset of condensation. A regression equation has been obtained with an approximation reliability of 0.924, which makes it possible to determine D by the parameters of the enclosing structures. It is shown that by changing the parameters of the enclosing structures (D shares) it is possible to regulate them, and, according to the selected value, to design the enclosing structures with the required ratio D . A graphical method has been developed for determining the calendar duration of water vapor condensation in the given climate by comparing the enclosing structures with the annual course of the outdoor air temperature at the construction site. Conclusions. Tools for the design of enclosing structures have been obtained, which will reduce or eliminate the condensation of water vapor in the given climate.

Key words: enclosing structures, vapor permeability resistance, water vapor condensation, temperature of the onset of condensation, duration of the condensation period.

For citation: V.N. Kupriyanov, Evaluation and regulation of water vapor condensation in enclosing structures//News KSUAE 2022 №1 (59).C29-40.

DOI: 10.52409/20731523_2022_1_29

1. Введение

Конденсация водяного пара в ограждающих конструкциях негативно влияет на их эксплуатационные свойства и может привести к коррозии материалов и разрушению ограждений. В зимний период перенос водяного пара через ограждающие конструкции и его конденсация усиливаются в связи с понижением температуры наружного воздуха. Изучение этого вопроса [1-3] позволило установить, что сопротивление паропрооницанию материальных слоев и их сочетание изменяют закономерности конденсации водяного пара.

Так, в ограждающей конструкции с сопротивлением паропрооницанию $R_{пк} = 21,15 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}$ конденсация водяных паров начинается при температуре наружного воздуха $t_n = -16^\circ\text{C}$, а в ограждении с $R_{пк} = 3,41 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}$ - при $t_n = 0^\circ\text{C}$ [4]. Этот пример показывает, что температура начала конденсации зависит от общего сопротивления паропрооницанию ограждающих конструкций. В соответствие с этим, будут различаться как продолжительность конденсации, так и количество конденсата, которое накопится в ограждении за зимний период. Так, в ограждении с $R_{пк} = 21,15 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}$ количество конденсата за зимний период составит $6,6 \text{ г/м}^2$, а в ограждении с $R_{пк} = 3,41 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}$ - 632 г/м^2 . Количество конденсата различается в 100 раз [5].

В работе [6] показано, что в ограждающей конструкции с $R_{пк} = 2,82 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}$ при увеличении сопротивления паропрооницанию наружных слоев $R_{пнс}$ с 0,225 до 1,786 $\text{(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}$ температура начала конденсации повысится от -7°C до $+2,5^\circ\text{C}$. Для ограждающей конструкции с $R_{пк} = 6,54 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}$ при тех же значениях $R_{пнс}$ температура начала конденсации повысится от -13°C до -2°C . Этот пример показывает влияние $R_{пнс}$ на формирование температуры начала конденсации водяного пара в ограждающих конструкциях.

В работе [7] введено понятие «температура начала конденсации водяного пара в ограждающих конструкциях $t_{нк}$ ». По определению $t_{нк}$ численно равна температуре наружного воздуха, при которой в ограждающей конструкции начинается конденсация водяного пара. Разработан метод определения [8,9,10] и показано, что каждая ограждающая конструкция имеет собственную температуру начала конденсации, которая зависит как от конструктивного решения ограждения, так и от свойств материальных слоев.

Краткий обзор позволил установить, что существующие исследования носят фрагментарный характер, поэтому в настоящей статье систематизированы существующие

исследования, на основе которых разработаны методы проектирования ограждающих конструкций с регулированием параметров конденсации в них водяного пара в заданных условиях климата.

В связи с этим, **целью работы** является установление влияния конструктивного решения на формирование температуры начала конденсации ограждающих конструкций и оценки продолжительности конденсации в заданном климате.

Для достижения указанной цели требуется решения следующих задач:

1. Определить сопротивления паропрооницанию материальных слоев и их сочетаний, которые значимо влияют на формирование температуры начала конденсации ограждающих конструкций.

2. Установить закономерности изменения продолжительности конденсации водяного пара в заданном климате по величине $t_{нк}$ ограждающих конструкций.

2. Материалы и методы

Объектами исследования являются 14 типов ограждающих конструкций с различными конструктивными решениями, различными материалами слоев и их параметрами. По методу [8,9] у всех типов ограждающих конструкций определены температуры начала конденсации $t_{нк}$.

