УДК 69.01 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.151.2015.68665

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ СЕРИИ «АЛЮТЕРМ»

Аспир. Е.А.Петрова

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРУ ДЕФОРМУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ ТРИШАРОВИХ СТІНОВИХ ПАНЕЛЕЙ СЕРІЇ «АЛЮТЕРМ»

Аспір. О.О.Петрова

ANALYSIS OF THE DEFORMATION AND DESTRUCTION CHARACTER OF THE WALL SANDWICH PANELS OF “ALUTERM” SERIES

Aspir. O.O. Petrova

Приведены результаты натурных экспериментальных исследований двух типов трехслойных стеновых панелей серии «АЛЮТЕРМ». Указаны особенности предложенного нового конструктивного решения стеновой панели с усилением просечно-вытяжным

листом и рассмотрена технология его изготовления. Обозначены особенности напряженно-деформированного состояния изучаемых конструкций. Дан анализ характера деформирования и разрушения обозначенных трехслойных панелей, подверженных различным режимам и условиям нагружения.

Ключевые слова: *ламель, просечно-вытяжной лист, минеральная вата, сэндвич-панель, предельное состояние, напряженно-деформированное состояние.*

Наведено результати натурних експериментальних досліджень двох типів тришарових стінових панелей серії «АЛЮТЕРМ». Вказані особливості запропонованого нового конструктивного рішення стінової панелі з посиленням просічно-витяжним листом і розглянута технологія його виготовлення. Визначені особливості напружено-деформованого стану досліджуваних конструкцій. Надано аналіз характеру деформування і руйнування позначених тришарових панелей, що піддавались різним режимам і умовам навантаження.

Ключові слова: *ламель, просічно-витяжний лист, мінеральна вата, сандвіч-панель, граничний стан, напружено-деформований стан.*

The results of full-scale experimental investigation of two types of wall sandwich panels – the one with expended metal strengthening and the other one without any kind of strengthening - of "ALUTERM" series are shown. Main features of the design of the proposed new type of wall sandwich panel and the technology of its manufacturing are given. A detailed description of the test method based on the hydrostatic loading of the constructions is given. Particular qualities of the applied loading system and its docking with selected measurement system are considered. Features of the stress- strain state of the studied structures are marked. The analysis of the deformation and fracture behavior of sandwich panels subjected to various modes and loading conditions is given. Considerable attention is paid to the questions of the assessing the impact of initial imperfections in construction on the behavior of the panels under the loading and their subsequent destruction.

Keywords*: lamella, expanded metal, mineral wool, sandwich panel, limit state, stress-strain state.*

Введение. Современные требования строительных норм, предъявляемые к конструктивам, с одновременным повышением экономической эффективности их применения и снижением трудовых и энергетических затрат, направленных на их реализацию и эксплуатацию, являются поводом для поиска новых инженерных решений. Одним из приоритетных направлений при решении обозначенных вопросов является применение эффективных материалов, способных при существенно меньшем весе, чем, например, железобетон, обеспечивать требуемые прочностные и жесткостные характеристики системы. В связи с чем, широкое распространение в практике мирового и отечественного строительства в настоящее время получило использование строительных конструкций облегченного типа [1]. К таким конструктивам, несомненно, можно отнести ограждающие конструкции зданий и сооружений в виде трехслойных панелей.

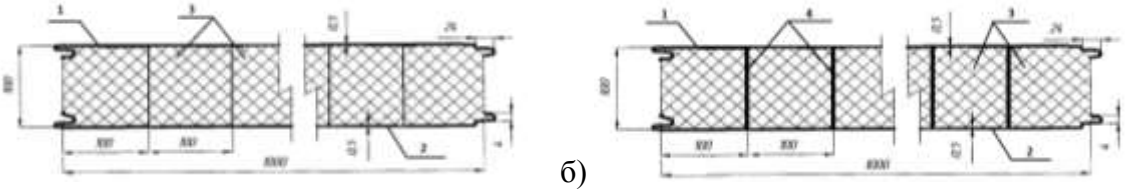
Идея трехслойных конструкций далеко не нова и берет свое начало еще в 20-годах XIX ст. В частности, структура конструкции трехслойной панели, которая объединила в себе высокопрочные наружные обшивки и облегченный слой заполнителя, была предложена в 30-х годах прошлого века. Несмотря на историю существования данного конструктивного решения и серьёзный опыт применения трёхслойных конструкций, имеют место вопросы, связанные с эффективностью работы отдельных материалов в составе многослойной конструкции. В особенности сказанное относится к выбору характеристик среднего слоя. Можно отметить достаточное количество исследований, посвященных работе трехслойных конструкций стеновых панелей, состоящих из металлических обшивок и облегченного среднего слоя из

пенополистирольного или минераловатного заполнителя [2,3]. Отечественными и зарубежными исследователями уделено значительное внимание изучению напряженно-деформированного состояния как отдельных составляющих описываемого конструктива, так и панели в целом. Автором данной работы также проведен ряд экспериментальных исследований трёхслойных панелей с минераловатным заполнителем на предмет установления их несущей способности и характера деформирования (включая стадию разрушения) при действии кратковременных и длительных нагрузок [4]. В результате проведенного цикла испытаний был сделан вывод о том, что жесткость панели существенным образом зависит от жесткости заполнителя. Было установлено, что при экономически целесообразном заполнителе из минеральной ваты с объемным весом $\gamma \leq$ 110 кг/м3, жесткость панели явно неостаточна. В связи с чем, было разработано новое конструктивное решение трехслойной стеновой панели, основанное на применении в составе минераловатного среднего слоя облегченных армирующих элементов из просечно-вытяжного листа [5]. Усовершенствованная конструкция панели предопределила проведение ее исследования на кафедре строительных конструкций Харьковского национального университета городского хозяйства имени А.Н. Бекетова. Учитывая затратную составляющую и трудоемкость проведения натурных экспериментов, к изучению было представлено только два образца стеновых панелей: первого типа (без ребер) и второго типа (с армирующими элементами из просечно-вытяжного листа). Длина каждой панели составляла 3,0м. Исследования проводились методом сравнения предложенной конструкции и традиционной.

