

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
on the theme "Architecture is the Abode of Time" which will be held at
Samarkand State Architecture and Construction University

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕРАЗРЕЗНЫХ КРОВЕЛЬНЫХ
СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ**

к.т.н, доцент кафедры "Строительный инжиниринг"
Самаркандинский государственный архитектурно-строительный
университет имени Мирзы Улугбека.

Рахимов Акрам Кахарович

докторант (PhD)
Самаркандинский государственный архитектурно-строительный
университет имени Мирзы Улугбека.

Ибрагимов Низом Хусенович

магистр кафедры "Строительный инжиниринг"
Самаркандинский государственный архитектурно-строительный
университет имени Мирзы Улугбека

Мукарамов Шахбоз Рауфович

Аннотация: Среди легких ограждающих конструкций наиболее перспективными являются металлические панели с утеплителем типа «сэндвич». В статье приводятся сведения о трехслойных «сэндвич» панелях и расчет понели на изгиб по программе ЛИРА САПР. Подробно описывается методика моделирования панели. Даётся численный метод расчета панели, а также анализируется их результат.

Ключевые слова: сэндвич-панель, минвата, базальт, обшивка, профнастил, жесткости, прочность, напряжение, изгиб.

Введение. В условиях становления рыночной экономики существенно возрастают требования к качеству строительства, что способствует применению новых современных строительных материалов и конструкций. Среди легких ограждающих конструкций наиболее перспективными являются металлические панели с утеплителем типа «сэндвич».

Они отличаются небольшой массой, незначительными затратами на изготовление, транспортировку и монтаж, а также позволяют сократить сроки по возведению зданий. Нагрузка на каркас и фундамент здания при их применении существенно снижается, что делает их более предпочтительными по сравнению с другими ограждающими конструкциями. Возможно применение таких панелей в быстровозводимых сборно-разборных зданиях.

Решение. Трехслойные конструкции, состоящие из жестких и прочных несущих слоев (металлических обшивок) и легкого заполнителя, обычно минераловатных или базальтовых плит, их широко применяют при строительстве зданий и сооружений любого назначения. Применение в качестве обшивок стальные листы существенно повышает эффективность таких конструкций.

В верхняя обшивка обычно принимается из профилированного стального листа, с высотой гофра от 35 мм до 60 мм в зависимости от технологического процесса изготовления. Нижняя обшивка применяется из слабо гофрированного плоского листа, средний слой выполняется из минеральной ваты, базальтовых волокон, и пенополистирола. В настоящее время в Самаркандском металлургическом заводе по китайской технологии производится сэндвич панели шириной 1м, длиной до 12 м.

В этих панелях гофры верхней обшивке не заполняются утеплителем (рис 1.а). В другом случае они полностью заполняются утеплителем (рис 1.б).

Как известно в ограждающих конструкциях покрытия эти панели закрепляются к прогону по неразрезной схеме с помощью самонарезающих болтов.

Расчет панелей по этой схеме выполняются по “Рекомендации по определению несущей способности кровельных и стеновых сэндвич панелей” разработанное в ЦНИИПСК им Мельникова.[1]

По этой рекомендации проверку несущей способности трехслойных панелей необходимо производить путем расчета или испытанием, так чтобы удовлетворялся условие .

$$\sigma \leq R_y .$$

Поэтому, согласно предлагаемого А.С. Макеевым метод расчета сэндвич панели по программам, необходимо создать модель панели. [2]

С целью влияния на гофры верхней обшивку на деформированное состояние панели было разработана модель панели и произведен их расчет.

С помощью модели в программном комплексе ЛИРА САПР [3] были проведены численные расчеты панели при изгибе от равномерно распределённой нагрузке. Расчетная схема панели двухпролётная неразрезная, пролет 3 м.

