

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА ПРИМЫКАНИЯ ОКОННОГО БЛОКА К СТЕНОВОМУ ПРОЕМУ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ю.А. Елдашов, Г.Г. Кашеварова



Елдашов Юрий
Александрович

Пермь, директор ООО
«ВЕПЛАСТ»

Кашеварова Галина
Геннадьевна

Пермь, зав. каф. стр. механики
ПГТУ, д.т.н., профессор

Физика процесса теплопередачи в зоне сопряжения оконных блоков с наружной стеной достаточно ясна. При устройстве окна с узкой коробкой в однослойной наружной стене (например, кирпичной стене толщиной 640 мм) без каких либо мероприятий по утеплению откосов, резко увеличивается тепловой сток через оконные откосы в обход оконной коробки. Более того, сам оконный блок оказывается размещённым в зоне отрицательных температур и потери тепла через откосы идут не только вдоль оконной коробки (в наружную среду), но и в толще стены с низкими температурами. Это, соответственно, приводит к понижению температуры внутренней поверхности оконных откосов, выпадению на их поверхности конденсата (а в отдельных случаях и к его замерзанию) со всеми вытекающими последствиями [1].

Существует несколько способов решения проблемы промерзания оконных откосов, но мы остановимся на способе, которые предлагают многие производители профильных систем. Один из классических примеров такого решения - это рама арт.307 КВЕ с шириной коробки 127 мм.

Приведённые ниже расчёты, свидетельствуют на наш взгляд о явной безперспективности такого конструктивного решения, потому что предложенный вариант оконной коробки не решает ни одной из описанных в начале этой статьи проблем. Кроме того, эта рама не технологична при обработке: увеличение площади сварки приводит к дополнительным энергозатратам, большая протяжённость внутреннего шва и пр.

Существуют способы, которые и с технологической и с экономической (в смысле стоимо-

сти) точек зрения решают эти проблемы не менее эффективно. На рис. 1 представлены два варианта узла примыкания оконного блока. На рис. 1а показан узел примыкания к стене из кирпича толщиной 64 мм на основе широкой рамы арт.307, на рис. 1б показан узел примыкания к этой же стене на основе обычной рамы арт.707 высотой 63 мм и шириной 58 мм. В качестве термовкладыша используется брусок из полистирола сечением 60 x 40 мм. В таблице представлены теплофизические свойства используемых материалов.

Сравнительные расчёты проводились по методике, изложенной в [2]. Для решения поставленных задач использовался сертифицированный ANSYS 8.0 в комплектации ANSYS/Multiphysics, базирующийся на МКЭ (метод конечного элемента).

В общем случае для решения поставленных задач необходима реализация нелинейной задачи нестационарной теплопроводности. Тогда для какой-либо конкретной конфигурации области объемом V необходимо решить уравнение нестационарной теплопроводности [3 – 6] вида:

$$\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \operatorname{div}(a \cdot \operatorname{grad} T) + Q, \bar{x} \in V, \tau > 0, \quad (1)$$

где $T(\bar{x}, \tau)$ – искомая функция температуры; \bar{x} – вектор координат; τ – время; $a = \lambda / (c\rho)$ – температуропроводность; λ – теплопроводность; c – удельная теплоемкость; ρ – плотность; Q – внутренний источник или сток тепла.

Начальное условие задачи:

$$T(\bar{x}, 0) = T_0(\bar{x}), \quad (2)$$

где $T_0(\bar{x})$ – заданная функция.

