

УДК 697.134

ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЧЕРДАЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ С НЕТИПОВОЙ КРОВЛЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

Анисимов Максим Васильевич,

канд техн. наук, доцент кафедры «Охрана труда и окружающей среды»
Томского государственного архитектурно-строительного университета,
Россия, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2. E-mail: teploproekt@list.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью обеспечения эффективной тепловой защиты чердачных перекрытий в зданиях с длительным сроком эксплуатации, имеющих нетиповую кровлю, при проведении капитального ремонта.

Цель работы: решение проблемы возникновения условий формирования «точки росы» на поверхностях ограждающих конструкций жилого здания с нетиповой кровлей при проведении капитального ремонта; разработка рекомендаций по устранению условий конденсации влаги на ограждающих конструкциях путем укладки перед вентиляционным продухом минераловатных плит расчетной толщины.

Методы исследования: предложенная физико-математическая модель теплового состояния чердачного пространства с учетом воздухообмена и конструктивных особенностей нетиповой кровли. Численное решение поставленной задачи с использованием разработанного программного комплекса.

Результаты: Разработана расчетная схема влияния теплотехнических параметров и воздухообмена чердачного пространства нетиповой кровли на температурные поля в ее ограждающих конструкциях. Осуществлен подбор эффективной толщины утепляющего слоя в чердачном пространстве, который позволит, не проводя никаких дополнительных мероприятий, исключить условия формирования конденсата на ограждающих конструкциях внутри жилых помещений.

Ключевые слова:

Воздухообмен, «точка росы», ограждающие конструкции, температурные поля, чердачное перекрытие.

Анализ проблемы

В настоящее время жилые здания массовой застройки, введенные в эксплуатацию в конце XX в., зачастую имеют большую степень износа и требуют проведения капитального ремонта. Одной из наиболее уязвимых частей здания является его кровля. Кроме того, утеплитель который используется для тепловой защиты жилых помещений последнего этажа, также требует замены, т. к. в качестве утеплителя, как правило, использовался керамзит или его аналоги, а требования к тепловой защите здания за последнее время существенно возросли.

В случае, когда устройство кровли здания является не серийным, при проведении капитального ремонта может возникнуть целый ряд инженерных теплотехнических задач по эффективному утеплению чердачного перекрытия и обеспечению нормативного воздухообмена в чердачном пространстве. Зачастую, руководствуясь только лишь требованиями нормативных документов, не возможно с удовлетворительной точностью определить размеры вентиляционных чердачных продухов либо выполнить мероприятия по утеплению чердачного перекрытия (например, если здание не имеет чердачного этажа).

В соответствии с [1], результирующая температура помещения также является одним из показателей микроклимата. На указанный показатель напрямую влияет и температура поверхностей ограждающих конструкций внутри жилых помещений. Несоблюдение температурного режима эксплуатации зданий (в том числе чердачного перекрытия) может привести к тому, что после проведенных мероприятий по реконструкции параме-

тры микроклимата в помещениях последнего этажа (граничащего с чердачным пространством) могут отличаться от нормативных. Поэтому обеспечение нормативных параметров микроклимата (результатирующей температуры помещения) в зданиях при проведении капитального ремонта является актуальной задачей.

Так, при проведении капитального ремонта одного из жилых зданий, построенных в конце XX в. в г. Томске, размеры продухов в чердачном пространстве были увеличены в соответствии с требованиями [2]. При этом жильцы дома, проживающие на последнем (пятом) этаже, стали подавать жалобы в ТСЖ о том, что на поверхности перекрытий (вблизи наружных стен) стал возникать водяной конденсат. Натурные исследования показали, что увеличение размеров вентиляционных продухов привело к существенному увеличению воздухообмена в чердачном пространстве и его чрезмерном «выхолаживании». Вследствие чего было выдвинуто предположение о том, что отсутствие на перекрытии (со стороны вентилируемого чердачного пространства) эффективной тепловой изоляции могло повлечь за собой промерзание перекрытий над последним этажом и создать условия для возникновения на поверхности перекрытия «точки росы».

Обзор современных методов теплового расчета чердачных ограждающих конструкций

При проведении обзора расчетов теплового состояния здания следует отметить работы таких авторов как К.Ф. Фокин, В.Н. Богословский, А.В. Лыков и др. [3–8], а также зарубежных специалистов R.W. Serth, J.H. Lienhard IV и др. [9–13].