Во введении было установлено, что $t_{нк}$ зависит как от общего сопротивления паропрооницанию $R_{пк}$, так и от сопротивления паропрооницанию наружного слоя $R_{пнс}$. Причем, с ростом $R_{пк}$ происходит снижение $t_{нк}$, а с ростом $R_{пнс}$, при неизменном $R_{пк}$, происходит повышение $t_{нк}$. Естественно предположить, что наиболее значимое влияние на формирование будет оказывать отношение сопротивления паропрооницанию наружного слоя к общему сопротивлению паропрооницания ограждающей конструкции $R_{пк}$. Это отношение можно выразить долей $R_{пнс}$ в $R_{пк}$:

$$D = (R_{пнс}/R_{пк}) \cdot 100\% \quad (1)$$

Продолжительность конденсации водяного пара в заданных климатических условиях можно определить путем сопоставления величины ограждающих конструкций с годовым ходом температуры наружного воздуха [11].

3. Результаты

Результаты расчета $R_{пк}$, $R_{пнс}$, D и $t_{нк}$ сведены в таблицу 1.

По данным таблицы 1 построен график зависимости $t_{нк}$ от D , рисунок 1. Из рисунка 1 видно, что расчетные точки с некоторыми отклонениями укладываются на усредненную кривую.

Таблица 1

Параметры исследуемых ограждающих конструкций

№	Ограждающие конструкции и наружный слой	Сопр-ие паро-нию, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$		Доля $R_{\text{пнс}}$ в $R_{\text{пк}}$, %	$t_{\text{нк}}$, °C
		огр. $R_{\text{пк}}$	нар. слоя $R_{\text{пнс}}$		
1	2	3	4	5	6
1	Основная конструкция без нар. слоя	2,77	0	0	-25
2	Основная конструкция с пленкой Изоспан А	2,79	0,016	0,6	-20
3	Основная конструкция со штукатуркой, 5 мм	3,02	0,25	8,3	-9
4	Основная конструкция со штукатуркой, 10 мм	3,27	0,5	15,3	-5
5	Основная конструкция с кирпичной кладкой, 120 мм	3,63	0,86	23,7	-3
6	Основная конструкция с кирпичной кладкой, 250 мм	4,55	1,78	39,1	0
7	Кирпичная кладка 380 мм со штукатуркой 10 мм	2,78	0,5	18,0	-1
8	Керамзитобетон 250 мм со штукатуркой 10 мм	4,45	0,5	11,2	-8
9	Железобетон 200 мм с кирпичной кладкой 120 мм	2,45	0,86	35,1	+2
10	Газобетон 250 мм с кирпичной кладкой 120 мм	8,03	0,86	10,7	-11
11	С утеплителем из экструдированного пенополистирола, керамический кирпич 120 мм и поризованная штукатурка, 8 мм	21,15	1,11	5,2	-15
12	С тонким слоем наружной штукатурки из Ceresit СТ-190, 5 мм	2,95	0,225	7,6	-10
13	С утеплителем из минваты и наружным слоем из керамического кирпича, 120 мм	4,85	1,09	22,5	-3
14	С утеплителем из монолитного пенобетона и наружным слоем из керамического эффективного кирпича, 120 мм	3,41	0,86	25,2	-4

Примечание. 1. «Основная конструкция» ограждения состоит из цем-псч. штукатурки 15 мм, кладки из силикатного кирпича 250 мм и минераловатных плит 100 мм; 2. В ограждающих конструкциях №7-10 изменен конструкционный слой; 3. Ограждающая конструкция №11 взята из СП 23-101-2004; 4. Ограждающая конструкция №14 взята из СТО 00044807-001-2006.

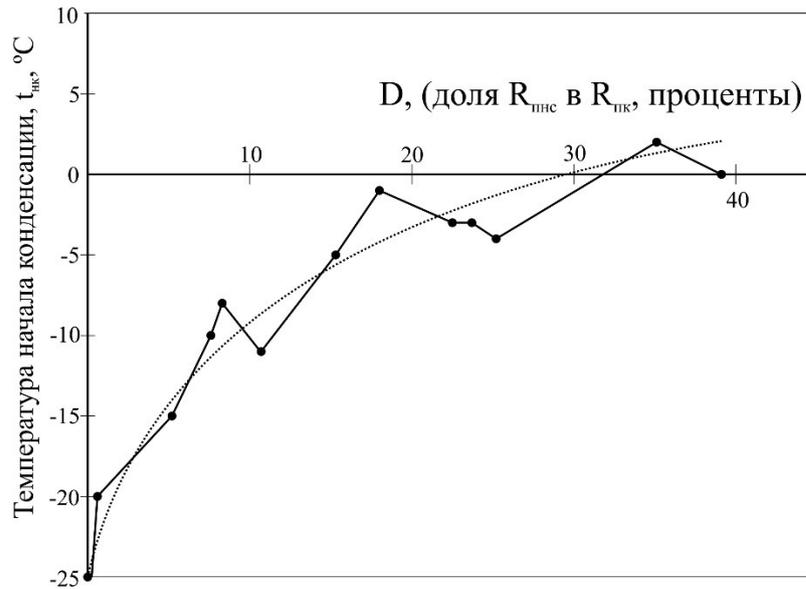


Рис. 1. Зависимость температуры начала конденсации $t_{нк}$ от доли $R_{пнс}$ в $R_{пк}$, в процентах (иллюстрация авторов)

Статистическая обработка расчетных точек позволила получить уравнение регрессии:

$$t_{нк} = -0,022 \cdot D^2 + 1,3904 \cdot D - 21,586 \quad (2)$$

Достоверность аппроксимации 0,924.

