



Расчет на прочность рекламных конструкций и обеспечение их безопасности с использованием системы APM Civil Engineering

Владимир Васильев, Фаниль Мустафин, Андрей Алехин

Рекламные конструкции, установленные на многолюдных улицах, — весьма ответственные сооружения, которые должны отвечать всем требованиям надежности и безопасности современных норм строительного проектирования.

В мае 2008 года произошло обрушение рекламной конструкции в Уфе на пересечении улиц Лесотехникума и Менделеева. Поскольку рекламная установка была расположена очень выгодно — в месте наибольшего скопления народа, предприятие-изготовитель было заинтересовано в восстановлении конструкции, обеспечив ее безопасность. В связи с этим перед авторами данной работы были поставлены следующие задачи: рассчитать напряженно-деформированное состояние в конструкции (НДС) и выработать конструктивные решения для восстановления ее безопасной эксплуатации. При этом критерием оптимизации должны были стать минимальные экономические затраты, вследствие чего необходимо было сохранить неизменным общий облик начальной конструкции.

Рекламная установка представляет собой три стандартных щита размерами 6×3 м, расположенные под углом в 120° друг к другу и консольно закрепленные на колонне. Колонна конструктивно выполнена в виде трубы диаметром 530 мм с толщиной стенки 9 мм. Колонна устанавливается на фундамент посредством кольцевого фланцевого соединения. Щиты состоят из металлокаркаса, сваренного из швеллера 14 П, и листов фанеры толщиной 10 мм. Щиты крепятся к колонне кронштейнами, укрепленными стальными косынками толщиной 10 мм (рис. 1).

Для того чтобы понять причины обрушения рекламной конструкции и выдать рекомендации по ее усилению, было принято решение построить ее расчетную модель и выполнить расчет напряженно-деформированного состояния с помощью CAD/CAE-системы авто-

матизированного проектирования строительных объектов гражданского и промышленного назначения APM Civil Engineering.

Система APM Civil Engineering имеет сертификат соответствия № РОСС RU.СП15.Н00744 требованиям современных нормативных документов строительного проектирования (СП и СНиП):

- СП 20.13330.2011 (СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия»);
- СП 14.13330.2011 (СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах»);
- СП 16.13330.2011 (СНиП II-23-81* «Стальные конструкции»);
- СП 15.13330.2012 (СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции»);
- СП 52-101-2003 («Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры»);
- СП 50-101-2004 («Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений»);
- СП 50-102-2003 («Проектирование и устройство свайных фундаментов»);
- СТО 36554501-002-2006 («Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции. Методы проектирования и расчета»);
- ГОСТ Р ИСО 9127-94 («Документация пользователя и информация на упаковке потребительских программных пакетов»);
- ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000 («Информационная технология.

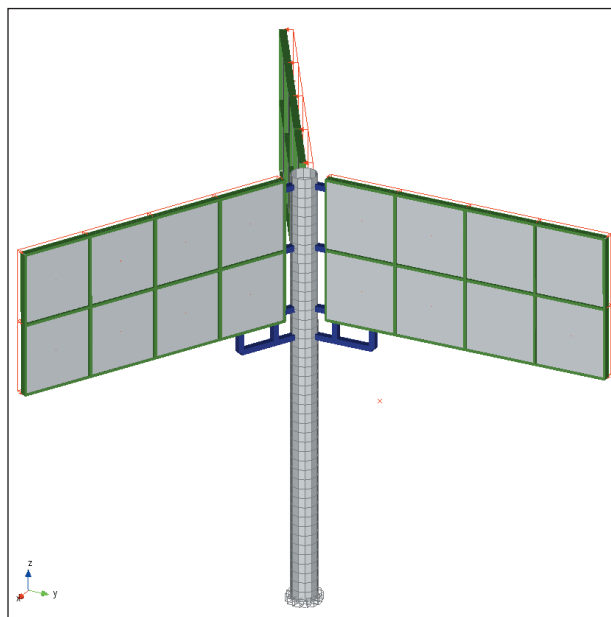


Рис. 1. Расчетная модель конструкции в системе APM Structure3D

Пакеты программ. Требования к качеству и тестирование»).