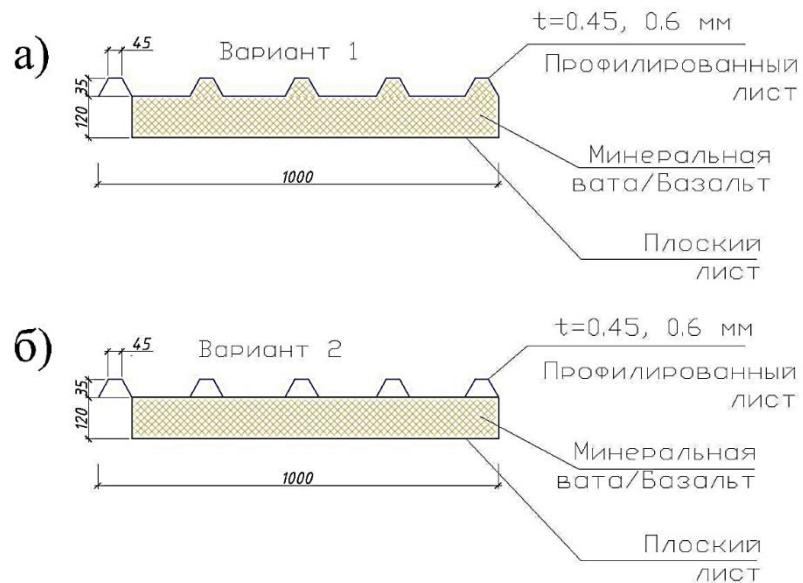


Рис 1. Сэндвич панели.

Методология моделирования. При формировании расчетной схемы сэндвич-панелей в программе используются конечные элементы такие как стержни, пластины и элементы ограниченного объема. Сэндвич-панели выбираются из пластинчатых конечных элементов в верхних гофрированных стальных листах и нижних плоских стальных листах, а также объемных конечных элементов в композитном заполнителе между ними.

Формируем сэндвич-панели в программе по следующей последовательности:

1. Прежде всего создаем узлы контура по координатам сечения верхнего профилированного листа. Выбираем команду «По координатам» на панели «Создать». Из открывшегося окна создаем первый узел в рабочем окне по начальной точке. Следующие узлы будем создавать последовательно, указывая их необходимые расстояния по осям X и Z относительно этого узла. После создания узлов выбираем команду «Создать стержень» на панели «Создать» и нарисуем стержни между созданными узлами.

Точно так же рисуем и нижний плоский листовой элемент, создавая узлы по направлению оси X и вытягивая его за стержни.

Для создания составной детали-наполнителя выбираем команду «Добавить 4-х узловую пластину» на панели «Создать» и создаем пластины одну за другой, указав соответствующие узлы параллельно интервалу верхнего и нижнего листа (рис. 2).