Уравнение (2) позволяет по параметрам конструктивного решения ограждения определить $t_{нк}$, то есть то значение температуры наружного воздуха t_n , при котором в данном ограждении начинается конденсация водяного пара.

Пример 1. *Определить $t_{нк}$ ограждающей конструкции, состоящей из внутренней цементно-известковой штукатурки, керамических пустотелых камней «Поротерм 51» и наружного слоя из полнотелого керамического кирпича.*

Параметры слоев:

1) - цементно-известковая штукатурка $\lambda = 0,7$ Вт/м·°С, $\mu = 0,093$ мг/м·ч·Па, $\delta = 15$ мм, 2) - «Поротерм 51», $\rho_0 = 750$ кг/м³, $\lambda = 0,15$ Вт/м·°С, $\mu = 0,095$ мг/м·ч·Па, $\delta = 510$ мм, 3) - керамический полнотелый кирпич $\lambda = 0,52$ Вт/м·°С, $\mu = 0,11$ мг/м·ч·Па, $\delta = 120$ мм.

Определение $t_{нк}$ по формуле (2):

$$R_{пк} = \frac{0,015}{0,093} + \frac{0,51}{0,095} + \frac{0,12}{0,11} = 0,16 + 5,37 + 1,09 = 6,62 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}$$

$$R_{пнс} = \frac{0,12}{0,11} = 1,09 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}$$

Доля $R_{пнс}$ в $R_{пк}$:

$$(R_{пнс} / R_{пк}) \cdot 100 = (1,09 / 6,62) \cdot 100 = 16,5\%$$

Температура начала конденсации $t_{нк}$:

$$t_{нк} = -0,022 \cdot 16,5^2 + 1,3904 \cdot 16,5 - 21,586 = -4,6^\circ\text{C}$$

Определение $t_{нк}$ по методу [8]:

$$R_{т0} = 0,11 + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,51}{0,15} + \frac{0,12}{0,52} + 0,04 = 3,80 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С) / Вт}$$

$$R_{т,2/3} = 0,11 + 0,021 + 3,4 = 3,53 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С) / Вт}$$

$$R_{т,3/н} = 0,11 + 0,021 + 3,4 + 0,23 = 3,76 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С) / Вт}$$

$$\tau_B = 20 - \frac{20 - 4,2}{3,8} \cdot 0,11 = 19,5 \text{ }^\circ\text{C}, E_{\text{вп}} = 2266 \text{ Па}, e_{\text{вп}} = 0,5 \cdot 2266 = 1133 \text{ Па}$$

$$\tau_H = 20 - \frac{20 - 4,2}{3,8} \cdot 3,76 = 4,4 \text{ }^\circ\text{C}, E_{\text{нп}} = 836 \text{ Па}, e_{\text{нп}} = 0,76 \cdot 836 = 635 \text{ Па}.$$

$$G_k = \frac{e_{\text{вп}} - e_{\text{нп}}}{R_{\text{пк}}} = \frac{1133 - 635}{6,62} = 75,2 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

$$R_{\text{пв}} = \frac{e_B - e_{\text{вп}}}{G_k} = \frac{1169 - 1133}{75,2} = 0,48 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг},$$

$$R_{\text{пн}} = \frac{e_{\text{нп}} - e_H}{G_k} = \frac{635 - 627}{75,2} = 0,11 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$$

$$R_{\text{по}} = R_{\text{пв}} + R_{\text{пк}} + R_{\text{пн}} = 0,48 + 6,62 + 0,11 = 7,21 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$$

