

Построение конечно-элементной модели и расчет на ветровую нагрузку большепролетной пространственной навесной конструкции выставочного комплекса

магистр Кузнецов Александр Владимирович

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: статический расчет, метод конечных элементов, SOFiSTiK, ветровая нагрузка, большепролётная навесная конструкция.

Целью данной статьи является предоставление информации по расчёту на ветровую и снеговую нагрузку конструкции сложной геометрической формы с использованием современного программно-вычислительного комплекса SOFiSTiK (www.sofistik.ru), реализующего метод конечных элементов (МКЭ).

Расчёт произведён на примере большепролётной пространственной навесной конструкции "Северный козырёк" выставочного комплекса в п. Шушары Ленинградской области.

1. Введение

Целью данной статьи является предоставление информации по расчёту на ветер конструкции сложной геометрической формы с использованием современного программно-вычислительного комплекса SOFiSTiK (www.sofistik.ru), реализующего метод конечных элементов (МКЭ).

2. Постановка задачи

Задача расчета большепролетной пространственной навесной конструкции "северный козырек" выставочного комплекса (рис.1) на ветровую и снеговую нагрузку возникла при разработке компанией ООО "Евгений Герасимов и партнёры" проекта строительства конгрессно-выставочного комплекса в п. Шушары, Ленинградской обл.



Рис. 1. Северный козырёк выставочного комплекса

В связи с этим возникла необходимость следующего исследования:

1. Проверка прочности и устойчивости конструкции от воздействия собственного веса сооружения, ветровой и снеговой нагрузки при различных вариантах направления ветра.
2. Определение максимальных прогибов конструкции.

Задача решалась с учетом опыта расчетов и исследований пространственных конструкций [1-23]

Для выполнения исследования были получены следующие исходные данные:

1. Схема козырька по чертежам архитектуры.

Конструкция состоит из главных ферм, второстепенных ферм и диагональных ферм, а также системы облицовки. Главные фермы расположены перпендикулярно фасаду основного здания, также они являются консольными. Второстепенные фермы передают нагрузки от подконструкции облицовки на главные фермы и, в дополнение, являются опорами в горизонтальном направлении для консольных ферм. Диагональные же фермы создают дополнительную опору по типу арки, которая передаёт большую часть усилий от внешних воздействий через стальную опору в фундамент (рис.2).

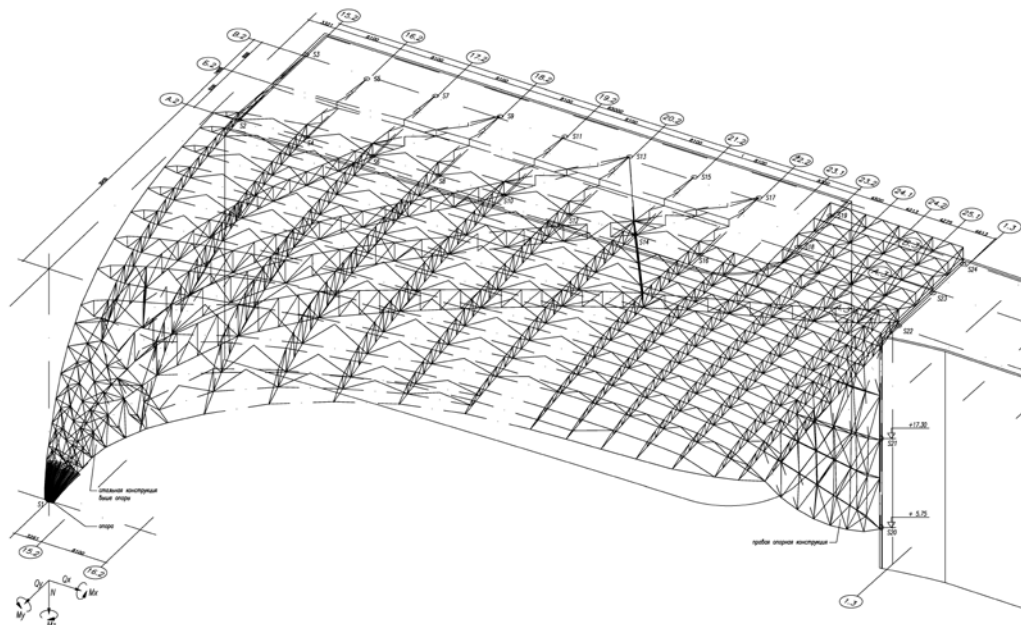


Рис. 2. Конструкция северного козырька (главные фермы, диагональные фермы и второстепенные фермы)