На сегодняшний день существует ряд методик теплового расчета ограждающих конструкций зданий различного назначения. Анализ данных методик показал, что в ряде случаев их применение в расчете тепловой изоляции уже существующих зданий, в которых капитальные ремонты проводились с некоторой периодичностью, затруднительно, либо они не позволяют учесть реальные конструктивные и теплотехнические условия эксплуатации зданий. При проведении ремонта зачастую отсутствует комплексный анализ состояния здания и такая реконструкция, устраняя одни проблемы, может породить новые.

На стадии проектирования для расчета утепления ограждающих конструкций зданий, в том числе чердачного перекрытия, применяется нормативная методика СНиП [14]. В соответствии с данной методикой, толщина и теплофизические свойства утеплителя чердачного перекрытия определяются по условиям энергоэффективности и в соответствии с климатическими особенностями региона проектирования здания. Тем не менее, такая методика не может учесть влияние воздухообмена чердачного пространства и дает расхождение с реальными условиями в случае, если воздухообмен не является нормативным. Несоответствие реального воздухообмена и нормативного наблюдается, когда производится ремонт ограждающих конструкций и вентиляционных продухов без комплексного теплотехнического учета их влияния на температурный режим ограждающих конструкций внутри здания.

Тепловой расчет «теплого» чердака жилого здания рассмотрен в диссертационной работе И.И. Старовойтовой [15]. Указанная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, однако данная методика предложена для решения теплотехнических задач в условиях обогреваемого чердака, имеющего несколько циркуляционных воздушных зон – естественной конвекции и струйной циркуляции, возникающей вследствие естественной вентиляции из жилых квартир. Сравнение условий применимости показало, что в рассматриваемом бесчердачном пространстве преобладает ламинарное течение воздушных потоков со стороны вентиляционных продухов, что делает затруднительным применение методики И.И. Старовойтовой в рассматриваемой теплотехнической задаче, т. к. формирование тепловых потоков происходит без влияния вертикальных воздушных струй естественной вентиляции.

В итоге можно сделать вывод, что имеющиеся на сегодняшний день методики теплового расчета чердачных пространств либо недостаточно «гибки» и не позволяют учитывать изменения некоторых параметров, в связи с корректировкой конструктива здания, либо разработаны для решения «узких» задач. При этом попытка привязать их к отличающимся архитектурно-строительным и

теплотехническим условиям может повлечь за собой возникновение ошибок при расчете.

Математическое моделирование теплового состояния чердачного пространства с учетом его воздухообмена

Для проверки гипотезы был проведен анализ конструкции кровли с чердачным пространством, количества и размеров продухов, а также типа и состояния утеплителя. Кровля здания обладала рядом особенностей – конструкция ее после проведения укладки кровельного железа не позволяла произвести замену всего утепляющего слоя (т. к. доступ к нему ввиду ограниченности пространства отсутствовал), воздухообмен внутри производился за счет продухов в наружной стене, а также вентиляционных воздуховодов, установленных на кровле здания.

На рис. 1 приведен принципиальный разрез чердачного пространства здания, на котором показана схема движения воздуха от продуха до вентиляционного воздуховода с выходом его через кровлю.

Покрытие кровли – стальной лист, кровля не утепленная. На рис. 1 показан разрез чердачного пространства до внутренней «глухой» стены. С другой стороны внутренней стены также имеется аналогичное «зеркальное» неэксплуатируемое пространство. Кровля в здании имеет два ската с верхней точкой кровли в области внутренней «глухой» (не имеющей отверстий) стены.

Вентиляционный продух после реконструкции имел размеры 200×400 мм. Толщина имеющегося утепляющего слоя (слой насыпного керамита) – 100 мм. Размеры стены с продухом и внутренней стеной указаны на рис. 1. На рис. 1, а приведен принципиальный разрез чердачного пространства до проведения ремонтных работ, а на рис. 1, б – после выполнения ремонтных работ с рекомендуемым к укладке слоем утеплителя из минераловатных плит. Выбор типа утеплителя из минераловатных плит был обусловлен хорошими теплотехническими свойствами, а также возможностью легкой транспортировки плит и укладки их перед вентиляционными продухами (внутри чердачного пространства) без демонтажа кровли (непосредственно через продухи).

