

Оценка несущей способности конструкции корзин под кондиционеры: анализ результатов моделирования и натурных испытаний

Я.Ю. Захарова, Н.Д. Смирнова

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск

Аннотация: В статье изложены результаты проведенного лабораторного испытания и конечно-элементного моделирования конструкции фасадной корзины под наружный блок сплит-системы. Выполнен сравнительный анализ полученных данных. В ходе моделирования были учтены основные возможные расчетные ситуации и определены опасные зоны, по которым ожидается разрушение. Для подтверждения полученных расчетных значений проведено натурное испытание, в котором было реализовано моделирование ветрового давления при помощи двух горизонтально приложенных нагрузок. По результатам испытаний определено, что использованный метод моделирования соответствует действительности, также был установлен характер разрушения и предельно допустимые нагрузки, на основании чего были сделаны вывод о пригодности использования рассмотренного в статье варианта конструкции фасадной корзины для заданных условий эксплуатации.

Ключевые слова: конечно-элементная модель, испытание, несущая способность, надежность, деформативность, корзина под кондиционер, кронштейн, разрушение.

Введение

Для сохранения эстетического вида фасадов все чаще используют фасадные корзины для кондиционеров [1-3]. Их применение позволяет значительно упростить и обезопасить работу монтажникам климатического оборудования при установке наружного блока сплит-системы [4]. Правильный монтаж фасадных корзин позволяет сохранить эксплуатационные характеристики фасадов и их эстетичный вид [5]. Для обеспечения несущей способности и долговечности конструкции, рассматриваемой в целом и ее отдельных элементов, нередко возникает потребность в проведении натурных испытаний, в ходе которых устанавливаются предельные нагрузки. Превысив их, конструкция достигает своего предельного состояния и разрушается, что нельзя допускать для безопасной эксплуатации [6].

В данной статье представлены результаты исследования действительной работы элементов фасадной корзины кондиционера и

сопоставление с аналитической моделью, построенной в программном комплексе ЛИРА-САПР.

Цель данного экспериментально-теоретического изучения состоит в оценке эксплуатационной пригодности конструкции при определенных условиях и нагрузках.

В рамках данной работы для достижения поставленной цели был составлен и выполнен следующий перечень задач:

- создана конечно-элементная модель корзины кондиционера и составлены расчетные ситуации, на основании которых определена ожидаемая несущая способность;

- составлена программа испытания конструкции с учетом полученных результатов конечно-элементного моделирования;

- собран экспериментальный стенд с последующим испытанием конструкции, методом поэтапного увеличения нагрузки с фиксацией горизонтальных и вертикальных деформаций;

- выполнен сравнительный анализ на основании полученных результатов моделирования и натурных испытаний.

Описание испытываемой конструкции

Пространственная конструкция фасадной корзины под кондиционер состоит из основных четырех элементов, а именно: кронштейнов, через которые выполняется крепление корзины к стене; элементов для крепления технологического оборудования; боковых и фронтальных стенок; верхней стяжки боковых стенок. Кронштейны имеют вид консоли и выполняются из П-образных гнутых профилей, крепление их к стенам осуществляется за счет 4-х анкерных болтов с каждой стороны. Все элементы сопряжены между собой при помощи болтовых соединений. На одну корзину с оборудованием приходится две консоли. На рис.1 представлен общий вид элементов

конструкции корзины для кондиционера, на основании которого производилось моделирование и расчеты.

