

НОРМАТИВНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

**Докт. техн. наук, проф. ПИИР А. Э., канд. техн. наук, доц. КОЗАК О. А.,
студ. АГАФОНОВ И. М.**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова

E-mail: ado@piir.ru

Предложен простой, но достаточно точный способ вычисления среднего нормативного коэффициента теплопередачи для любого жилого здания по известным размерам с требуемым уровнем тепловой защиты и заданной долей остекления фасадов. Изложена методика определения среднего нормативного коэффициента теплопередачи жилого здания с числом этажей от 1 до 16 и требуемым уровнем теплозащиты. Установлены теоретическая зависимость и параметры, влияющие на величину теплотерь через наружные ограждения здания. Рассмотрено влияние уровня теплозащиты на нагрузку отопления и расход топлива за отопительный период. Найдены соотношения между нормативными требованиями к уровню теплового сопротивления определенных элементов здания.

Отмечено влияние геометрических характеристик здания на величину теплотерь доли стен в общей площади наружного ограждения и его относительной величины по сравнению с площадью отапливаемых помещений. Сравнение результатов вычисления удельных теплотерь для 1-, 2-, 4-, 8- и 16-этажных зданий с предельно допустимыми величинами теплотерь из СНиП 23-02–2003 показало, что расчетные значения ниже предельных в среднем на 12 %. Это позволяет рекомендовать нормативный коэффициент теплопередачи жилых зданий для оценки теплотерь на предпроектной стадии, когда строительные конструкции наружных ограждений здания еще не определены или находятся в стадии разработки.

Ключевые слова: нормативный коэффициент теплопередачи, жилое здание, теплотери, методика вычисления.

Ил. 1. Табл. 4. Библиогр.: 11 назв.

NORMATIVE HEAT-TRANSFER COEFFICIENT OF THE RESIDENTIAL BUILDING

PIIR A. E., KOZAK O. A., AGAFONOV I. M.

Northern (Arctic) Federal University n. a. M. V. Lomonosov

The paper offers a simple but sufficiently accurate technique of the mid-normative heat-transfer coefficient for any dwelling house applying the known dimensions, required thermal-protection level and specified facade-glazing portion. The authors present the ascertainment technique of the mid-normative heat-transfer coefficient for a dwelling house with the number of stories from 1 to 16 and the required level of thermal protection. They establish the theoretical dependence and parameters affecting the rate of heat-losses through the external building borders. The article considers the thermal-protection level effect on the heating load and the heating-season fuel consumption rate and finds the correlation between the regulatory requirements to the thermal resistance of certain elements of the building.

The authors note the effect of the building geometrical characteristics on the heat-losses rate of the wall portion in the total area of the external borders and its relative quantity as compared with the floor-space of the heated accommodations. The comparison of the specific heat-losses computation results for buildings of 1-, 2-, 4-, 8- and 16-storeys with the SNiP 23-02–2003 maximum permissible values show the computational results being less than the maximum values on average by 12 %. This permits recommending the normative heat-transfer coefficient of dwelling houses for evaluating heat-losses at the concept-design

stage with the building external-borders engineering constructions being indeterminate or yet under development.

Keywords: normative heat-transfer coefficient, dwelling house, heat losses, computational technique.

Fig. 1. Tab. 4. Ref.: 11 titles.

Система отопления жилых зданий компенсирует утечки теплоты сквозь наружные ограждения и обеспечивает подогрев вентиляционного притока воздуха. Нагрузку отопления вычисляют по известной формуле [1]

$$Q = K\Delta t A_{\text{нар}}, \quad (1)$$

где $K = K_{\text{ср}} + K_{\text{вен}}$, Вт/(м² · °С), – суммарный коэффициент теплопередачи, учитывающий потери теплоты от утечек $K_{\text{ср}}$ и при нагреве вентиляционного воздуха $K_{\text{вен}}$; Δt – разница температуры воздуха внутри и снаружи здания, °С; $A_{\text{нар}}$ – площадь наружной оболочки здания, м².