Для определения факторов, влияющих на формирование «точки росы» на поверхности перекрытия, была разработана физико-математическая модель тепломассобмена чердачного пространства с окружающей средой, рис. 2.

При рассмотрении задачи прогнозирования возникновения условий для формирования «точки росы» на поверхностях ограждающих конструкций была сформулирована задача в двумерной постановке (1)–(4).

Граничные условия для слоя 1 (кровельный слой):

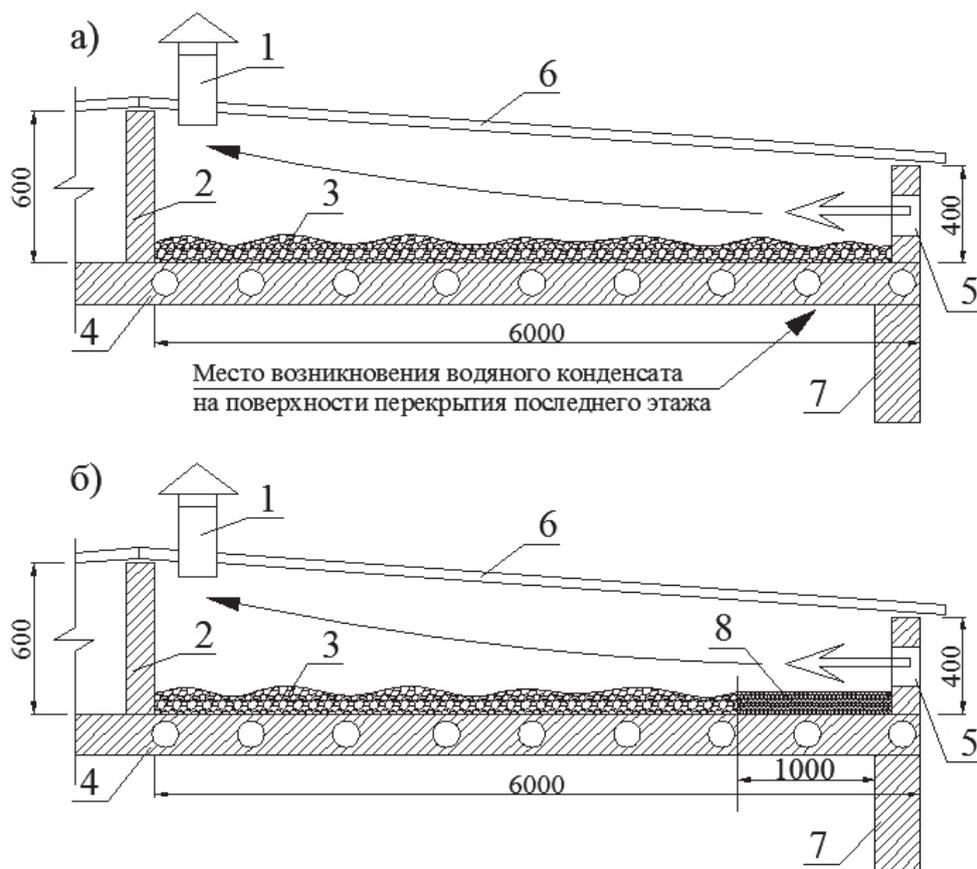


Рис. 1. Принципиальная схема чердачного пространства жилого здания: 1 – вентиляционный воздуховод; 2 – внутренняя «глухая» стена; 3 – слой утеплителя (керамзит); 4 – плита перекрытия над жилыми помещениями; 5 – вентиляционный продух; 6 – скатная кровля (поверхность из листового железа); 7 – наружная стена здания; 8 – слой утеплителя (минеральные плиты)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{При } y = y_n; x_1 \leq x \leq x_n; t_{n1} = t_{\text{нар}}; \\ \text{при } y = y_3; x_1 \leq x \leq x_n; \alpha_{n2}(t_B - t_{n2}) = -\lambda \frac{\partial T_2}{\partial y}; \\ \text{при } x = x_n; y_3 \leq y \leq y_n; q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \\ \text{при } x = x_1; y_3 \leq y \leq y_n; q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \lambda = \text{const}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где α_{n2} – коэффициент теплоотдачи вблизи поверхности покрытия кровли, Вт/(м²·°C); λ – коэффициент теплопроводности материальных слоев в принятой схеме, Вт/(м²·°C).