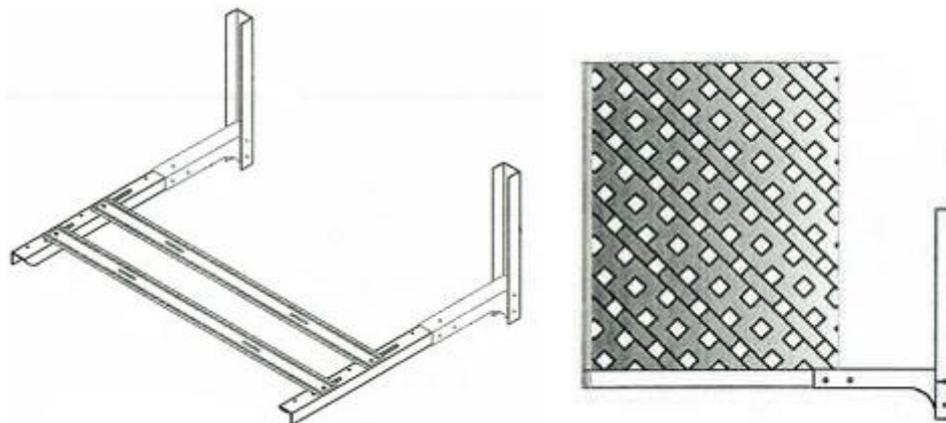


Рис. 1. – Общий вид элементов конструкции корзины для кондиционера

Несущие элементы консолей выполнены из оцинкованной стали С245 по ГОСТ 27772-2015 «Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия» толщиной 3 мм, а декоративные стенки толщиной 1 мм.

Моделирование и испытание

Для оценки напряженно-деформированного состояния (далее НДС) конструкции, а также оценки усилий в анкерных болтах и общих деформаций от прогнозируемых нагрузок, выполнен расчет конечно-элементной модели в программном комплексе «ЛИРА-САПР» с учетом болтовых соединений всех элементов корзины [7-9].

В модели жесткость и устойчивость была обеспечена жесткостью и устойчивостью рамного каркаса, а также жесткостью декоративных боковых и фронтальной панелей. Моделирование корзин выполнялось при помощи пластинчатых четырехугольных и треугольных конечных элементов типа КЭ-44 и КЭ-42 соответственно. Болты моделировались при помощи универсальных пространственных восьмиузловых изопараметрических конечных элементов типа КЭ-36. Модуль упругости для стали принят равным $E=2,06 \cdot 10^8$ кН/м², удельный вес материала 77 кН/м³, коэффициент

Пуассона $\nu=0,3$. Геометрические параметры принимались в соответствии с чертежами. Общий вид модели представлен на рис.2.

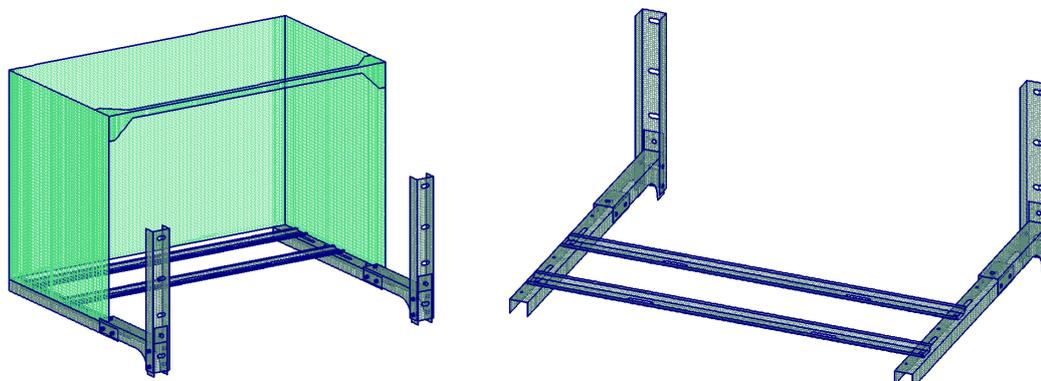


Рис. 2. – Общий вид конечно-элементной модели

Результатом моделирования необходимо было выявить возможность применения корзин с заданными параметрами в условиях эксплуатации на территории Хабаровского края: снеговой район (Сн) – IV (нормативная нагрузка – 2,0 кПа); ветровой район (В) – VI (нормативная нагрузка – 0,73 кПа); гололедный район (Г) – IV (толщина стенки гололеда – 15 мм); сейсмическая зона (С) – 7 баллов. Максимальная высота установки оборудования – 75 м, что соответствует высоте 25-го этажа. Собственный вес конструкций (Св) был учтен в автоматическом режиме по заданным параметрам жесткости в программном комплексе с коэффициентом надежности по нагрузке 1,05, принятым по СП 20.13330.2016. Вес наружного блока сплит-системы (К) принят равным 80 кг. Всего для расчета было использовано 7 расчетных комбинаций нагрузок, которые представлены в таблице 1.