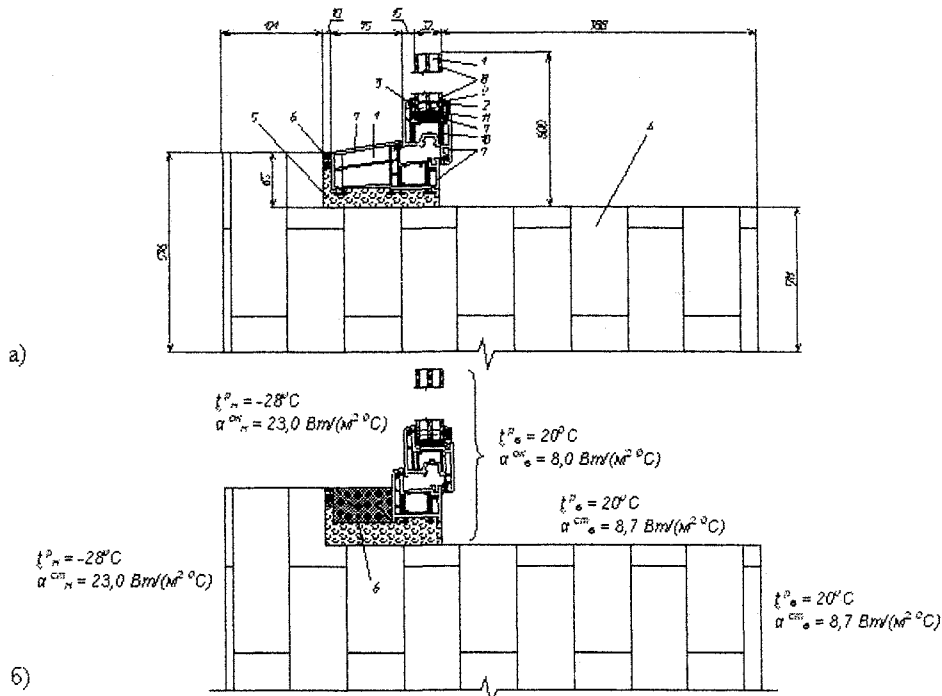


Рис. 1. Расчетная схема

а) рама с наружным откосом из ПВХ; б) профиль с наружной вставкой из пенополистирола

Теплофизические свойства используемых материалов

№	Наименование материала	Плотность, ρ, кг/м ³	Теплоемкость, с, Дж/(кг·град)	Теплопроводность, λ, Вт/(м·град)
1	Воздух	1,293	1005	0,0244
2	Резина EPDM	1200	1382	0,169
3	Герметизирующая мастика (тиокол)	1200	1382	0,169
4	Кирпич	1200	880	0,8
5	ППУ (пенополиуретан)	100	1680	0,042
6	ППС (пенополистирол)	40	1680	0,035
7	ПВХ жесткий	1400	1500	0,175
8	Стекло оконное	2500	840	0,84
9	Алюминий	2670	921	221
10	Оцинкованная сталь	7900	482	58
11	ПЭ (полиэтилен)	950	1500	0,4
12	ПСУЛ			0,05

Граничные условия задачи (1) в общем случае имеют вид:

$$\alpha^* \frac{\partial T}{\partial \bar{x}} + \beta^* T = f(\bar{x}, \tau), \quad \bar{x} \in \bar{X}_{sp}, \quad (3)$$

где α^* , β^* – константы; $f(\bar{x}, \tau)$ – заданная функция; \bar{X}_{sp} – вектор, описывающий границу области.

Для тепловых задач условие (3) называется условием первого рода при $\alpha^*=0$, условием второго рода при $\beta^*=0$ и условием третьего рода при $\alpha^* \neq 0$ и $\beta^* \neq 0$. Константы α^* и β^* , а также функция $f(\bar{x}, \tau)$ могут быть различными для разных участков поверхности, ограничивающей исследуемый объем. Конкретный вид выражения (3), если принять, что \bar{X}_{sp} образуется поверхностями S_1 ,

где заданы граничные условия первого рода, S_2 – второго, S_3 – третьего, можно записать так:

$$\begin{aligned} T(x, \tau) &= T(\bar{x}, \tau), & (\bar{x}, \tau) \in S_1, \\ -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} &= q(\bar{x}, \tau), & (\bar{x}, \tau) \in S_2, \\ \lambda \frac{\partial T}{\partial n} &= -\alpha(T - T_C), & (\bar{x}, \tau) \in S_3. \end{aligned}$$

Здесь T и q – температура и тепловой поток, заданные соответственно на частях границы по-

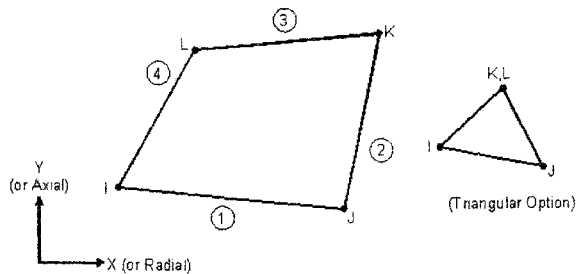


Рис. 2. Четырехугольный конечный элемент PLANE55 и его вырожденная треугольная форма

верхности S_1 и S_2 тела; α – коэффициент теплоотдачи через поверхность тела S_3 от среды с температурой T_C ; n – внешняя нормаль к поверхности. Объединение участков S_1 , S_2 и S_3 образует полную границу S объема V . Частный случай $q=0$ второго условия отражает отсутствие переноса тепла – адиабатическую границу.

