

«Несущая способность фиброцементных панелей со скрытым креплением в составе навесных фасадных систем»

Лысенко Дмитрий Александрович

Инженер научно-исследовательской лаборатории «Фасадные конструкции зданий и сооружений Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого»



Санкт-Петербург
2023

Фиброцементные плиты



Рис. 1. Фасад здания с облицовкой ФЦП



Рис. 2. Декоративные ФЦП

Фиброцементные плиты (ФЦП) - искусственный композиционный каменный строительный материал, получаемый в результате затвердевания смеси, состоящей из цемента, волокон и воды.

ГОСТ Р 59923-2021 «Плиты фиброцементные для вентилируемых навесных фасадных систем»

Таблица 2 — Физико-механические характеристики

Наименование показателя	Характеристики	
	Плита-основа	Окрасочное покрытие
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	20	—
Плотность, кг/м ³ , не менее/не более	1400/1950	—
Ударная вязкость, кДж/м ² , не менее	2	—

Крепление ФЦП к НФС

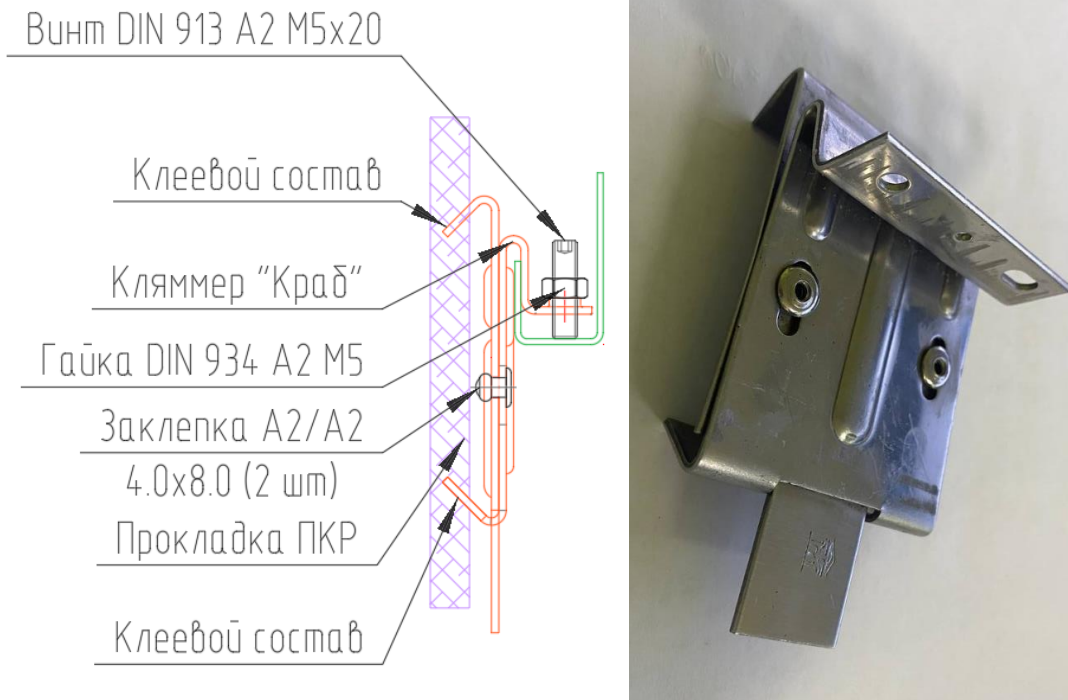


Рис. 3. Скрытое крепление ФЦП

Заклепка A2/A2

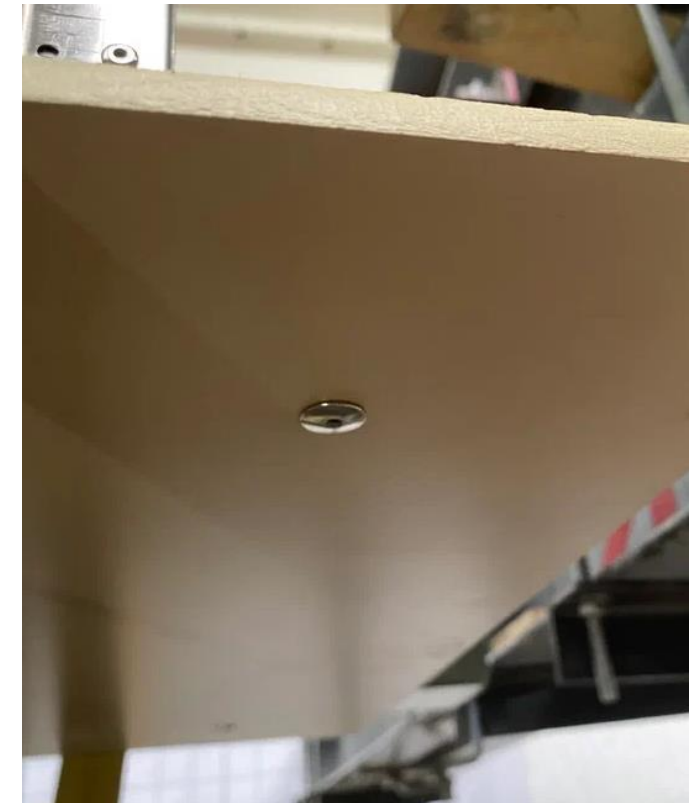


Рис. 4. Видимое крепление ФЦП

Цели и задачи исследования

Целью работы является определение характерной группы предельных состояний для конструкции фиброцементных панелей со скрытым креплением на основании экспериментального исследования.

Задачи работы:

1. Экспериментальное исследование по определению несущей способности полноразмерных образцов фрагмента навесной фасадной системы на действие равномерно-распределенной нагрузки из плоскости фасада;
2. Численное моделирование и верификация модели на основе ранее проведенных испытаний фасадной системы;
3. Анализ напряженно-деформированного состояния фиброцементных панелей и их креплений.



Рис. 5. Подготовка к испытаниям полноразмерных образцов

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является фиброцементные панели, в составе навесной фасадной системы со скрытым креплением.

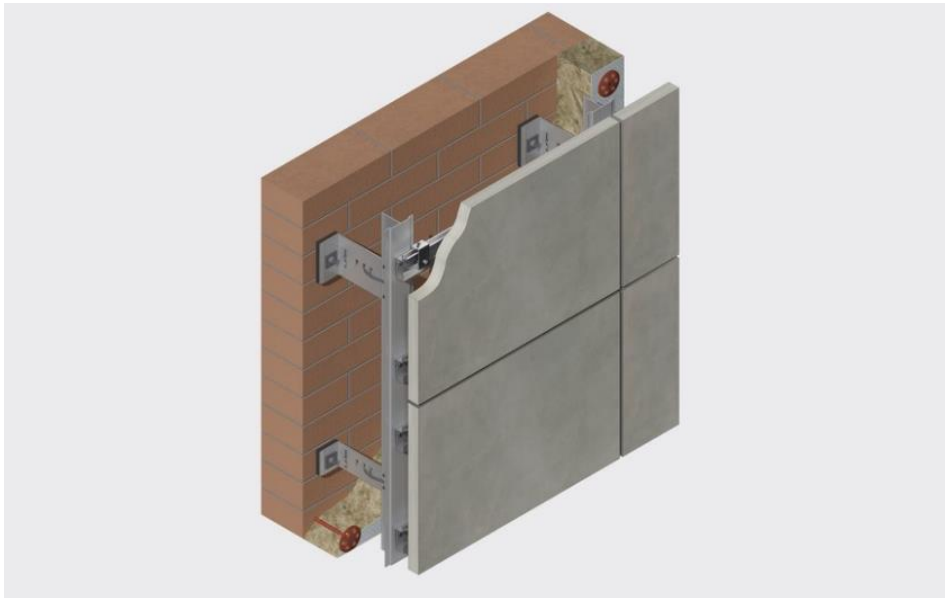


Рис. 6. Элементы НФС

Предметом исследования является напряженно-деформированное состояние облицовки, в том числе скрытого крепления.