Таблица № 1

Расчетные сочетания нагружений с коэффициентами сочетаний

№ п/п	Сочетание	Вид сочетания	Примечание
1	$1,0 \cdot Св + 1,0 \cdot К + 1,0 \cdot В + 0,9 \cdot Сн$	Основное	Ветер в переднюю стенку
2	$1,0 \cdot Св + 1,0 \cdot К + 1,0 \cdot В + 0,9 \cdot Сн$	Основное	Ветер в боковую стенку
3	$1,0 \cdot Св + 1,0 \cdot К + 0,6 \cdot В + 0,7 \cdot Сн + 1,0 \cdot Г$	Основное	Ветер в переднюю стенку
4	$1,0 \cdot Св + 1,0 \cdot К + 0,6 \cdot В + 0,7 \cdot Сн + 1,0 \cdot Г$	Основное	Ветер в боковую стенку
5	$1,0 \cdot Св + 1,0 \cdot К + 1,0 \cdot В$	Основное	Ветер в боковую стенку
6	$1,0 \cdot Св + 1,0 \cdot К + 0,8 \cdot В + 0,8 \cdot Сн + 0,8 \cdot С$	Особое	Сеймика по X
7	$1,0 \cdot Св + 1,0 \cdot К + 0,8 \cdot В + 0,8 \cdot Сн + 0,8 \cdot С$	Особое	Сеймика по Y

Для оценки несущей способности элементов конструкции были рассчитаны главные и эквивалентные напряжения по сочетаниям нагрузений в соответствии с теорией прочности наибольших главных напряжений. Полученные напряжения сжатия и растяжения представлены на рис.3.

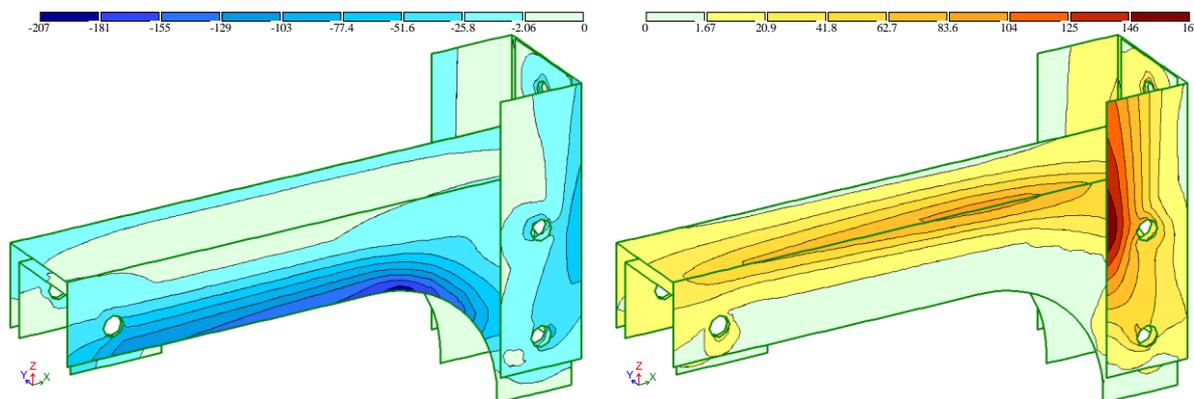


Рис. 3. – Изополя эквивалентных напряжений сжатия и растяжения, Н/мм²
(Фрагмент кронштейна)

Стоит отметить, что напряжения, возникающие в элементах, в основной своей массе далеки от предельных. Опасной зоной, по которой ожидается разрушение при нагрузках, превышающих расчетные, является приопорная зона кронштейна.

