

УДК 624.014:621.792

А. А. Левчук

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С УТЕПЛИТЕЛЕМ ИЗ МИНЕРАЛОВАТНЫХ ПЛИТ И ПЕНОПЛАСТА

Выполнено сравнение аналитического и численного методов расчета трехслойных металлических панелей. Приведены результаты статических расчетов металлических панелей численным методом по различным расчетным схемам.

Введение

Металлические бескаркасные панели с утеплителем из минераловатных плит и пенопласта нашли широкое применение при строительстве производственных, административных и общественных зданий. До 1998 г. в Республике Беларусь не было собственного производства таких конструкций, поэтому их приходилось импортировать. В настоящее время налажен выпуск панелей на восьми предприятиях страны.

Основные конструктивные особенности выпускаемых в Республике Беларусь панелей следующие – обшивки стальные плоские или слабопрофилированные толщиной 0,45–0,55 мм; утеплитель изготовлен из минераловатных или пенополистирольных плит; соединение среднего слоя и обшивок клеевое.

Используемые при проектировании зданий аналитические методики статического расчета трехслойных панелей [1–3, 5] не в полной мере учитывают эти особенности, и, кроме того, в них рассмотрен очень узкий класс задач со следующими ограничениями:

– внешние нагрузки могут быть только двух видов – силовая равномерно распределенная по всей длине панели и температурная с одинаковым перепадом на наружной и внутренней обшивках (перепад температур по всей длине панели одинаков);

– расчетная схема панели только равнопролетная (один, два или три пролета);

– крепление панели к несущим кон-

струкциям жесткое из плоскости и допускает свободные деформации в плоскости панели.

Указанные выше ограничения не позволяют производить статический расчет конструкций по более сложным расчетным схемам (отличающиеся длины пролетов; нежесткое крепление панелей к ветровым ригелям, колоннам, стропильным конструкциям и др.) с учетом требований [4] по приложению нормируемых нагрузок (линейное изменение нагрузки в зоне расположения снеговых мешков для кровельных панелей или ветровой нагрузки по высоте для стеновых панелей; наличие силовой нагрузки не во всех пролетах; приложение сосредоточенных сил). При значительной длине панели (до 12 м) и наличии помещений с различным температурным режимом, для которых она является единой ограждающей конструкцией (например, холодильник и помещение для обслуживающего персонала), задача становится неразрешимой по методикам [1–3, 5].

В связи с этим в [5] рекомендуется выполнять статический расчет трехслойных панелей численными методами, что позволяет снять практически все перечисленные выше ограничения.

Обоснование применимости метода конечных элементов при статическом расчете трехслойных металлических панелей

Для выполнения статических расчетов металлических панелей с утепли-

телем из минераловатных плит и пенопласта автором настоящей статьи был разработан основанный на методе конечных элементов алгоритм решения задачи в плоской постановке.

Для проверки корректности получаемых по разработанной программе результатов были выполнены статические расчеты одно-, двух- и трехпролетных панелей шириной 1000 мм с высотой поперечного сечения 100 мм со стальными плоскими обшивками толщиной 0,5 мм. Пролеты панелей приняты равными 3600 мм. Модуль сдвига материала среднего слоя $G = 5$ МПа. Обшивки приняты плоскими.

В каждом случае рассматривались два нагружения конструкций:

– нагружение 1 – равномерно распределенная по всей длине панели нагрузка величиной 1 кПа;

– нагружение 2 – перепад температур на внутренней и наружной обшивках панели 100°C .

При решении «стандартных» задач по расчетным схемам, указанным на рис. 1, получены параметры напряженно-деформированного состояния, практически совпадающие с результатами расчета панелей по существующим методикам [3, 5] (табл. 1). Максимальные отличия результатов расчета при решении задач численным и аналитическими методами [3, 5] не превышают в деформациях 5 %, а в напряжениях – 1 %. Следует дополнительно отметить, что максимальное различие в деформациях (прогибах) трехпролетных панелей при их определении по [3, 5] составляет 6,5 %.