2. Характеристики материалов и сечений сооружения.

Все сечения - круглые трубы по ГОСТ 8732-78 диаметра от 152 до 500мм, толщиной стенки от 6 до 36мм. Для всех элементов конструкции Северного козырька применяется сталь класса С345 по ГОСТ 27772-88 (таблица 1).

| Сталь | Толщина проката ¹ , мм | Нормативное сопротивление, МПа (кгс/мм ²), проката | | | | Расчетное сопротивление ³ , МПа (кгс/см ²), проката | | | |
|-------|-----------------------------------|--|----------|-----------|----------|--|------------|------------|------------|
| | | листового, широкополосного универсального | | фасонного | | листового, широкополосного универсального | | фасонного | |
| | | R_{yn} | R_{yn} | R_{yn} | R_{yn} | R_y | R_y | R_y | R_y |
| С345 | От 2 до 10 | 345 (35) | 490 (50) | 345 (35) | 490 (50) | 335 (3400) | 480 (4900) | 335 (3400) | 480 (4900) |
| | Св. 10 до 20 | 325 (33) | 470 (48) | 325 (33) | 470 (48) | 315 (3200) | 460 (4700) | 315 (3200) | 460 (4700) |
| | Св. 20 до 40 | 305 (31) | 460 (47) | 305 (31) | 460 (47) | 300 (3050) | 450 (4600) | 300 (3050) | 450 (4600) |
| | Св. 40 до 60 | 285 (29) | 450 (46) | — | — | 280 (2850) | 440 (4500) | — | — |
| | Св. 60 до 80 | 275 (28) | 440 (45) | — | — | 270 (2750) | 430 (4400) | — | — |
| | Св. 80 до 160 | 265 (27) | 430 (44) | — | — | 260 (2650) | 420 (4300) | — | — |

Таблица 1. Нормативные и расчетные сопротивления для стали С345.

3. Отчёт о ветровых нагрузках по результатам аэродинамических испытаний Wacker Ingenieure от 10.10.2011.

4. Рекомендации по назначению расчетных снеговых и ветровых нагрузок для козырьков Конгрессно-выставочного комплекса, ЦНИИСК им.Кучеренко, М., 2012 [23]

3. Построение конечно-элементной модели

Наиболее эффективным способом построения расчетной модели является совмещение программ создания геометрии конструкции и программ, задающих физические свойства для построенных геометрических моделей. При исследовании северного козырька была использована следующая связка программ:

AutoCAD-> SOFiPLUS->Sofistik.

Основным принципом построения конечно-элементной модели является представление архитектурной формы козырька примитивами в трёхмерной модели среды AutoCAD. Впоследствии модуль SOFiPLUS позволяет преобразовывать примитивы автокада в конструктивные элементы софистика - структурные элементы типа "стержень" и "оболочка".

Примитивом стержня в среде AutoCAD использовался элемент "Трёхмерная полилиния (3d polyline)" - универсальный примитив, позволяющий моделировать непрерывные отрезки в трёхмерном пространстве. В качестве примитивов пластин использовались элементы "3dface", "Surface (network)", "Surface (nurbs)".