Конструктивные особенности панелей. Конструкция трехслойных панелей обоих типов представляет собой многослойный конструктив, состоящий из двух стальных обшивок, нижней и верхней, каждая толщиной по 0,5мм. Обшивки представлены в виде гладкого стального листа, окрашенного слоем антикоррозионного красящего покрытия из полиэстера с обеих сторон. Между обшивками расположен массив минераловатного утеплителя, состоящий по длине и ширине панели из отдельных ламелей, которые уложены с разбежкой по длине панели. Обшивки соединены с минераловатным утеплителем при помощи двухкомпонентного полиуретанового клея. Кроме того, для обеспечения герметичности данной конструкции кромки стального листа изготовлены в виде элементов замкового соединения. Модульная ширина панелей составляла 1000мм, длина – 3000мм, высота – 100мм. По длине панели уложено 10 ламелей минераловатного утеплителя с поперечным сечением 100х100мм. При этом, в панели имеют место как продольные стыки панелей, так и поперечные, которые перекрываются путем смещения соседних рядов ламелей минваты. Поперечное сечение панелей приведено на рис. 1.

Одновременно был испытан образец трехслойной панели новой конструкции, изготовленной согласно поданной заявке на изобретение, разработанным автором и коллективом соавторов. Его особенность заключается в применении в качестве армирующих элементов вертикальных вставок из просечно-вытяжного листа. Количество вставок по ширине панели – 4 шт., высота вставки – 100 мм.

Общий вид обоих изучаемых образцов, представленных на испытания, приведен на рис. 2, 3.



а) б)

Рис. 1. Поперечное сечение исследуемых панелей: а – панель без усиления, б – панель с усилением. Позициями обозначено: 1- верхняя обшивка, 2 – нижняя обшивка, 3 – ламели утеплителя, 4 – армирующие элементы из просечно-вытяжного листа.

Рис. 2. Трехслойная панель первого типа. Общий вид.

Рис. 3. Трехслойная панель второго типа (с армирующими элементами из просечно-вытяжного листа). Общий вид.

Технология изготовления панелей. Изготовление рассматриваемой конструкции происходит традиционно непрерывным способом с незначительным изменением технологического процесса. Последовательность операций следующая. Верхняя и нижняя обшивки панели изготавливаются из оцинкованной стали заданной толщины, подающейся из двух рулонов в секцию профилирования. Быстротвердеющий двухкомпонентный клей наносится через форсунки тонким слоем на обе обшивки. Одновременно с этим за пределами секции профилирования производится механизированная разрезка минераловатных плит серийного производства на отдельные ламели утеплителя толщиной, равной толщине панели. Далее на ленточном транспортере ламели минеральной ваты ориентируются вертикально. Укладка ламелей утеплителя осуществляется вручную со смещением их по длине. Здесь же происходит и установка вертикальных армирующих элементов в обозначенных по длине будущей панели местах. Сформированный теплоизоляционный сердечник панели механизировано подается в автоматический загрузочный модуль технологической линии, после чего происходит поточное прессование и параллельное формирование замковых соединений обшивок. Под действием равномерного давления двухкомпонентный клей быстро отвердевает, формируя, таким образом, твердый «сэндвич». По завершению операции прессования готовые панели нарезаются с заранее заданной длиной. Общая схема непрерывного производства трехслойной панели представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Технологический цикл непрерывного производства трехслойных панелей

1. Рулоны оцинкованной стали для обшивок	2. Нанесение клея на верхнюю обшивку	3. Нанесение клея на нижнюю обшивку
4. Массив утеплителя из минеральной ваты	5. Разрезка плит минеральной ваты на отдельные ламели	6. Транспортировка нарезанных ламелей
7. Подача и укладка ламелей, установка армирующих элементов	8. Прессование обшивок с утеплителем	9. Разрезка готовых панелей

Основные определения.

Целью исследования являлся сравнительный анализ установленных экспериментальным путем особенностей характера деформирования и несущей способности стеновых панелей серии «Алютерм» двух типов: 1-й – минераловатный средний слой без усилений и 2-й – минераловатный средний слой с усилением элементами из просечно-вытяжного листа. Нагрузка – равномерно распределенная: кратковременная и длительная.

Объект исследования – трехслойные стеновые панели серии «Алютерм» с минераловатным средним слоем (первый тип), а также армирующими элементами из просечно-вытяжного листа (второй тип).

Предмет исследования – характер деформирования и несущая способность объекта исследования при действии кратковременных и длительных равномерно распределенных нагрузок.

Процедура испытаний. Базируясь на проведенных ранее экспериментальных натурных исследованиях стеновых и кровельных панелей серии «Алютерм» [4], в рамках данной работы использован аналогичный подход, основанный на методе гидравлического испытания плит и

оболочек, описанном в [6]. При этом, значительное внимание уделялось рациональному планированию эксперимента, которое позволило сократить сроки его проведения, минимизировать ошибки и получить наиболее достоверные данные [7]. Испытания трёхслойных панелей реализованы при действии кратковременных, а также длительных равномерно распределенных нагрузок и проведены в соответствии с указаниями [8, 9]. При планировании эксперимента во внимание были приняты требования отечественных и европейских норм [10], согласно которым обозначаются четыре основных типа предельных состояний для трехслойных сэндвич-панелей. Исчерпание несущей способности и последующее разрушение исследуемой конструкции может произойти в результате наступления одного из следующих предельных состояний или их комбинаций:

- по предельному прогибу;
- по складкообразованию обшивки;
- по сопротивлению сдвигу утеплителя;
- по сопротивлению панели сжатию на опоре.

Представленные панели были испытаны по однопролетной балочной схеме с пролетом равным 3,0 м на всех стадиях эксперимента.

В качестве опор панелей были использованы специальные металлические козлы. Высота опоры составляла 0,75м, ее ширина равнялась 1,2м, а площадка опирания панели имела ширину 100мм.