Перечисленные случаи граничных условий (3) и их комбинация охватывают весь класс встречающихся на практике задач, так как теплообмен излу-

чем можно свести к задаче конвективного теплообмена - граничным условиям третьего рода.

С вариационной точки зрения решение уравнения (1) с граничными условиями (3) эквивалентно отысканию минимума функционала вида:

$$I(T) = \int_{\Omega} \frac{1}{2} \left\{ (\lambda \cdot \text{div grad} T) - 2 \left(Q - c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} \right) T \right\} dV + \int_{S_2} q T dS + \int_{S_2} \frac{\alpha}{2} [T^2 - 2T T_c + T_c^2] dS. \tag{4}$$

При этом полагается, что минимизация осуществляется для каждой точки временного интервала и перед каждой такой минимизацией теплофизические характеристики и другие величины, зависящие от времени, должны быть пересчитаны заново. При минимизации (4) также принимается, что граничные условия первого рода на по-

верхности S_1 - наложены на пробную функцию $\{T\}$ - значения узловых температур в МКЭ.

Основные разрешающие матричные соотношения МКЭ можно получить хорошо отработанными приемами [5]. Тогда, итоговое разрешающее уравнение МКЭ имеет вид:

$$\left([K] + \frac{2}{\Delta \tau} [C] \right) \{T\}_1 = \left(\frac{2}{\Delta \tau} [C] - [K] \right) \{T\}_0 - 2\{F\},$$

где $[K]$ - матрица теплопроводности ансамбля конечных элементов; $[C]$ - матрица теплоемкости; $\Delta \tau$ - временной интервал;