Анализ НДС показывает, что несущая способность элементов обеспечена для варианта установки корзин в заданных климатических условиях на высоте 25-го этажа. Однако для исследования действительной работы конструкции и определения фактической разрушающей силы был собран экспериментальный стенд с последующим испытанием образца корзины. Разработка программы проведения испытаний основывается на моделировании работы корзин.

Для испытания корзины выбрано две наиболее неблагоприятные расчетные ситуации: с учетом собственного веса, снеговых и гололедных нагрузок (вертикальные нагрузки); с учетом собственного веса, постепенного уменьшения снеговой нагрузки и увеличения ветровой (вертикальные и горизонтальные нагрузки). Несущие элементы корзины испытывались по

консольной схеме. Нагрузка прикладывалась ступенями при помощи тарированных грузов массой по 20 кг. Для моделирования ветрового давления через стационарные ролики прикладывалась горизонтальная нагрузка, имитирующая давление наветренной и подветренной сторон. Ветровая нагрузка прикладывалась через распределительную конструкцию, установленную внутри корзины, моделирующую внешний блок кондиционера. Для измерения вертикальных деформаций консолей применялись механические прогибомеры 6ПАО с ценой деления 0,01 мм. На рис.4 изображена схема испытательного стенда, а на рис.5 – общий вид.

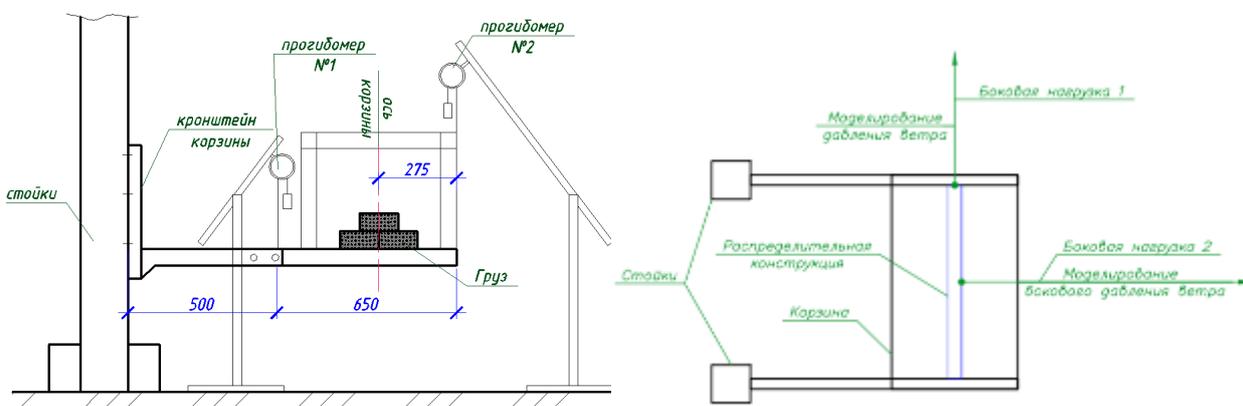


Рис. 4. – Испытательный стенд вид сбоку и сверху

Испытательная нагрузка прикладывалась постепенно [10] и суммарно была разбита на 7 этапов для первой расчетной ситуации и на 6 этапов для второй.



Рис. 5. – Общий вид экспериментального стенда

Вертикальные перемещения, полученные при испытании, представлены на рис.6, 7.

