

УДК 624.073 – 415/419

Хайруллин Л.Р. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: lenar76@rambler.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Результаты численного моделирования новых конструктивных решений трехслойных панелей с вертикальными армирующими элементами

Аннотация

При изготовлении трехслойных панелей с металлическими обшивками и средним слоем из ламелей минеральной ваты, возникают регулярно расположенные продольные и поперечные стыки среднего слоя. Для повышения несущей способности таких панелей, предлагается устанавливать вертикальные армирующие элементы непосредственно при сборке конструкции панели. В статье приведены результаты численного моделирования трехслойных панелей толщиной 100 и 150 мм и разным количеством и толщиной вертикальных армирующих элементов. Получен характер исчерпания несущей способности панелей, а так же разрушающие нагрузки. Численные расчеты показали, что наличие вертикальных армирующих элементов значительно снижает максимальные напряжения в заполнителе и существенным образом повышает несущую способность панелей (до 94 %).

Ключевые слова: трехслойная панель, сэндвич-панель, стык заполнителя, прочность заполнителя, армирующие элементы.

В процессе изготовления трехслойных панелей с металлическими обшивками и средним слоем из ламелей минеральной ваты, возникают регулярно расположенные продольные и поперечные стыки среднего слоя [1]. Одним из путей повышения несущей способности таких трехслойных панелей является увеличение прочности заполнителя [2]. Однако увеличение прочности заполнителя возможно только одновременно с увеличением его плотности, что неизбежно скажется на ухудшении теплотехнических характеристик заполнителя и, соответственно, ограждающей конструкции в целом. К наиболее оптимальным способам, повышающим прочность заполнителя без существенного изменения его плотности, относится его армирование [3], [4].

В связи с этим для повышения несущей способности и эксплуатационной надежности предложены и запатентованы технические решения трехслойных панелей с применением армирующих элементов. На эти решения был получен патент РФ [3].

На рис. 1 изображена общая схема конструктивного решения трехслойной панели с местными послойными вырезами.

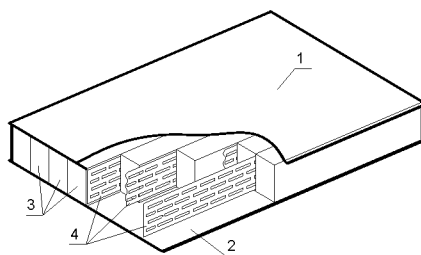


Рис. 1. Схема конструктивного решения трехслойной панели с армирующими элементами

Трехслойная панель включает верхнюю 1 и нижнюю 2 металлические тонколистовые обшивки, соединенные между собой на клею слоем утеплителя 3 из минеральной ваты с поперечно-ориентированным к обшивкам направлением волокон, состоящего по длине и ширине панели из отдельных ламелей, уложенных со смещением их по длине. Между рядами ламелей по длине панели установлены вертикальные плоские армирующие элементы 4. Армирующие элементы 4 могут быть выполнены из сплошных или перфорированных стеклопластиковых, углепластиковых или стальных полос по типу термопрофилей.

Собранная конструкция трехслойной панели за счет установки армирующих элементов между продольными рядами ламелей обеспечивает повышение прочностных свойств утеплителя и, как следствие, повышение несущей способности панели, как на сжатие, так и на изгиб. При этом теплотехнический расчет ограждения из таких трехслойных панелей с армирующими элементами можно выполнить как для термопрофилей, согласно рекомендациям [5].

Эксперименты показали, что установка вертикальных плоских армирующих элементов в зависимости от их количества позволяет повысить несущую способность панелей от 21 % (3 элемента) до 33 % (5 элементов) [6].

Для проверки разработанных новых конструктивных решений трехслойных панелей помимо экспериментальных исследований целесообразно использовать другие методы исследования, например метод конечных элементов, благодаря которому можно достаточно точно воспроизвести реальную картину напряженно деформированного состояния конструкции и получить достаточно точные для практики результаты.