На установку действуют нагрузки согласно СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия: снеговая распределенная нагрузка 200 Н и гололедная нагрузка 2000 Н. Однако за все время эксплуатации конструкции выпадения снега и сколько-нибудь значительного ее обледенения не наблюдалось. Основное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции оказывает ветровая нагрузка.

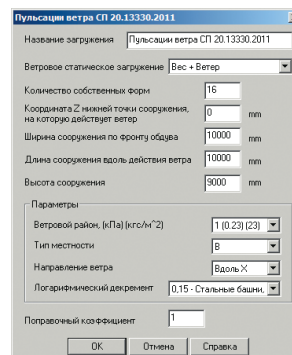


Рис. 2. Диалоговое окно задания пульсационной составляющей ветровой нагрузки

Частоты собственных колебаний									
Собственные частоты				Модальные массы (м.м.) и суммы модальных масс (с.м.м.) по направлениям ГСК					
N	[рад/с]	[Гц]	[с]	м.м. X [%]	с.м.м. X [%]	м.м. Y [%]	с.м.м. Y [%]	м.м. Z [%]	с.м.м. Z [%]
1	3.61862	0.575921	1.73635	3.95e-14	3.95e-14	25	25	8.94e-11	8.94e-11
2	3.62259	0.576553	1.73445	10.6	10.6	5.83e-13	25	5.99e-12	9.54e-11
3	3.65259	0.581328	1.7202	14.4	25	1.75e-14	25	3.27e-12	9.87e-11
4	6.85624	1.0912	0.916419	0.141	25.1	4.57e-13	25	4.28e-13	9.91e-11
5	6.85997	1.0918	0.91592	1.77e-12	25.1	0.494	25.5	6.13e-07	6.13e-07
6	6.91835	1.10109	0.908191	0.429	25.6	1.01e-12	25.5	4.6e-13	6.13e-07
7	17.2369	2.74334	0.364519	39.9	65.5	1.02e-07	25.5	1.7e-16	6.13e-07
8	17.2673	2.74818	0.363878	1.01e-07	65.5	40.3	65.8	0.000489	0.00049
9	54.9628	8.7476	0.114317	21.3	86.8	1.69e-09	65.8	5.74e-13	0.00049
10	56.5402	8.99866	0.111128	3.06e-09	86.8	20.2	86	0.583	0.584
11	65.1036	10.3616	0.0965105	0.0001	86.8	3.04e-10	86	2.71e-09	0.584
12	70.9502	11.2921	0.0885577	2.66	89.4	9.16e-07	86	1.05e-06	0.584
13	71.0252	11.304	0.0884642	7.92e-07	89.4	2.76	88.8	2.82	3.4