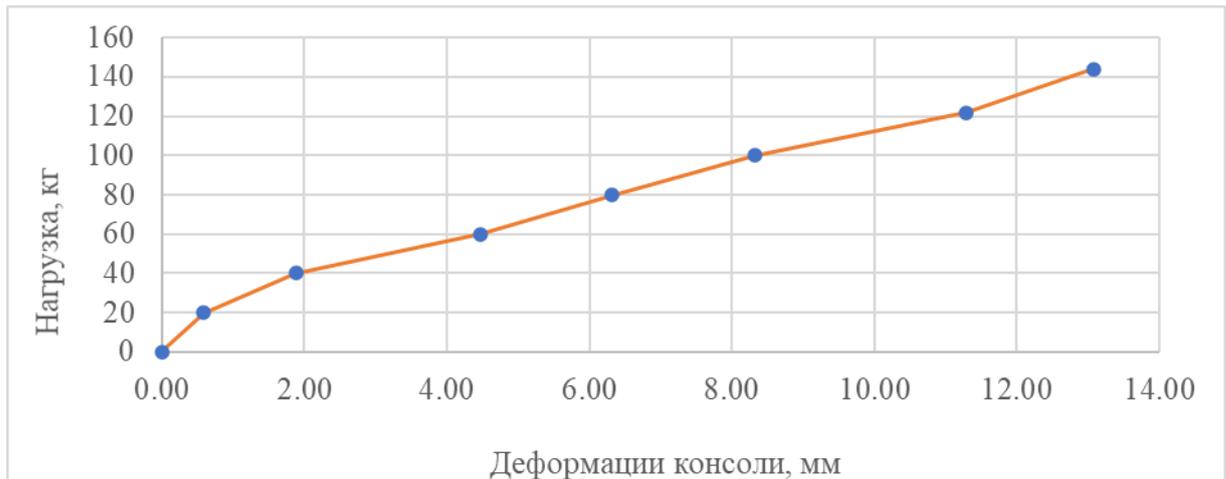


Рис. 6. – Деформации консоли от нагрузки (1 расчетная ситуация)

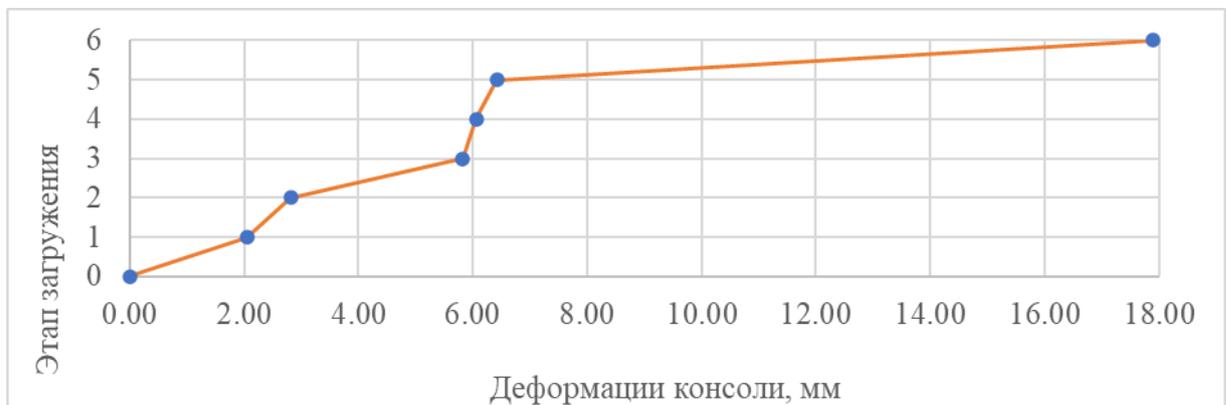


Рис. 7. – Деформации консоли от нагрузки (2 расчетная ситуация)

Разрушение корзины при испытании не произошло, больших деформаций также не наблюдалось. С целью определения характера разрушения конструкции было произведено загрузке до момента потери несущей способности. Загрузка производилась посредством равномерного увеличения вертикальной составляющей нагрузки, предельное значение которой составило 430 кг. Как и ожидалось по результатам моделирования, разрушение произошло в приопорной области кронштейна, где с увеличением нагрузки возрастали напряжения. Также замечено, что характер деформирования полностью совпадает с расчетной схемой. Характер разрушения представлен на рис.8.