Величину коэффициентов из (1) находят по данным строительного проекта здания, а именно:

- средний коэффициент теплопередачи через наружные ограждения, зависящий от приведенного термического сопротивления R_i отдельных элементов ограждения и площади этих элементов A_i , вычисляют по формуле [2]

$$K_{\text{ср}} = (\sum A_i/R_i)/A_{\text{нар}}, \quad (2)$$

- условный вентиляционный коэффициент теплопередачи, зависящий от средней за отопительный период кратности вентиляции отапливаемых помещений n , находят как [3]

$$K_{\text{вен}} = 0,28c\rho Vn/A_{\text{нар}}, \quad (3)$$

где V – строительный объем здания по наружному обмеру, м³; c , ρ – теплоемкость и плотность воздуха.

В инженерной практике часто возникает задача оценить теплопотери здания на предпроектной стадии, когда известны лишь его размеры и место сооружения. С этой целью для аналогичных типов зданий, возведенных до 1994 г. и имевших одинаковый минимальный уровень теплозащиты, использовали величину удельной тепловой характеристики [4], известную по более ранним проектам. В настоящее время, когда уровни теплозащиты зданий разные, ориентировочные значения тепловой характеристики рассчитаны лишь для 5- и 15-этажных зданий, расположенных в г. Москве [5].

В статье предложен простой, но достаточно точный способ вычисления среднего нормативного коэффициента теплопередачи для любого жилого здания по известным размерам L , B , H с требуемым уровнем тепловой защиты и заданной долей остекления фасадов ω .

Установим теоретическую зависимость и параметры, влияющие на величину среднего нормативного коэффициента теплопередачи жилого здания. Запишем формулу тепловой нагрузки [6] в двух видах

$$Q_o = \Delta t \left(\frac{A_{\text{ст}}}{R_{\text{ст}}} + \frac{A_{\text{пп}}}{R_{\text{пп}}} + \frac{A_{\text{об}}}{R_{\text{об}}} \right) = K_{\text{ср}}\Delta t A_{\text{нар}}, \quad (4)$$

где $A_{\text{ст}}$, $A_{\text{пп}}$, $A_{\text{об}}$ – площадь стен, покрытий-перекрытий, закрытий оконных и балконных проемов, м²; $R_{\text{ст}}$, $R_{\text{пп}}$, $R_{\text{об}}$ – нормативное сопротивление тепло-

передаче стен, покрытий-перекрытий, закрытий оконных и балконных проемов, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; Δt – перепад температур воздуха внутри и снаружи помещения, °C .

Разделим правую и левую части на $\Delta t A_{\text{нар}}/R_{\text{ст}}$ и получим выражение для нормативного безразмерного среднего коэффициента теплопередачи жилого дома

$$\bar{K}_{\text{ср}} = K_{\text{ср}} R_{\text{ст}} = \frac{K_{\text{ср}}}{K_{\text{ст}}} = \frac{A_{\text{ст}}}{A_{\text{нар}}} (1 - \omega) + \frac{A_{\text{пп}} R_{\text{ст}}}{A_{\text{нар}} R_{\text{пп}}} + \frac{A_{\text{ст}} \rho R_{\text{ст}}}{A_{\text{нар}} R_{\text{об}}}, \quad (5)$$

который показывает, во сколько раз средний коэффициент $K_{\text{ср}}$ больше коэффициента теплопередачи через стены $K_{\text{ст}}$.

Рассмотрим влияние уровня теплозащиты жилого дома на нагрузку отопления и расход топлива за отопительный период. Строительные нормы [7] ограничили максимальную величину теплопотерь для жилых зданий в зависимости от числа этажей, и с этой целью установили соответствующие минимальные значения сопротивления теплопередаче для различных элементов конструкции наружного ограждения [8]. Такие данные приведены в ранжированном виде по величине сопротивления теплопередаче для стены $R_{\text{ст}}$ в табл. 1.

Таблица 1

Нормативные значения сопротивления теплопередаче элементов ограждения жилых зданий [7]

Уровень теплозащиты	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$			Хладоемкость, $D_d \cdot 10^{-3}, \text{°C} \cdot \text{сут.}$	Климат зоны применения теплозащиты
	стены	покрытия	окна		
	$R_{\text{ст}}$	$R_{\text{пп}}$	$R_{\text{об}}$		
Минимальный	1,0	1,4	0,16	–	До 1994 г. везде жаркий
Повышенный	2,0	2,8	0,32	1,76	Теплый
Средний	3,0	4,2	0,48	4,71	Умеренный
Усиленный	4,0	5,6	0,56	7,64	Холодный
Высокий	5,0	7,0	0,80	10,60	Арктический
Максимальный	6,0	8,4	0,96	13,50	Суровый (Якутия)