Разность $(E - e)$ в плоскости максимального увлажнения (сечение 2/3) при трех температурах наружного воздуха:

$$t_H = +4,2 \text{ }^\circ\text{C}, \varphi_H = 76\%, E_B = 825 \text{ Па}, e_B = 0,76 \cdot 825 = 627 \text{ Па};$$

$$\tau_{2/3} = 20 - \frac{20 - 4,2}{3,8} \cdot 3,53 = 5,3 \text{ }^\circ\text{C}, E_{2/3} = 892 \text{ Па},$$

$$e_{2/3} = 1169 - \frac{1169 - 627}{7,21} \cdot 6,01 = 717 \text{ Па}.$$

$$\text{Разность давлений } (E - e) = 1169 - 717 = 175 \text{ Па}$$

$$t_H = -11,6 \text{ }^\circ\text{C}, \varphi_H = 80\%, E_B = 225 \text{ Па}, e_B = 0,8 \cdot 225 = 180 \text{ Па};$$

$$\tau_{2/3} = 20 - \frac{20 + 11,6}{3,8} \cdot 3,53 = -9,3 \text{ }^\circ\text{C}, E_{2/3} = 276 \text{ Па},$$

$$e_{2/3} = 1169 - \frac{1169 - 180}{7,21} \cdot 6,01 = 345 \text{ Па}.$$

$$\text{Разность давлений } (E - e) = 276 - 345 = -69 \text{ Па}$$

$$t_H = -21,8 \text{ }^\circ\text{C}, \varphi_H = 84\%, E_B = 87 \text{ Па}, e_B = 0,84 \cdot 87 = 73 \text{ Па}.$$

$$\tau_{2/3} = 20 - \frac{20 + 21,8}{3,8} \cdot 3,53 = -18,8 \text{ }^\circ\text{C}, E_{2/3} = 116 \text{ Па},$$

$$e_{2/3} = 1169 - \frac{1169 - 73}{7,21} \cdot 6,01 = 255 \text{ Па}.$$

$$\text{Разность давлений } (E - e) = 116 - 255 = -139 \text{ Па}$$

На рисунке 2 приведена зависимость разности давлений $(E - e)$ в плоскости максимального увлажнения от температуры наружного воздуха из которой следует, что температура начала конденсации $t_{\text{нк}} = -5 \text{ }^\circ\text{C}$.

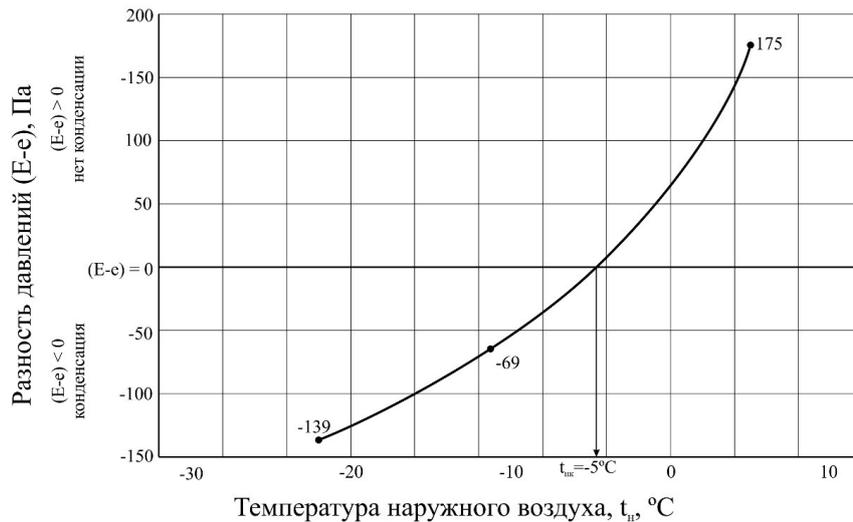


Рис. 2. Определение температуры начала конденсации, $t_{нк} = -5^\circ\text{C}$ (иллюстрация авторов)

При сравнении $t_{нк}$, определённой по формуле (2) и по графику рисунка 2 видно, что они различаются на $0,4^\circ\text{C}$. Это различие дает возможность использования формулы (2) для определения $t_{нк}$ при проектировании ограждающих конструкций.

Второй важной характеристикой процесса конденсации водяного пара являются его продолжительность в эксплуатационных условиях. Если $t_{нк}$ является характеристикой конструктивного решения ограждения, то продолжительность конденсации водяного пара зависит от $t_{нк}$, так и климатических условий места строительства.

В качестве примера на рисунке 3 приведено сопоставление $t_{нк}$ некоторых ограждающих конструкций из таблицы 1 с годовым ходом среднемесячных температур наружного воздуха в Казани (1) и в Саратове (2). Это ограждающие конструкции №11 ($t_{нк} = -15^\circ\text{C}$), №12 ($t_{нк} = -10^\circ\text{C}$) и №14 ($t_{нк} = -4^\circ\text{C}$).