С помощью команды "Structural line" на панели "SofiPlus" отрезки превращаются в стержни диагональных ферм соответствующего материала с соответствующими сечениями. Пластины обращаются командой "Structural area" панели "SofiPlus" в оболочки с заданной жесткостью (рис.3):

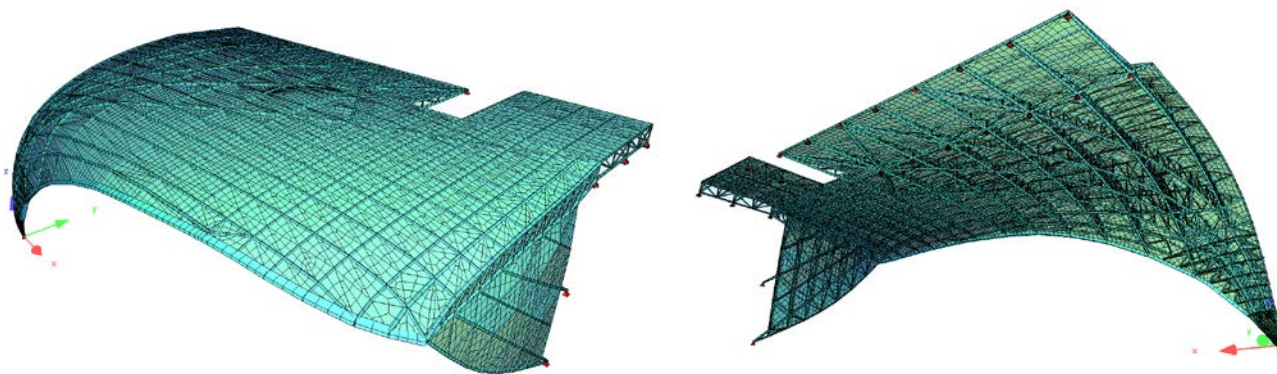


Рис. 3. Стержневые и пластинчатые элементы расчетной модели.

4. Приложение нагрузок на конечно-элементной модель

Рассматриваемое сооружение имеет достаточно сложные объемно-планировочные и конструктивные решения, не имеющие каких-либо аналогов. В СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия»[3], а также в других отечественных и зарубежных нормативных документах не приводятся данные о распределении снеговой и ветровой нагрузок по ограждающим конструкциям подобного типа.

Для безопасного и экономичного проектирования и строительства козырька необходима реалистичная оценка ветровых нагрузок (осредненных по площади) и местных пиковых ветровых нагрузок, действующих одновременно на конструкции козырька. Для этого требуются соответствующие испытания в аэродинамической трубе (рис.4). Для получения параметров, описывающих ветровые потоки, компанией «Wacker Ingenieure», г. Биркенфельд проводились обширные измерения с использованием статичного приемника воздушного давления и постоянной температуры термоанемометров.

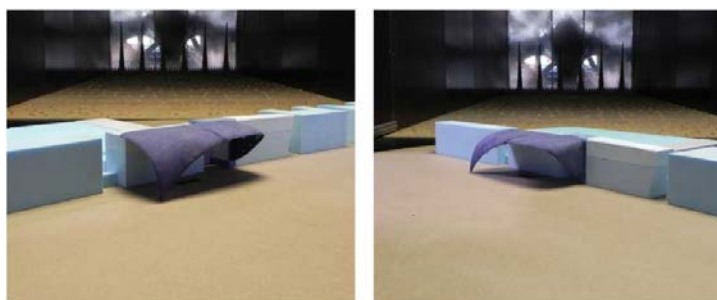


Рис. 4. Испытание макета козырька в аэродинамической трубе.

Результатом обдува является полученное распределение квазистатических ветровых нагрузок по конструкции Козырька при различных направлениях ветра. Распределение снеговой нагрузки для Северного козырька представлено в Рекомендациях по назначению расчетных снеговых и ветровых нагрузок для козырьков Конгрессно-выставочного комплекса в г.Санкт-Петербург, ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко [23] на основе материалов испытаний, проведенных в аэродинамической трубе фирмы "Wacker Ingenieure".