Можно заметить, что нормативные величины сопротивлений теплопередаче элементов ограждения связаны соотношениями:

$$R_{\text{пп}} = 1,4 R_{\text{ст}}; \quad R_{\text{об}} = 0,16 R_{\text{ст}}. \quad (6)$$

Выбор конкретного уровня теплозащиты стен $R_{\text{ст}}$ и прочих ограждений зависит от хладоемкости (градусосуток) отопительного периода года D_d

$$R_{\text{ст}} = 0,35 D_d \cdot 10^{-3} + 1,4. \quad (7)$$

Число градусосуток вычисляют по средней температуре отопительного периода $t_{\text{оп}}$, расчетной температуре внутреннего воздуха отапливаемого помещения $t_{\text{в}}$ и продолжительности отопительного периода $z_{\text{оп}}$ [9]

$$D_d = (t_{\text{в}} - t_{\text{оп}}) z_{\text{оп}}. \quad (8)$$

Оценим влияние уровня теплозащиты на расход теплоты за отопительный период. Если принять доли теплопотерь от теплопроводности ограждения

дений $\bar{K}_{cp} = 0,8$ и от воздухообмена $\bar{K}_{вен} = 0,2$ при минимальном уровне теплозащиты, то, как показано в табл. 2, повышение уровня теплозащиты жилых зданий от минимального до среднего и высокого уровней позволяет снизить тепловую нагрузку со 100 % до 46 и 36 %, а также уменьшить потребление топлива по сравнению с его расходом в 2,2 и 2,8 раза.

Таблица 2

Снижение тепловых нагрузок и экономия теплоты от усиления теплозащиты жилых зданий по сравнению с уровнем 1994 г.

Сопротивление теплопередаче стены $R_{ст}, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	Нагрузка $Q_0, \%$	Снижение нагрузки	Хладоемкость $D_{д}, \text{°C} \cdot \text{сут.}$	Расход теплоты за отопительный период, %	Экономия теплоты за отопительный период, %	Уменьшение расхода теплоты
1	100	0	1	100–1000	0	
2	60	40	1,76	104	72	1,7
3	46	56	4,71	216	265	2,2
4	40	60	7,64	305	459	2,5
5	36	64	10,6	382	678	2,8
6	33	67	13,5	445	915	3,0

Рассмотрим влияние геометрических размеров и пропорции жилых зданий простой прямоугольной формы на теплопотери. Ширина здания B ограничена по условиям обеспечения естественного освещения внутренних помещений, а увеличение жилой (отапливаемой) площади происходит в первую очередь за счет длины здания, а во вторую – за счет увеличения высоты H и числа этажей высотой h .

Объем здания по наружному обмеру, правомерность применения которого обоснована в [10], определяем по формуле

$$V = BLH. \quad (9)$$

Площадь:

- отапливаемых помещений

$$A_0 = V/h; \quad (10)$$

- наружных ограждений

$$A_{нар} = A_{ст} + A_{пп} = 2(LB + BH + HL). \quad (11)$$

Относительная величина площади наружных ограждений по сравнению с отапливаемой площадью

$$\varphi = A_{нар}/A_0 = 2h(L^{-1} + B^{-1} + H^{-1}). \quad (12)$$

В площади наружных ограждений доля площади:

- перекрытий

$$a_{пп} = A_{пп}/A_{нар} = (1 + H/L + H/B)^{-1}; \quad (13)$$

- стен

$$a_{ст} = 1 - a_{пп}. \quad (14)$$

Площадь остекления фасадов пропорциональна коэффициенту остекления ω и равна

$$A_{oc} = \omega A_{ст}. \quad (15)$$

Изменение двух важных теплотехнических показателей здания – доли площади перекрытий $a_{пп} = A_{пп}/A_{нар}$ (самого теплосберегающего элемента наружного ограждения) и относительной величины площади охлаждающих здание наружных ограждений $\varphi = A_{нар}/A_o$ – по сравнению с отапливаемой площадью здания иллюстрирует табл. 3. С ростом высоты здания коэффициенты $a_{пп}$ и φ убывают, причем изменение первого при этом вызывает увеличение теплотерь, а второго – их снижение. Изменение этих коэффициентов в зависимости от числа этажей жилого дома показано на рис. 1.