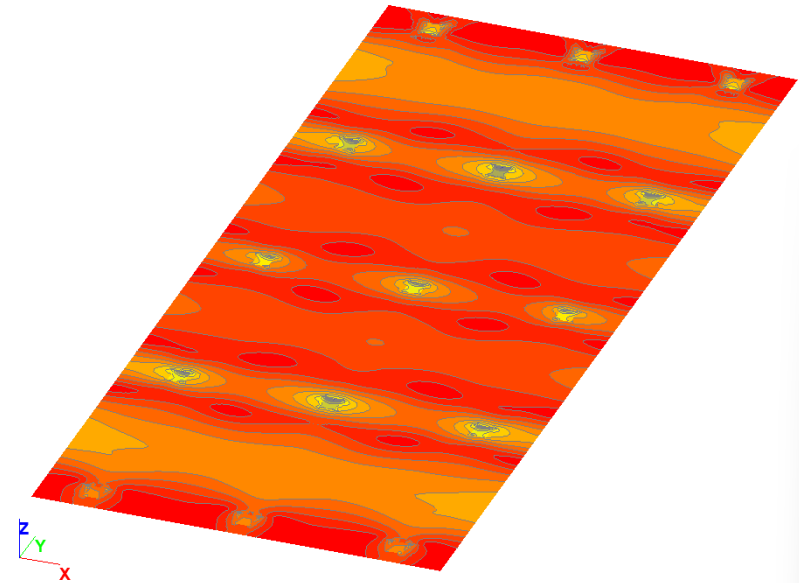


Рис. 7. Пример изополей напряжений в фиброцементных панелях

Используемые материалы (комплектующие)

- 1) Фиброцементная панель 1250x3000 мм;
- 2) Несущие кронштейны + комплект (шайба, удлинитель, терморазрыв);
- 3) Вертикальный направляющий профиль;
- 4) Горизонтальный направляющий профиль
- 5) Кляммеры «КРАБ»;
- 6) заклепки 4x8 A/A2.