Значения ветровых и снеговых нагрузок берутся по "Рекомендациям по назначению расчетных снеговых и ветровых нагрузок для козырька Конгрессно-выставочного комплекса" от ЦНИИСКА им.Кучеренко. Перед каждым нагружением по изополям снегового и ветрового давления элементы облицовки в схеме окрашиваются в соответствующие цвета, так что каждому значению нагрузки присваивался соответствующий цвет (рис.5). Таким образом, картина нагружения переносится на модель в SofiPlus.

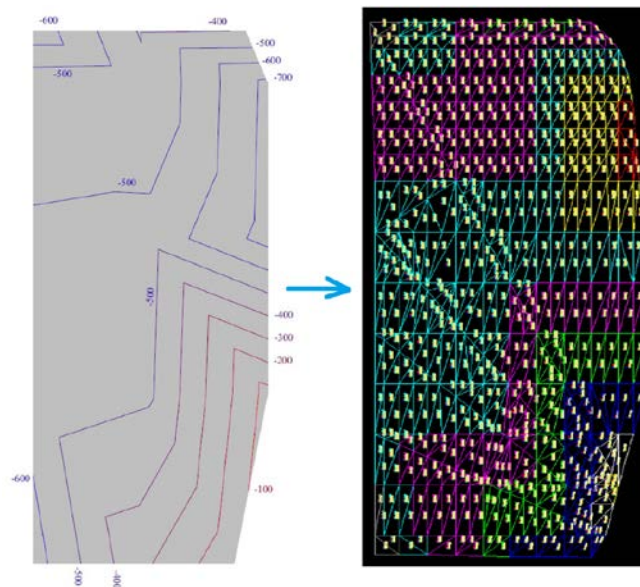


Рис. 5. Приложение нагрузок на расчетную схему по изополям снегового и ветрового давления.

По результатам расчетов северного козырька в программном комплексе SOFiSTiK можно сделать следующие выводы:

1. Напряжения в стержнях всей схемы при наихудшем сочетании нагрузок не превышают допустимых (рис.6);
2. Максимальный прогиб конструкции при наихудшем сочетании нагрузок меньше допустимого (рис.7).
3. Коэффициенты запаса устойчивости для всех нагружений >1 .

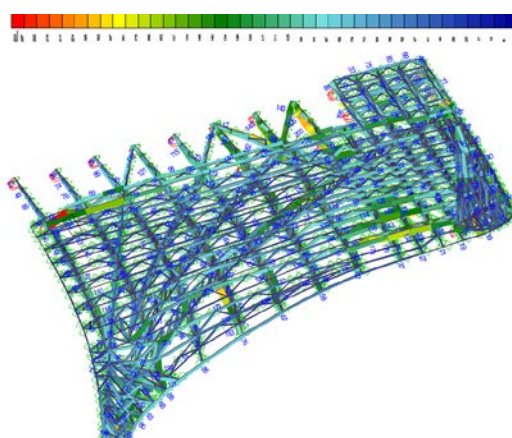


Рис. 6. Эквивалентные напряжения всех сечений, МПа (макс.233 МПа).

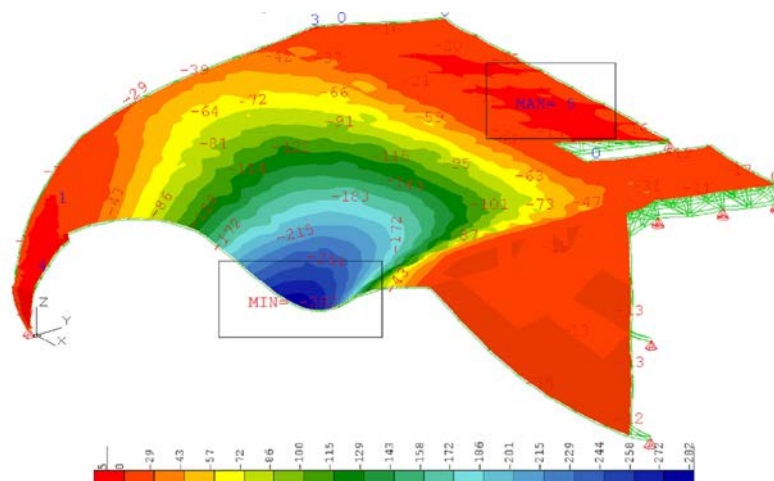


Рис. 7. Осадка вдоль оси Z при наихудшем сочетании воздействий снега и ветра, мм (макс.282мм).