Нагрузка на панель передавалась путем наполнения резервуара над исследуемой конструкцией водой. При этом, резервуар не опирался на объект исследования, а имел собственные независимые опоры. Размер ступени определялся пошагово в зависимости от поведения панели под нагрузкой и не превышал 0,25 кН/м^2. В рамках исследования осуществлялось два режима нагружения панели. Первый режим представлял собой монотонно возрастающее нагружение с шагом 0,25 кН/м^2 и выдержкой каждого шага во времени до момента относительной стабилизации измерительных приборов. Второй режим использовался для установления зоны упругой работы панелей. Поэтому он заключался в пошаговом нагружении панели с последующей разгрузкой. Выдержка во времени до относительной стабилизации приборов для второго режима осуществлялась как во время нагрузки, так и во время разгрузки объекта исследования.

При планировании эксперимента значительное внимание было уделено также оценке влияния начальных несовершенств на ход и результаты испытаний. Так, отмечается, что еще на стадии изготовления большинство панелей уже имеют незначительные дефекты. Например, при транспортировке и дальнейшей разрезке массива утеплителя на отдельные ламели возможно появление сколов минеральной ваты, которые образуются от грузозахватных тросов во время транспортировки листов минваты к секции разрезки. Кроме того, на работу панелей существенным образом влияет расположение в ней не сплошного массива утеплителя, а сердечника из отдельных ламелей. При этом, значительную роль играют как продольные, так и поперечные стыки. При укладке ламелей нельзя не учитывать человеческий фактор, поскольку именно работниками технологической линии осуществляется контроль за укладкой ламелей в разбежку. Наличие технологических стыков по длине панели является фактором, который априори снижает ее прочностные и жесткостные характеристики. Следует отметить, что в местах стыка ламелей предыдущего и последующего листов минваты возможен скачок толщин заполнителя, что приводит к появлению дополнительной поперечной силы, нарушению плоской формы обшивок, а также локальным местам непроклея обшивок и утеплителя. Описываемые дефекты не являются браком, а допускаются нормами и техническими условиями производителя [9], однако, степень их влияния на напряженно-деформированное состояние готовой панели можно оценить только экспериментальным путем.

Во время визуального осмотра образцов, предоставленных на испытания, было отмечено наличие следующих начальных несовершенств панелей:

- отклонения от горизонтальной плоскости верхней и нижней обшивок, особенно, «вмятины» у опорных торцов панелей (см. рис. 14а);
- погиби кромок элементов замкового соединения (см. рис. 14б);
- локальные выпуски волокон минеральной ваты из массива утеплителя;
- непроклей обшивок с утеплителем у опорной части панели.

При этом, следует сразу отметить, что панель первого типа, традиционная, имела лишь незначительные начальные дефекты, тогда как у панели второго типа (с усилением из просечно-вытяжных вставок) наблюдались значительные начальные отклонения плоскостей металлических обшивок от горизонтали и их погиби, что, вероятно, явилось следствием неправильной транспортировки панели.

Системы нагружения и измерения. Как было указано, в ходе испытаний использован метод исследований, основанный на гидростатическом нагружении объекта. Нагрузка здесь задавалась весом воды в резервуаре [6]. На рис. 4 приведена функциональная схема оговоренного метода. В соответствии с составленной программой проведения эксперимента, каждая из панелей поочередно подвергалась двум режимам нагружения. Первый – ступенчатый, монотонно возрастающий, с разгрузкой по достижению предельного значения несущей способности. Второй режим – ступенчатый, циклический, с разгрузкой каждой ступени загружения и полной разгрузкой после разрушения объекта исследования. Уровень нагружения определялся высотой водяного столба и обеспечивался посредством присоединения к системе нагружения подводящих и отводящих патрубков. Общий вид резервуара для гидростатического нагружения представлен на рис. 5. На рис. 6 показаны образцы трехслойных панелей под нагрузкой.

Регистрация перемещений исследуемой конструкции осуществлялась системой датчиков, которые подводились к объекту исследования и позволяли определить главные компоненты напряженно-деформированного состояния. Система датчиков, в свою очередь, подсоединялась к тензометрической измерительной системе СИИТ, позволяющей преобразовать аналоговые сигналы. Управление испытаниями велось с помощью персонального компьютера.

Измерения параметров деформирования производилось при помощи механических и электронных датчиков. Схема их расстановки приведена на рис. 7, 8.

Система измерения, приведенная на рис. 7, включала в себя следующие элементы:

- позиции Д-1 – Д-8 - датчики индуктивного типа ДПИ-100 (см. рис. 9), передающие информацию на электронную тензометрическую систему СИИТ-3 (см. рис. 12);
- позиции И-1 – И-4 – индикаторы часового типа ИЧ10, цена деления которых равна 0,01мм (см. рис. 10);
- позиция П-1 – прогибомер 6ПАО с ценой деления 0,01 мм (см. рис. 11).

Электрические датчики индуктивного типа ДПИ-100 под номерами Д-1 – Д-5 были установлены в четвертях и в середине пролета панели для измерения ее прогибов. Остальные датчики ДПИ-100 (позиции Д-6 – Д-8) и прогибомер 6ПАО были установлены в торцах панели для измерения обжатия минераловатного слоя панели в приопорных участках. Индикаторами часового типа ИЧ10 замерялось возможное смещение минераловатного среднего слоя относительно верхней и нижней металлических обшивок панели. Для чего индикаторы И-1 и И-3 были установлены на металлической обшивке, а И-2 и И-4, соответственно, - на минеральной вате.