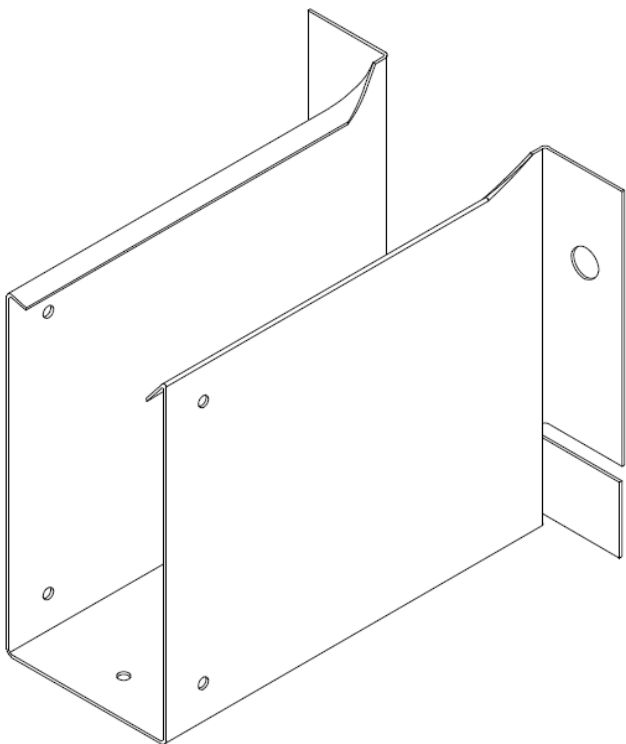


Рис. 8. Несущий кронштейн

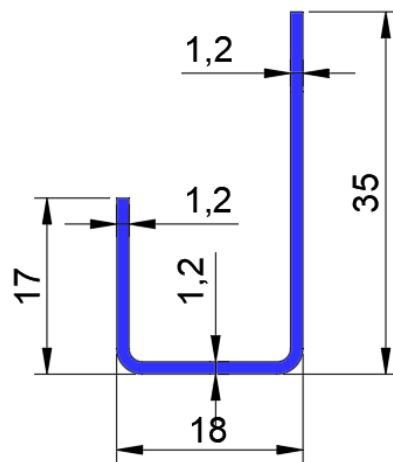


Рис. 9. Горизонтальный напр. профиль

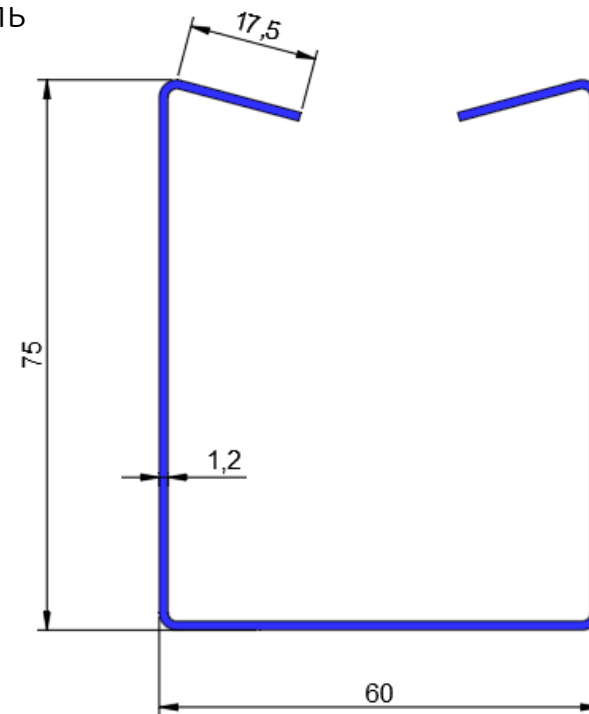


Рис. 10. Вертикальный напр. профиль

Проведение испытаний фрагмента фасадной системы

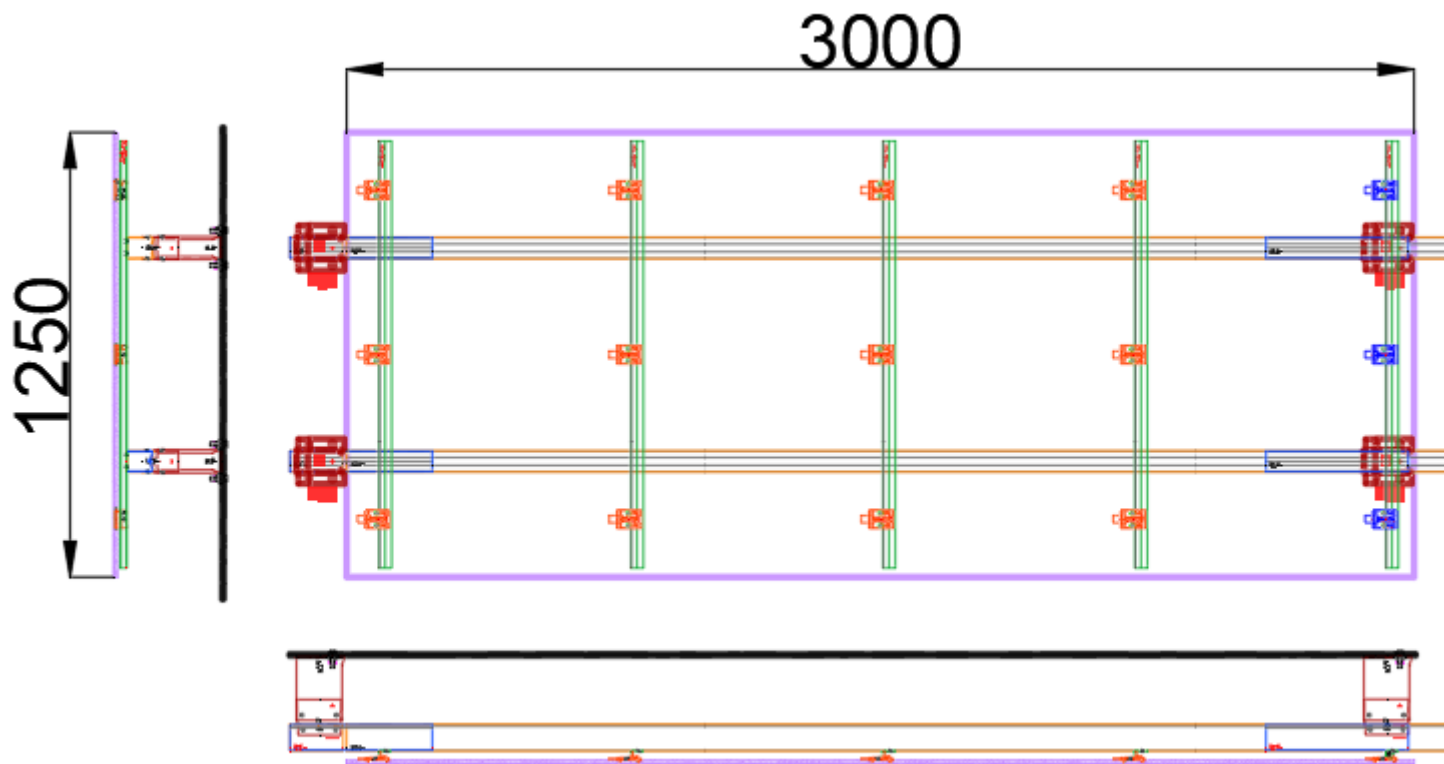


Рис. 11. Конструктивная схема конструкции НФС

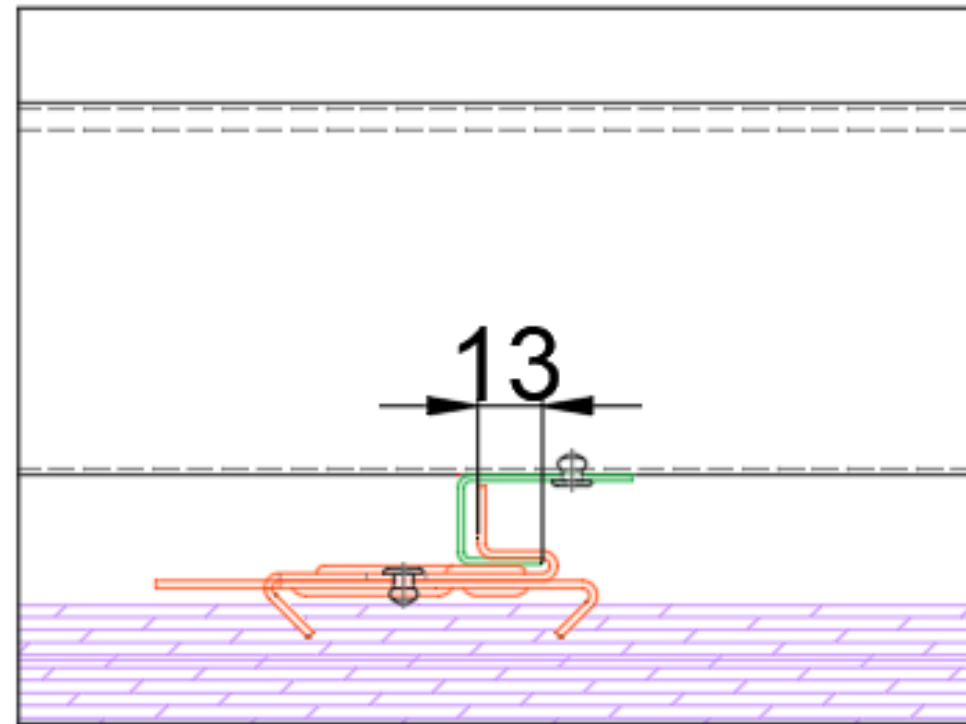


Рис. 12. Положение кляммера (минимальный зазор – 2 мм)

Проведение испытаний фрагмента фасадной системы

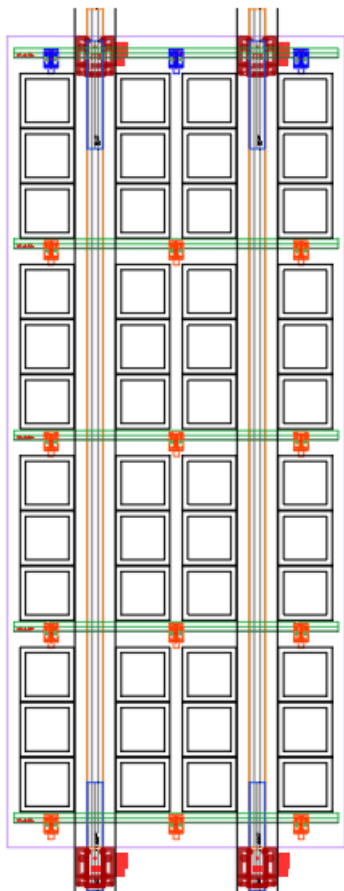


Рис. 13. Приложение нагрузки

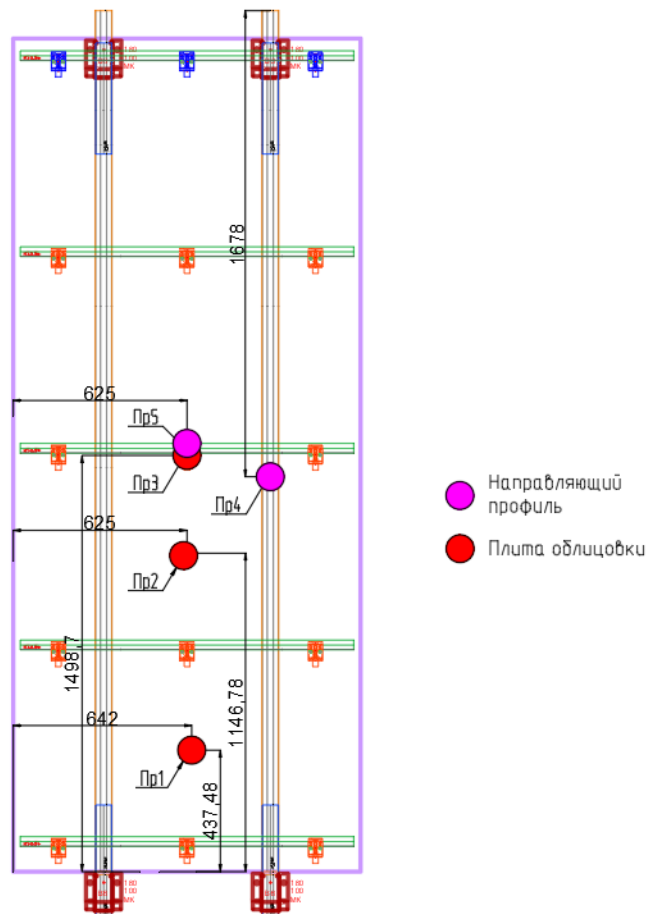
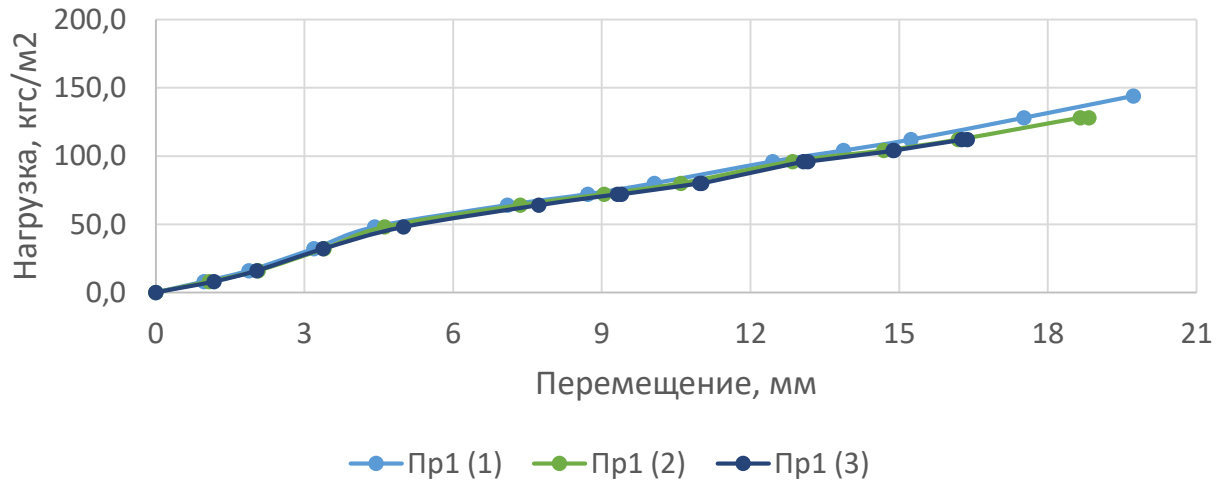