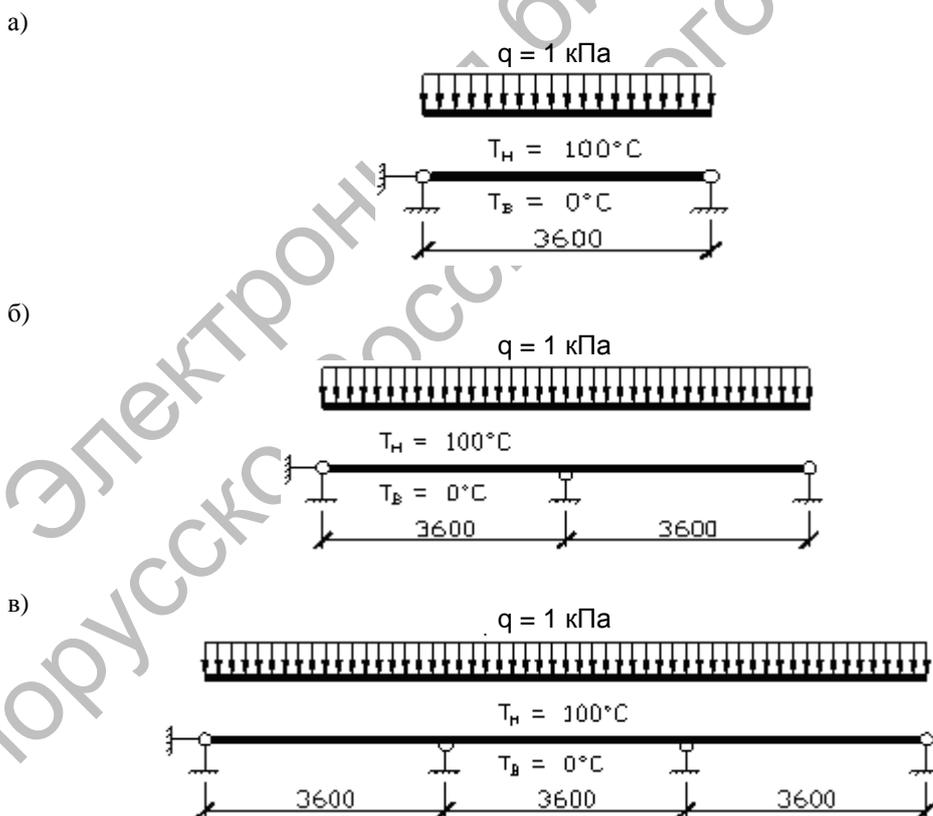


Рис. 1. Расчетные схемы для тестовых расчетов: а – № 1; б – № 2; в – № 3

Табл. 1. Результаты статического расчета панелей по методикам [3, 5] и численным методом

Номер расчетной схемы	Загружение	Прогиб, мм	Максимальное нормальное напряжение в обшивках, МПа	Максимальное касательное напряжение в среднем слое, кПа
<i>Результаты расчета по методике С. Б. Ермолова [3]</i>				
1	1	-7,5	32,56	18,09
1	2	19,5	0	0
2	1	-5,4	26,29	21,76
2	2	7,7	149,90	20,82
3	1	-5,5	23,92	21,41
3	2	8,7	135,45	18,81
<i>Результаты расчета по методике EN 14509 [5]</i>				
1	1	-7,6	32,56	18,09
1	2	19,5	0	0
2	1	-5,5	26,29	21,74
2	2	8,1	149,70	20,79
3	1	-5,7	23,78	21,39
3	2	9,3	135,40	18,81
<i>Результаты расчета численным методом (методом конечных элементов)</i>				
1	1	-7,5	32,50	18,05
1	2	19,5	0	0
2	1	-5,5	26,30	21,57
2	2	8,1	149,90	20,86
3	1	-5,7	23,80	21,22
3	2	9,1	135,50	18,85

Примеры статического расчета металлических панелей по «нестандартным» расчетным схемам

Примеры статического расчета панелей по расчетным схемам, не удовлетворяющим ограничениям «стандартных» методик, с использованием разработанного нами алгоритма приведены на рис. 2–5. Ширина панелей 1000 мм, высота поперечного сечения 100 мм, обшивки стальные плоские толщиной 0,5 мм. Модуль сдвига материала среднего слоя $G = 5$ МПа. Значения всех силовых нагрузок, кроме значений, указанных на схемах, приняты $q = 1$ кПа.