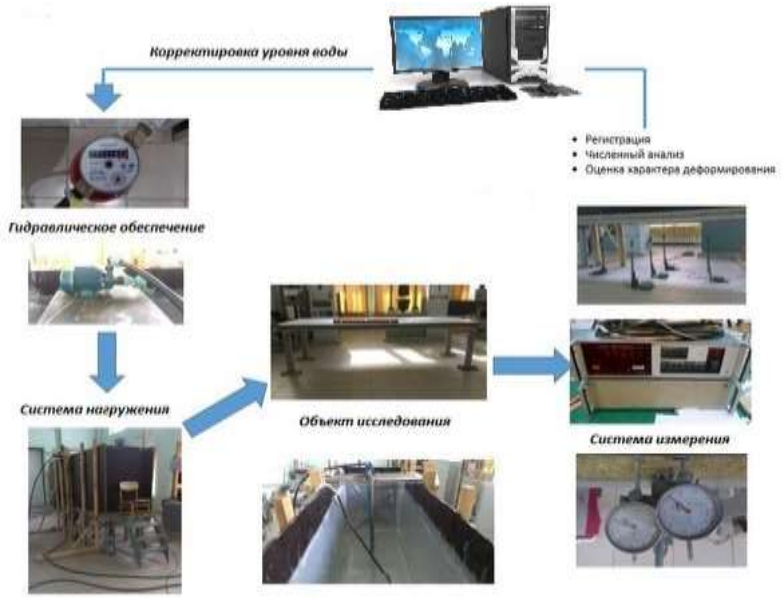


Рис. 4. Функциональная схема метода гидравлических испытаний.

Рис.5. Общий вид резервуара для нагружения панели.

Рис. 6. Образец под нагрузкой

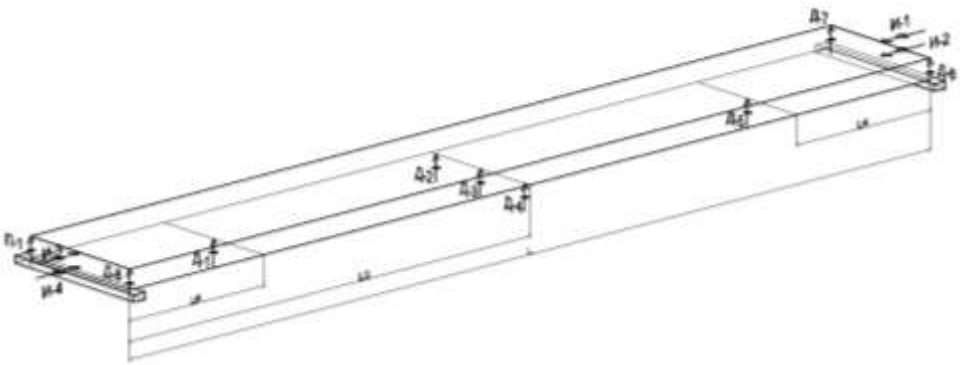


Рис. 7. Схема расстановки приборов на испытуемой панели (однопролетная схема)

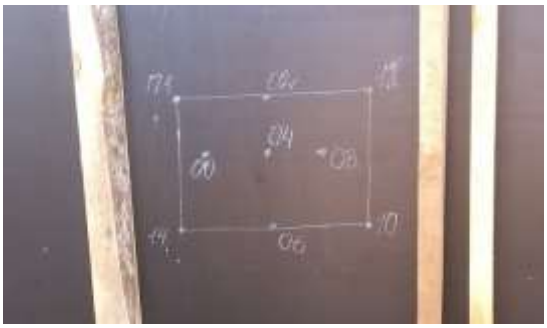


Рис. 8. Схема расстановки датчиков ДПИ-100 «по адресам» взаимодействия с системой СИИТ-3

Рис. 9. Датчики ДПИ-100.

Рис. 10. Индикаторы часового типа ИЧ-10

Рис. 11. Прогибомер 6ПАО.

Рис. 12. Тензометрическая информационно-измерительная система СИИТ-3

Результаты исследований сэндвич-панелей. В соответствии с программой испытаний, были испытаны два типа стеновых трехслойных панелей (без усиления и с усилением армирующими элементами из просечно-вытяжного листа). Нагрузка - равномерно распределенная, кратковременная и длительная. Результаты экспериментальных исследований демонстрируются приведенными ниже графиками.

Первый нагрузочный режим – монотонно возрастающий, без разгрузки (см. рис.13.)

Отмечается, что в этом случае максимальная нагрузка на панель первого типа (без усиления) составила 1,75 кН/м2, на панель второго типа (с просечно-вытяжными армирующими элементами) – 1,50 кН/м2. Время выдержки под нагрузкой для обеих панелей составило 4 часа. Максимальное значение прогибов при нагрузке 1,50 кН/м2 в средине пролета панелей (датчики Д-2 – Д-4) составило 69,7% от его предельно допускаемого значения для панели 1-го типа и 78,2% для панели 2-го типа. Спустя 60 часов после полного снятия нагрузки остаточные прогибы составили 39,7% и 40,1% от их максимального значения соответственно для панелей 1-го и 2-го типа. Здесь и в дальнейшем в качестве предельно

допустимого принят прогиб L/200 (L – пролет панели), что соответствует требованиям [10]. Как видно из результатов первого цикла испытаний, панель с усилением показала более низкие показатели, что, вероятно, является следствием наличия у нее многочисленных начальных дефектов. Данное обстоятельство нашло подтверждение при анализе показаний смежных датчиков, установленных на панели второго типа.

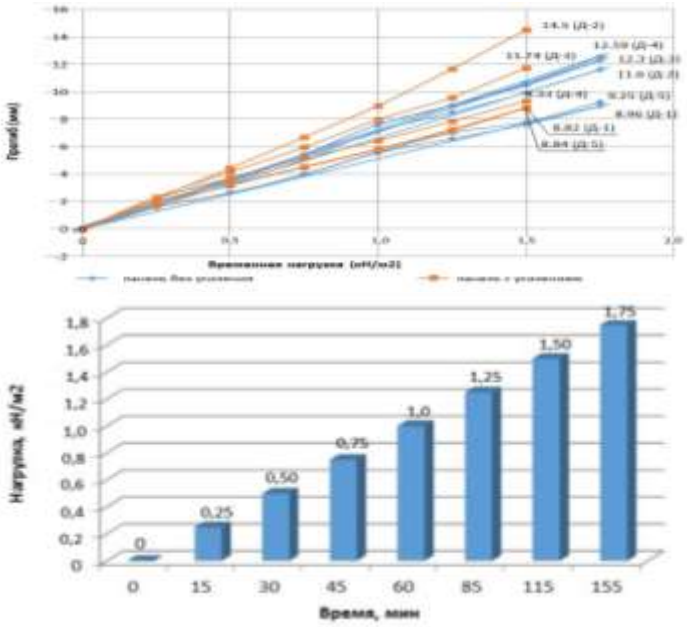


Рис. 13. График зависимости «нагрузка-перемещение» и соответствующий ему график «нагрузка- время».