Рис. 14. Расположение прогибомеров

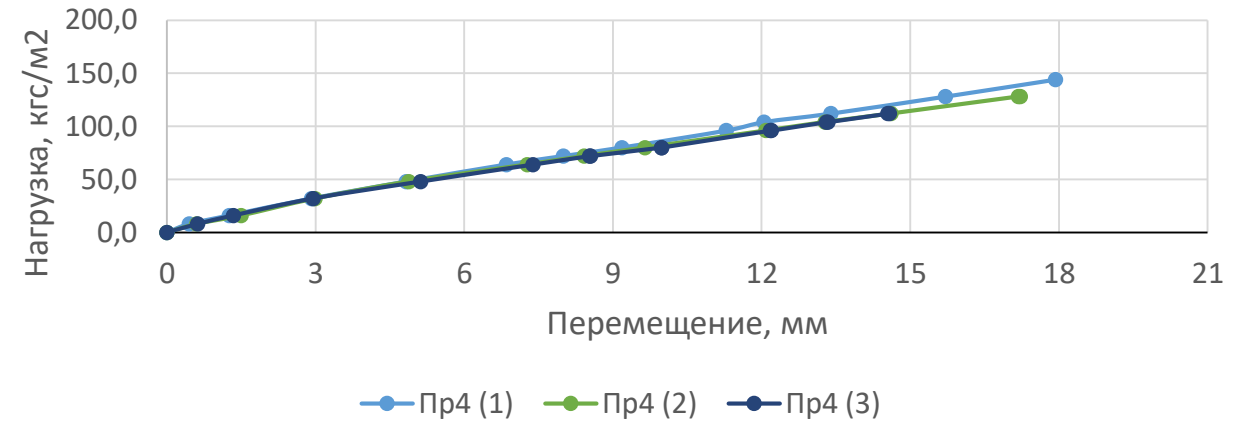
- Испытания фрагмента фасада выполнялись до момента **разрушения** конструкции.
- Нагружение осуществлялось с помощью грузов с фиксированным весом (7,5 кг с площадью 256 см²).
- Шаг ступени нагружения – 24 кг/м².
- После достижения каждой ступени нагружения фиксировались перемещения конструкции в характерных точках прогибомерами часового типа.
- Количество полноразмерных испытаний – 3.

Результаты испытаний

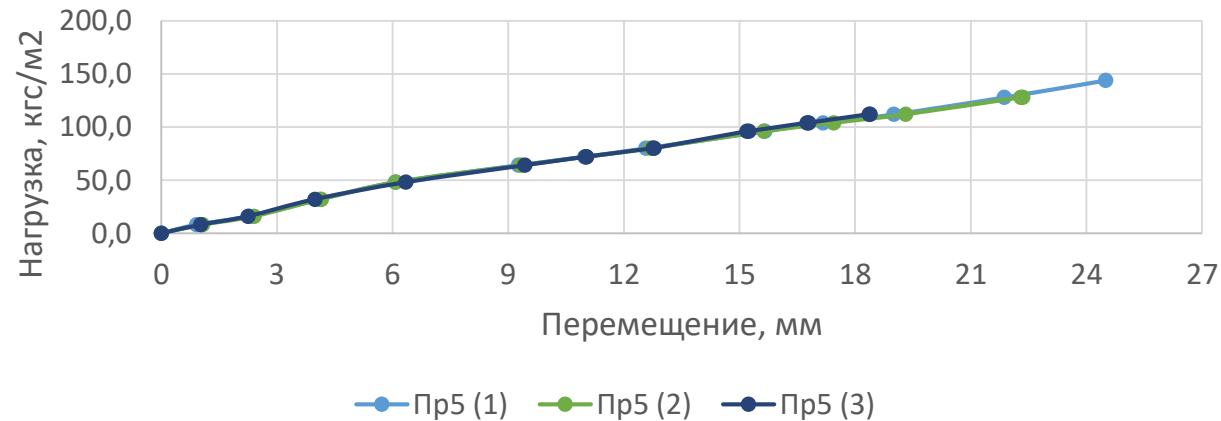
Прогибомер 1. Крайний пролет ФЦП



Прогибомер 4. Центр пролета вертикальной направляющей



Прогибомер 5. Середина центрального горизонтального профиля (нижняя часть)



Результаты испытаний

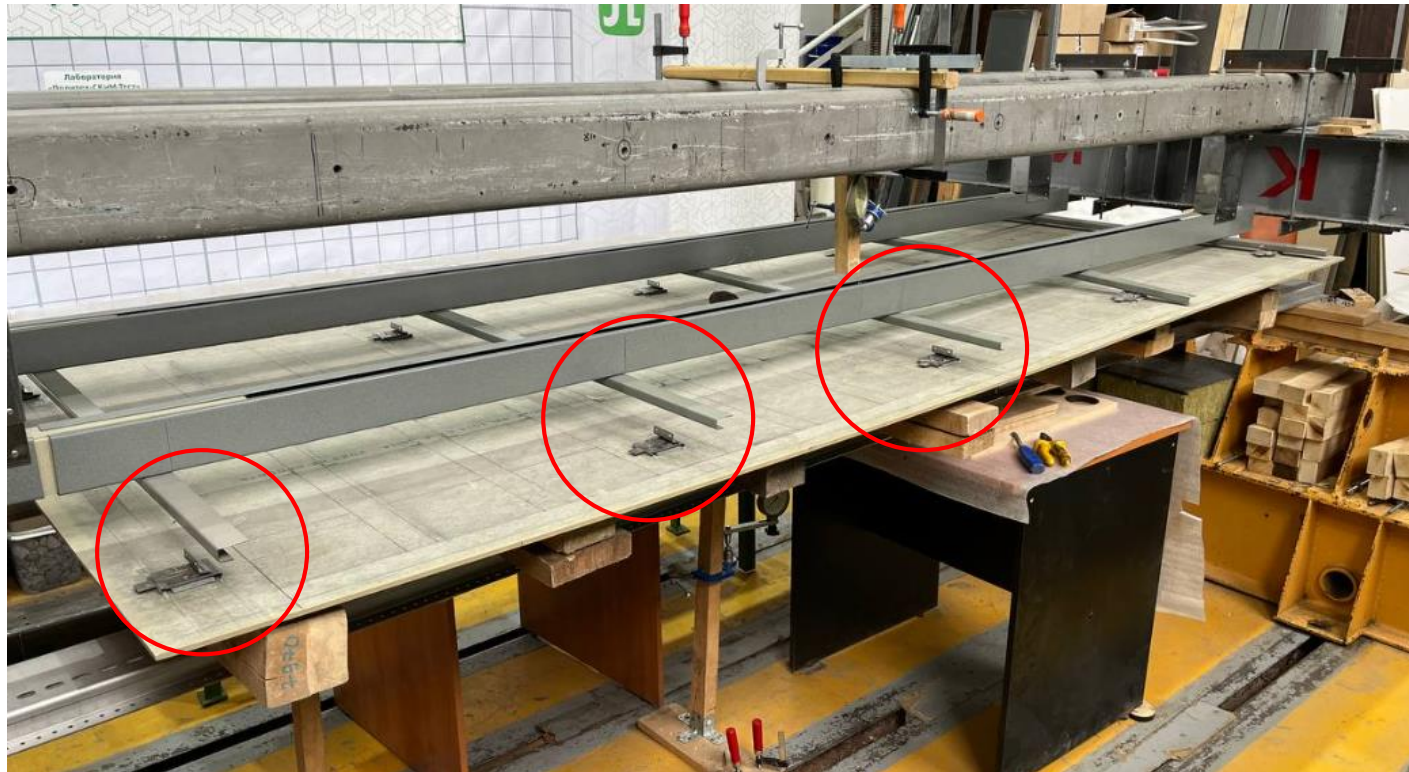


Рис. 15. Характер разрушения конструкции навесной фасадной системы (после снятия нагрузки)

- Получены значения перемещений характерных точек конструкции в зависимости от приложенной нагрузки.
- Разрушения образцов произошло при нагрузках:
 1. 160 кг/м^2 ($113,5 \text{ кг/м}^2$),
 2. 144 кг/м^2 ($97,5 \text{ кг/м}^2$),
 3. 128 кг/м^2 (**$81,5 \text{ кг/м}^2 = 0,8 \text{ кПа}$**),при которых происходил вылет кляммеров из горизонтального направляющего профиля.