Рис. 3. Результаты расчета собственных частот конструкции

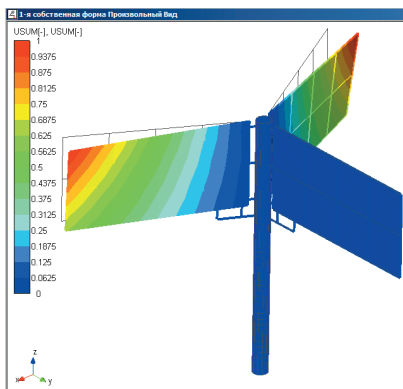


Рис. 4. 1-я собственная форма колебаний конструкции — колебания щитов

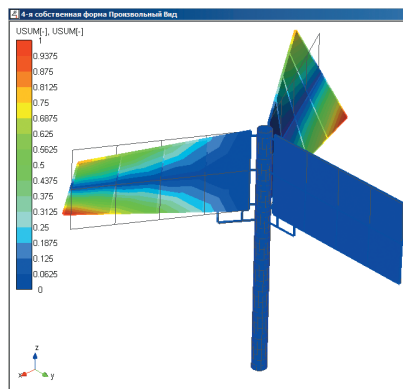


Рис. 5. 4-я собственная форма колебаний конструкции — крутильная

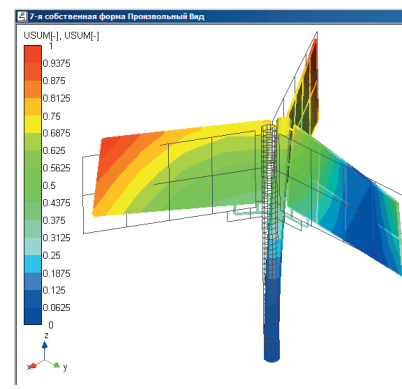


Рис. 6. 7-я собственная форма колебаний конструкции — изгиб колонны

Расчет на ветровую нагрузку выполнялся для наиболее неблагоприятных условий, а именно ураганного ветра при скорости $V=30$ м/с, так как установка находится на возвышенности на высоте 200 м над уровнем р.Уфы. Значение ветрового давления рассчитываем по формуле $q = \rho V^2/2$, где $\rho=1,29$ кг/м³ — плотность воздуха. Значение ветрового давления составило $q=562$ Па.

Ветровая нагрузка задавалась в системе APM Civil Engineering с учетом пульсационной составляющей ветровой нагрузки. Пульсационная составляющая ветровой нагрузки задается автоматически в диалоговом окне (рис. 2).

Расчет динамической пульсационной ветровой нагрузки включает расчет собственных частот конструкции. Результаты расчета собственных частот представлены на рис. 3.

Учитывая симметрию конструкции, собственные частоты повторяются для трех щитов и трех направлений. Собственные частоты колебаний конструкции характеризуются изгибными для щитов (рис. 4), крутильными для щитов (рис. 5) и изгибными для колонны (рис. 6) формами.

Собственные частоты колебаний установки составили значения в пределах 3–17 Гц. Нижние пределы соответствуют частоте возмущающих колебаний ветра. Таким образом, имеется опасность резонансных явлений.

В качестве критериев надежности и безопасности металлоконструкции используются критерии прочности, жесткости и устойчивости.

Полученные в результате прочностного расчета карты напряже-

ний (рис. 7) показывают, что в случае установки укрепляющих косынок на первом и четвертом сверху кронштейнах напряжения достигают максимальных значений в зоне соединения второго сверху кронштейна с вертикальной трубой — опорой, а точнее в области трубы вокруг кронштейна. Эти напряжения достигают 1700 МПа (для стали ВСт3кп) и 440 МПа (для стали 16Г2АФ). В зоне соединения с трубой третьего сверху кронштейна напряжения в материале трубы вокруг кронштейна составили ~900 МПа. Условие прочности здесь также не выполняется. Напряжения в остальной части трубы не превышает 100 МПа, и условие прочности там выполняется, так как допустимые напряжения для перечисленных материалов можно принять равными: $[\sigma]=150$ МПа

и $[\sigma]=350$ МПа соответственно. Напряжения в кронштейнах, представляющих собой прямоугольные профили, образованные двумя швеллерами, составляют 14 П ~200 МПа, что несколько превышает допустимые напряжения.

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния конструкции щита с косынками на всех четырех кронштейнах показывают максимальные напряжения в месте трубы вокруг второго сверху кронштейна ~900 МПа, что также превышает допустимые напряжения.

Причиной завышения напряжений являются «выламывающие» моменты со стороны кронштейнов на вертикальную трубу — колонну, так как швеллеры кронштейнов просто приварены с наружной стороны труб. Из-за небольшого момента сопротивления двух

швеллеров создаются большие «выламывающие» напряжения в стенке трубы.

Коэффициент запаса общей устойчивости конструкции — около 15, то есть устойчивость конструкции обеспечена со значительным запасом.