Так, имеющиеся погиби металлической обшивки, неровности горизонтальной поверхности нижнего и верхнего листов, а также локальные отрывы обшивки от слоя утеплителя (см. рис. 14) стали причиной смещения максимальных значений прогибов панели от центра (как ожидалось) к торцам. Этот факт продемонстрирован на графике, построенном для панели второго типа, где датчик Д-3 был установлен в центре пролета, а Д-2 – у левого торца (рис. 7, 15).

а)

б)

Рис. 14. Начальные несовершенства: а) погибь верхней обшивки; б) погибь замкового соединения металлического листа, локальное скопление клея.

На графике (рис. 15) видно что, при нагрузке 1,50 кН/м2 прогиб достиг 14,5 мм, что составляет 96,7% от предельного допустимого значения. В связи с чем, было принято решение о назначении данной ступени загружения завершающей, тогда как для панели первого типа завершающей стала ступень в 1,75 кН/м2.

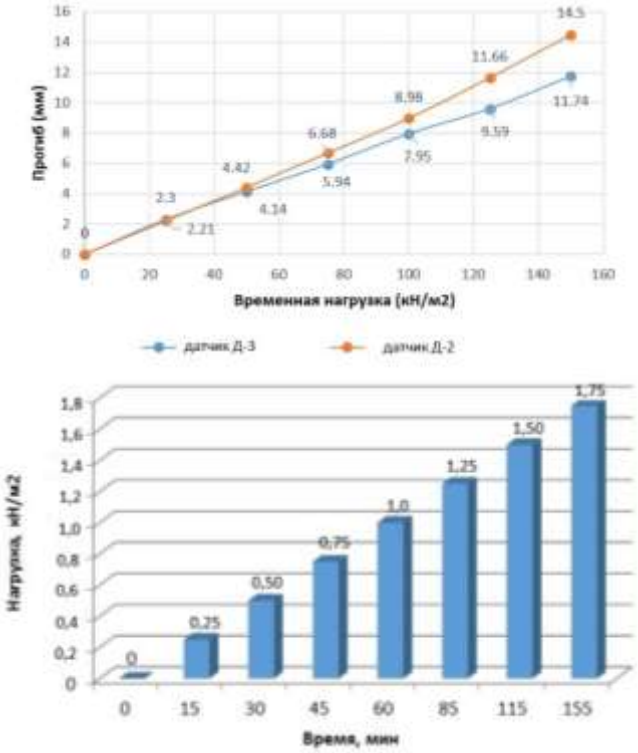


Рис. 15. График «перемещение – нагрузка» и соответствующий график нагрузки для панели с усилением (датчики Д-2, Д-3).

Результаты замеров перемещений металлических обшивок относительно слоя минеральной ваты приведены на рисунках 16-19. В соответствии со схемой расстановки датчиков (см. рис. 7), индикаторы И-1 и И-3 «контактировали» с металлической обшивкой, И-2 и И-4 – с минеральной ватой.

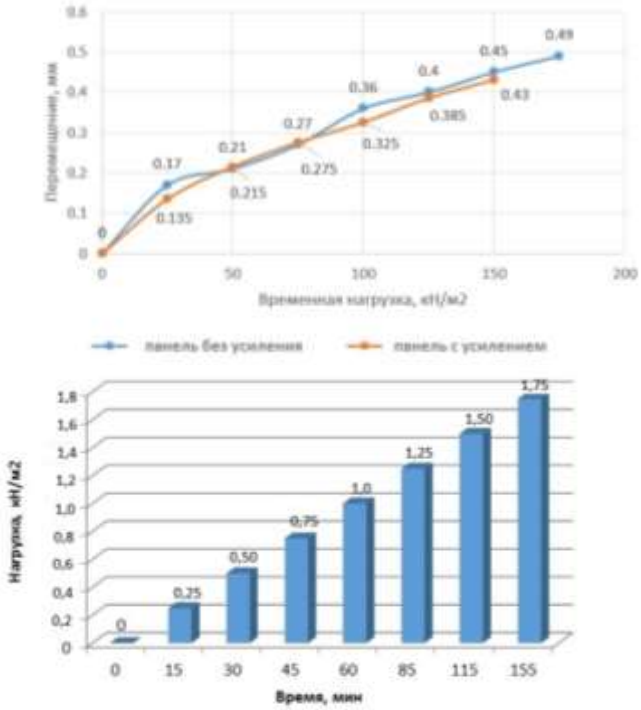


Рис. 16. График зависимости перемещений от нагрузки по результатам замеров индикатора И-1

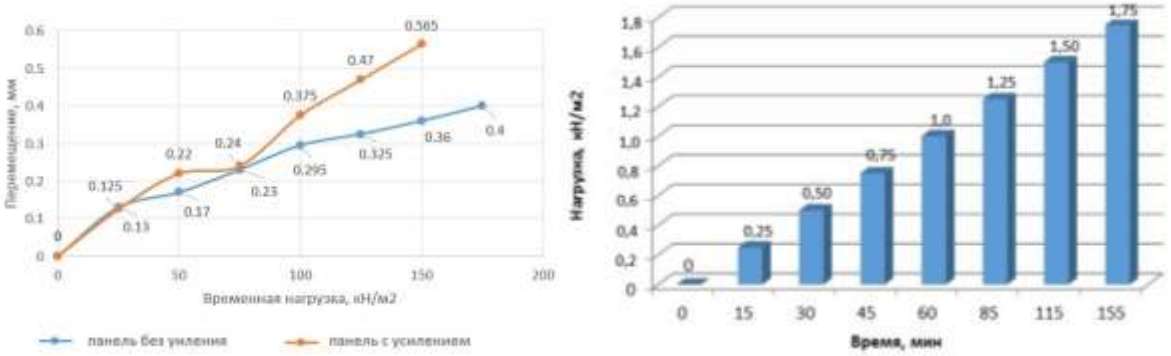


Рис. 17. График зависимости перемещений от нагрузки по результатам замеров индикатора И-2