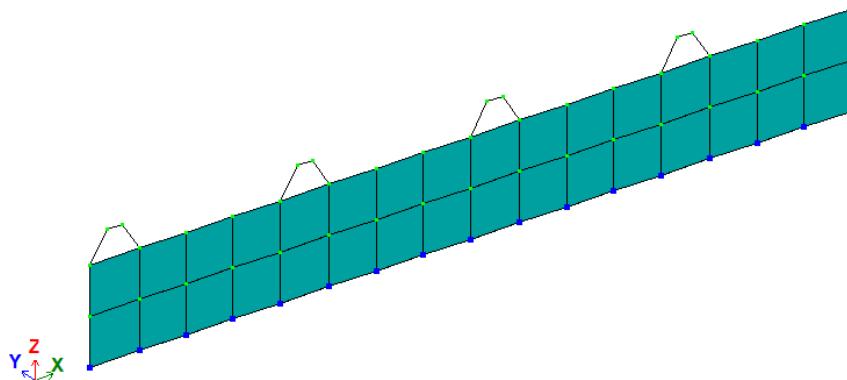


Рис 2. Схема расчета сэндвич-панели с перфорированной секцией

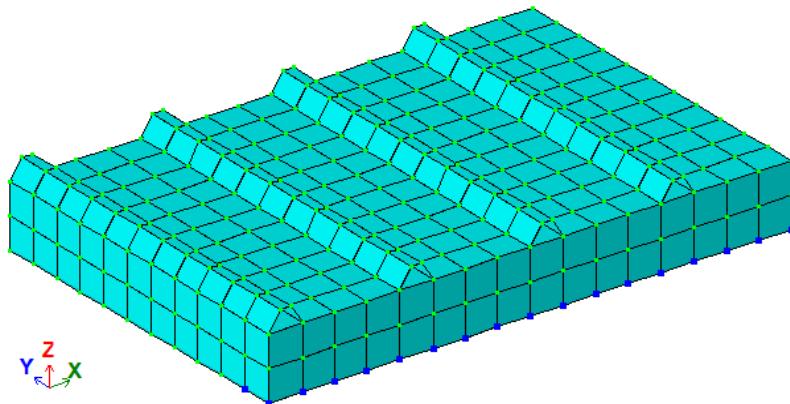


Рис 3. Расчетная схема объемной сэндвич-панели

1. Выращиваем участок с ровной поверхностью в направлении оси Y. Для этого выделяем верхний и нижний листы и на панели «Создание» выбираем команду «Перемещение образующей». В открывшемся окне введем значение 6 метров рядом с символом dY и введем значение 60 рядом с символом n. В данном случае получится 60 ячеек длиной 10 см. Таким же образом создаем объемные конечные элементы по оси dY, определив составные пластинчатые элементы в средней части (рис. 3).
2. Применяем жесткости к созданной расчетной схеме Сэндвич-панели. Выбираем команду «Жесткости» на панели «Жесткости и связи». В открывшемся окне нажимаем кнопку Добавит. Выбираем пластины из списка. В открывшееся окно вводим значения модуля упругости E, коэффициента Пуассона V, высоты (толщины) H и объемного веса Ro материала. В окне «Жесткости» выбираем из списка «Объект КЭ». В открывшемся окне введем значения модуля упругости E, коэффициента Пуассона V и объемной плотности Ro. Созданные единицы присваиваем соответствующим элементам расчетной схемы.
3. Приложим нагрузки, действующие на создаваемую сэндвич-панель. На панели «Нагрузки» выбираем команду «Добавить собственный вес» и присвоим удельный вес, введя коэффициент надежности 1,05. Чтобы применить снеговую нагрузку к сэндвич-панели, выбираем команду «Нагрузки на пластины» на панели «Нагрузки». Нагрузку назначаем, вводя значение расчетной снеговой нагрузки в 70 килограмм от открытого окна и отмечая верхний профилированный стальной лист.
4. Вводим опорные связи в созданную Сэндвич-панель. На панели «Жесткости и связи» выбираем команду «Связи». В открывшемся окне выбираем радио кнопки X, Y, Z и введем граничное значение, выбрав узлы по направлению оси X на двух концах сэндвич-панели и средней нижней части.

По программе производится расчет сэндвич-панели и анализируются результаты расчета.

В остальных вариантах в этом случае значения единиц рассчитываются соответствующим образом и анализируются результаты.

Данные для расчета:

Длина панелей – 6м = 2х3м;

Высота панелей – 155мм = 120х35мм;(35мм высота гофра (рис. 1))

Ширина панелей – 1м;

Толщина проф. листов – 0,45мм; 0,6мм;

Материал сердечника:

1. **Минеральная вата:** Модуль упругости - 6 Н/мм²; Удельный вес - 125кг/м³;

2. **Базальт:** Модуль упругости - 3,5 Н/мм²; Удельный вес - 400кг/м³;

Равномерно распределенная расчетная нагрузка на всех плитах – нагрузка от снега - 70 кг/м². + собственный вес

Варианты исследования:

Вариант 1.1 – Мин. вата; $t_{п.л}$ – 0,45мм; с пустыми гофрами;

Вариант 1.2 – Мин. вата; $t_{п.л}$ – 0,6мм; с пустыми гофрами;

Вариант 1.3 – Мин. вата; $t_{п.л}$ – 0,45мм; с заполненными гофрами;

Вариант 1.4 – Мин. вата; $t_{п.л}$ – 0,6мм; с заполненными гофрами;

Вариант 2.1 – Базальт; $t_{п.л}$ – 0,45мм; с пустыми гофрами;

Вариант 2.2 – Базальт; $t_{п.л}$ – 0,6мм; с пустыми гофрами;

Вариант 2.3 – Базальт; $t_{п.л}$ – 0,45мм; с заполненными гофрами;

Вариант 2.4 – Базальт; $t_{п.л}$ – 0,6мм; с заполненными гофрами;

Во всех вариантах ширина средней опоры принималася 50 мм, концы панелей закреплялись жёстко на опорах.

