

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОСКОЙ ФЕРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНИЙ ГЛАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В.А. Ходяков, В.Г. Пастушков

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Описывается способ проектирования структур ферм с использованием линий главных напряжений. Запроектирована ферма с прямоугольным контуром, и проанализированы результаты ее расчета. Описаны преимущества и особенности структуры полученной фермы.

Ключевые слова: линии главных напряжений, ферма, пролетное строение, вычислительное проектирование, SOFiSTiK, Grasshopper, Rhinoceros, Karamba.

Главной целью при создании несущего каркаса фермы стало расположение стержневых элементов конструкции по сетке линий главных напряжений (рис. 1).

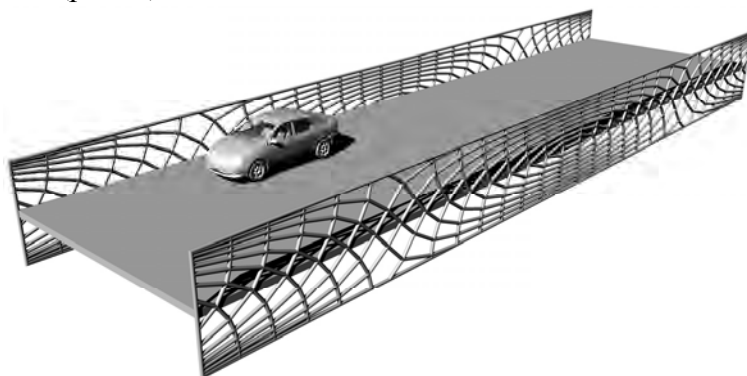


Рис. 1. Общий вид пролетного строения с фермами, структура которых выстроена по сетке линий главных напряжений

Проектирование такой фермы велось с использованием погромных комплексов SOFiSTiK, Rhinoceros, Grasshopper и Karamba. Karamba и SOFiSTiK использовались для расчета конструкции методом конечных элементов и построения линий главных напряжений. Rhinoceros и Grasshopper являлись инструментами для создания расчетной схемы несущей конструкции.

Изначально был проведен расчет прямоугольного вертикального листа стали, повторяющего контур фермы, с приложенной на уровне проезжей части условной нагрузкой (рис. 2). Длина проектируемого расчетного пролета 30 м. Высота фермы 3 м. По концам лист был жестко закреплен, эмитируя элемент неразрезного пролетного строения.

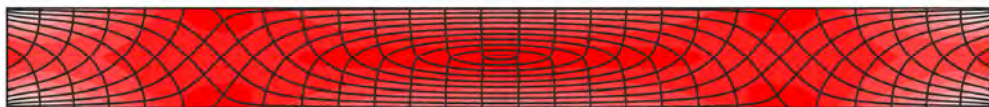


Рис. 2. Фасад стального листа с изополями напряжений и выстроенными линиями главных напряжений

Линии главных напряжений были проведены через характерные точки, находящиеся на уровне проезжей части с шагом 1 м по ее длине.

После того как была получена сетка линий главных напряжений, она была обработана и упрощена. Участки между точками пересечения линий были преобразованы в прямые.

Далее полученная структура линий была превращена в расчетную схему из стержневых элементов и передана в расчетный комплекс SOFiSTiK. В результате расчета был получен ожидаемый результат (рис. 3). Стержневые элементы, выстроенные по линиям главных сжимающих напряжений в пластине, работают исключительно на сжатие (см. рис. 3, а), а выстроенные по линиям главных растягивающих напряжений – на растяжение (см. рис. 3, б).

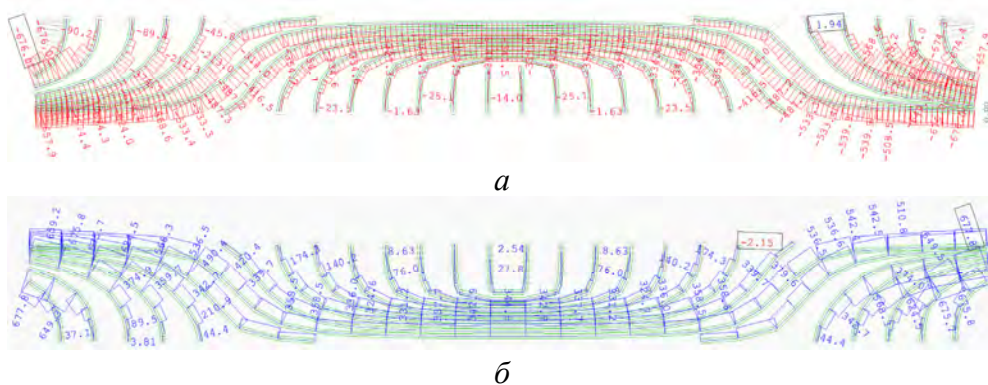


Рис. 3. Эпюры нормальных напряжений жесткой фермы: а – по 1-й группе элементов, работающих на сжатие; б – по 2-й группе элементов, работающих на растяжение

При погонной нагрузке на ферму 100 кН/м и стержнями из трубок диаметром 100 мм и толщиной стенки 10 мм несущая способность кон-

струкции по результатам расчета была обеспечена. Максимальный прогиб конструкции составил 43,6 мм.