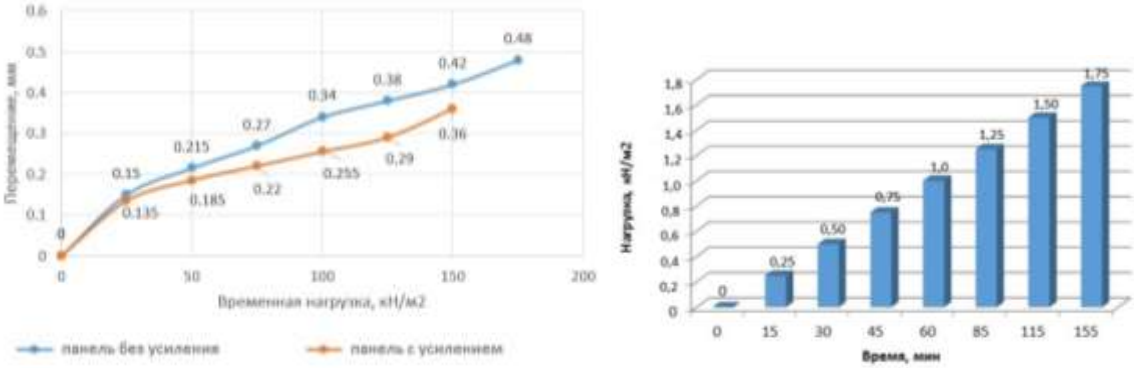


Рис. 18. График зависимости перемещений от нагрузки по результатам замеров индикатора И-3

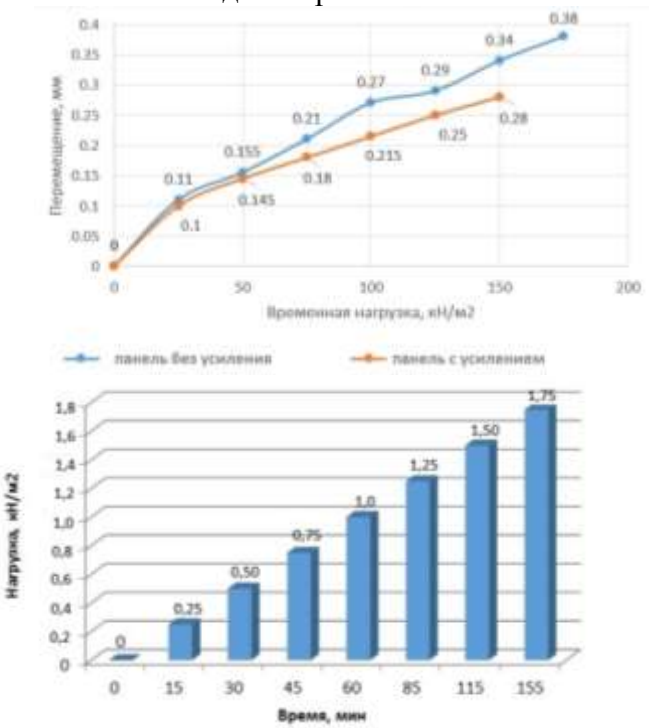


Рис. 19. График зависимости перемещений от нагрузки по результатам замеров индикатора И-4.

Анализируя приведенные выше графики, следует отметить, что незначительное перемещение обшивок относительно утеплителя наблюдалось с первых ступеней нагружения для обеих панелей. Однако, данный факт скорее

говорит об обжатии панели под нагрузкой. При этом, показания трех датчиков из четырех (И-1, И-3, И-4) для панели с усилением показали результаты замеров ниже, чем у панели без усиления, что говорит об увеличении жесткости массива минеральной ваты за счет вставок из просечно-вытяжного листа.

На втором этапе экспериментов было реализовано малоцикловое загружение объектов исследования: В этом случае нагрузка прикладывалась ступенями. После каждой ступени нагружения осуществлялась полная разгрузка конструкции. При этом, панель доводилась до разрушения. Подобный режим нагружения косвенно отражал пульсирующее ветровое загружение на стеновую панель.

Максимальная нагрузка на панель первого типа (без усиления) составила 2,0 кН/м2, на панель второго типа (с просечно-вытяжными армирующими элементами) – 2,10 кН/м2. Следует отметить, что при указанных максимальных значениях нагрузок обе панели разрушились. При значении нагрузки, равном 2,0 кН/м2, панель первого типа имела максимальный прогиб 19,90 мм, что на 32% превышает принятое предельно допустимое значение. Для панели второго типа прогиб достиг значения 24,05 мм при нагрузке в 2,0 кН/м2, что на 60% больше предельного значения. При резком обрушении панели второго типа при нагрузке 2,1 кН/м2 прогиб составил 61,57 мм.

Результаты, полученные в ходе исследования панелей во втором нагрузочном режиме, представлены на рис. 20-21.

В данном нагрузочном режиме у панели второго типа наблюдалось смещение максимальных значений перемещений от центра к левому краю. Причиной этому явились существенные начальные несовершенства рассматриваемой панели. Данный факт отражен на рис. 22, 23. Из графиков видно, что при одинаковом уровне нагружения в 1,75 кН/м2, перемещения, зафиксированные центральным датчиком Д-3, существенно меньше соседнего Д-2, установленного у торца панели.

Следует отметить, что остаточные деформации у панели второго типа на каждом этапе разгрузки были существенно ниже, чем у панели первого типа (см. рис. 24). Данное обстоятельство является следствием установки в конструкции панели вставок из просечно-вытяжного листа. Таким образом, можно говорить об экспериментальном подтверждении эффективности использования армирующих элементов из просечно-вытяжного листа. Данное конструктивное решение позволило увеличить жесткость панели в среднем на 15-20%, а, следовательно, и увеличить зону упругой работы конструкции, что является определяющим фактором в условиях ее реальной эксплуатации. Интегрально можно классифицировать панель второго типа как высоко резильянсную.

