

УДК 624.012

РАСЧЕТ РЕШЕТЧАТЫХ ИЗГИБНО-ЖЕСТКИХ ВАНТ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

Доц. Фридман Геннадий Соломонович, докторант Туракулова Шахноза Маруфовна
Узбекистан, Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: shakhnoza.turakulova@gmail.com

Annotatsiya: Maqolada dastur majmuasidagi seysmik yukka 60 m uzunlikdagi tor iyish-qattiq vantlarni hisoblash metodikasi keltiriladi. Bunda chiziqli hisob-kitob asosida seysmik inertsiya yuklarini aniqlashga yaqinlashtirilgan yondashuv foydalaniladi. Seysmik va boshqa yuklarning amalga oshirilishiga keyingi hisob-kitoblar qadam-iteratsiya usulida geometrik chiziqsizligini hisobga olgan holda amalga oshiriladi.

Kalit soʻzlar: panjara konstruksiyasi, seysmik taʼsirlar, akselerogrammalar, chiziqsiz deformatsiyalanadigan tizimlar, toʻgʻridan-toʻgʻri integratsiyalash usuli, ferma, yuklar, bukilish-qattiq vantlar.

Аннотация: В статье приводится методика расчета решетчатых изгибно-жестких вант пролетом 60 м на сейсмическую нагрузку в программном комплексе ЛИРА САПР. При этом используется приближенный подход к определению сейсмических инерционных нагрузок на основе линейного расчета. Дальнейший расчет на действие сейсмической и других нагрузок производится с учетом геометрической нелинейности шагово-итерационным методом.

Ключевые слова: решетчатая конструкция, сейсмические воздействия, акселерограммы, нелинейно деформируемые системы, метод прямого интегрирования, ферма, нагрузки, изгибно-жесткие венты.

Abstract: In article the design procedure framed bending-rigid shrouds by flight of 60 m on seismic loading in a program complex LIRA CAD is resulted. The approached approach to definition of seismic inertial loadings on the basis of linear calculation is thus used. The further calculation on action seismic and other loadings is made taking into account geometrical nonlinearity by a step-iterative method.

Keywords: lattice structure, seismic impacts, accelerograms, nonlinearly deformable systems, direct integration method, truss, loads, flexural-rigid shrouds.

В нормах проектирования [1] предлагаются два метода расчета строительных конструкций на сейсмические воздействия: спектральный и метод прямого интегрирования уравнений движения. Для нелинейно деформируемых систем (в том числе висячих) применим только метод прямого интегрирования, который реализован в ПК ЛИРА САПР через программный модуль «Динамика плюс» [2]. При этом для моделирования сейсмического воздействия принимаются данные инструментальной записи ускорений земной поверхности (акселерограммы).

Однако использование реальных или синтезированных акселерограмм имеет тот недостаток, что экстраполяция этих данных на будущие землетрясения имеет значительную долю неопределенности.

Поэтому желательно в дополнение к методу прямого интегрирования использовать в некоторых случаях и спектральный метод путем частичной линеаризации задачи. Такой подход имеет и самостоятельное значения как приближенный метод расчета на сейсмические воздействия.

Суть предлагаемого нами метода изложена в [4]. Она состоит в том, что линейным расчетом определяют инерционные сейсмические нагрузки, которые потом используются в нелинейном расчете как реальные нагрузки. Методика такого расчета рассмотрена на примере изгибно-жестких вант сплошного сечения.

В настоящей статье этот приближенный подход использован для расчета решетчатых большепролетных изгибно-жестких вант. Нелинейный расчет таких конструкций на статические нагрузки приведен в [3].

Конструкция в виде провисающей фермы имеет пролет 60 м. Стрела провисания верхнего пояса – 6 м; высота фермы в середине пролета – 2 м (для жесткой фермы необходима высота не менее 6 м). Ферма опирается на колонны, а распор вант воспринимается оттяжками. Схема конструкции, полученная в ПК ЛИРА САПР, приведена на рис. 1.