Граничные условия для слоя 2 (воздух в чердачном пространстве):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{При } y = y_3; x_1 \leq x \leq x_n; \alpha_{n2}(t_B - t_{n2}) = -\lambda \frac{\partial T_2}{\partial y}; \\ \text{при } y = y_2; x_1 \leq x \leq x_n; \alpha_{n3} \cdot (t_{n3} - t_B) = -\lambda \frac{\partial T_3}{\partial y}; \\ \text{при } x = x_n; y_2 \leq y \leq y_3; t_{xn} = f(t_{\text{нар}}, v, L), \\ \text{при } x = x_1; y_2 \leq y \leq y_3; q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \end{array} \right. \quad (2)$$

где α_{n3} – коэффициент теплоотдачи вблизи поверхности чердачного перекрытия, Вт/(м²·°C); v и L – скорость движения воздуха (м/с) и расход воздуха (м³/ч) через вентиляционный продух, соответственно.

Граничные условия для слоя 3 (чердачное перекрытие):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{При } y = y_2; x_1 \leq x \leq x_n; \alpha_{n3}(t_{n3} - t_B) = -\lambda \frac{\partial T_3}{\partial y}; \\ \text{при } y = y_1; x_1 \leq x \leq x_n; q = \text{const}; \\ \text{при } x = x_n; y_1 \leq y \leq y_2; q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \\ \text{при } x = x_1; y_1 \leq y \leq y_2; q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \end{array} \right. \quad (3)$$

где $q = \text{const}$ – нормативный тепловой поток из жилых помещений через чердачное перекрытие, Вт.

В общем виде в декартовой системе координат уравнение теплопроводности выглядит как

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + Q, \quad (4)$$

где C_p – удельная изобарная теплоемкость, а Q – внутренние источники тепловыделений (в данном случае $Q=0$, т. к. тепловыделений нет).

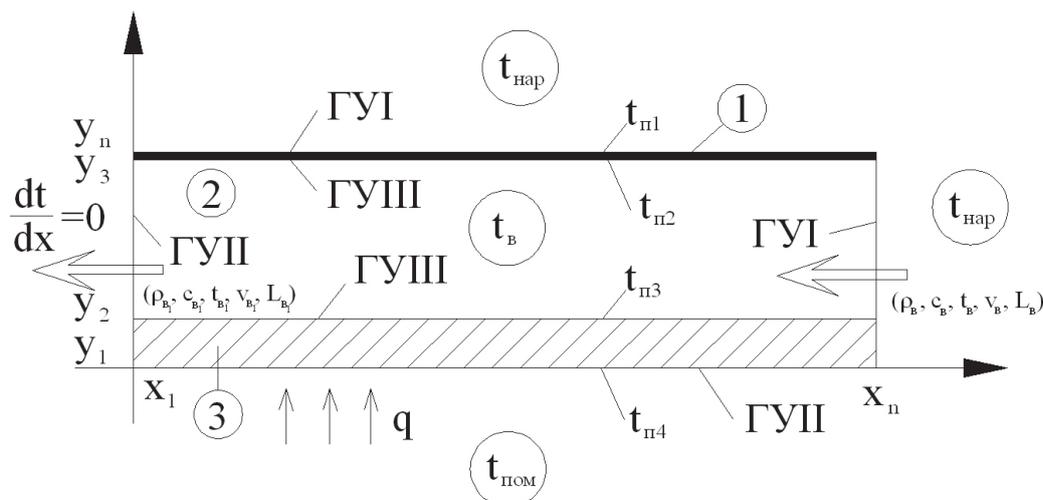


Рис. 2. Расчетная схема математической модели: 1 – покрытие кровли; 2 – внутренний воздух в чердачном пространстве; 3 – перекрытие над жилыми помещениями; ГУ I, ГУ II, ГУ III – граничные условия; $\rho_v, c_v, t_v, v_v, L_v$ – плотность, теплоемкость, температура, скорость и расход воздуха соответственно; q – удельный тепловой поток

Тепловой баланс чердачного перекрытия (5) будет являться разницей теплоты, поступающей через перекрытие от жилых помещений $Q_{пер}$ (6), и потерь теплоты, идущих на нагревание приточного воздуха $Q_{инф}$ (7) (через вентиляционные продухи) и за счет теплопередачи через покрытие кровли Q_k .

$$Q = Q_{пер} - Q_{инф} - Q_k. \quad (5)$$

Тепловой поток через перекрытие чердачного этажа ($Q_{пер}$) [3], Вт

$$Q_{пер} = \frac{F}{R_{пер}} (t_{п4} - t_{п3}), \quad (6)$$

где F – площадь ограждающей конструкции, м²; $R_{пер}$ – приведенное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия, (м²·К)/Вт; $t_{п4}, t_{п3}$ – температура на поверхностях чердачного перекрытия, К.