Результаты испытаний

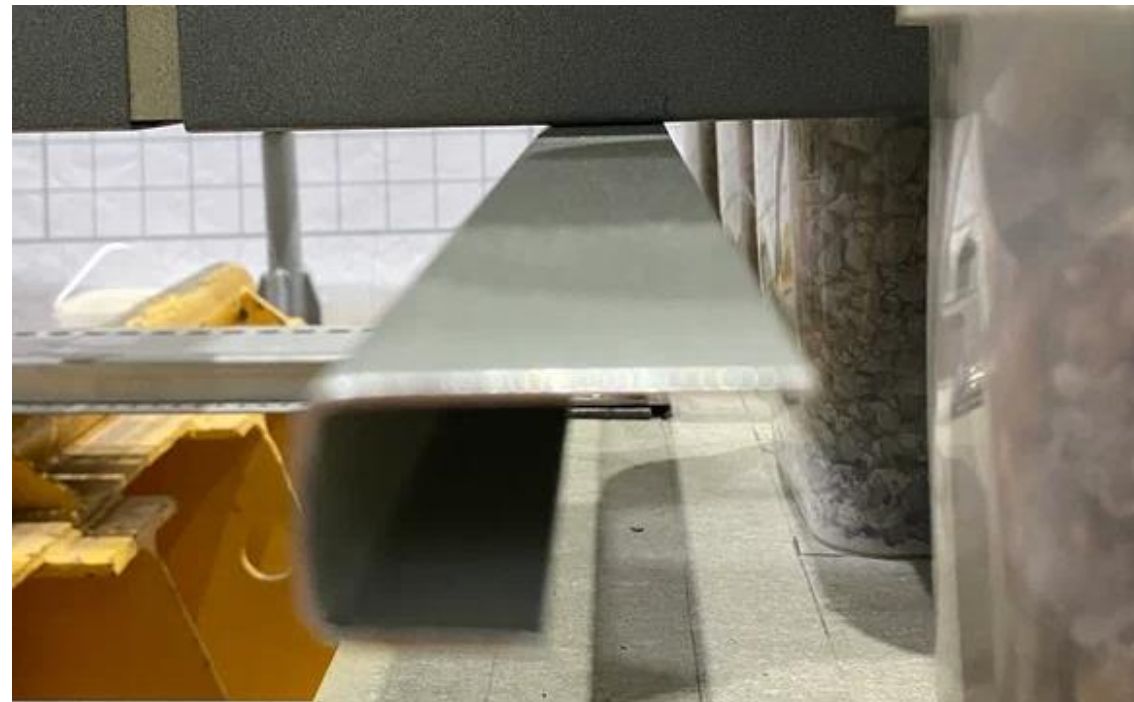
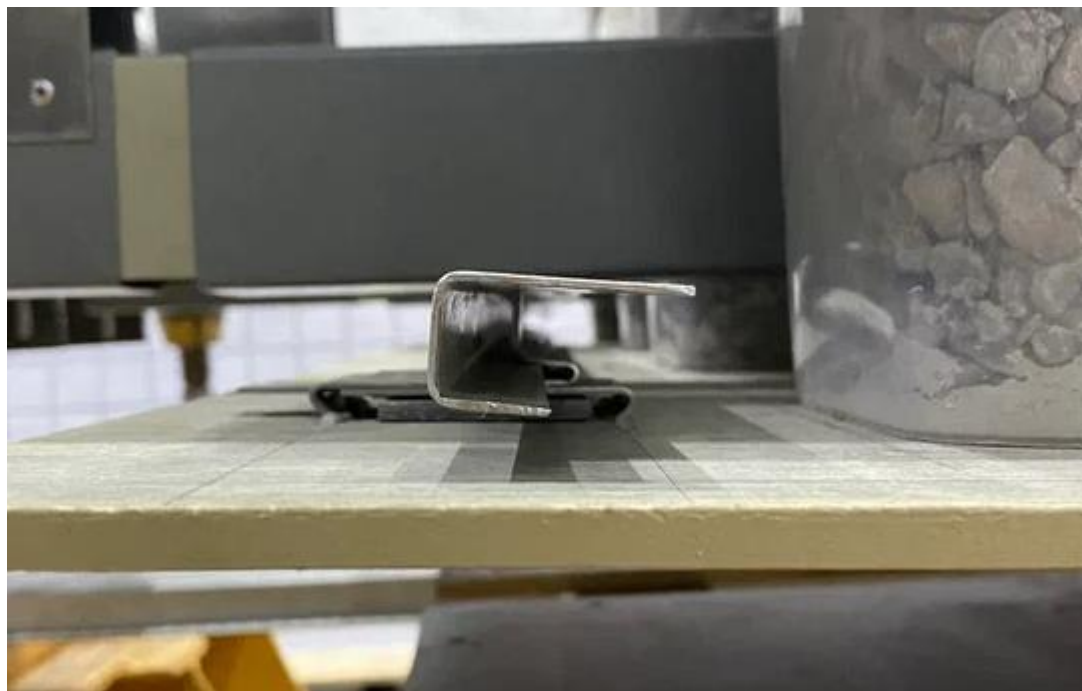


Рис. 16. Восстановление положения нижнего горизонтального напр. профиля до изначального состояний : при максимальном нагружении – слева; после разрушения - справа

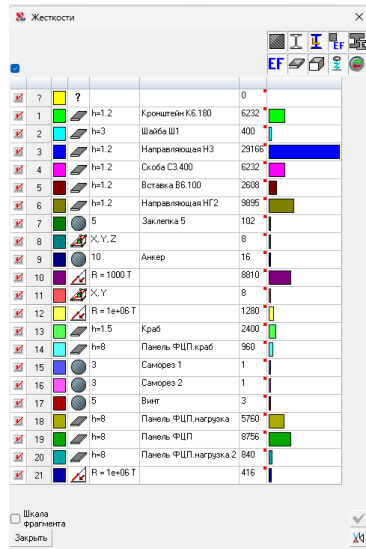
Результаты испытаний



Рис. 17. Восстановление положения центрального горизонтального напр. профиля до изначального состояний : при максимальном нагружении – слева; после разрушения - справа

Численное моделирование

- Моделирование выполнялось в ПК Scad Office 21.1. Тип схемы – 5 (система общего вида).
- Вытяжные заклепки, шпильки – КЭ №5 – пространственный стержень
- Кронштейны, вертикальные и горизонтальные профили, фиброцементные панели – КЭ №42 и 44 – КЭ оболочки.
- Контактная задача – односторонние связи + нелинейный расчет.
- Загружение моделировалось распределенной нагрузкой с фактической площадью соприкосновения грузов с фиброцементной панелью.



№	Имя	Тип	Свойства	Объем
7	?			0
1	№1.2	Кронштейн	К6.180	6232
2	№3	Шпилька	Ш1	400
3	№1.2	Направляющая	Н3	29165
4	№1.2	Сюбета	С3.400	6232
5	№1.2	Вставка	В6.100	2606
6	№1.2	Направляющая	НГ2	9895
7	№5	Заклепка	5	102
8	X, Y, Z	Анкер		8
9	10	Анкер		16
10	R = 1000 T			8810
11	X, Y			8
12	R = 1e+06 T			1280
13	№1.5	Краб		2400
14	№8	Панель ФШП	краб	960
15	3	Санкорез	1	1
16	3	Санкорез	2	1
17	5	Винт		3
18	№8	Панель ФШП	нагрузка	5760
19	№8	Панель ФШП		8756
20	№8	Панель ФШП	нагрузка 2	840
21	R = 1e+06 T			416

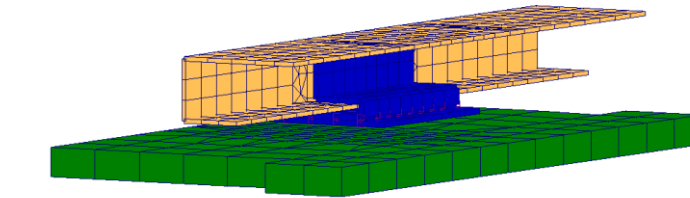
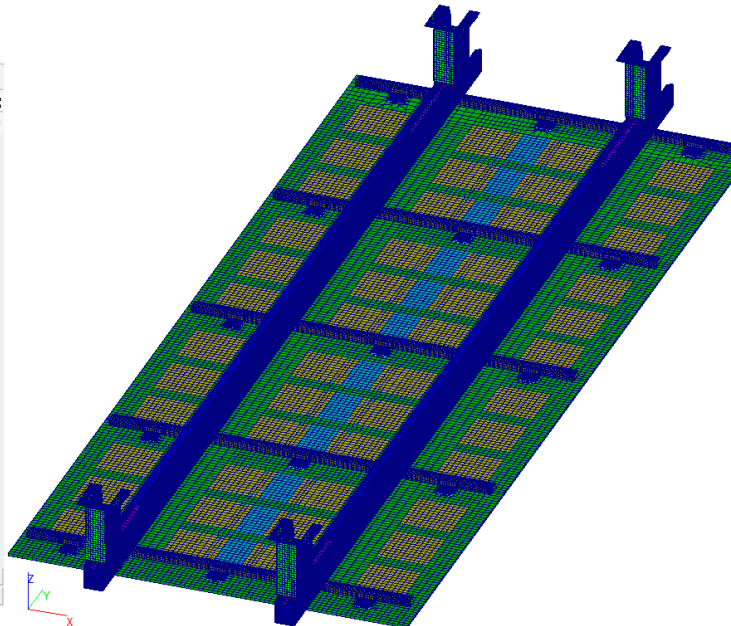