Для оценки влияния армирующих элементов, установленных между рядами ламелей на ее НДС, а также для определения характера исчерпания несущей способности панелей, проведены численные исследования конечно-элементных моделей с изучением распределения компонентов НДС в обшивках, армирующих элементах, а также в заполнителе, прилегающего к стыкам и опорным частям. Численные исследования выполнялись методом конечных элементов на расчетном комплексе «Лира».

Как было показано выше, из-за особенностей технологии производства трехслойных панелей со средним слоем из отдельных ламелей минеральной ваты в готовых панелях возникают поперечные стыки заполнителя, расположенные по ширине панели и перекрытые соседними рядами ламелей. Геометрические и физические характеристики обшивки по ширине панели не изменяются. Поэтому для рассмотрения принята объемная конечно-элементная модель.

Моделируется 20 вариантов трехслойных панелей разной толщины и с различным количеством (от 2 до 9 шт.) вертикальных армирующих элементов толщиной 0,5 и 1 мм, установленных между рядами ламелей вдоль панели и без них. Характеристики армирующих элементов аналогичны характеристикам обшивок. Длина модели панелей соответствуют длине экспериментальных образцов и составляют 3,0 м, толщина обшивки – 0,5 мм. Исследуются панели с наиболее распространенными толщинами: 100 и 150 мм. Утеплитель моделируется в виде ламелей, т.е. с поперечной и продольной разрезкой. Расстояние между стыками по длине одного ряда ламелей равно ширине матов минеральной ваты и составляет 1200 мм, и при такой длине ламели, в панели длиной 3000 мм всегда будут располагаться несколько стыков. Для исследования принято такое же расположение стыков, как и в экспериментальных образцах панелей.

Исследование напряженно-деформированного состояния в объемных конечно-элементных моделях проводилось в линейной постановке, и определялись критические силы и характер исчерпания несущей способности.

В результате численного расчета панелей с вертикальными армирующими элементами выявлены следующие возможные предельные состояния трехслойной конструкции: потеря устойчивости верхней сжатой обшивки и достижение заполнителем предела прочности. В панелях, как с армирующими элементами, так и без них происходит потеря устойчивости верхней сжатой обшивки в месте стыков ламелей минваты, расположенных ближе к середине панели (рис. 2а) или потеря устойчивости самих армирующих элементов (рис. 2б). Уровень максимальных напряжений в срединной поверхности верхней обшивки в момент потери устойчивости (т.е. критических напряжений) панелей всех толщин без армирующих элементов, там где потеря устойчивости происходит в середине панели, составляет 37,4-38,7 МПа. В панелях с армирующими элементами, где потеря устойчивости происходит в месте стыка, уровень максимальных напряжений в срединной поверхности обшивки в момент потери устойчивости (т.е. критических напряжений) составляет 40,0-53,4 МПа.

При этом отмечено, что с увеличением толщины панелей критические напряжения уменьшаются, а с увеличением количества и толщины армирующих элементов –

увеличиваются. В панелях, где происходит потеря устойчивости армирующих элементов, уровень напряжений в обшивках не достиг критического и составляет 29,7-31,3 МПа.