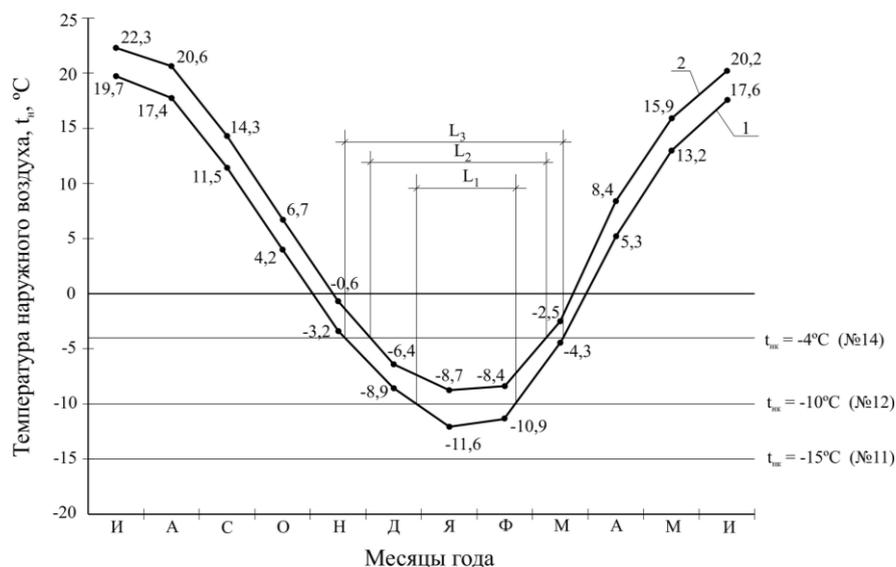


Рис. 3. К определению календарной продолжительности конденсации ограждающих конструкций в заданном климате (иллюстрация авторов)

Из рисунка 3 видно, что календарная продолжительность конденсации L определяется между точками пересечения ниспадающей и восходящей ветви температуры наружного воздуха с горизонтальными линиями $t_{нк}$ ограждающих конструкций. То есть

тем календарным периодом года, в котором температура наружного воздуха будет ниже $t_{\text{нк}}$.

Описанным методом можно определять календарную продолжительность конденсации различных ограждающих конструкций, если их использовать в одном климате и одной и той же ограждающей конструкции, если её использовать в разном климате. Так, по рисунку 3 видно, что в условиях Казани у ограждения №12, $t_{\text{нк}} = -10^{\circ}\text{C}$ продолжительность конденсации - L_1 , а у ограждения №14, $t_{\text{нк}} = -4^{\circ}\text{C}$ продолжительность конденсации - L_3 , $L_1 < L_3$, то есть чем ниже $t_{\text{нк}}$ ограждающей конструкции, тем меньше продолжительность конденсации. Ограждающая конструкция №14, $t_{\text{нк}} = -4^{\circ}\text{C}$ в условиях Казани имеет продолжительность конденсации L_3 , а в условиях Саратова - L_2 , $L_3 > L_2$. То есть, чем «суровее» климат, тем продолжительнее период конденсации в одной и той же ограждающей конструкции.

В результате проведенных исследований получены два значимых результата, которые позволяют оценивать и регулировать степень увлажнения ограждающих конструкций при конденсации в них водяного пара в заданных климатических условиях.

Первым результатом является метод определения температуры начала конденсации $t_{\text{нк}}$ по параметрам ограждающих конструкций. При расчете используется уравнение регрессии (2), полученное на основе статистической обработки параметра D у 14 типов ограждающих конструкций и их $t_{\text{нк}}$. Метод позволяет до стадии проектирования ограждающих конструкций прогнозировать их $t_{\text{нк}}$, то есть значения температуры наружного воздуха, при которой в этих ограждениях начнется конденсация водяного пара.

Вторым результатом является метод определения календарной продолжительности периода конденсации в заданных климатических условиях путем сопоставления $t_{\text{нк}}$ ограждающих конструкций с годовым ходом температуры наружного воздуха. Метод позволяет дать относительную оценку степени увлажнения ограждающих конструкций конденсированной влагой, поскольку при снижении $t_{\text{нк}}$ ограждающих конструкций снижается и продолжительность конденсации и, следовательно, степень увлажнения.

4. Обсуждение

Регрессионное уравнение (2) позволяет по параметрам конструктивного решения ограждений (параметр D) определять величину $t_{\text{нк}}$ ограждающих конструкций, то есть температуру наружного воздуха $t_{\text{н}}$, при которой в данном ограждении начинается конденсация водяного пара. Продолжительность конденсации будет определяться продолжительностью действия $t_{\text{н}}$ от их минимального значения в месте строительства до величины $t_{\text{н}} = t_{\text{нк}}$.

Продолжительность конденсации является своеобразной характеристикой эксплуатационного «благополучия» ограждающих конструкций, что определяется негативными последствиями увлажнения. Чем ниже $t_{\text{нк}}$ ограждающей конструкции, тем менее продолжительной будет конденсация в заданном климате и тем меньше накопится в ограждении конденсированной влаги.