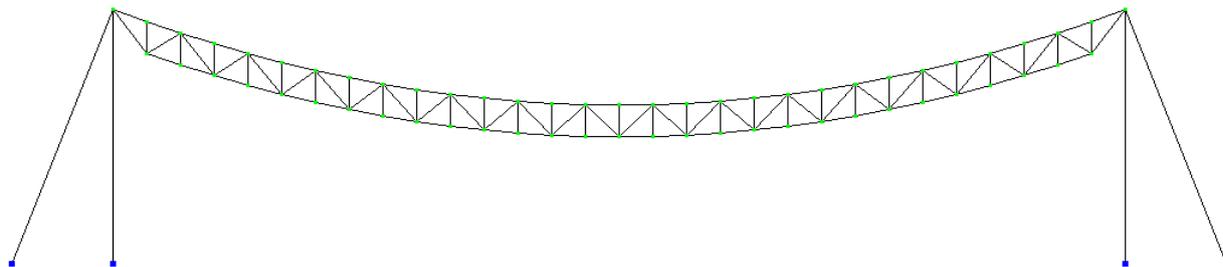


Рис. 1. Схема конструкции покрытия с опорным контуром

Шаг ферм – 6 м; постоянная нагрузка от легкой кровли равна 1 кН/м², а снеговая нагрузка для г. Самарканда – 0,7 кН/м². При длине панели верхнего пояса 2 м узловые нагрузки будут равны 12 и 8,4 кН.

Используем данные статического расчета для учета вертикальной сейсмической нагрузки. По аналогии с примером [4] узловые нагрузки для особого сочетания будут равны:

$$P_1 = 12 \cdot 0,9 = 10,8 \text{ кН};$$

$$P_2 = 8,4 \cdot 0,5 = 4,2 \text{ кН}.$$

Тогда динамические массы будут равны:

$$P_3 = 10,8 + 4,2 = 15 \text{ кН}.$$

Сохраним файл задачи из примера [3] под другими именами для линейной и нелинейной задач. В линейной задаче заменим тип конечных элементов: для ферм и оттяжек КЭ-1 (стержень плоской фермы) и для колонн КЭ-2 (элемент плоской рамы). Для загрузки 3 удалим все ранее введенные нагрузки и введем динамические массы – это будет сейсмическое нагружение.

Удалим таблицу моделирования нелинейных нагружений, введем в таблице динамических нагружений параметры сейсмического нагружения. Выполним расчет и обратимся к его результатам. Всего найдено 5 симметричных форм собственных колебаний конструкции – 1,3,5,7,9. Их параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Периоды собственных колебаний

№ загруз	№ формы	Период (сек)	Модальная масса (%)
3	1	0,824	77,15
3	3	0,256	12,08
3	5	0,115	3,34
3	7	0,074	1,63
3	9	0,056	1,09
Всего:		95,29	

Суммарная модальная масса этих форм колебаний составляет 95,29%, что можно считать результатом достаточной степени точности.

На рис. 2 приведена в качестве примера деформированная схема конструкции для 3-ей формы колебаний.

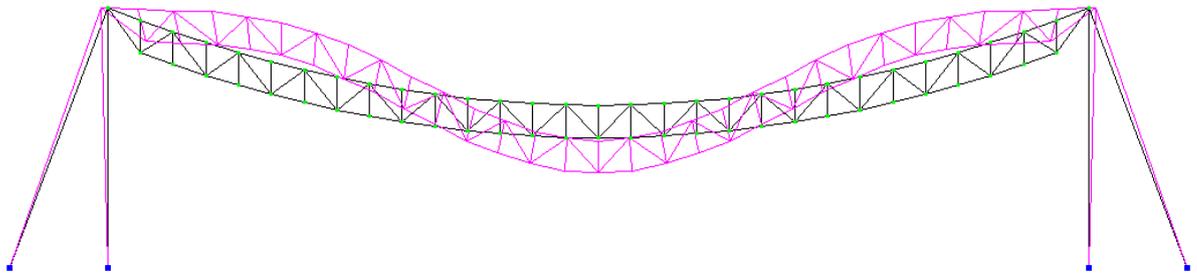


Рис. 2. Деформированная схема конструкции для 3-ей формы колебаний

Далее определим инерционные сейсмические нагрузки – по формам колебаний и суммарные. Результаты приведены в таблице 2 – с учетом симметрии только для левой половины фермы.

Обратимся теперь к файлу нелинейной задачи. Здесь в загрузках 1 и 2 исправим значения нагрузок на соответствующее особому сочетанию усилий. В загрузке 3 удалим все ранее введенные нагрузки и введем суммарные инерционные нагрузки из таблицы 2. Поскольку сейсмическая нагрузка знакопеременная, введем также загрузку 4 с нагрузками из таблицы 4, но с обратным знаком. Таким образом, загрузка 3 – это сеймика, направленная вверх, а загрузка 4 – это сеймика, направленная вниз.