Рис. 19. Укрупненное отображение жесткостей фасадной конструкции

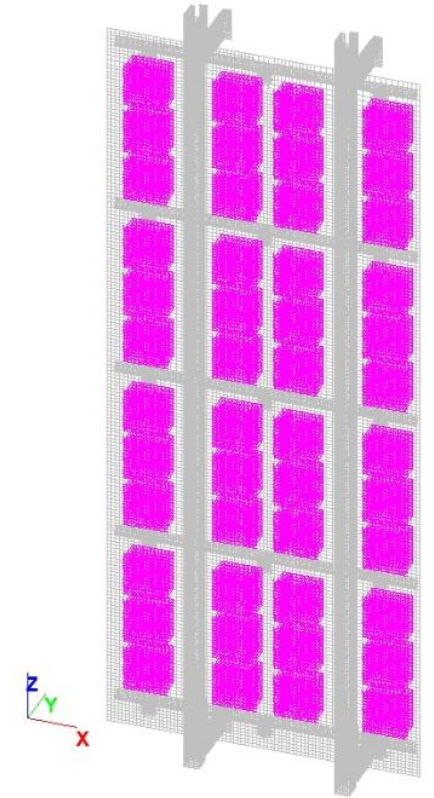
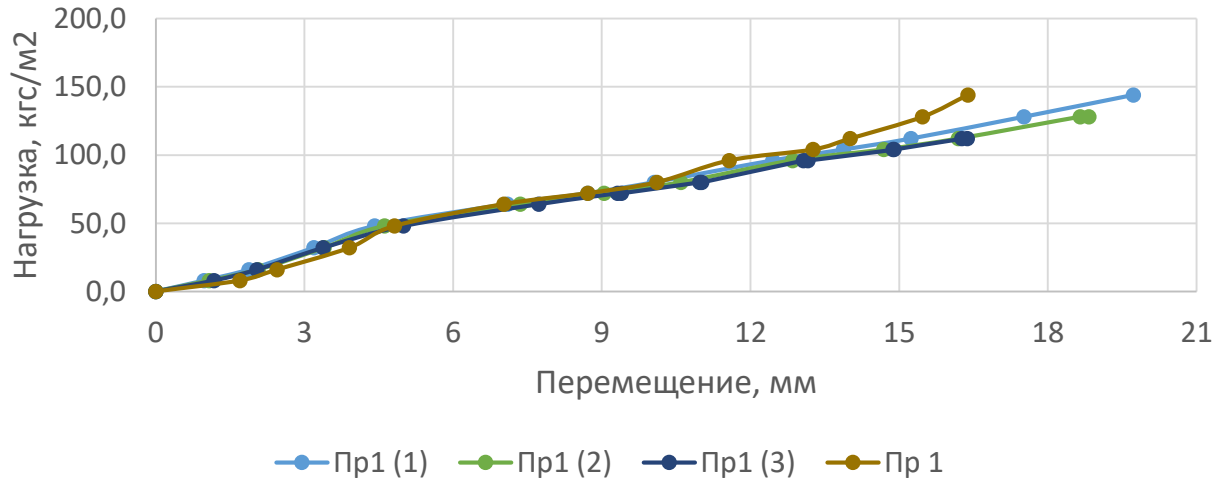


Рис. 20. Приложение нагрузки к расчетной схеме

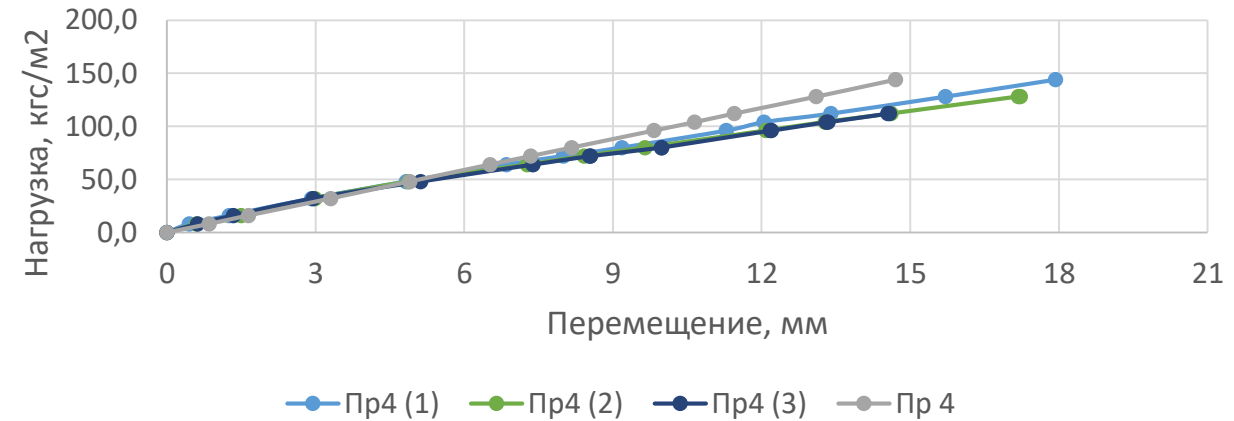
Рис. 18. Расчетная схема в ПК Scad Office

Численное моделирование

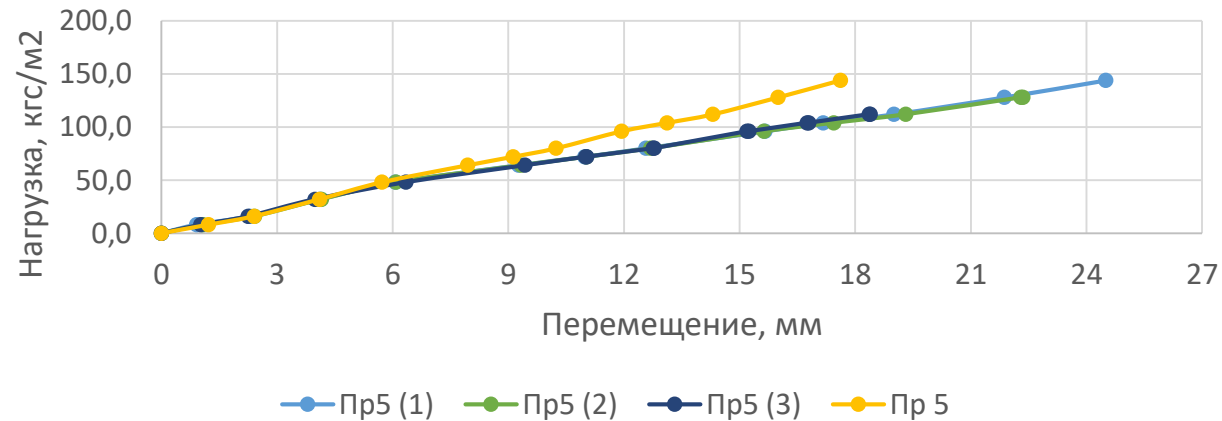
Прогибомер 1. Крайний пролет ФЦП



Прогибомер 4. Центр пролета вертикальной направляющей



Прогибомер 5. Середина центрального горизонтального профиля (нижняя часть)