Изменяя параметры ограждающих конструкций и материалы слоев можно регулировать $t_{\text{нк}}$, продолжительность конденсации L и, следовательно, негативные последствия увлажнения.

Определение продолжительности конденсации L по методу рисунка 3 носит ориентировочный характер. Более точную оценку (в часах) можно получить по интегральной кривой продолжительности действия характерных температур наружного воздуха от их минимальных значений в месте строительства до величины $t_{\text{н}} = t_{\text{нк}}$. В качестве примера на рисунке 4 приведена подобная интегральная кривая характерных температур для Казани, которая построена по данным [12]. В этой работе приведена продолжительность действия $t_{\text{н}}$ (в часах) по различным градациям для многих городов страны. Для данного анализа $t_{\text{н}} = t_{\text{нк}}$, по определению, поэтому на оси температур рисунка 4 приведены оба значения.

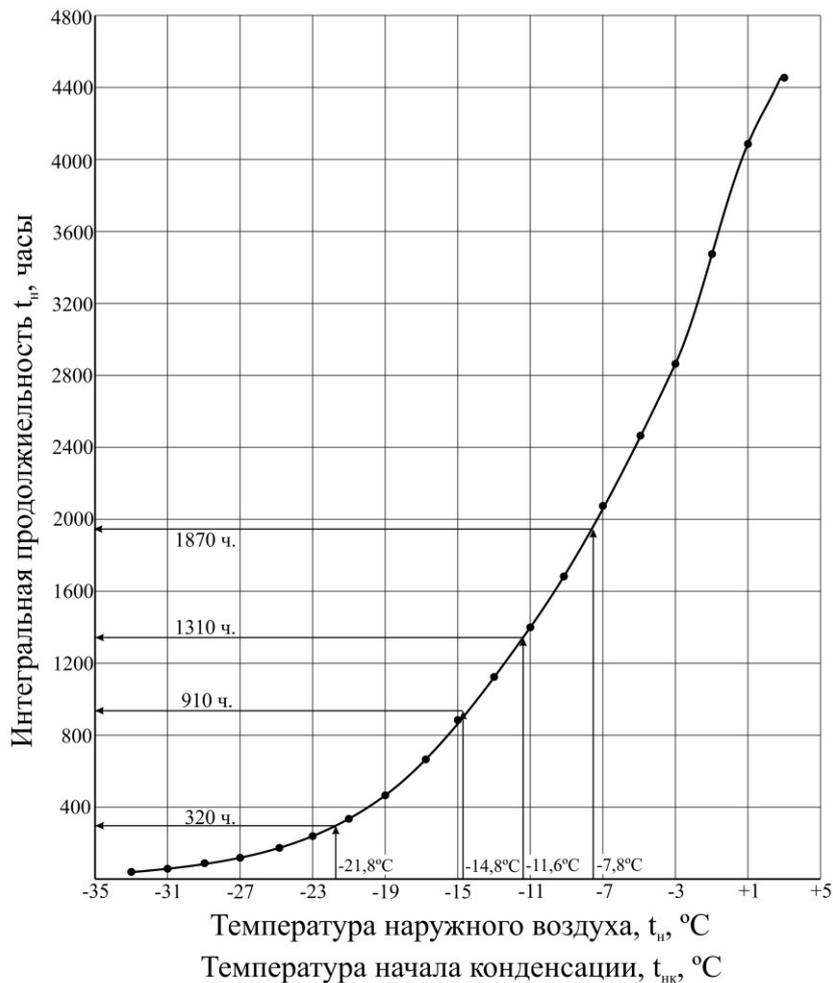


Рис. 4. Интегральная продолжительность конденсации наружного воздуха, часы (от минимального значения в месте строительства до значения $t_{н}$ или $t_{нк}$ ограждающих конструкций) (иллюстрация авторов)

Из рисунка 4 следует, что с понижением $t_{нк}$ снижается продолжительность конденсации и при проектировании ограждающих конструкций возникает вопрос о выборе величины $t_{н} = t_{нк}$ в заданных климатических условиях, которая обеспечит минимальные негативные последствия увлажнения.

Для решения этой задачи следует провести анализ продолжительности действия характерных температур наружного воздуха, которые широко представлены в справочной литературе по климатологии [13]. Это средняя температура месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, среднемесячные температуры наиболее холодного месяца и т.д. Полный перечень характерных температур наружного воздуха для Казани приведен в таблице 2. В столбце 3 приведены значения характерных температур, а в столбце 4 их продолжительность в часах, определенная по рисунку 4.