$$\{T\}_1 = \frac{1}{2} (\{T\}_1 + \{T\}_0),$$

$$\{F\}_1 = \frac{1}{2} (\{F\}_1 + \{F\}_0).$$

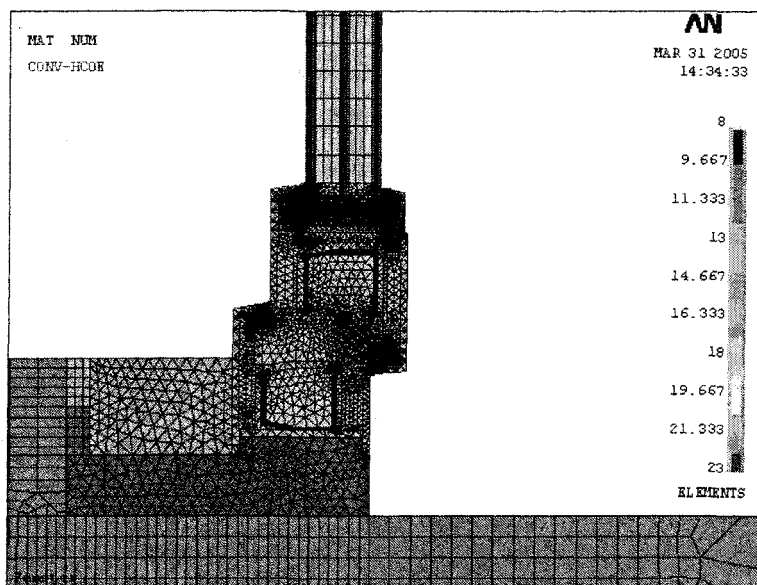


Рис. 3. Фрагмент конечно-элементной модели

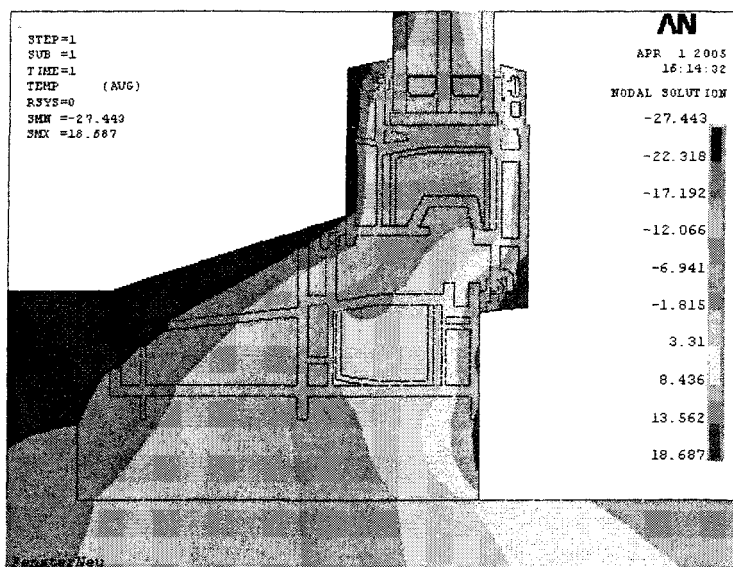


Рис. 4. Распределение температуры в конструкции с использованием ПВХ-откоса

Здесь T_0 и T_1 – функции температуры для времени τ_0 и τ_1 соответственно. Аналогично для функции $\{F\}$ – термических сил.

В расчетах использовался четырехугольный конечный элемент младшего порядка PLANE55 (рис. 2), поддерживающий как стационарный, так и нестационарный анализ. Аппроксимация температуры в элементе осуществляется по линейной зависимости. При этом используются расчетные значения температуры в узловых точках.

Фрагмент конечноэлементной сетки для варианта конструкции в соответствии с рис.1, б представлен на рис. 3. При этом сложные конфигурации участков, например технологические отливы ПВХ-профиля, имеющие незначительное влияние в теплотехническом отношении, заменялись более простыми.

Граничные условия принимались в следующем виде. Для поверхностей, граничащих с наружным и внутренним воздухом – в соответствии с рис. 1, б. Расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в}^p = 20$ °С; расчетная температура наружного воздуха $t_{н}^p = -28$ °С; расчетный коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены $\alpha_{в}^{ст} = 8,7$ Вт/(°С·м²); расчетный коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности оконного блока $\alpha_{в}^{ок} = 8,0$ Вт/(°С·м²); расчетный коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены и оконного блока $\alpha_{н} = 23,0$ Вт/(°С·м²). Для поверхностей, ограничивающих расчетную область, тепловой поток и коэффициенты теплоотдачи принимались равными нулю. Начальная температура всей конструкции принималась равной 20 °С.

Как видно из рисунков, большого эффекта применение наружного откоса из профиля ПВХ не дает. В обоих рассмотренных вариантах конструктивного оформления узла примыкания оконного блока к стеновому проему в угловой зоне кирпичной стены и на внутренней поверхности остекления в зоне сопряжения с переплетами наблюдаются пониженные температуры до

1 - 8 градуса, что значительно ниже температуры «точки росы».

Таким образом, значительное усложнение конструкции, а значит и ее удорожание, в данном случае не привело к повышению эксплуатационных свойств окна.

На рис. 4 представлено распределение температуры в конструкциях согласно рис. 1 в зоне примыкания оконного блока к стеновому проему.

Слабым местом конструкции является место соприкосновения стекла с дистанционными рамками из алюминия. Здесь образуется так называемый «мостик холода», по которому осуществляется сток тепла.

Именно этим можно объяснить низкие температуры стекла в зоне сопряжения с переплетами и образование инея на данных участках. В качестве альтернативного варианта можно было бы предложить использование рамок из жесткого ПВХ или стеклопластика, оптимизацию местоположения и геометрии дистанционных рамок.

Литература

1. Кривошеим, А.Д. Окна из ПВХ. анализ теплового режима узлов сопряжений с наружными стенами различного конструктивного решения. / А.Д. Кривошей // Информационный бюллетень Окна и Двери -№4(13). - 1998г.
2. ГОСТ 30971-2002 Швы монтажные узлов примыканий оконных блоков к стеновым проемам. Общие технические условия.
3. Исаченко, В.П Теплопередача / В.П Исаченко, В.А Осипова, А.С.Сукомел. - М.: Энергоиздат, 1981 -277 с.
4. Михеев, М.А. Основы теплопередачи. / М.А. Михеев, И.М. Михеева. - М.. Энергия, 1977.-344 с.
5. Лыков, А.В. Теория теплопроводности. /А.В. Лыков - М.: Высшая школа, 1967. - 600 с.
6. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов. / Л. Сегерлинд. - М: Мир, 1977 -314 с.