О включении армирующих вставок в работу можно судить по их внешнему виду, установленному по завершении испытаний. Деформирование просечно-вытяжных вставок, извлечённых из панелей после завершения эксперимента, представлены на рис. 25.

Как упоминалось ранее, значение максимально допустимого прогиба равного 15,00 мм было достигнуто обеими панелями на уровне загружения в 1,75 кН/м2. Однако, несмотря на монотонное нарастание перемещений во всех точках, обшивки обеих панелей не потеряли устойчивости.

Процесс разрушения объектов исследования носил не мгновенный характер, а сопровождался некоторым «потрескиванием», т.е. постепенным разрушением волокон утеплителя, а также клеевого соединения, отмеченным уже при уровне загружения в 1,50 кН/м2. С течением времени и нарастанием нагружения разрушение сопровождалось отрывом одной из обшивок и проскальзыванием ее относительно утеплителя в приопорной четверти панели. Разрушение панели произошло в результате разрушения минераловатного слоя в зоне действия главных растягивающих напряжений. Таким образом, характер исчерпания несущей способности позволяет отметить существенное влияние физико-механических свойств утеплителя на работу панели даже с применением армирующих вставок.

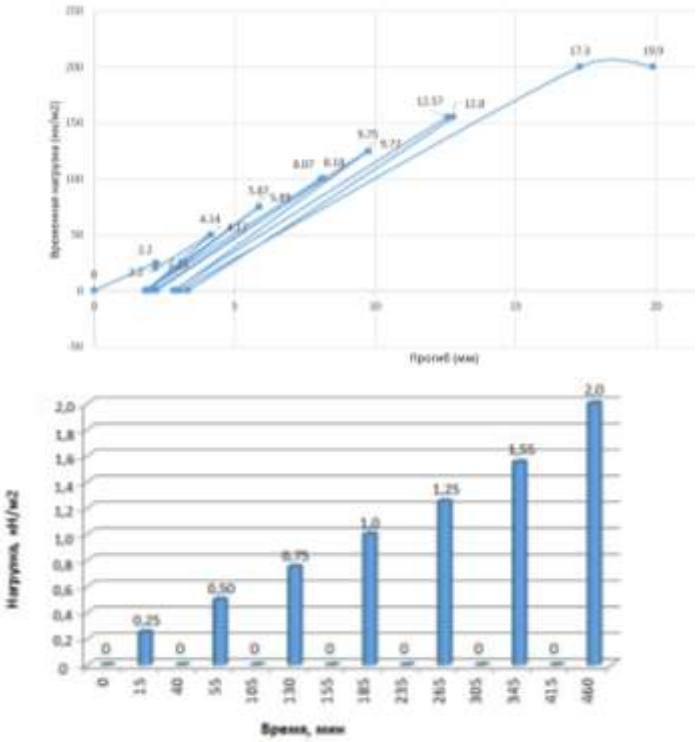


Рис. 20. График зависимости «перемещение - нагрузка» и соответствующий ему «нагрузка - время» для панели первого типа (режим «нагрузка-разгрузка»)

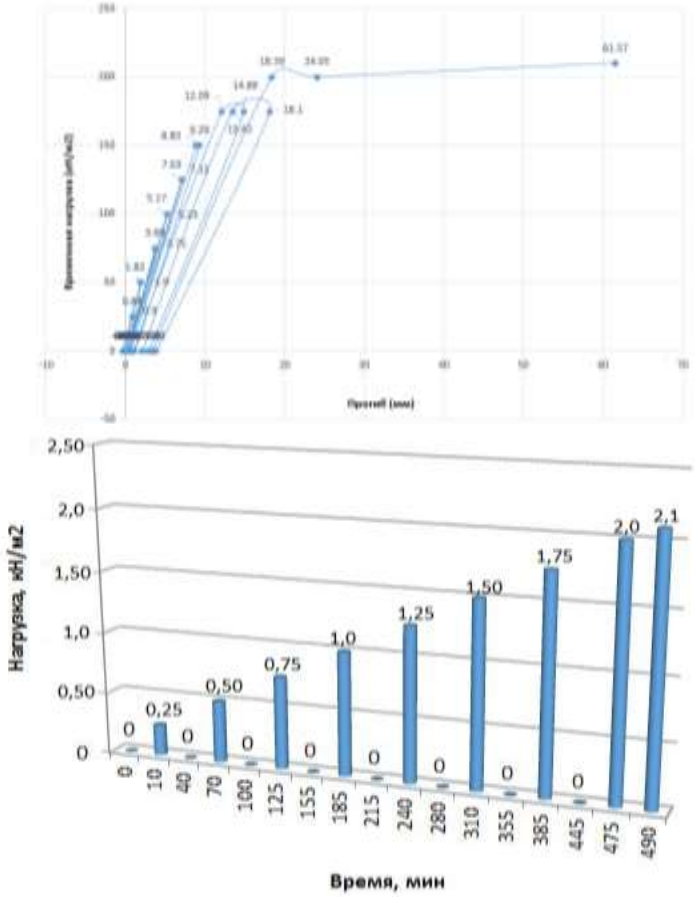


Рис. 21. График зависимости «перемещение - нагрузка» и соответствующего ему «нагрузка - время»для панели второго типа (режим «нагрузка-разгрузка»)

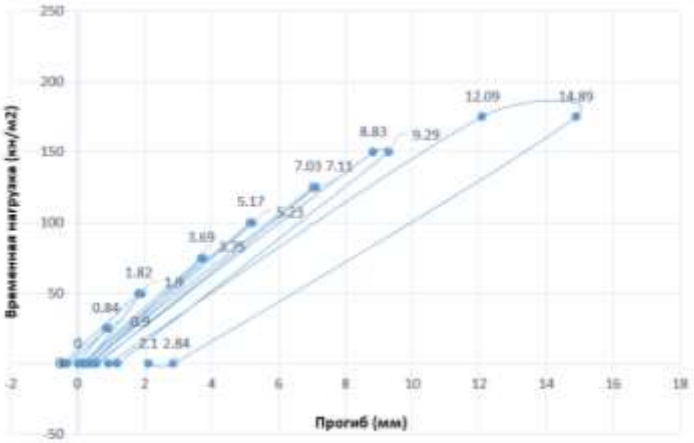


Рис. 22. График «перемещение - нагрузка» для панели 2-го типа по данным датчика Д-3