Тепловые потери на нагрев воздуха, поступающего через вентиляционные продухи, вычислялись по известным зависимостям, приведенным в [16], Вт.

$$Q_{инф} = 0,28LC_{рв}\rho_v(\Delta T), \quad (7)$$

где L – расход приточного воздуха, м³/ч; $C_{рв}$ – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С); ρ_v – плотность приточного воздуха (8), кг/м³; ΔT – разность температур приточного воздуха и воздуха внутри чердачного пространства, °С. Плотность воздуха с удовлетворительной точностью можно определить по следующей зависимости:

$$\rho = \frac{353}{T_v}, \quad (8)$$

где T_v – температура воздуха, К.

Для описания процесса конвективного теплообмена на границе «воздух – чердачное перекрытие» использовались зависимости, приведенные в СНиП 2.06.04–82 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения» [17], Вт/(м²·°С)

$$\alpha = 23\sqrt{v_{cp} + 0,3}, \quad (9)$$

где v_{cp} – средняя скорость ветра, м/с.

Из зависимости (9) видно, что коэффициент теплоотдачи на границе «воздух – чердачное перекрытие» является функцией от скорости движения ветра.

Ввиду малых температур на поверхностях ограждающих конструкций внутри чердачного пространства, а следовательно и значений количества теплоты, теряемой различными поверхностями за счет излучения (1...2 % от суммарных тепловых потерь) этой составляющей теплообмена пренебрегаем.

При разработке модели теплообмена чердачного пространства были сделаны некоторые допущения:

1. Скорость движения воздуха в вентиляционном продухе была принята как нормативная для данного климатического региона [18].
2. Тепловой поток, идущий через чердачное перекрытие, был принят нормативным [19].
3. Не были учтены суточные колебания скорости движения ветра снаружи здания.
4. Сопротивление теплопередачи чердачного перекрытия считалось как приведенное с учетом слоя утеплителя.
5. Теплопроводность слоя утеплителя принималась по паспортным данным фирмы-производителя, с учетом пребывания его в увлажненном состоянии.
6. Воздух, поступающий в чердачное пространство, равномерно распределялся по перекрытию и двигался от продуха до вентиляционного воздуховода.
7. Теплота, идущая через чердачное перекрытие, полностью усваивается приточным холодным воздухом.
8. Относительная влажность воздуха внутри жилых помещений была принята в соответствии с нормативными требованиями.

9. Температура воздуха внутри жилых помещений была принята равной нормативной $t_{\text{пом}}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
10. Температура «точки росы» для ограждающих конструкций внутри жилых помещений определялась по нормативной методике [14].

После принятия ряда допущений данная задача решалась для стационарного режима теплопередачи, т. к. было принято, что тепловые процессы являются установившимися.

Для решения поставленной задачи вся длина чердачного перекрытия была условно разделена на метровые зоны (всего 6 зон, рис. 1), через которые равномерно проходила струя наружного воздуха. При этом теплота от чердачного перекрытия полностью передавалась воздуху, имеющему скорость движения в чердачном пространстве $v_{\text{в}}=f(v_{\text{ветра}})$.

В соответствии с зависимостью (6) можно определить температуру поверхности перекрытия $t_{\text{п4}}$ (рис. 1), предварительно приняв температуру приточного воздуха.

Для определения температуры формирования «точки росы» на поверхности ограждающих конструкций была использована нормативная методика [14].

На основе анализа существующих численных методов решения теплотехнических задач для решения задачи теплообмена чердачного пространства с окружающей средой был выбран широко используемый метод прогонки с неявной разностной схемой, который зачастую используется при решении подобного рода технологических задач [20].