Анализ работы конструкции

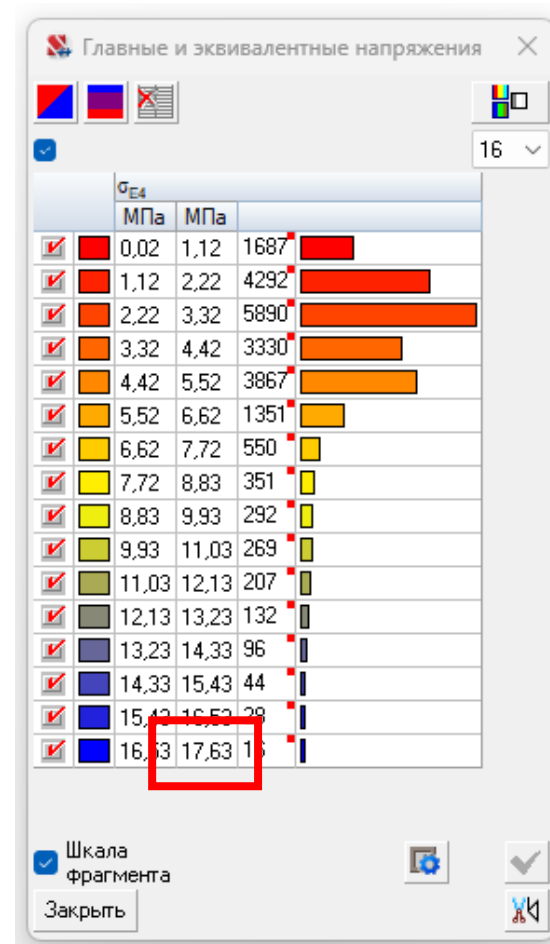
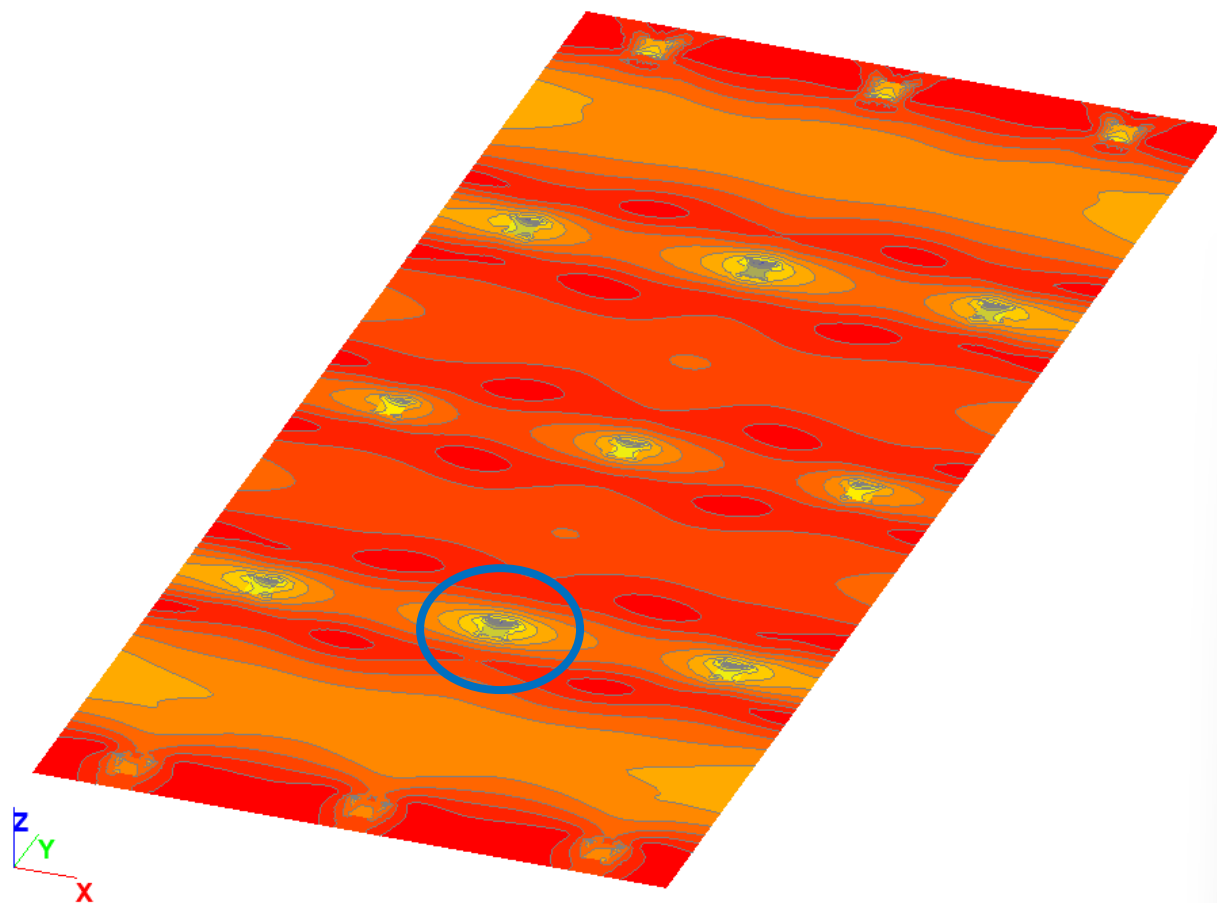


Рис. 21. Распределение эквивалентных напряжений (без учета концентрации напряжений) при ступени нагружения 144 кг/м^2 и при горизонтальном расположении конструкции

Анализ работы конструкции

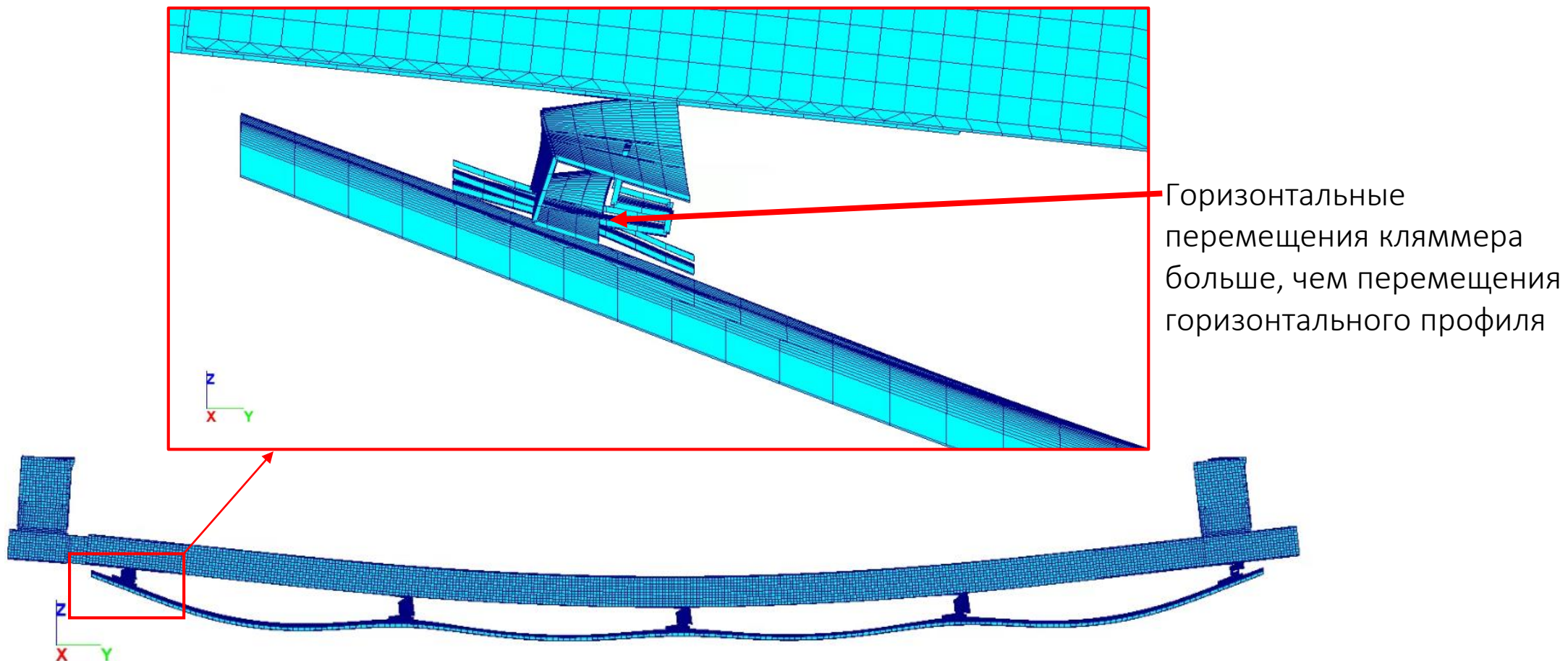


Рис. 22. Деформированная схема при ступени нагружения 144 кг/м^2 и при горизонтальном расположении конструкции