Следующим шагом стала попытка заменить все жесткие, работающие на растяжение элементы на стальные канаты диаметром 50 мм. При этом элементы, работающие на сжатие, были оставлены жесткими. В результате была получена новая расчетная схема (рис. 4).

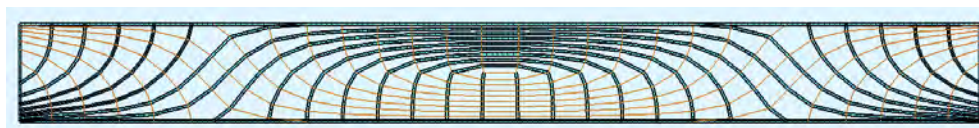


Рис. 4. Общий вид расчетной схемы фермы. Элементы, работающие на растяжение, заменены канатами (желтые линии)

После расчета конструкции были получены следующие эпюры (рис. 5).

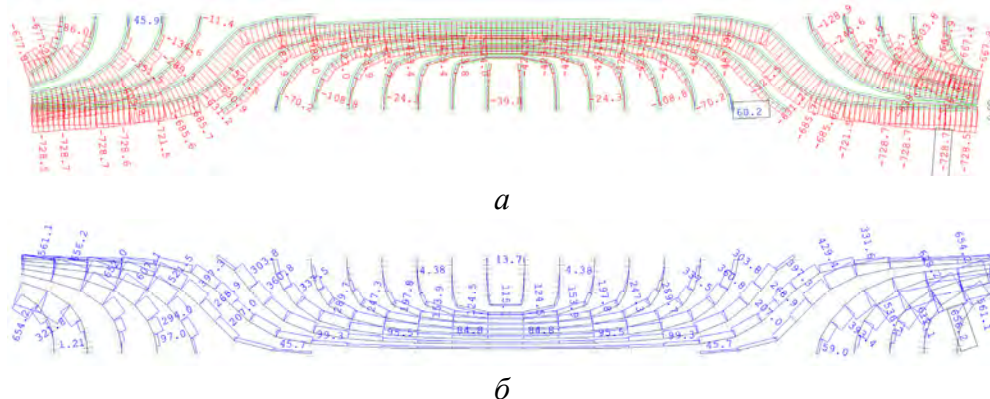


Рис. 5. Эпюры нормальных напряжений фермы с канатами; *а* – по 1-й группе элементов, работающих на сжатие; *б* – по 2-й группе элементов, работающих на растяжение, – канаты

В результате замены элементов система сохранила общие принципы работы, однако произошла потеря жесткости, максимальный прогиб составил 66,1 мм. Несущая способность была сохранена, однако напряжения в жестких элементах возросли.

При создании в канатах преднапряжения в 100 кН произошло увеличение жесткости, максимальный прогиб составил 53,9 мм. При работе конструкции незначительно были повышены напряжения в канатах, а напряжения в жестких элементах значительно снизились на 15–20 %.

В жестких элементах как в первом, так и во втором случае все же имели место изгибающие моменты. Однако их значения составили не более 15 кН/м. Наличие изгибающих моментов можно объяснить тем, что в структуре фермы линии главных напряжений были преобразованы в ломаные. При увеличении плотности сетки линий главных напряжений моменты уменьшаются.

Построение классической фермы подразумевает треугольную структуру, как наиболее устойчивую. Однако в данном случае мы получили уникальный случай фермы с ячейками из четырехугольников, которые благодаря своему расположению образуют не менее стабильную структуру. Это достигается тем, что все стержни фермы ориентированы так, чтобы работать только на осевое растяжение или сжатие.

Полученная структура фермы отличается высоким конструктивным смыслом, оригинальностью исполнения и обладает высокой архитектурной ценностью по сравнению с классической фермой, в основе которой лежит триангуляция.

Список литературы

1. Хайман Э.В. Новая морфология архитектуры. Зачем гены зданиям? [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.liveinternet.ru/users/alexboo/post244601238/>
2. Барчугов Е.В. Параметризм как направление современной проектной деятельности [Электронный ресурс] – URL: <http://www.marhi.ru/АМИТ/2013/4кварт13/barchugova/barchugova.pdf>
3. Grasshopper, algorithmic modeling for rhino: офиц. сайт плагина Grasshopper. – URL: <http://www.grasshopper3d.com/>
4. Karamba. parametric engineering: офиц. сайт плагина Karamba. – URL: <http://www.karamba3d.com/>
5. SOFiSTiK: офиц. сайт расчетного комплекса. – URL: <http://www.sofistik.com/en/>

Об авторах

Ходяков Вячеслав Андреевич (Минск, Республика Беларусь) – студент, Белорусский национальный технический университет (220114, г. Минск, пр. Независимости, 150; e-mail: x@monogroup.by).

Пастушков Валерий Геннадьевич (Минск, Республика Беларусь) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Мосты и тоннели», Белорусский национальный технический университет (220114, г. Минск, пр. Независимости, 150; e-mail: valpast@inbox.ru).