Сравнение результатов натурных наблюдений с результатами численного решения

Для облегчения расчетов разработанная схема была реализована в виде компьютерной програм-

мы с возможностью проведения численного эксперимента моделирования условий формирования «точки росы» на поверхностях ограждающих конструкций. Данная программа обеспечивала расчет температурных полей чердачного перекрытия с учетом изменения исходных данных, таких как: температура воздуха, скорость движения приточных струй, геометрические размеры продухов и теплотехнические характеристики основных ограждающих конструкций.

В таблице приведены исходные данные к расчету.

Таблица. Исходные данные

Исходные данные	Значение
Температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$	-40
Скорость ветра, м/с	2,4
Площадь единичного вентиляционного продуха, м^2	0,08
Температура воздуха в жилых помещениях, $^{\circ}\text{C}$	20
Относительная влажность воздуха в жилых помещениях, %	40
Марка рекомендуемого утеплителя	Rockwool РУФ БАТТС В
Теплопроводность утеплителя, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$	0,05
Габариты листа утеплителя, мм	1000×600×40

По результатам проведенных расчетов были получены температуры основных поверхностей в рассматриваемой расчетной схеме (рис. 2).

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, при фактическом сечении продуха 1-я «метровая зона» попадает в условия формирования «точки росы» на поверхности перекрытия, граничащего с чердачным пространством,

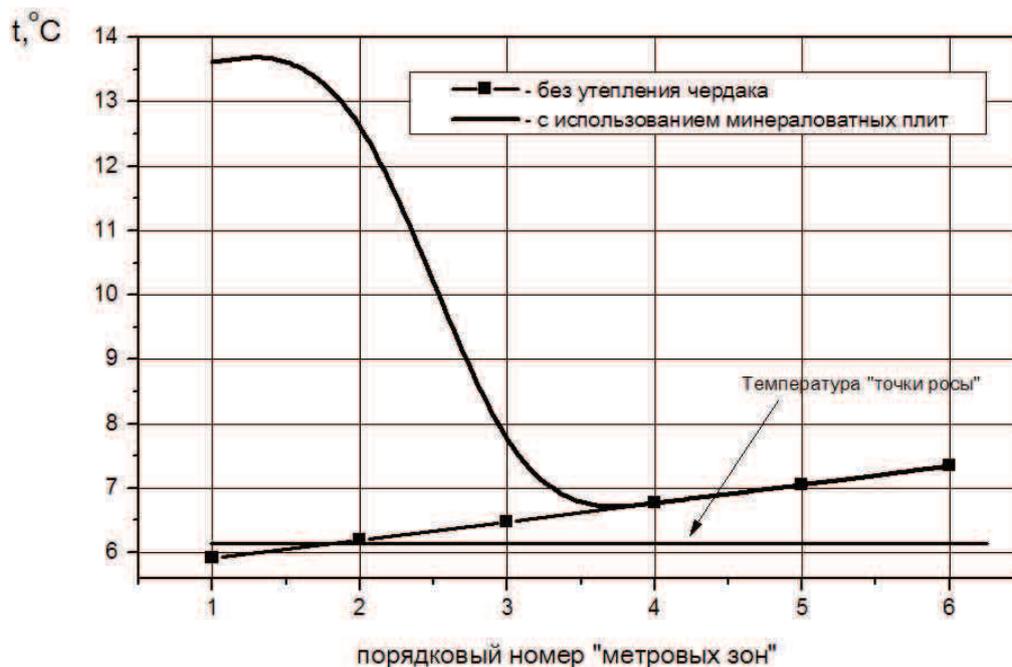


Рис. 3. Результаты численного исследования

что удовлетворительно согласуется с наблюдениями жильцов верхнего этажа. При проведении численного моделирования было получено, что для предотвращения условий формирования «точки росы» на перекрытиях достаточно слоя минераловатного утеплителя Rockwool РУФ БАТТС В толщиной 10 мм. На рис. 3 кривой линией показан результат численного моделирования поведения температуры на поверхности перекрытия внутри жилых квартир, из которого видно, что для решения проблемы достаточно произвести укладку принятого утеплителя на расстоянии до 1 м от существующих продухов.

Это позволит существенно повысить температуру на потолочных перекрытиях внутри жилых квартир в зонах, прилегающих к наружной стене, где, по мнению жильцов, и наблюдается водяной конденсат.

