

УДК 699.86

**ОСОБЕННОСТИ КРИТЕРИЯ БИО  
ДЛЯ ВЫСТУПАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЯ**

**FEATURES OF THE BIO CRITERION  
FOR EXPOSED BUILDING ELEMENTS**

*Н.П. УМНЯКОВА, К.С. АНДРЕЙЦЕВА, В.А. СМИРНОВ*  
*N.P. UMNYAKOVA, K.S. ANDREJTSEVA, V.A. SMIRNOV*

**(Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук)**  
**(Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences)**  
E-mail: n.umniakova@mail.ru; belohvost@list.ru

*На основе экспериментальных значений распределения температур на поверхности и в толще балконной плиты выведено выражение для вычисления критерия Био для выступающих элементов здания, которое позволило определить условия теплообмена балконной плиты с окружающим наружным воздухом.*

*Based on the experimental values of the temperature distribution on the surface and in the thickness of the balcony slab, an expression was derived for calculating the Bio number for the protruding elements of the building, which made it possible to determine the conditions for the heat exchange of the balcony plate with the surrounding outside air.*

**Ключевые слова:** критерий Био, теплообмен, сопротивление теплопередаче, количество теплоты, балконная плита, температура.

**Keywords:** Bio number, heat transfer, thermal resistance, the amount of heat, balcony slabs, temperature.

В 60-70-е годы прошлого века фундаментальные работы ряда ученых при решении задач теплопроводности для различных конструкций сводили их к передаче теплоты по стержню, ребру или внутренней перегородке, которые описывались дифференциальным уравнением:

$$\left(\frac{d^2\tau}{dx^2}\right) - \sqrt{\left(\frac{\alpha}{\lambda\delta}\right)}(\tau - t_b) = 0.$$

При этом принималось, что коэффициент теплопроводности  $\alpha$  является постоянной величиной, которая не зависит от длины (по оси абсцисс  $x$ ).

Используя решение этого дифференциального уравнения Ф.В. Ушковым [1] была получена аналитическая зависимость распределения температуры и теплового потока по длине внутренней перегородки, которая примыкает к стыку наружных стеновых панелей. В результате выполненных исследований установлена степень влияния внутренней перегородки на теплоизоляционные свойства стыков.

В.Н. Богословский в своей работе [2] также приводит решение этого дифференциального уравнения при теплопередаче по внутренней перегородке, которая примыкает к стыку наружной стеновой панели. Затем, базируясь на полученных зависимостях, использует их применительно к передаче теплоты в перегородке, когда в ней расположены обогревательные трубы.

Необходимо отметить при решении задачи теплопередачи по внутренней перегородке в работах [1], [2] величина коэффи-

циента теплообмена принималось как среднее постоянное значение, равное  $\alpha_b = 7,5$  Вт/м<sup>2</sup>·°С. Такое значение существующие нормы рекомендуют принимать при определении теплозащиты наружных стен.

Однако вопросы теплообмена, исследования изменения температур и тепловых потоков в конструкциях, выступающих наружу на поверхности фасада, рассмотрены не были. В связи с этим в климатических камерах НИИСФ РААСН и в натуральных условиях был проведен комплекс теплотехнических исследований [3...5] конструкции балконной плиты при двух вариантах решения узла ее сопряжения с наружной стеной – при традиционном устройстве перфорационных отверстий в междуэтажном перекрытии и с использованием несущего теплоизоляционного элемента Шекк-Изокорб. В результате были получены кривые распределения тепловых потоков и температур в толще и на поверхности балконной плиты при температурах наружного воздуха -10, -20, -30 и -40°С. Для исследования характера теплообмена балконной плиты с наружным воздухом на основе экспериментальных данных были вычислены и проанализированы значения критерия Био.

Критерий Био представляет особенно важный теплотехнический параметр, который позволяет выяснить условия степени охлаждения поверхности балконной плиты за счет теплообмена ее с окружающей воздушной средой. Его выражение в безразмерном виде можно представить следующей зависимостью:

$$Bi = \frac{\alpha_{н.б}\delta}{\lambda}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{н.б}$  – коэффициент теплообмена на поверхности балкона,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$ ;  $\delta$  – половина толщины балконной плиты, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала балконной плиты,  $\frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$ .