Таблица 2

Характерные температуры наружного воздуха в условиях Казани

№	Наименование температуры	Характеристика температуры	
		Величина, °С	Продолжительность, часы
1	Средняя температура месяцев с отрицательными среднемесячными температурами	-7,8	1870
2	Среднемесячная температура наиболее холодного месяца (января)	-11,6	1310
3	Среднемесячная температура января, сниженная на среднесуточную амплитуду	-14,8	910
4	Среднемесячная температура января, сниженная на максимальную суточную амплитуду	-21,8	320
5	Минимальная температура места строительства продолжительностью действия не менее 1 часа	-33	18

Выбор характерных температур t_n в качестве расчетных для $t_{нк}$ требует дополнительного изучения [14,15]. Можно предположить, что этот выбор должен определяться уровнем ответственности ограждающих конструкций и степенью негативного влияния увлажнения на эксплуатационные свойства ограждений. Однако, в первом приближении можно принять среднюю температуру наиболее холодного месяца, потому что при t_n выше этой температуры конденсация водяных паров в ограждении исключена, а при t_n ниже этой величины конденсация водяного пара возможных только при суточных колебаниях температуры и при отдельных волнах холода.

После обоснования расчетной величины $t_{нк}$ можно перейти к определению параметров ограждающих конструкций (параметр D), которые обеспечат заданный уровень продолжительности увлажнения. Для этой задачи можно воспользоваться уравнением регрессии вида $D = f(t_{нк})$ (обратное уравнению 2), которое получено статистической обработкой столбцов 5 и 6 таблицы 1:

$$D = 0.0548 \cdot t_{нк}^2 + 2,5168 \cdot t_{нк} + 29,009 \quad (3)$$

Достоверность аппроксимации 0,859.

Используя это уравнение можно обеспечить необходимые параметры для проектирования ограждающих конструкций, которые будут иметь заданную продолжительность конденсации.

Пример 2. *Определить долю $R_{пнс}$ в $R_{пк}(D)$ проектируемого ограждения при $t_{нк}$, равной среднемесячной температуре января $t_n = -11,6^\circ\text{C}$.*

$$D = 0.0548 \cdot (-11,6)^2 + 2,5168 \cdot (-11,6) + 29,009 = 0,0548 \cdot 134,56 - 2,5168 \cdot 11,6 + 29,009 = 7,2\%.$$

5. Заключение.

1. В результате проведенных исследований установлено влияние конструктивного решения ограждений на формирование в них температуры начала конденсации водяного пара и календарной продолжительности конденсации водяного пара в заданном климате;

2. Разработаны два метода расчета, которые позволяют по соотношению сопротивлений паропроницаемости материальных слоев ограждения определить температуру наружного воздуха, при которой начнется конденсация водяного пара или по параметрам климата места строительства определяется соотношение сопротивлений паропроницаемости материальных слоев ограждения, при которых снижается или исключается конденсация водяного пара в ограждении;

3. Требуются дополнительные исследования по обоснованию выбора характерных температур наружного воздуха при их использовании в качестве расчетных величин температуры начала конденсации и учету изменчивости коэффициента паропроницаемости материалов при колебаниях температурно-влажностных условий в ограждающих конструкциях.

Список литературы

1. Давидюк А.Н., Несветаев Г.В. Проектирование рациональной многослойной ограждающей конструкции по критерию защиты от влаги // *Строительные материалы*, 2008, №8, с. 48-50.
2. Hens H. *Building physics – Heat, Air and Moisture*, Ernst and Sohn, Germany, Berlin, 2007, 270 p.
3. Фокин К.Ф. *Строительная теплотехника ограждающих частей зданий*. Изд-е 5-е, пересмотренное. М.: Изд-во «АВОК-ПРЕСС». 2006. - 256 с.
4. Куприянов В.Н., Сафин И.Ш. Влияние конструкций наружных стен на объем конденсата и снижение теплозащитных свойств // *Труды XIV Международного симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение»*, 18-20 марта 2014 г., Казань, с. 521-525.
5. Куприянов В.Н. К расчету конденсата в ограждающих конструкциях // *Сб. научных трудов РААСН за 2020 г.* М: Издательство АСВ, 2021, том 2, с. 273–287.
6. Куприянов В.Н., Сафин И.Ш. Влияние наружных облицовочных слоев на процесс конденсации парообразной влаги в ограждающих конструкциях // *Приволжский научный журнал*, Н. Новгород, ННГАСУ, 2014, №1, с. 46-50.
7. Куприянов В.Н. К вопросу о паропроницаемости ограждающих конструкций/ Куприянов В.Н., Сафин И.Ш., Хабибуллина А.Г. // *Журнал РААСН ACADEMIA*, Москва, 2009, №5, с. 504-507.
8. Куприянов В.Н. Прогнозирование переувлажнения ограждающих конструкций при конденсации в них водяного пара // *Приволжский научный журнал*, 2021, №2, с. 84-90.
9. Kupriyanov V.N. Dew point temperature as overwetting indicator of enclosing structures // *E35 Web of Conferences*, 274.07002 (2021)
10. Куприянов В.Н. Влияние конструкции ограждения на конденсацию парообразной влаги / В.Н. Куприянов, И.Ш. Сафин, М.Р. Шамсутдинов // *«Жилищное строительство»*, Москва, 2012, № 6, с. 29-31.
11. Куприянов В.Н. Основные принципы конструирования наружных стен с ограничением конденсации в них парообразной влаги // *«Строительство и реконструкция»*, научно-технический журнал, г. Орел, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет УНПУ», 2015, №2 (85), с. 120-127.
12. *Строительная климатология: Справочное пособие к СНиП 23-01-99** / под ред. В.К. Савина. – М.: НИИ строительной физики РААСН, 2006. – 258 с.
13. *Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Части 1-6, вып. 12.* – Л.: Гидрометеоздат, 1988.
14. Petrov A.S. Kupriyanov V.N. Determination of Humidity Conditions of Enclosing Structures by the Color Indicator Method // *Журнал «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering»* 2018, #463 (2018) 022064. doi: 10.1088/1757 - 899X/463/2/022064.
15. Petrov A.S. Kupriyanov V.N. Study of the Dependence of Equilibrium Sorption Humidity of Heat-insulating Products on Temperature // *E35 Web of Conferences*, 2021, 274.04008.