Таблица 2.

Инерционные сейсмические нагрузки (кН)

№ узла	Форма колебаний					Всего
	1	3	5	7	9	
3	-0.04	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.20
5	-0.58	-1.84	-1.47	-1.27	-1.28	-6.44
7	-1.21	-3.43	-2.38	-1.68	-1.29	-9.99
9	-1.88	-5.17	-3.24	-1.65	-0.37	-12.31
11	-2.59	-5.96	-2.79	-0.71	0.41	-11.64
13	-3.32	-6.46	-1.54	1.16	1.67	-8.48
15	-4.05	-6.13	-0.20	1.63	0.93	-7.82
17	-4.76	-5.27	1.70	1.83	-0.71	-7.20
19	-5.44	-3.95	2.53	0.85	-1.11	-7.12
21	-6.06	-2.15	3.18	-0.77	-1.18	-6.97
23	-6.61	-0.36	2.60	-1.49	-0.09	-5.95
25	-7.08	1.65	1.49	-1.97	1.38	-4.53
27	-7.47	3.23	0.01	-1.07	1.16	-4.14
29	-7.74	4.70	-1.64	0.27	0.42	-4.00
31	-7.92	5.44	-2.60	1.29	-0.69	-4.48
33	-7.96	5.86	-3.18	2.02	-1.59	-4.86

Схема загрузки 4 показана на рис. 3.

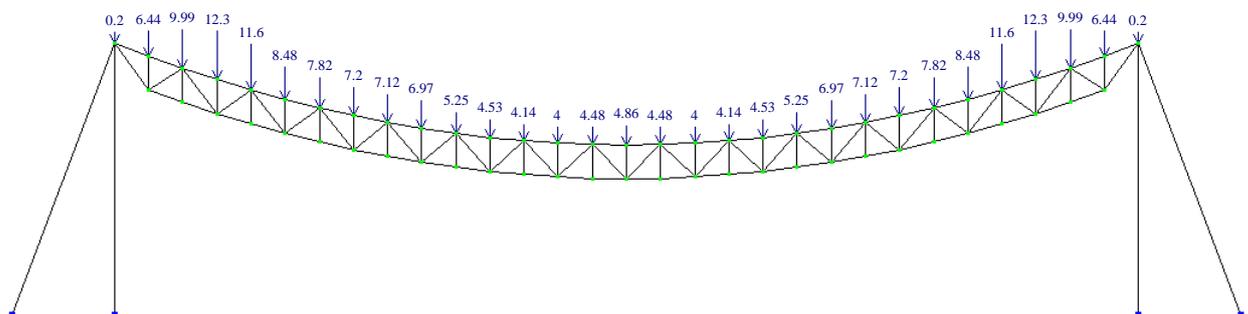


Рис. 3. Схема загрузки 4 (сейсмика вниз)

В таблице моделирования нелинейных загрузок введем последовательности загрузок 1 (загрузки 1 и 3), и 2 (загрузки 1,2 и 4). Выполним расчет и обратимся к его результатам.

Перемещения узлов фермы от нелинейной последовательности 1 везде положительные, максимальный прогиб составляет 7,02 см или $L/855$. Деформированная схема конструкции от нелинейной последовательности 2 аналогична примеру для статического нагружения. Здесь максимальный прогиб составляет 28,3 см или $L/212$; с учетом нормативных значений нагрузок он будет меньше.

Дальнейший анализ можно проводить по аналогии с примером [3]; можно также сравнивать перемещения и усилия от условно основного и особого сочетания нагрузок.

Заключение. Показанный в настоящей статье пример расчета показывает применимость изложенного в [4] приближенного способа учета сейсмических воздействий и для большепролетных конструкций покрытий в виде решетчатых изгибно-жестких вант.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. КМК 2.01.03-96. «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования» / Госкомархитекстрой РУз. – Ташкент, 1997.
2. ПК ЛИРА САПР 2015. Руководство пользователя. – Под. ред. Городецкого А.С. / М., 2015. – 460 с.
3. Фридман Г.С. «Расчет большепролетного покрытия с изгибно-жесткими вантами. / Проблемы архитектуры и строительства. № 3, 2018. – 5 с.
4. Фридман Г.С., Туракулова Ш.М. «Расчет изгибно-жестких вант на сейсмическую нагрузку» / Проблемы архитектуры и строительства. № 1, 2023. – 5 с.