Определение сопротивления теплообмену на поверхности балконной плиты выполним с учетом полученных экспериментальных данных распределения температуры в ее толще  $\tau_{н.т}$  и на ее поверхности  $\tau_{н.б}$  следующим образом.

Количество теплоты, которое теряет балконная плита в результате разности температур  $(\tau_{н.т} - \tau_{н.б})$  за 1 ч через 1 м<sup>2</sup>, будет:

$$Q_{н.б} = \frac{\tau_{н.т} - \tau_{н.б}}{R_{н.б}} = (\tau_{н.т} - \tau_{н.б}) \frac{\lambda}{\delta}, \quad (2)$$

где  $R_{н.б}$  – половина термического сопротивления балконной плиты,  $\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$ .

Количество теплоты, которое теряет 1 м<sup>2</sup> поверхности балконной плиты за 1 ч, будет:

$$Q_{н.б} = \alpha_{н.б} (\tau_{н.б} - t_n) = \frac{(t_b - t_n)}{R_{н.б}}, \quad (3)$$

где  $t_n$  – расчетная температура наружного воздуха, °C;  $R_{н.б}$  – сопротивление теплоотдачи поверхности балконной плиты,  $\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$ .

Откуда

$$\frac{\tau_{н.т} - \tau_{н.б}}{\tau_{н.б} - t_n} = \frac{\alpha_{н.б} \delta}{\lambda} \text{ и } \frac{\tau_{н.т} - \tau_{н.б}}{\tau_{н.б} - t_n} = Bi, \quad (4)$$

или

$$\frac{\tau_{н.т} - \tau_{н.б}}{\tau_{н.б} - t_n} = \frac{\delta}{R_{н.б} \lambda} \text{ и } \frac{\tau_{н.т} - \tau_{н.б}}{\tau_{н.б} - t_n} = Bi. \quad (5)$$

Полученные выражения (4) и (5) позволяют вычислить величину критерия Био на базе имеющихся распределений температур в толще и на поверхности балконной плиты.

Проанализируем величины критерия Био по ширине балконной плиты на основе полученных в климатических камерах экспериментальных значений температур,

начиная от узла сопряжения балконной плиты с наружной стеной до ее торцевой части. Величина значений критерия  $Bi$  при  $t_n = -10^\circ C$ ,  $t_n = -20^\circ C$ ,  $t_n = -30^\circ C$  и  $t_n = -40^\circ C$  для конструкции балконной плиты по теплопроводному железобетонному включению, перфорации с теплоизоляционным материалом и несущему теплоизоляционному элементу Шекк приведены в табл. 1, из которой следует, что величина критерия  $Bi$  значительно меньше 1, и это характеризует интенсивный отток теплоты с поверхности балконной плиты на всем ее протяжении, и вследствие этих условий она интенсивно охлаждается.

Определим коэффициент теплоотдачи для конструкции узла шириной 1,4 м, состоящего из междуэтажного перекрытия, наружной стены и монолитной железобетонной балконной плиты, в которой перфорация с теплоизоляционным вкладышем имеет объем  $V_{пер.ут} = 0,12 \times 0,2 \times 0,5 = 0,012$  м<sup>3</sup>, а теплопроводное включение из железобетона имеет  $V_{пер.вк} = 0,12 \times 0,2 \times 0,2 = 0,0048$  м<sup>3</sup>. Для этого воспользуемся графиками распределения коэффициента теплоотдачи по теплопроводному железобетонному включению (рис. 1 – изменение коэффициента теплообмена на поверхности бетонной плиты при традиционном решении узла сопряжения наружной стены с балконной плитой с устройством перфорационных отверстий в перекрытии, заполненных теплоизоляционным материалом, в сечении по теплопроводному включению при  $t_n = -40^\circ C$  (1),  $t_n = -30^\circ C$  (2),  $t_n = -20^\circ C$  (3),  $t_n = -10^\circ C$  (4)) и по перфорации с теплоизоляционным вкладышем (рис. 2 – изменение коэффициента теплообмена на поверхности бетонной плиты при традиционном решении узла сопряжения наружной стены с балконной плитой с устройством перфорационных отверстий в перекрытии, заполненных теплоизоляционным материалом, в сечении по теплоизоляционному материалу при  $t_n = -40^\circ C$  (1),  $t_n = -30^\circ C$  (2),  $t_n = -20^\circ C$  (3),  $t_n = -10^\circ C$  (4)), а также при установке в узел сопряжения несущего теплоизоляционного элемента Шекк-Изокорб (рис. 3 – изменение среднего коэффициента теплообмена на поверхности бетонной плиты при

использовании несущего теплоизоляционного элемента Шекк в узле сопряжения наружной стены с балконной плитой при  $t_n = -40^\circ\text{C}$  (1),  $t_n = -30^\circ\text{C}$  (2),  $t_n = -20^\circ\text{C}$  (3),  $t_n = -10^\circ\text{C}$  (4).