Анализ работы конструкции

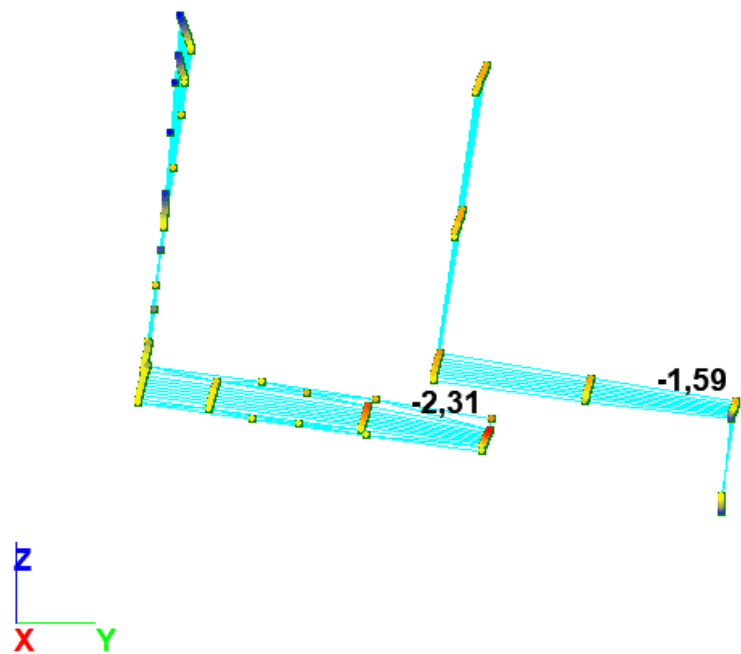


Рис. 23. Угол поворота центрального горизонтального профиля при максимальном нагружении, град в ПК SCAD Office

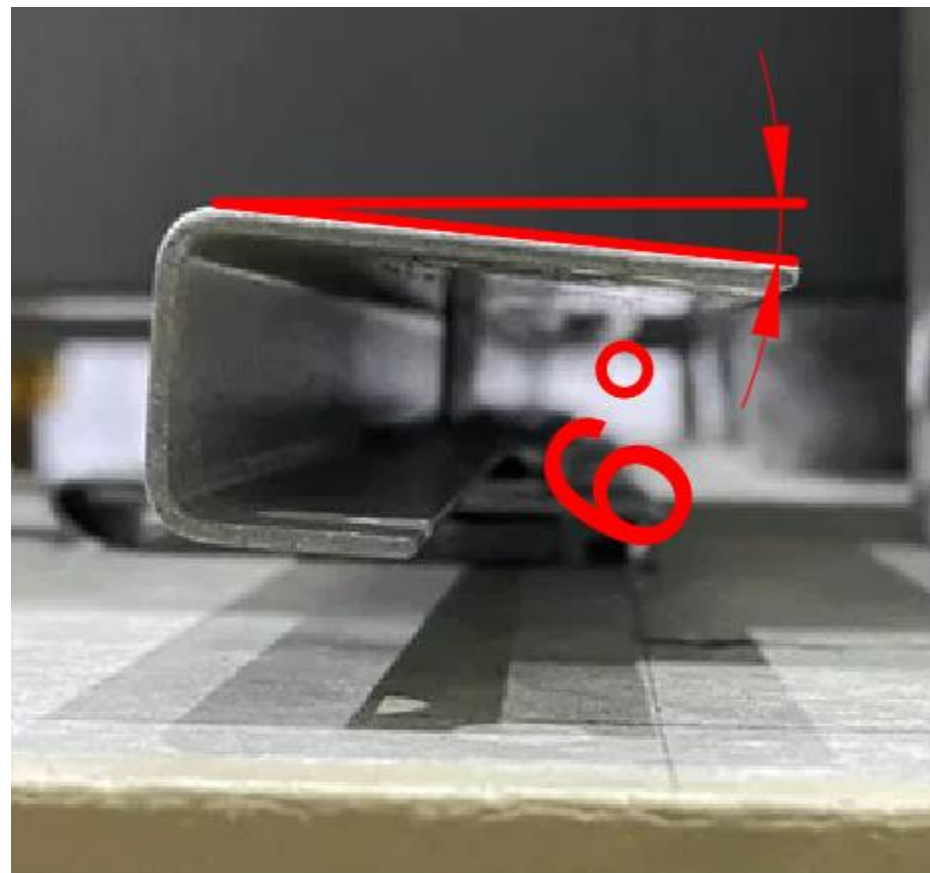


Рис. 24. Угол поворота центрального горизонтального профиля при максимальном нагружении, град в ПК SCAD Office

Анализ работы конструкции

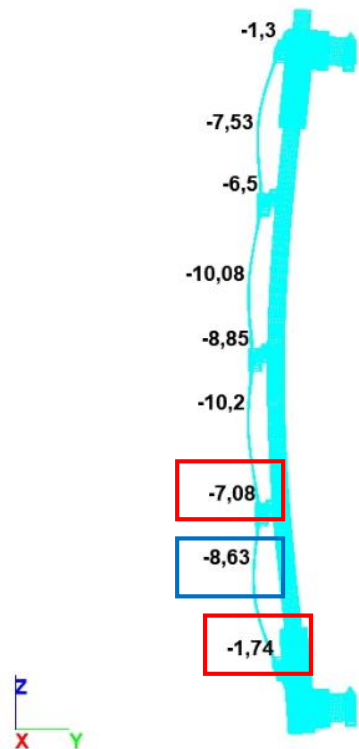


Рис. 25. Абсолютные перемещения ФЦП при отрицательном ветровом давлении 1 кПа

Прогиб фиброцементной панели:

$$f_{\text{доп.}} = \frac{l}{150} = \frac{710}{150} = 4,73 \text{ мм.}$$

$$f_{\text{max}} (1 \text{ кПа}) = 8,63 - \frac{7,08 + 1,74}{2} = 4,22.$$

Предельная нормативная ветровая нагрузка:

$$W_n = 1,12 \text{ кПа.}$$

Предельная расчетная ветровая нагрузка:

$$W_p = W_n \cdot \gamma = 1,12 \cdot 1,4 = 1,568 \text{ кПа.}$$

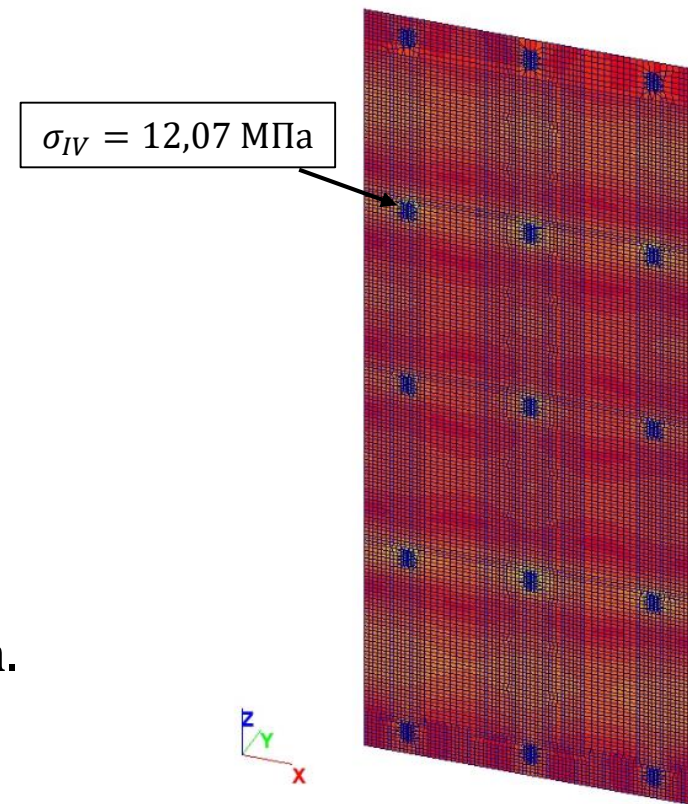


Рис. 26. Эквивалентные напряжения в ФЦП при расчетном значении ветрового давления (отсос) $W_p = 1,568$ кПа.

Результаты и выводы исследования



Рис. 27. Положение горизонтального направляющего профиля и кляммер при нагрузке, предшествующей разрушению

1. I и II группа предельных состояний не учитывалась в работе.
2. Моделирование вылета кляммера в программных комплексах с набором простейших конечных элементов в линейной поставке является сложной задачей.
3. Результирующая группа предельных состояний для фиброцементных панелей со скрытым креплением является II группа с учетом угла поворота горизонтального направляющего профиля.
4. Для рассматриваемой конструктивной схемы предельная нормативная ветровая нагрузка составила: $W_n = 1,12$ кПа. При это наблюдается 40% запас по прочности. – **Согласно моделированию.**
5. Для рассматриваемой конструктивной схемы предельная нормативная ветровая нагрузка составила: $W_n = 0,8$ кПа. – **Согласно испытаниям.**

Несущая способность фиброцементных панелей со скрытым креплением в составе навесных фасадных систем