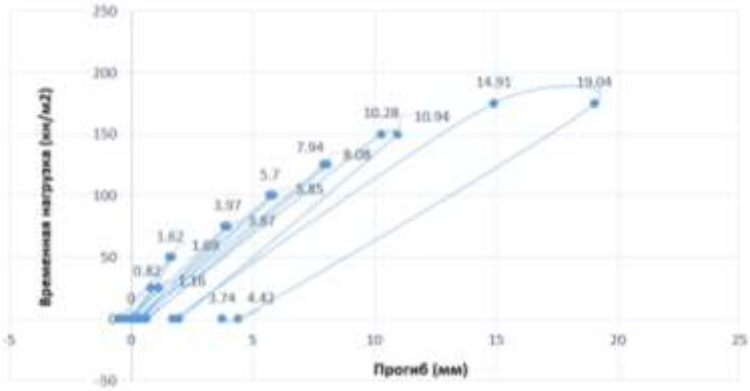


Рис. 23. График «перемещение - нагрузка» для панели 2-го типа по данным датчика Д-2.

Рис. 24. Остаточные деформации панелей после розгрузки.

Стоит также отметить, что по завершении цикла испытаний были выявлены другие начальные несовершенства внутри панели, которые также оказали влияние на результаты исследований. Таковыми явились локальные участки непроклея обшивки и расположение нескольких поперечных стыков среднего слоя (5 из 10) на одной линии. Подобные недостатки являются несовершенствами технологического процесса, что является недопустимым при промышленном изготовлении.

Общий вид панелей после разрушения, а также образовавшиеся дефекты, приведены на рис. 27-29.

Рис. 25. Деформированные просечно-вытяжные армирующие элементы

)

б)

Рис. 26. Начальные несовершенства, установленные после разрушения панелей: а) непроклей обшивок; б) поперечные стыки.

Рис. 27. Общий вид разрушенной панели первого типа

Рис. 28. Общий вид разрушенной панели второго типа

Рис. 29. Торцы разрушенных панелей (слева – панель 1-го типа, справа – 2-го)

Принимая во внимание все вышесказанное, можно говорить о выходе обеих панелей из строя одновременно практически по всем типам предельных состояний. Так, достижение максимально допустимого прогиба сопровождалось разрушением массива утеплителя и потерей устойчивости сжатой обшивки с дальнейшим отрывом и проскальзыванием обеих обшивок. Однако, следует отметить, что место разрушения не соответствует сечению с ожидаемыми максимальными значениями напряжений, то есть в середине панели. Данный факт, дополнительно, указывает на существенное влияние физико-механических свойств утеплителя и наличия начальных дефектов на действительную работу трехслойных панелей.

Заключение. Отмечается сильное влияние начальных несовершенств панели, образованных на этапе изготовления либо транспортировки готовых конструкций, на результаты экспериментальных исследований. Таким образом, необходимым считается учет возможных конструкционных несовершенств при теоретическом моделировании рассматриваемых конструкций.

Применение армирующих элементов из просечно-вытяжного листа существенно влияет на увеличение жесткостных характеристик конструкции в целом. Учитывая невысокую себестоимость просечно-вытяжного листа, простоту его установки в конструктиве, а также незначительное увеличение веса конструкции панели, использование подобных армирующих элементов представляется тем решением, которое позволит как увеличить жесткость системы, так и впоследствии прибегнуть к использованию минеральных заполнителей более низкой плотности, а, следовательно, и стоимости. Вместе с тем, большой интерес вызывает вопрос исследования совместности работы массива утеплителя и армирующих вставок, что, в свою очередь, предопределяет необходимость поиска конструктивных решений их механического соединения.

Список использованных источников

1. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Бурак. – Х.: Золотые страницы, 2008.

2. Ильдияров Е.В. Несущая способность и деформативность кровельных сэндвич-панелей с минераловатным средним слоем на основе базальтового волокна: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Ильдияров Евгений Викторович. – Самара, 2009. – 178 с. – Библиогр. : с. 163-168.

3. Хайруллин Л.Р. Несущая способность сэндвич-панелей с металлическими обшивками и технологическими стыками среднего слоя. : дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Хайруллин Ленар Равилевич. – Казань, 2012. –205 с. – Библиогр. : с. 186-199.

4. Experimentalinvestigationofwallandroofsandwichpanelsof “Aluterm” series (Экспериментальное исследование стеновых и кровельных сэндвич-панелей серии «Алютерм»). / В.С. Шмуклер, Е.И. Лугченко, Е.А. Петрова. // Коммунальное хозяйство городов. – № (2015) .

5. Патент на изобретение «Трехслойная панель». Заявка №а2014 09413 Шмуклер В.С.

6. Шмуклер В.С., Чупрынин А.А., Аббаси Р. Устройство для натурных испытаний плит и оболочек. Патент на полезную модель № 44125, Украина, 2010.

7. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. М., «Наука», 1976. – 390 с.

8. Изделия теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем. Общие технические условия: ДСТУ Б В.2.7-97-2008. - Офиц. изд. – К.: Минрегионстрой Украины, 2009. – 23с. (Нормативный документ Министерства регионального строительства Украины. Национальный стандарт Украины).

9. Панели металлические трехслойные строительные серии «Алютерм». ТУ У В.2.6-28.1-32564237-001:2007. – Харьков, 2010. – 74с.

10. European Recommendations for Sandwich panels. Part I: Design/ 23.10.2000.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Кожушко В.П.

Петрова Елена Александровна, аспирантка кафедры строительных конструкций Харьковского национального университета им. А.Н. Бекетова.

Petrova Olena Oleksandrivna, graduate student of the Construction Department of O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.