Результаты исследования:

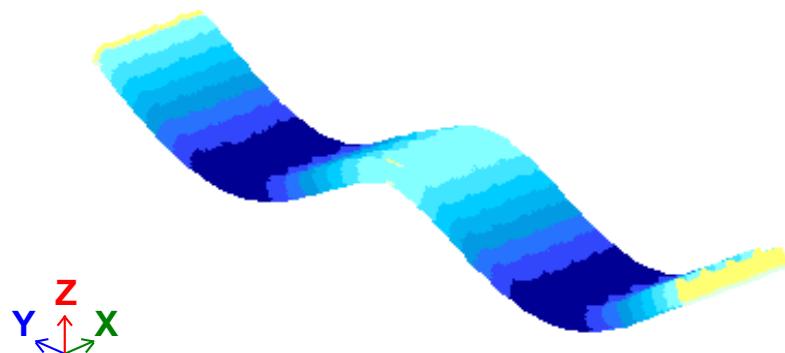


Рис. 4. Максимальный прогиб

<1%	<1%	2%	4%	9%	6%	6%	5%	46%	6%	5%	8%	1%	<1%	<1%	<1%	<1%
-----	-----	----	----	----	----	----	----	-----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

-1.48-1.35-1.16-0.96-0.77-0.57-0.38-0.19-0.0140.0140.1930.3850.5780.7710.9631.16 1.35 1.54
 1.Загружение 1 [1. Основная задача: С1. Основная задача; D1. Основная задача]
 Мозаика напряжений по Nx
 Единицы измерения - кН/см²