Рис. 8. – Разрушение консоли корзины

Выводы и заключение

По результатам выполненных испытаний и моделирования корзины под наружный блок кондиционера сделаны следующие выводы:

1. При максимальном нагружении расчетной вертикальной нагрузкой величиной 128 кг, максимальный прогиб консолей составил 13,08 мм, что не препятствует нормальной эксплуатации конструкции;

2. При нагружении с моделированием нагрузок от ветрового давления, максимальное значение приложенных сосредоточенных боковых нагрузок составило 80 кг, а вертикальных – 128 кг. Прогиб консолей составил 17,89 мм, выдерживание под нагрузкой осуществлялось в течении 30 минут, по прошествию которых, разрушение не произошло, а деформации не возрастали;

3. Результаты конечно-элементного моделирования точно коррелируются с результатами натуральных испытаний;

4. Несущая способность корзин обеспечена под заданные климатические параметры, в которых возможна эксплуатация;

5. Используемый метод создания ветрового давления на конструкции может применяться для натуральных испытаний с целью подтверждения жесткости и надежности строительных конструкций.

Литература

1. Седышева В.С. Целуйко Д.С. Пути решения проблемы непредусмотренной установки внешних блоков кондиционеров на фасадах зданий // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2020. №1. С. 281-285.
2. Щапова А.В. Фасадное климатическое оборудование жилых многоэтажных зданий // Избранные доклады 68-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. 2022. №1. С. 462-464.
3. Massimiliano Masullo, Rossana Pellegrino, Michelangelo Scorpio, Luigi Maffei. Auditory and visual impact of split systems on the façade of historical buildings // Applied Acoustics. 2021. №178. URL: doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.107997
4. Шмелев К. В., Моисеева О. В. Проблемы установки системы кондиционирования и вентиляции на фасаде многоквартирного дома // Вестник Костромского государственного университета. 2023. Т. 29, № 2. С. 227-232.
5. Фахратов М.А., Ибрагим И.Ф. Порядок выбора организационно-технологических решений при производстве фасадных работ // Системные технологии. 2021. №39. С. 16-19.
6. Вернези Н.Л., Веремеенко А.А., Вальдман Д.С. О контроле прочности металла стальных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3329
7. Tong Wu, Fenghua Huang, Dachang Zhang, Yi An. Anchorage failure mechanism and uplift bearing capacity of L- & J-anchor bolts in plain concrete // Engineering Failure Analysis. 2024. № 159. URL: doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.107991
8. Устименко Е.Е., Скачков С.В., Янчук О.А. Анализ напряженно-деформированного состояния болтового соединения тонкостенных стальных

профилей работающих на растяжение и сжатие // Инженерный вестник Дона, 2020, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6337.

9. Jucai Chang, Kai He, Dongdong Pang, Dong Li, Chuanming Li, Bingjun Sun. Influence of anchorage length and pretension on the working resistance of rock bolt based on its tensile characteristics // Rock and Soil Mechanics. 2021. №8. pp 1384-1399 URL: doi.org/10.1007/s40789-021-00459-9

10. Долидзе Д.Е. Испытание конструкций и сооружений. Издательство: М.: Высшая школа, 1975. 252 с.

References

1. Sedysheva V.S. Celujko D.S. Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii FAD TOGU. 2020. №1. pp. 281-285.

2. Shhapova A.V. Izbrannye doklady 68-j universitetskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov i molodyh uchenyh. 2022. №1. pp. 462-464.

3. Massimiliano Masullo, Rossana Pellegrino, Michelangelo Scorpio, Luigi Maffei. Applied Acoustics. 2021. №178. URL: doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.107997

4. Shmelev K. V., Moiseeva O. V. Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta. 2023. T. 29, № 2. pp. 227-232.

5. Fahratov M.A., Ibragim I.F. Sistemnye tehnologii. 2021. №39. pp. 16-19.

6. Vernezi N.L., Veremeenko A.A., Val'dman D.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3329

7. Tong Wu, Fenghua Huang, Dachang Zhang, Yi An. Engineering Failure Analysis. 2024. № 159. URL: doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.107991

8. Ustimenko E.E., Skachkov S.V., Janchuk O.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6337

9. Jucai Chang, Kai He, Dongdong Pang, Dong Li, Chuanming Li, Bingjun Sun. Rock and Soil Mechanics. 2021. №8. pp 1384-1399.

10. Dolidze D.E. Ispytanie konstrukcij i sooruzhenij [Testing of structures and structures]. Izdatel'stvo: M.: Vysshaja shkola, 1975. 252 p.