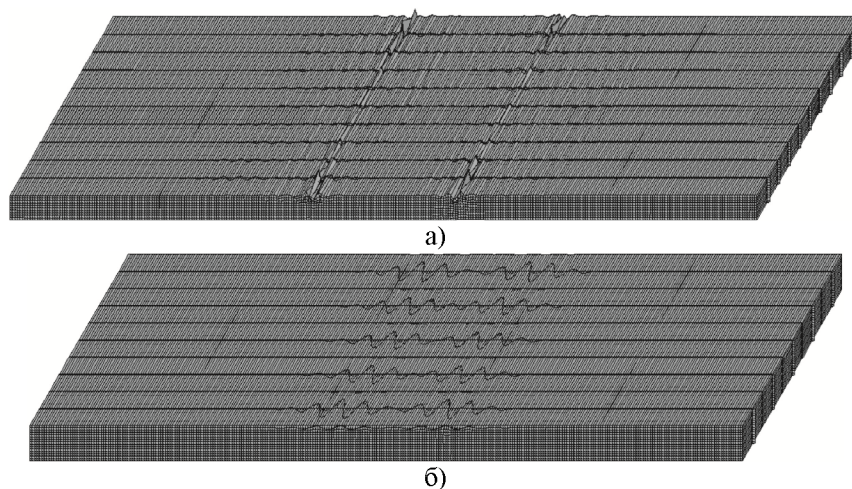


Рис. 2. Формы исчерпания несущей способности трехслойных панелей в виде:
а – потери устойчивости сжатой обшивки; б – потери устойчивости армирующих элементов

Получены зависимости между количеством армирующих элементов и несущей способностью трехслойных панелей по устойчивости и прочности обшивки и прочности заполнителя (рис. 3, 4). Выявлено, что в стандартных панелях без армирующих элементов несущая способность панели в целом определяется потерей прочности заполнителя около поперечных стыков от действия поперечных сил, что также подтверждается в статье [7]. Определяющими прочностью заполнителя в этом случае являются нормальные напряжения вдоль оси z , а исчерпание несущей способности происходит из-за отрыва верхней обшивки. В панелях с армирующими элементами несущая способность панелей определяется как потерей прочности заполнителя около поперечных стыков от действия поперечных сил, так и потерей устойчивости обшивки в месте стыка.

В качестве примера на рис. 4 представлены изополя нормальных напряжений σ_z (напряжений отрыва обшивок) в заполнителе в месте поперечного стыка среднего слоя на расстоянии 600 мм от опоры, для панелей толщиной 100 мм стандартной и с армирующими элементами. На них видно, что напряжения в заполнителе панелей с армирующими элементами значительно ниже, чем в стандартных панелях. Считали, что исчерпание несущей способности панели в этом случае происходит при достижении средним слоем величины предела прочности минеральной ваты, равного 0,05 МПа.

Численные исследования показали, что несущая способность трехслойных панелей с заполнителем из ламелей минеральной ваты зависит от количества армирующих элементов. Чем больше армирующих элементов, тем выше ее несущая способность, причем зависимость эта практически линейная. При установке армирующих элементов от 2 до 9 штук теоретическая несущая способность панелей увеличивается от 7 до 40 % (для панелей толщиной 100 мм) и от 4 до 43 % (для панелей толщиной 150 мм). Указанные результаты имеют удовлетворительную сходимость с данными ранее выполненных экспериментальных исследований [6].

При увеличении толщины армирующих элементов, также происходит увеличение несущей способности панелей. В панелях, в которых происходит потеря устойчивости обшивки, (толщиной 100 мм, 5 армирующих элементов), увеличение толщины армирующих элементов, увеличивает несущую способность от 3% (толщина армирующих элементов 0,6 мм) до 16 % (толщина армирующих элементов 1 мм). Несущая способность панелей, в которых происходит потеря устойчивости армирующих элементов, (толщиной 150 мм, 9 армирующих элементов) несущая способность увеличивается от 18 % (толщина армирующих элементов 0,6 мм) до 94 % (толщина армирующих элементов 1 мм).