Таблица 3

Геометрические характеристики и средний расчетный безразмерный коэффициент теплопередачи зданий с числом этажей от 1 до 16

Число этажей z	$A_o, \text{ м}^2$	$V, \text{ м}^3$	$L \times B \times H,$ $\text{ м} \cdot \text{ м} \cdot \text{ м}$	ω	$a_{пп}$	φ	$\bar{K}_{ср}$
1	120	360	15×8×2,5	0,12	0,725	2,96	0,866
2	360	1080	20×9×5,5	0,14	0,522	1,81	1,200
4	1600	4800	40×10×12	0,16	0,410	1,26	1,380
8	5760	17280	60×12×24	0,18	0,230	0,76	1,590
16	19200	57600	80×15×48	0,20	0,210	0,60	1,850

Рассмотрим совместное влияние сопротивления теплопередаче R_i элементов ограждения и их геометрических размеров A_i на средний коэффициент теплопередачи оболочки здания. Подставим в (5) коэффициенты пропорциональности из (6), соотношения (13), (14) и после преобразования получим искомую формулу безразмерного среднего коэффициента теплопередачи наружных ограждений жилого здания

$$\bar{K}_{ср} = 1 - 0,286a_{пп} + 5,25\omega a_{ст}. \quad (16)$$

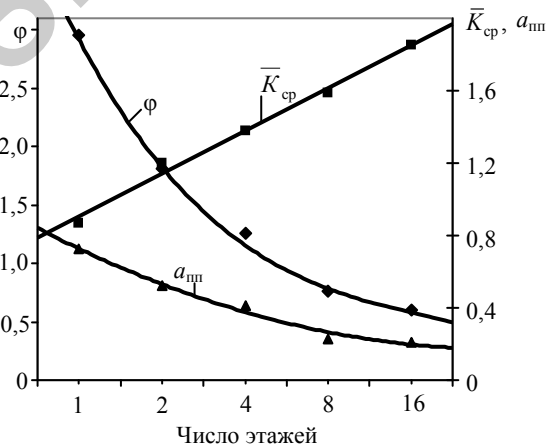


Рис. 1. Изменение геометрических характеристик жилых домов и среднего коэффициента теплопередачи от числа этажей

Для упрощения вычислений используем аппроксимацию

$$\bar{K}_{\text{cp}} = 0,9z^{0,25}, \quad (17)$$

где z – число этажей жилого дома.

Безразмерный коэффициент характеризует способность оболочки здания передавать теплоту в окружающую среду. Его величина зависит от соотношения площади поверхности элементов наружного ограждения с высокой и низкой трансмиссиями теплоты. Как видно из табл. 3, средний безразмерный коэффициент теплопередачи через ограждения увеличивается в два раза с ростом высоты здания от 1 до 16 этажей.

Конкретная размерная величина среднего коэффициента теплопередачи, отнесенная к отапливаемой площади здания, зависит от требуемого уровня тепловой защиты

$$K_{\text{cp}} = \bar{K}_{\text{cp}} \varphi / R_{\text{ст}} = 0,9z^{0,25} \varphi / R_{\text{ст}}. \quad (18)$$

Формулы (13), (16), (18) позволяют вычислить средний нормативный коэффициент теплопередачи жилого здания исходя из его геометрических показателей $a_{\text{ст}}$, ω , φ и заданного уровня теплозащиты.

Найдем условный коэффициент теплопередачи, учитывающий теплотопотери на подогрев вентиляционного потока воздуха при норме его расхода $30 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{чел.})$ и заселенности общей площади квартир $20 \text{ м}^2/\text{чел.}$ [11]

$$K_{\text{вен}} = 0,28Lc_p\rho = 0,28 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1,296 = 0,544, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}). \quad (19)$$

Поступление тепловой мощности от работы бытовой техники, исходя из нормы теплопритока $q_6 = 10\text{--}17 \text{ Вт}/\text{м}^2$ [1], представим как

$$Q_{\text{быт}} = q_6 A_0 = K_{\text{быт}} \Delta t A_0, \quad (20)$$

откуда найдем среднюю величину условного коэффициента теплопередачи, учитывающего теплоприток:

$$K_{\text{быт}} = \frac{q_{\text{быт}}}{\Delta t} = \frac{12}{50} = 0,24, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}). \quad (21)$$