После того как причина недостаточной прочности и безопасности конструкции была выявлена, авторы смогли дать рекомендации для восстановления несущей способности рекламной конструкции. С целью выполнения условия прочности в конструкцию рекламного щита предложено внести следующие элементы усиления:

1. Ко второму сверху кронштейну и колонне приварить кольцо толщиной 10 мм, имеющее

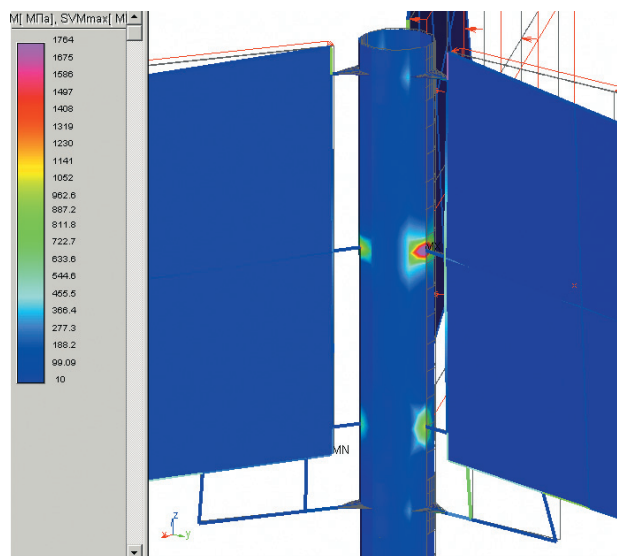


Рис. 7. Карта эквивалентных напряжений в исходной конструкции, МПа



Рис. 8. Предлагаемый вариант усиления

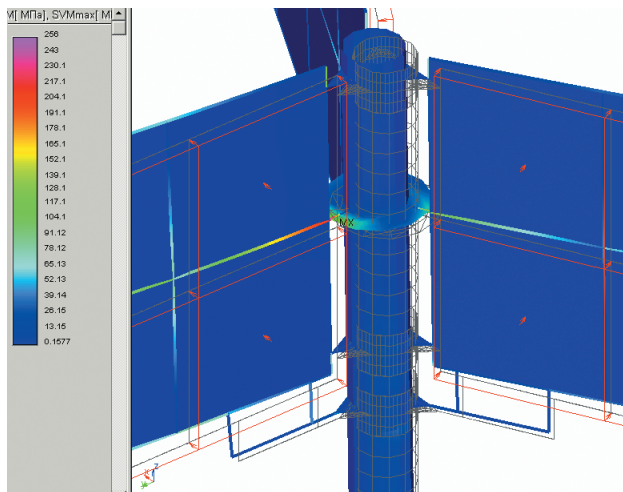


Рис. 9. Карта эквивалентных напряжений в усиленной конструкции, МПа

- внутренний диаметр 530 мм, а наружный — 930 мм (рис. 8).
- Второй сверху кронштейн, представляющий собой в сечении прямоугольный профиль из двух швеллеров 14 П, и его продолжение в раме щита швеллер 14 П укрепить (приварить к трубе) швеллером 14 П.
- Полученная карта эквивалентных напряжений для предлагаемой конструкции представлена на рис. 9. Напряжения в местах соединения кронштейнов с колонной в кольце не превышают 100 МПа,



Рис. 10. Фото усиленной конструкции

то есть условие прочности выполняется.

Увеличение жесткости конструкции кольцом и швеллером привело к повышению собственных частот свободных колебаний, что исключило возникновение резонансных явлений от ветра.

Имеет смысл равномерной установки четырех горизонтальных кронштейнов крепления щита к колонне с подкреплением их приваркой к трубе усиливающих колец*.

На рис. 10 показана рекламная конструкция, усиленная на основании прочностного расчета в системе APM Civil Engineering. Данная конструкция надежно и безопасно эксплуатируется уже более 6 лет.

Предложено конструктивное решение повышения прочности рекламных конструкций за счет приварки колец. Данное решение является технологичным, экономичным и надежным по сравнению с известными способами установки в колонне сквозных кронштейнов. ▶

* Патент РФ № 116197 Мустафин Ф.М., Шаммазов А.М., Васильев В.В., Куценко К.В., Загидуллина А.И., Терехов Д.А., Чэнь Цюнь, Остапчук А.Э. Узел соединения элементов каркасных конструкций // 2012. Бюл. №14