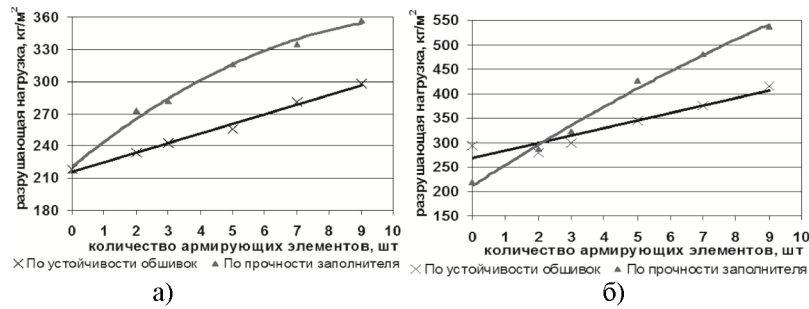


Рис. 3. Зависимость величины разрушающей нагрузки от наличия и количества армирующих элементов для панелей: а – толщиной 100 мм; б – толщиной 150 мм

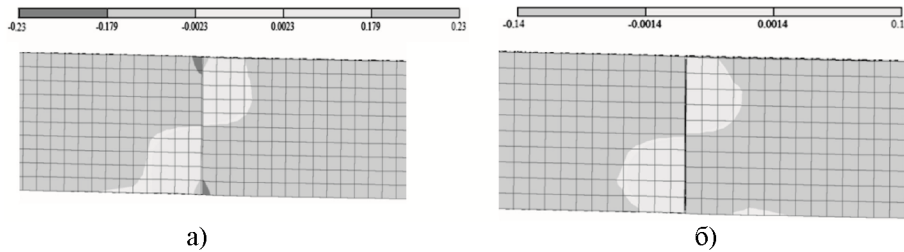


Рис. 4. Изополя нормальных напряжений σ_z (Мпа·10-1) в среднем слое панели толщиной 100 мм вблизи стыка на расстоянии 600 мм от опоры: а – без армирующих элементов, б – с 9-ю армирующими элементами

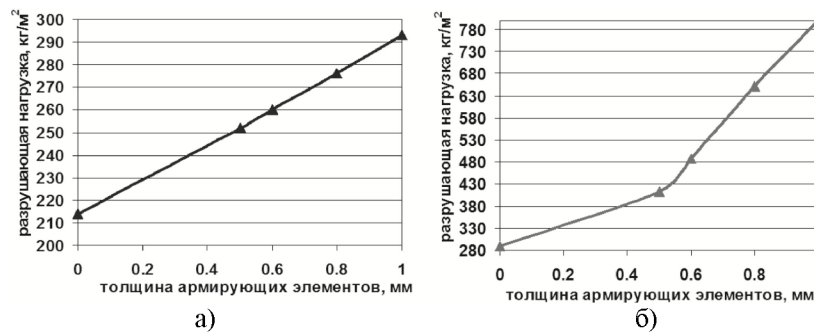


Рис. 5. Зависимость величины разрушающей нагрузки от толщины армирующих элементов, для панелей: а – толщиной 100 мм, с 5-ю армирующими элементами; б – толщиной 150 мм с 9-ю армирующими элементами

Таким образом, исследования показали, что установка вертикальных армирующих элементов в трехслойных панелях с заполнителем из ламелей минеральной ваты является эффективным и увеличение несущей способности таких панелей возможно как увеличением количества вертикальных армирующих элементов, так и их толщины.

Список библиографических ссылок

1. Гликин С.М. Прогрессивные ограждающие конструкции промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1990. – С. 61.
2. Александров А.Я. и др. Прочность, устойчивость, колебания: Справочник. В 3 т., Т. 2. / под ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. – 346 с.
3. Пат. 2315156 Российская Федерация, МПК E04C 2/26. Трехслойная панель / Кузнецов И.Л., Хайруллин Л.Р., Коктыш В.В.; заявитель и патентообладатель ООО «Технологии Строительства» ООО «ТехноСтрой». №2005141824/03; заявл. 29.12.05; опубл. 20.01.08, Бюл. № 2. – 4 с.
4. Пат. 2295614 Российская Федерация, МПК E04C 2/26. Трехслойная панель / Кузнецов И.Л., Хайруллин Л.Р., Каюмов Р.А.; заявитель и патентообладатель КГАСУ, № 2005114335/03; заявл. 28.04.05; опубл. 20.03.07, Бюл. № 8. – 4 с.