Искомая величина нормативного суммарного коэффициента теплопередачи жилого здания, отнесенного к отапливаемой площади здания, равна

$$K_{\text{сум}} = K_{\text{cp}} + K_{\text{вен}} - K_{\text{быт}} = K_{\text{cp}} + 0,54 - 0,24 = K_{\text{cp}} + 0,3, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}). \quad (22)$$

Для проверки полученного результата воспользуемся безразмерными средними коэффициентами теплопередачи \bar{K}_{cp} , вычисленными по формуле (16) для ограждающих конструкций жилых зданий высотой 1, 2, 4, 8 и 16 этажей (табл. 3). Затем по (18) найдем средний нормативный коэффициент теплопередачи K_{cp} для местности с числом градусосуток $D_d = 5000 \text{ °C} \cdot \text{сут.}$ и требуемым средним уровнем теплозащиты, где сопротивление теплопередаче стен $R_{\text{ст}} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Определим значение суммарного коэффициента теплопередачи $K_{\text{сум}}$ по (22). И, наконец, по формуле

$$q_{\text{рас}} = K_{\text{сум}} \cdot 24D_d \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2 \quad (23)$$

узнаем удельную теплопотерю за отопительный период для каждого здания из группы и сравним ее с предельной нормативной величиной $q_{\text{нор}}$ из СНиП 23-02–2003 [7]. Результаты этих вычислений представлены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение расчетных $q_{\text{рас}}$ и предельных нормативных $q_{\text{пред}}$ значений удельного расхода теплоты за отопительный период в жилом здании ($D_d = 5000 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{сут.}; R_{\text{ст}} = 3 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$)

Число этажей z	Расчетная величина (по формуле)				Нормативная величина $q_{\text{нор}}$ [7]	Относительная разница $\frac{q_{\text{нор}} - q_{\text{рас}}}{q_{\text{нор}}}$
	$\bar{K}_{\text{ср}}$ (16)	$K_{\text{ср}}$ (18)	$K_{\text{сум}}$ (22)	$q_{\text{рас}}$ (23)		
1	0,866	0,85	1,15	138	160	0,16
2	1,200	0,71	1,01	121	132	0,08
4	1,380	0,58	0,88	106	110	0,04
8	1,590	0,40	0,70	84	105	0,19
16	1,850	0,37	0,67	81	95	0,15
Среднее отклонение						–12 %

Сравнение показало, что расчетные значения теплопотерь $q_{\text{рас}}$ для в 1-, 2-, 4-, 8- и 16-этажных зданий в среднем на 12 % ниже предельно допустимых $q_{\text{нор}}$, поскольку в расчете не учитывали дополнительные теплопотери, величина которых и составляет около 12 % [5]. Это позволяет рекомендовать конечные формулы (13), (16), (18) и (22) для определения коэффициента теплопередачи и методику расчета тепловых нагрузок на его основе для широкого практического применения.

ВЫВОД

Выполненные исследования позволяют рекомендовать нормативный коэффициент теплопередачи жилых зданий для оценки теплопотерь на предпроектной стадии, когда строительные конструкции наружных ограждений здания еще не определены или находятся в стадии разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т и т о в, В. П. Расчет мощности системы отопления и воздухообмена в помещениях здания: методические указания по курсовой работе (курс «Основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха»; специальность «Теплогазоснабжение и вентиляция») / В. П. Титов, А. Г. Рымаров, О. Д. Самарин. – М.: МГСУ, 1999.
2. С к а н а в и, А. Н. Отопление: учеб. для вузов / А. Н. Сканави, Л. М. Махов. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 575 с.
3. Л и в ч а к, И. Ф. Вентиляция многоэтажных жилых зданий / И. Ф. Ливчак, А. Л. Наумов. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 134 с.
4. В о д я н ы е тепловые сети: справ. пособие по проектированию / И. В. Беляшклина [и др.]: под ред. Н. К. Громова, Е. П. Шубина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 378 с.
5. М а л я в и н а, Е. Г. Теплопотери здания: справ. пособие / Е. Г. Малявина. – 2 изд., испр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2011. – 144 с.
6. Отопление, вентиляция и кондиционирование: СНиП 41-01–2003 / Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. – Взамен СНиП 2.04.05–91. – Введ. 01.01.2004. – СПб.: Деан, 2004. – 142 с.
7. Т е п л о в а я защита зданий: СНиП 23-02–2003. – Введ. 01.10.2003. – М.: ОАО «ЦПП», 2008. – 48 с.
8. Л и в ч а к, В. И. Еще один довод в пользу повышения теплозащиты зданий / В. И. Ливчак // Энергосбережение. – 2012. – № 6. – С. 14–20.