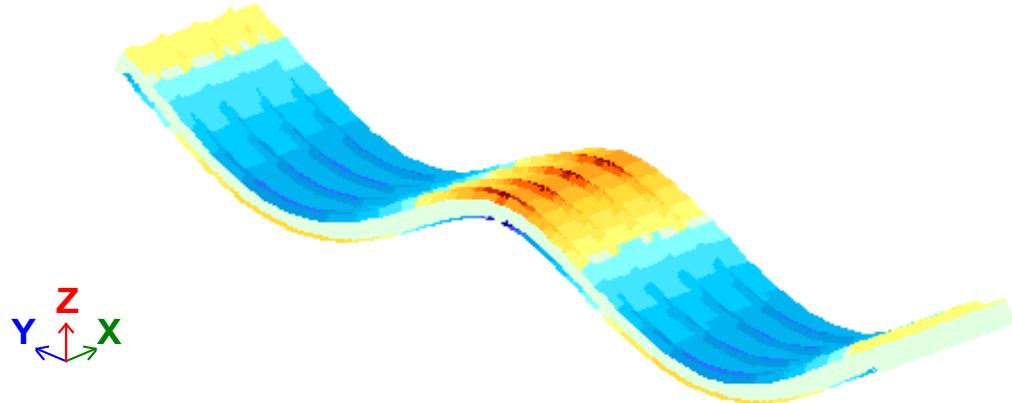


Рис. 5. Максимальные напряжения Nx

Диаграмма по максимальным прогибам

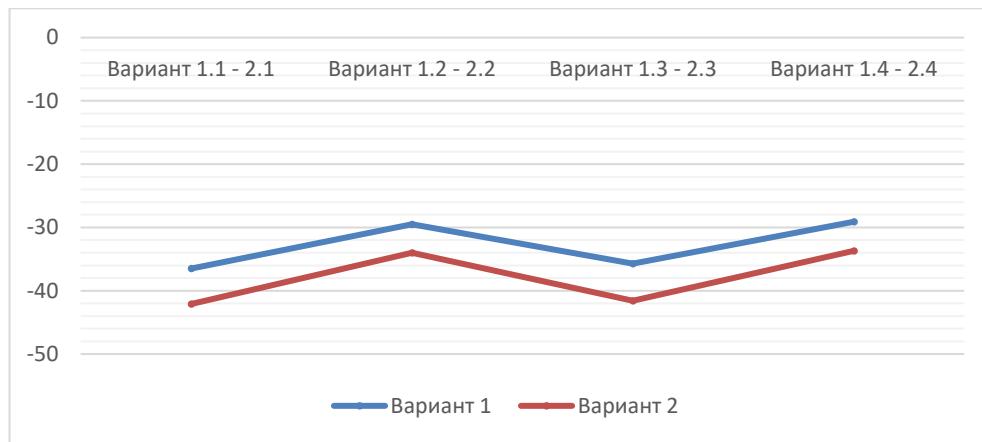
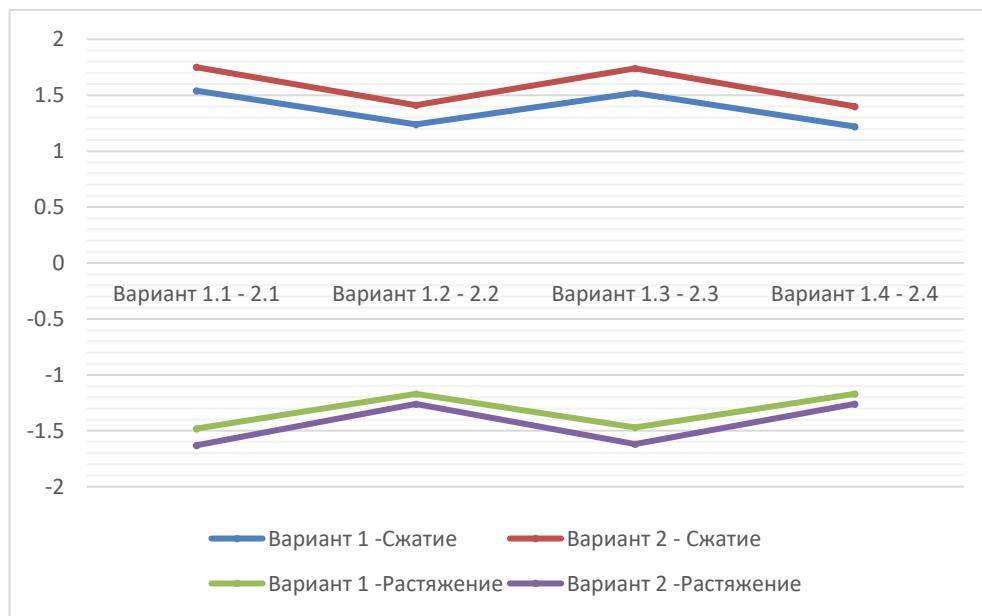


Диаграмма по напряжениям Nx



Заключение. Результаты компьютерного исследования показали, что в сэндвич панелях, где гофры не заполнены , увеличением толщины профнастила с 0,45 мм до 0,6мм прогиб настила в середине пролета неразрезной панели на ~ 20% больше.

Такое явление в панелях, где гофры заполнены, происходит тоже самое.

Если сравнить результаты прогиба панели с пустыми и заполненными гофрами, незначительная, то есть роль гофра при проверке панели на жесткость не большая. Сравнение результатов исследования панелей минватой и с базальтом показывает, что жесткость панелей из минваты ~ 20% больше, чем базальтовой.

Из диаграммы напряжений видно, что максимальное напряжение сжатия и растяжению не велики в пролете и над средней опорой. [4]

Анализ показывает, что предельный прогиб сэндвич панелей по нормам составляет 1/200 от пролета т.е. 1,5 см. Результаты моделирование показывают, что по программе ЛИРА САПР это значение намного превышает нормативного.

Это объясняется тем, что сэндвич панели являются сложной конструкцией и в программе необходимо произвести корректировки, а именно совместную работу всех слоев панели, а также в расчетной схеме необходимо учесть действительную работу панели.

Литература:

1. Рекомендации к определению несущей способности кровельных и стеновых панелей (Сэндвич) М.2013 г. ЦНИИПСК.
2. Бралин О.С., & Макеев, С.А. (2017). НАДЕЖНОСТЬ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ. Студенческий вестник, (17), 67-69.
3. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЛИРА-САПР®. Руководство пользователя. Обучающие примеры Ромашкина М.А., Титок В.П. Под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. Электронное издание, 2018г. – 254 с.
4. Згиоровский А. И. Расчет и проектирование сэндвич-панелей с использованием стандартов Европейского союза. – 2015.
5. Рахимов А. К., Содиков М. О. УСТОЙЧИВОСТЬ ГОФРОВ СТАЛЬНЫХ ПРОФИЛИРОВАННЫХ НАСТИЛОВ ПОКРЫТИЯ ПРИ РАБОТЕ ИХ НА ИЗГИБ //GOLDEN BRAIN. – 2023. – Т. 1. – №. 1. – С. 351-353.
6. Мандриков. А. П. Расчет металлических конструкций. Санкт- Петербург 2012 г.