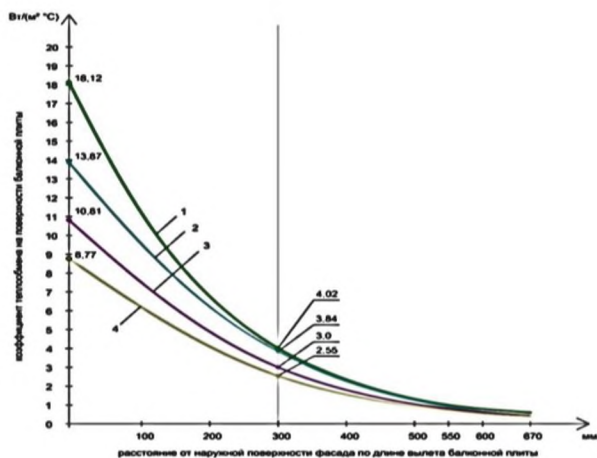


Рис. 1

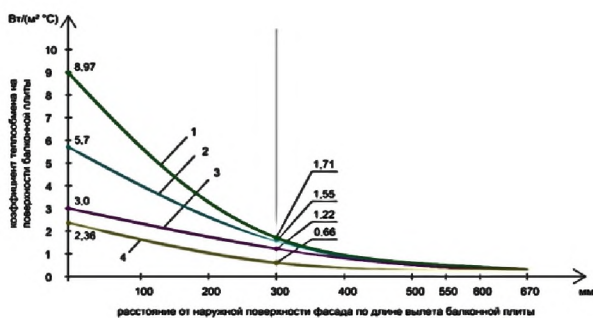


Рис. 2

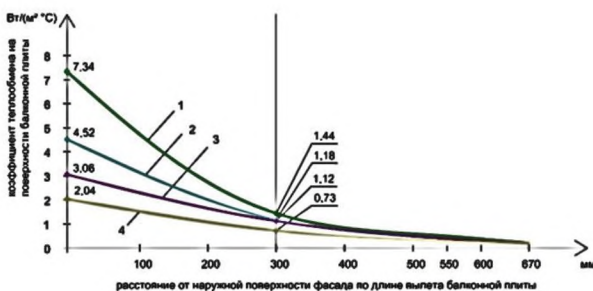


Рис. 3

Величину коэффициента теплоотдачи найдем как среднее значение с учетом объема, которое занимает теплопроводное включение  $V_{\text{пер.вк}}$  и теплоизоляционный вкладыш в перфорации  $V_{\text{пер.уг}}$ , по следующему выражению:

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_{\text{в.теп.вк}} V_{\text{теп.вк}} + \alpha_{\text{в.пер.уг}} V_{\text{пер.уг}}}{V_{\text{теп.вк}} + V_{\text{пер.уг}}}$$

Проанализируем величины критерия Био по ширине балконной плиты на основе полученных в климатических камерах экспериментальных значений температур, начиная от узла сопряжения балконной плиты с наружной стеной до ее торцевой части. Величина значений критерия  $Bi$  при  $t_n = -10^\circ\text{C}$ ,  $t_n = -20^\circ\text{C}$ ,  $t_n = -30^\circ\text{C}$ ,  $t_n = -40^\circ\text{C}$  для конструкции балконной плиты по теплопроводному железобетонному включению, перфорации с теплоизоляционным материалом и несущему теплоизоляционному элементу Шекк приведены в табл. 1. Из табл. 1 следует, что величина критерия  $Bi$  значительно меньше 1, и это характеризует интенсивный отток теплоты с поверхности балконной плиты на всем ее протяжении, и вследствие этих условий она интенсивно охлаждается.