Выводы

1. Для выполнения статического расчета металлических панелей с утеплителем из минераловатных плит и пенопласта допустимо использование аналитических формул, приведенных в [3, 5], если расчетные схемы панелей, их крепления, внешние нагрузки и воздействия не противоречат принятым в этих источниках ограничениям.

2. В остальных случаях статический расчет металлических панелей с утеплителем из минераловатных плит и пенопласта необходимо выполнять численными методами.

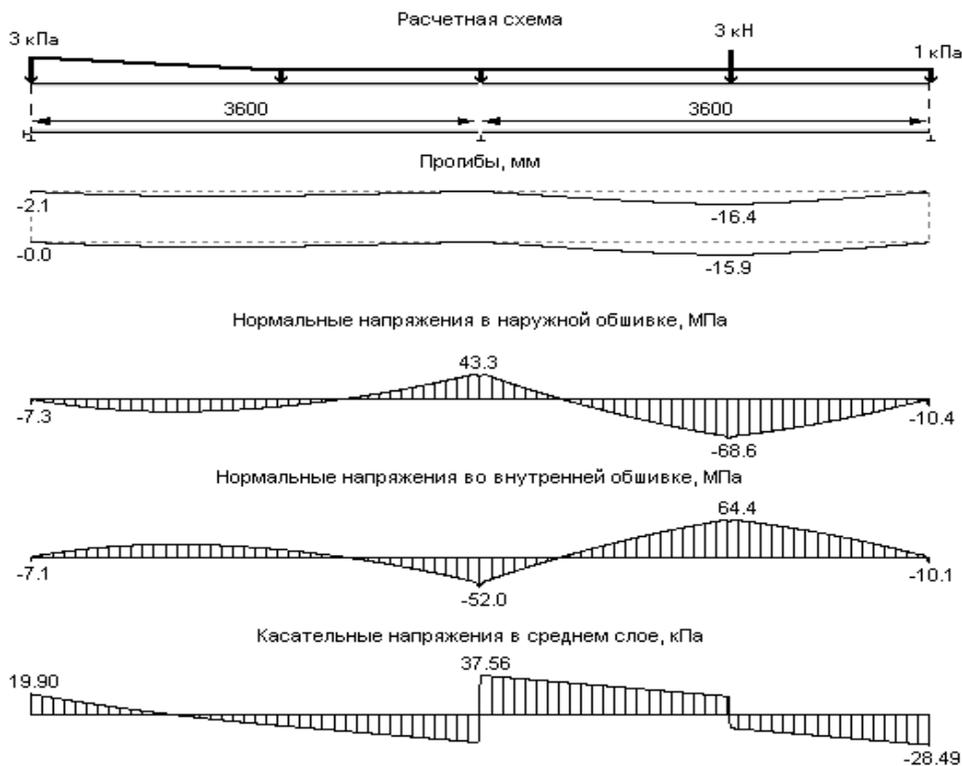


Рис. 2. Расчет двухпролетной панели на сложное силовое нагружение

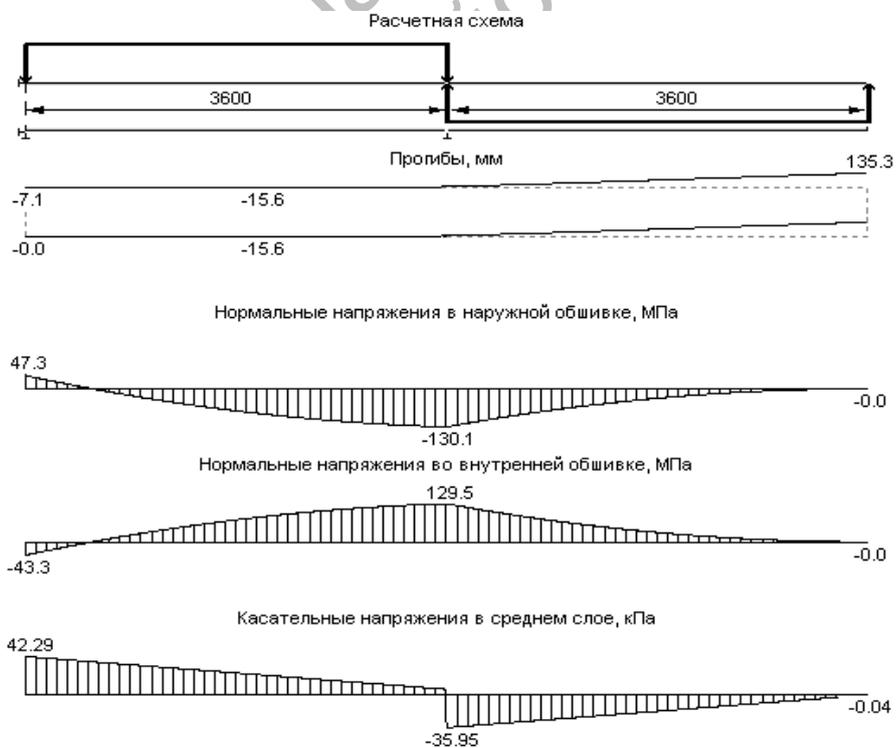


Рис. 3. Расчет панели с жесткой заделкой на левой опоре и консолью на действие силовой нагрузки