Выводы

В результате проделанной работы была предложена расчетная схема оценки влияния теплотехнических параметров чердачного пространства нетиповой кровли на температурные поля в ее ограждающих конструкциях. Разработанный программный комплекс позволяет проводить оценку температурных полей чердачного перекрытия с утепли-

телем, в зависимости от размеров вентиляционных продухов и воздухообмена в бесчердачном пространстве, а также определять эффективную толщину утепляющего слоя для обеспечения нормативных параметров микроклимата в жилых помещениях, граничащих с чердачным пространством.

Сравнение результатов, полученных при расчете с помощью программы, и натурных наблюдений жильцов дома показало их удовлетворительную согласованность.

Был проведен подбор эффективной толщины утепляющего слоя в чердачном пространстве, который бы позволил, не проводя никаких дополнительных мероприятий (например, изменения геометрических размеров продухов или демонтажа кровли), исключить условия формирования конденсата на ограждающих конструкциях жилых помещений. Существующие маты Rockwool РУФ БАТТС В имеют толщину листа 40 мм, поэтому целесообразно использование имеющихся типовых размеров, что не противоречит результатам расчета (для устранения конденсации достаточно толщины утеплителя 10 мм). Результаты исследований в виде рекомендаций были переданы сотрудникам местного ТСЖ для проведения работ по нормализации параметров микроклимата в жилых квартирах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 30494–96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Введ. 01.03.1999. – М.: Госстрой России, 1999. – 18 с.
2. СП 17.13330.2011. Кровли. Введ. 20.05.2011. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 61 с.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / под ред. Ю.А. Табунщикова, В.В. Гагарина. – 5-е изд., пересмотр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
4. Богословский В.Н. Тепловой режим здания. – М.: Высш. школа, 1979. – 397 с.
5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). – М.: Высш. Школа, 1982. – 415 с.
6. Еремкин А.И., Королева Т.И. Тепловой режим зданий. – М.: Изд-во Ассоциации стр-х вузов, 2001. – 368 с.
7. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. школа, 1967. – 599 с.
8. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
9. Belmiloudi A. Heat transfer mathematical modeling. Numerical methods and information technology. – Croatia: InTech, 2011. – 654 p.
10. Louis Th. Heat Transfer Applications for the Practicing Engineer. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2011. – 664 p.
11. Annaratone D. Engineering Heat Transfer. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 344 p.
12. John H Lienhard IV., John H Lienhard V. A Heat Transfer Textbook. – USA; Cambridge; MA: Phlogiston press, 2011. – 766 p.
13. Serth R.W. Process Heat Transfer. – USA: Elsevier Science and Technology Book, 2007. – 755 p.
14. СП 23–101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий. Взамен СП 23–101–2000; введ. 26.03.2004. – М.: Госстрой России, 2004. – 86 с.
15. Староверова И.И. Тепловоздушный режим теплых чердаков и прилегающих помещений современных жилых зданий повышенной этажности в холодный период года: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1984. – 334 с.
16. СНиП 41–01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Взамен СНиП 2.04.05–91*; введ. 01.01.2004. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 54 с.
17. СНиП 2.06.04–82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – М.: Госстрой России, 1989. – 49 с.
18. СНиП 23–01–99. Строительная климатология. Взамен СНиП 2.01.01–82; введ. 01.01.2000. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 65 с.
19. СНиП П-3–79*. Строительная теплотехника. – М.: ГИ ЦПП, 1996. – 29 с.
20. Карауш С.А., Лысак И.А., Анисимов М.В. Математическое моделирование теплового состояния подвального помещения // Вестник ТГАСУ. – 2006. – № 2. – С. 133–141.

Поступила 20.11.2013 г.

THERMAL PROTECTION SHIELD OF ATTIC FLOOR WHEN REPAIRING MULTI-APARTMENT BUILDING WITH NONSTANDARD ROOFING SYSTEM

Maksim V. Anisimov,

Cand. Sc., Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, 634003,
Tomsk, Solyanaya square, 2. E-mail: teploproekt@list.ru

The relevance of the research is caused by the necessity to ensure the efficiency of attic floor thermal shield when repairing long-life buildings with nonstandard roofing.

The aim of the research is to solve the problem of occurrence of «dew point temperature» conditions on to enclosure envelope surface when repairing residential building with non-typical roofing system; to design the considerations relating to removal of moisture condensation cause from building envelope by placing the effective thickness mineral wool boards in front of attic ventilation drain.