5. Материалы для проектирования наружных ограждающих конструкций с применением стальных гнутых термопрофилей. – Омск. : ГОУ СибАДИ, 2003. – 29 с.
6. Хайруллин Л.Р. Результаты разработки и экспериментальных исследований трехслойных панелей с армирующими элементами с заполнителем из минеральной ваты // Материалы 58 республиканской научной конференции. Сборник научных трудов докторантов и аспирантов: КГАСУ. – Казань, 2006. – С. 200-204.
7. Хайруллин Л.Р. Результаты численных исследований трехслойных панелей с технологическим стыком среднего слоя // Известия КГАСУ, 2009, № 1 (11). – С. 139-142.

Khairullin L.R. – candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: lenar76@rambler.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The results of modeling of new constructive solutions of sandwich panels with vertical reinforcing elements

Resume

Due the process of manufacture of the sandwich panels with a metal shells and middle layer made from mineral lamella, regularly spaced longitudinal and butt joints are emerged in the middle layer. For increasing of load bearing capacity of these panels installing of the vertical reinforce elements during the process of manufacturing is proposed. In the article results of analysis different finite element models (FEM) of panels with 100 and 150 mm thickness and different reinforced elements pattern are reviewed. FEM analysis helped to obtain the failure criteria, consisting from whether local buckling of shells and vertical reinforcing elements or compress failure of middle layer, for these panels. Also maximum allowed vertical load has been calculated. As a result of FEM analysis of the sandwich panels, with middle layer from lamella of mineral thermal insulation material, dependence between amount of reinforcing elements and load capacity of these panels was determined.

2 or 9 reinforcing elements increase load capacity of 100 mm thick panels from 7 up to 40 %, and 150 mm thick panels from 18 % to 94 %, respectively. Thickness of reinforcing elements also affects the load capacity of panels the more thickness suggested the more load capacity is achieved. For example in 100 mm thick panels, with 5 reinforcing elements, using buckling of shell as failure criteria, increasing of thickness of reinforcing element from 0,6 mm up to 1mm alters load capacity in positive way from 3 % to 16 % for 150 mm thick panels with 9 reinforcing elements – from 18 to 94 %.

Keywords: three-layer panel, sandwich panel, joint filler, the strength of the filler, the reinforcing elements.

Reference list

1. Glikin S.M. Progressive walling industrial buildings. – M.: Stroyizdat, 1990. – P. 61.
2. Aleksandrov A.Y. et al. Strength, stability, fluctuations Handbook. In 3 vols, Vol 2. / ed. I.A. Birger and Y.G. Panovko. – M.: Mechanical Engineering, 1968. – 346 p.
3. Patent 2315156 Russian Federation, IPC E04S 2/26. Sandwich panels / Kuznetsov I.L., Khairullin L.R., Koktyish V.V.; applicant and patentee, LLC «Construction Technologies» LLC «Technostroy», № 2005141824/03; appl. 29.12.05; publ. 20.01.08, Bull, № 2. – 4 p.
4. Patent 2295614 Russian Federation, IPC E04S 2/26. Sandwich panels / Kuznetsov I.L., Khairullin L.R., Kayumov R.A.; applicant and patentee KGASA, № 2005114335/03; appl. 28.04.05; publ. 20.03.07, Bull., № 8. – 4 p.
5. Materials for the design of enclosing structures using steel bent thermoprofiles INSI. – Омск.: ГОУ СибАДИ, 2003. – 29 p.
6. Khairullin L.R. Results of development and experimental studies of sandwich panels with the reinforcement filler of mineral wool // Proceedings of the 58 republican scientific conference. Collection of scientific papers and doctoral graduate students, KGASU. – Kazan, 2006. – P. 200-204.
7. Khairullin L.R. Results of numerical investigation of sandwich panel technological joints in the middle layer // News of the KSUAE, 2009, № 1 (11). – P. 139-142.