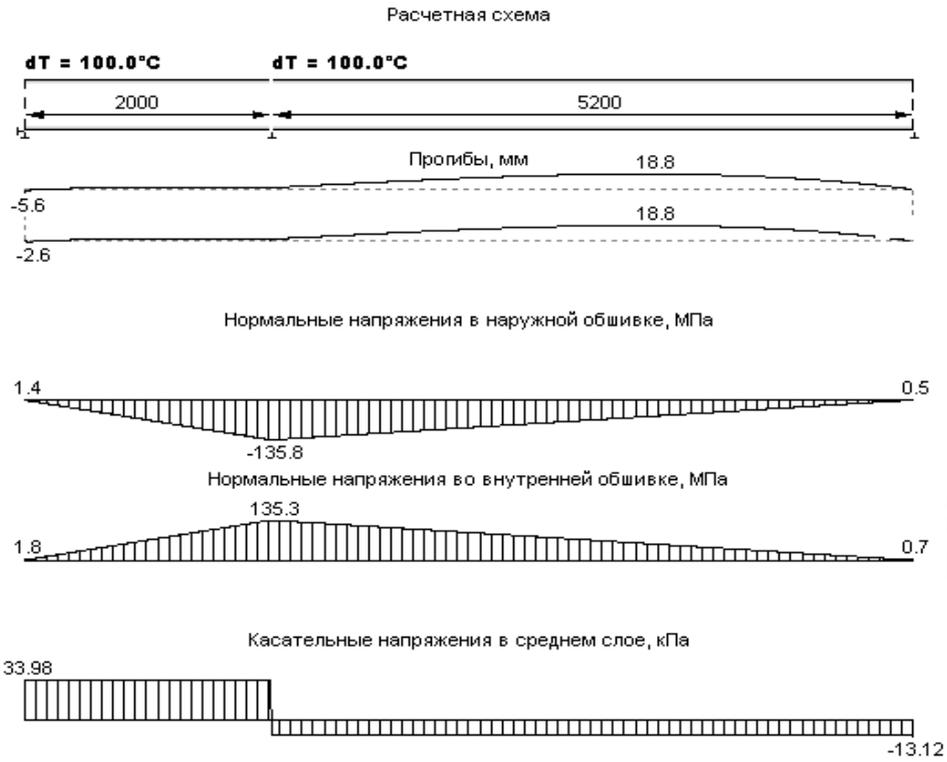


Рис. 4. Расчет неравнопролетной панели на температурное воздействие

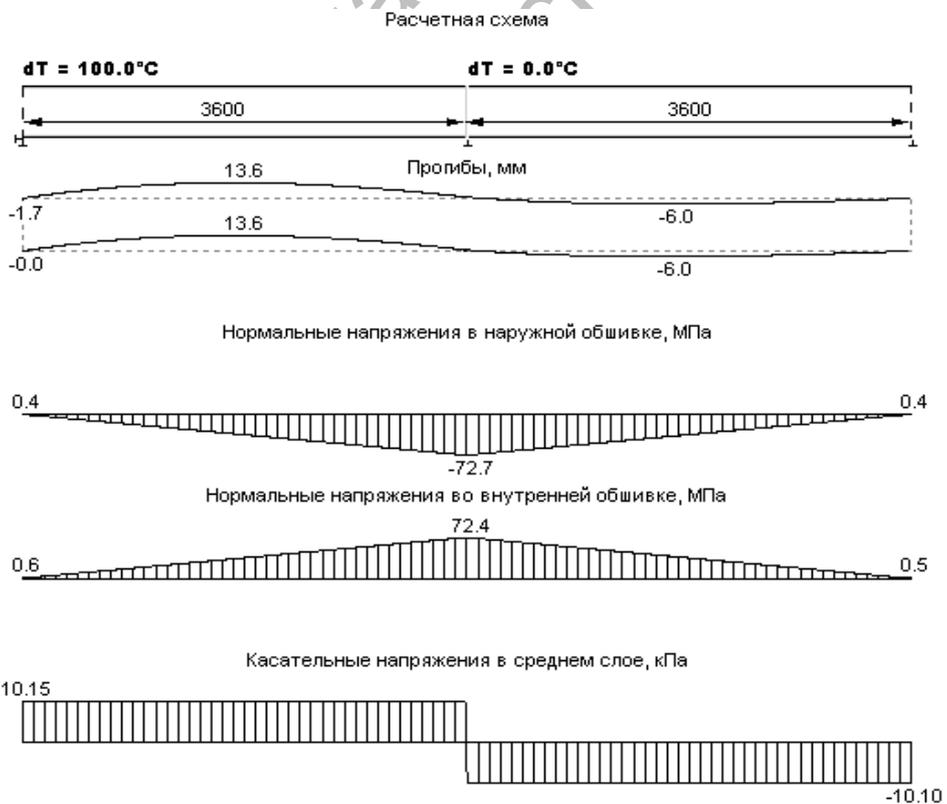


Рис. 5. Расчет двухпролетной панели на температурное воздействие, непостоянное по длине панели

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по применению трехслойных панелей с профилированными металлическими обшивками и средним слоем из пенопласта. – Свердловск : УПИ им. С. М. Кирова, 1978. – 36 с.
2. Рекомендации по проектированию и расчету конструкций с применением пластмасс. – М. : ЦНИИСК им. В. В. Кучеренко, 1969. – 150 с.
3. Рекомендации по расчету трехслойных панелей с металлическими обшивками и заполни-

телем из пенопласта. – М. : ЦНИИСК им. В. В. Кучеренко, 1976. – 26 с.

4. СНИП 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия. – М. : ЦИТП ГОССТРОЯ СССР, 1986. – 35 с.

5. EN 14509. Self-supporting double skin metal faced insulating panels – factory made products – specifications / Cen. – Brussels, 2006. – 145 p.

Филиал Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр
Материал поступил 18.02.2008

A. A. Levchuk

Static calculation of double skin metal faced panels with rock wool or foam plastic core

The paper contains a comparison of analytical and numerical calculation techniques of double skin metal faced panels and gives the results of panels static calculations by a numerical method in different calculation schemes.