5. Выводы

1. При любых сочетаниях воздействий на конструкцию все напряжения меньше допускаемых. Прочность конструкции обеспечена.
2. При любых загрузениях все прогибы меньше допустимого значения. Необходимая жесткость конструкции обеспечена.
3. Система обладает общей устойчивостью.

Литература

1. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство).- М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2005. 651с.
2. Жигачева Г.А., Беликина С.В. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. М., 1978. 217с.
3. СП 20.13330.2011 (СНИП 2.01.07-85*) «Нагрузки и воздействия», М., 2011.
4. W.Hubert, J.Niemann, N.Holsher. Ermittlung aerodynamischer Beiwerte für die normgemäße Erfassung der Winddrucke und Windkräfte an Vordachern. Berlin, Deutsches Institut für Bautechnik Kolonnenstr, 2006, Pp.1-5;
5. DIN 1055-4²2005-03 Windlasten, Pp.1-16;
6. Niemann, H-J. Windlasten für turmartige Bauwerke nach DIN 1055-4 neu. Betonkalender 2006, Berlin 2006. Pp.365-406;
7. Г. А. Савицкий, «Ветровые нагрузки на сооружения», Стройиздат, М., 1972;
8. Э. Симиу, Р. Сканлан, «Воздействие ветра на здания и сооружения», Стройиздат, М., 1984; 359с.
9. Б. Г. Коренев, И. М. Рабинович, «Справочник по динамике сооружений», Стройиздат, М., 1972; 511с.
10. М. М. Schechter, E. Schechter, E. Simin, «Developmental computer-based version of ASCE 7-95 standard provisions for wind loads», NJST Technical Note 1415, 1995;
11. А. С. Гузеев, А. И. Короткин, «Обтекание единичных элементов шероховатости в пограничном слое», Труды III международной конференции по морским интеллектуальным технологиям «МорИнТех 99», СПб., 1999. с.4-27;
12. Э. И. Реттер, «Архитектурно – строительная аэродинамика», М., Стройиздат, 1984. 205с.
13. ASCE Standard, 7 – 02, "Minimum design loads for buildings and other structures".
14. Зыскина М.И., Френдель Е.Д., Рекомендации по определению снеговой нагрузки для некоторых типов покрытий, ЦНИИСК им. Кучеренко, М., 1983 г. 22с.
15. EN 1991-1-3:2003 Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1.3: General actions- Snow Loads, Brussels, CEN, 2003.
16. N 1991-1-4:2005 Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1.5: General actions- Wind actions, Brussels, CEN, 2005.
17. Air Recommendations for Loads on Buildings. Chapter 6. Wind Loads. Architectural Institute of Japan. 81p.
18. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. М., 1978.
19. N.J. Cook. The designer's guide to wind loading of building structures. Part 2. Static structures. London, Butterwords, 1990. 20p.
20. H.W. Tieleman, R.E. Akins. Mean and fluctuating pressure distributions on rectangular prisms immersed in a variety of turbulent shear flows. AIAA/ASME/SIAM/APS , 1st National Fluid Dynamics Congress, July 25-28, 1998, v.2, p. 1749-1756. Cincinnati, OHIO.
21. T. Stathopoulos, M. Dumitrescu-Brulotte. Design recommendations for loading on buildings of intermediate height. ANNUAL Conference, 25-27 May, 1988, v.1, p. 275-293 Calgary. Canadian Society For Civil Engineering.
22. Попов Н.А. Рекомендации по уточненному динамическому расчету зданий и сооружений на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки, М., 2000. с.8-18.
23. Рекомендации по назначению расчетных снеговых и ветровых нагрузок для козырьков Конгрессно-выставочного комплекса, ЦНИИСК им.Кучеренко, М., 2012