9. Строительная климатология: СНиП 23-01-99. – Введ. 01.01.2000. – М.: ГУП «ЦПП», 2003. – 114 с.
10. В л а с о в, О. Е. Основы строительной теплотехники / О. Е. Власов. – М.: ВИА РККА, 1938. – 93 с.
11. З д а н и я жилые и общественные. Нормы воздухообмена: АВОК Стандарт-1–2004: отраслевой стандарт. – Введ. 09.06.2004. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2004. – 32 с.

REFERENCES

1. T i t o v, V. P., Rymarov, A. G., & Samarin, O. D. (1999) *Calculation of Heating System Power and Air Exchange in the Building Spaces*. Moscow: MGSU [Moscow State Construction University] (in Russian).
2. S k a n a v i, A. N., & Makhov, L. M. (2002) *Heating*. Moscow, Publishers ASB. 575 p. (in Russian).
3. L i v c h a k, I. F., & Naumov, A. L. (2005) *Ventilation of the High-Rise Apartment Buildings*. Moscow, AVOK-PRESS. 134 p. (in Russian).
4. B e l i a s h k i n a, I. V., Vital'ev, V. P., Gromov, N. K., Igolka, L. P., Liamin, A. A., Ostal'tsev, P. P., Safonov, A. P., Skvortsov, A. A., Suris, M. A., Tagi-Zade, R. M., Falikov, V. S., & Shubin, E. P. (1988) *Water Heat Networks*. Moscow, Energoatomizdat. 378 p. (in Russian).
5. M a l y a v i n a, Ye. G. (2011) *Building Heat Losses*. 2nd pub. Moscow, AVOK-PRESS. 144 p. (in Russian).
6. S N i P 41-01-2003 [Building Regulations]. Heating, Ventilation, Conditioning. St. Petersburg, Dean, 2004. 142 p. (in Russian).
7. S N i P 23-02-2003 [Building Regulations]. Thermal Protection of the Buildings. Moscow: JSC 'TsPP', 2008. 48 p. (in Russian).
8. L i v c h a k, V. I. (2012) Another Argument in Favour of Enhancing Buildings Thermal Protection. *Energoberezhnie* [Energy Saving], 6, 14–20 (in Russian).
9. S N i P 23-01-99 [Building Regulations]. Building Climatology. Moscow, GUP 'TsPP', 2003. 114 p. (in Russian).
10. V l a s o v, O. Ye. (1938) *Basics of Construction Thermo Engineering*. Moscow, VIA RKKA. 93 p. (in Russian).
11. A V O K Standard-1–2004. Industry Standard. Buildings Residential and Public. Air Exchange Norms. Moscow, AVOK-PRESS, 2004. 32 p. (in Russian).

Представлена кафедрой
теплоэнергетики и теплотехники

Поступила 04.03.2015

УДК 621.165

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПАРОВЫХ ТУРБИНАХ ТЭС

Канд. техн. наук НЕУЙМИН В. М.

ООО «НПО «Энергобезопасность»

и ООО «Технологические системы защитных покрытий» (Москва, Россия)

E-mail: neva333@yandex.ru

Предложены основы теории вентиляционных процессов, возникающих и протекающих в ступенях паровых турбин ТЭС на режимах работы с малыми объемными расходами пара в цилиндре низкого давления. Основы теории включают новые физико-математические модели для расчета вентиляционных потерь мощности и вентиляционных разогревов пара и проточной части турбины; поиск и исследование факторов, вызывающих повышенные изгибные нагрузки на рабочих колесах последних ступеней и способных привести к поломке рабочих лопаток. Приведены практические результаты использования основ теории вентиляционных процессов.

Получена новая математическая зависимость для высокоточной оценки вентиляционных потерь мощности, учитывающая все многообразие параметров, определяющих