References

1. Davidiyuk A.N., Nesvetaev G.V. Designing a rational multilayer building envelope according to the criterion of protection from moisture // *Stroitel'nye materialy*, 2008, No. 8, p. 48-50.
2. Hens H. *Building physics - Heat, Air and Moisture*, Ernst and Sohn, Germany, Berlin, 2007, 270 p.
3. Fokin K.F. *Construction heat engineering of enclosing parts of buildings*. 5th ed., revised. M.: Publishing house "AVOK-PRESS". 2006. - 256 p.
4. Kupriyanov V.N., Safin I.Sh. Influence of external wall structures on the volume of condensate and decrease in heat-shielding properties // *Proceedings of the XIV International Symposium "Energy and Resource Efficiency and Energy Saving"*, March 18-20, 2014, Kazan, p. 521-525.

5. Kupriyanov V.N. To the calculation of condensate in building envelopes // Sat. scientific papers of the RAASN for 2020. M: DIA Publishing House, 2021, volume 2, p. 273–287.
6. Kupriyanov V.N., Safin I.Sh. Influence of outer facing layers on the process of condensation of vaporous moisture in building envelopes // Privolzhsky scientific journal, Nizhny Novgorod, NNGASU, 2014, no. 1, p. 46-50.
7. Kupriyanov V.N. On the issue of vapor permeability of enclosing structures / Kupriyanov V.N., Safin I.Sh., Khabibullina A.G. // Journal PAACH ACADEMIA, Moscow, 2009, No. 5, p. 504-507.
8. Kupriyanov V.N. Forecasting waterlogging of building envelopes during condensation of water vapor in them // Privolzhsky scientific journal, 2021, no. 2, p. 84-90.
9. Kupriyanov V.N. Dew point temperature as overwetting indicator of enclosing structures // E35 Web of Conferences, 274.07002 (2021)
10. Kupriyanov V.N. Influence of the design of the fence on the condensation of vaporous moisture / V.N. Kupriyanov, I.Sh. Safin, M.R. Shamsutdinov // ZHilishchnoe stroitel'stvo, Moscow, 2012, No. 6, p. 29-31.
11. Kupriyanov V.N. Basic principles for designing external walls with limited condensation of vaporous moisture in them // "Construction and Reconstruction", scientific and technical journal, Orel, FGBOU VPO "State University of UNPU", 2015, No. 2 (85), p. 120-127.
12. Building climatology: Reference manual to SNiP 23-01-99* / ed. VC. Savina. - M.: Research Institute of Building Physics RAASN, 2006. - 258 p.
13. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Parts 1-6, no. 12. - L. : Gidrometeoizdat, 1988.
14. Petrov A.S. Kupriyanov V.N. Determination of Humidity Conditions of Enclosing Structures by the Color Indicator Method // «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering» 2018, #463 (2018) 022064. doi: 10.1088/1757 - 899X/463/2/022064.
15. Petrov A.S. Kupriyanov V.N. Study of the Dependence of Equilibrium Sorption Humidity of Heat-insulating Products on Temperature // E35 Web of Conferences, 2021, 274.04008.

Информация об авторах

Валерий Ниолаевич Куприянов, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: kuprivan@kgasu.ru

Information about the authors.

Valeriy N. Kupriyanov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation
E-mail: kuprivan@kgasu.ru