Methods: the proposed physico-mathematical model of attic-floor space thermal state considering air interchange and design features of nonstandard roofing. Numerical solution of stated problem with the use of the developed software.

Results: The author has developed the computational scheme of influence of heat engineering factors and attic air exchanges in non-typical roofing on temperature pattern in its enclosing structures. The effective underlining thickness of attic ventilation drain was selected. It allows excluding the perspiration water conditions on building envelope surface inside accommodations without any additional actions.

Key words:

Air exchange, «dew point», building envelope, temperature field, attic floor.

REFERENCES

1. GOST 30494–96. *Zdania zhilie i obshchestvennie. Parametri microclimata v pomeshchenyah* [State Standard 30494–96. Living and public buildings. Parameters microclimate in apartment]. Moscow, Gosstroy Russia, 1999. 18 p.
2. SP 17.13330.2011. *Krovly* [State of rules 17.13330.2011. Roofs]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 2011. 61 p.
3. Fokin K.F. *Stroitelnyy teploekhnika ograzdayushchikh chastei zdaniy* [Construction thermal technique for walls of buildings]. Moscow, AVOK-PRESS, 2006. 256 p.
4. Bogoslovsky V.N. *Teplovoy rezhim zdania* [Thermal regime of buildings]. Moscow, Visshaya shkola Publ., 1979. 397 p.
5. Bogoslovsky V.N. *Stroitelnyy teplofizika* [Thermal physics of construction]. Moscow, Visshaya shkola Publ., 1982. 415 p.
6. Eremkin A.I. *Teplovoy rezhim zdaniy* [Thermal regime of buildings]. Moscow, Assotsiatsiya stroitelnykh vuzov, 2001. 368 p.
7. Lykov A.V. *Teoriya teploprovodnosti* [Theory of thermal conductivity]. Moscow, Visshaya shkola Publ., 1967. 599 p.
8. Tabunshchikov Yu.A. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teplovoy effektivnosti zdaniy* [Mathematical simulation and optimization of thermal efficiency of buildings]. Moscow, AVOK-PRESS, 2002. 194 p.
9. Belmiloudi A. *Heat transfer mathematical modeling. Numerical methods and information technology*. Croatia, InTech, 2011. 654 p.
10. Louis Th. *Heat Transfer Applications for the Practicing Engineer*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2011. 664 p.
11. Annaratone D. *Engineering Heat Transfer*. Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. 344 p.
12. John H Lienhard IV, John H Lienhard V. *A Heat Transfer Textbook*. USA; Cambridge; MA, Phlogiston press, 2011. 766 p.
13. Serth R.W. *Process Heat Transfer*. USA, Elsevier Science and Technology Book, 2007. 755 p.
14. SP 23–101–2004. *Proektirovanie teplovy zashchiti zdaniy* [State of rules. Design of thermal protection of buildings]. Moscow, Gosstroy Russia, 2004. 86 p.
15. Staroverova I.I. *Teplovozdushniy rezhim teplykh cherdakov i prilgayushchikh pomeshcheniy sovremennykh zhilykh zdaniy povyshennoy etazhnosti v kholodny period goda*. Diss. kand. nauk [Thermal and airy regime of heat attics and apartment of modern sublime buildings in cold period of the year. Cand. Diss.]. Moscow, 1984. 334 p.
16. SNiP 41–01–2003. *Otoplenie, ventilyatsiy i konditsionirovanie* [Rules of construction 41–01–2003. Heating, ventilation and conditioning]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 2003. 54 p.
17. SNiP 2.06.04–82*. *Nagruzki i vozdeystviya na gidrotekhnicheskie sooruzhenia* [Rules of construction 2.06.04–2003. Load and influence on hydrotechnical constructions]. Moscow, Gosstroy Russia, 1989. 49 p.
18. SNiP 23–01–99. *Stroitelnyy klimatologiya* [Rules of construction 23–01–99. Climatology of construction]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 2004. 65 p.
19. SNiP II-3–79*. *Stroitelnyy teploekhnika* [Rules of construction II-3–79*. Thermal engineering of constructions]. Moscow, GP CPP, 1996. 29 p.
20. Karaush S.A. *Matematicheskoe modelirovanie teplovogo sostoyaniya podvalnogo pomeshchenia* [Mathematical simulation of cellar thermal condition]. *Vestnik TGASU*, 2006, vol. 2, pp. 133–141.