Поэтому при  $Bi < 1$  можно не учитывать температурный градиент в поперечном сечении балконной плиты. Тогда при решении дифференциального уравнения теплопроводности допустимо пренебречь двухмерным температурным полем, и процесс распределения теплоты вдоль балконной плиты следует рассматривать в одномерной постановке.

Таблица 1

Вид конструкции	Температура наружного воздуха, °C	Значения критерия $Bi$		
		по теплопроводному железобетонному включению	по перфорации с утеплением пенополистиролом	по конструкции с несущим теплоизоляционным элементом Шекк
Грань нижнего угла между стеной и балконной плитой	-40	0,89	0,44	0,36
	-30	0,68	0,28	0,222
	-20	0,53	0,158	0,149
	-10	0,43	0,115	0,1
На расстоянии 0,3 м от фасада здания (от грани наружного угла) по поверхности бетонной плиты	-40	0,195	0,084	0,071
	-30	0,159	0,076	0,055
	-20	0,15	0,06	0,058
	-10	0,125	0,03	0,05

## ВЫВОДЫ

1. На основании полученных экспериментальных значений температур на поверхности и в толще балконной плиты при различных вариантах сопряжения конструкции балкона с наружной стеной и междуэтажном перекрытии получено выражение для вычисления критерия Био на поверхности балконной плиты.

2. Анализ значений критерия Био, рассчитанных по выведенной формуле, показал, что при температурах наружного воздуха от  $-10$  до  $-40^{\circ}\text{C}$  наибольшие численные значения наблюдаются в зоне примыкания балконной плиты к наружной стене, что свидетельствует о наиболее интенсивном теплообмене в на этом участке балкона. По мере удаления от наружной поверхности стены значения критерия Био резко уменьшаются на участке балкона размером  $0,3$  м, а на расстоянии  $0,3$  м от наружной поверхности стены и до торца балкона происходит плавное изменение значений критерия Био.

3. На основе полученных значений критерия Био установлено, что по всей поверхности балконной плиты его значение меньше единицы ( $Bi < 1$ ), что дает возможность рассматривать задачу охлаждения балконной плиты при составлении дифференциального уравнения как одномерную, не учитывая температурный градиент в поперечном сечении плиты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ушков Ф.В. Теплотехнические свойства крупнопанельных зданий и расчет стыков. – М.: Изд-во "Литература по строительству", 1967.

2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика / 2-е изд., перераб и доп. – М.: Высшая школа, 1982.

3. Умнякова Н.П., Андрейцева К.С., Смирнов В.А. Теплообмен на поверхности выступающих элементов наружных ограждений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 4. С.157...160.

4. Умнякова Н.П., Андрейцева К.С., Смирнов В.А. Эффективное конструктивное решение узла облочки здания и биосферная совместимость // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2013, № 4. С.51...64.

5. Умнякова Н.П., Андрейцева К.С., Смирнов В.А. Инженерный метод расчета температуры в узле сопряжения наружной стены с монолитными междуэтажным и балконными плитами при использовании несущего теплоизоляционного элемента Шекк-Изокорб // Строительство и реконструкция. – 2013, № 6 (50). С.53...64.

## REFERENCES

1. Ushkov F.V. Teplotekhnicheskie svojstva krupnopanельных зданий i raschet stykov. – M.: Izd-vo "Literatura po stroitel'stvu", 1967.

2. Bogoslovskij V.N. Stroitel'naja teplofizika / 2-e izd., pererab i dop. – M.: Vysshaja shkola, 1982.

3. Umnjakova N.P., Andrejceva K.S., Smirnov V.A. Teplotobmen na poverhnosti vystupajushhijh jelementov naruzhnyh ograzhdenij // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, № 4. S.157...160.

4. Umnjakova N.P., Andrejceva K.S., Smirnov V.A. Jefferktivnoe konstruktivnoe reshenie uzla oblochki zdanija i biosfernaja sovmestimost' // Biosfernaja sovmestimost': chelovek, region, tehnologii. – 2013, №4. S.51...64.

5. Umnjakova N.P., Andrejceva K.S., Smirnov V.A. Inzhenernyj metod rascheta temperatury v uzle sopryazhenija naruzhnoj steny s monolitnymi mezhdu-jetazhnym i balkonnym plitami pri ispol'zovanii nesushhego teploizoljacionnogo jelementa Shekk-Izokorb // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2013, № 6 (50). S.53...64.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН. Поступила 03.04.17.