

Ходяков В.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц.

Пастушков В.Г.

*Белорусский национальный технический университет*

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФЕРМ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

В попытках создать наиболее эффективную с точки зрения несущей способности конструкцию пролётного строения моста, в качестве формообразующих структуры, стоит рассмотреть возможность использования линий главных напряжений, выстроенных на формообразующих поверхностях конструкции.

Одной из наиболее важных проблем эффективного проектирования является наиболее правильное распределение материала по конструкции пролётного строения. Это позволяет существенно снизить материалозатраты на производство конструкций. Кроме того, нелинейное распределение материала по конструкции добавляет ей архитектурной привлекательности, делая несущие элементы более ценными с эстетической точки зрения.

Главным принципом при создании несущего каркаса ферм стало расположение стержневых элементов конструкции по сетке линий главных напряжений формообразующих поверхностей (рис. 1).

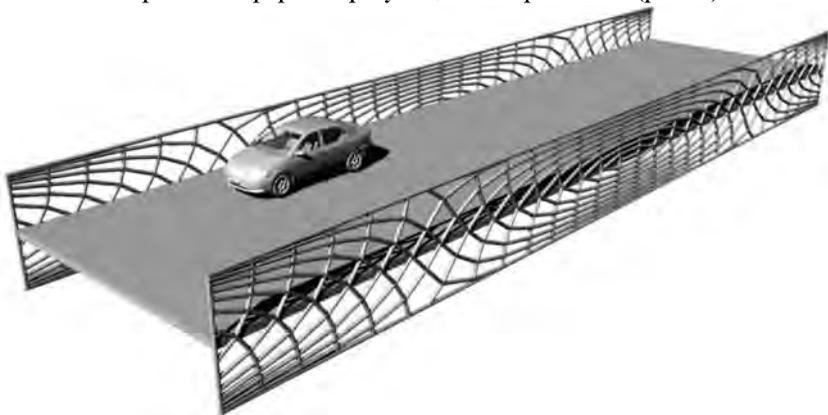


Рис. 1. Общий вид пролётного строения с фермами, структура которых выстроена по сетке линий главных напряжений

Длина проектируемого расчётного пролёта составила 30м. Высота фермы была принята равной 3м. По концам конструкция была жёстко закреплена, эмитируя элемент неразрезного пролётного строения. По центру фермы приложена условная нагрузка в 100кН/м в уровне проезжей части.

Была получена сетка линий главных напряжений внутри контура проектируемой фермы.

Далее полученная структура линий была превращена в расчётную схему из стержневых элементов и передана в расчётный комплекс SOFiSTiK для нелинейного анализа. В результате расчёта был получен ожидаемый результат (рис. 2). Стержневые элементы, выстроенные по линиям главных сжимающих напряжений, работают исключительно на сжатие (эпюра красного цвета), а выстроенные по линиям главных растягивающих напряжений – на растяжение (эпюра синего цвета). Несущая способность фермы была сохранена при использовании в структуре фермы стержней в виде трубок диаметром 101,6мм и толщиной стенки 10мм из стали 10ХСНД.

Имеются единичные отклонения от характера работы в группах стержней. Это можно обосновать спрямлением линий главных напряжений, для создания прямых стержней фермы, а также наличием искусственно созданного прямоугольного контура фермы.

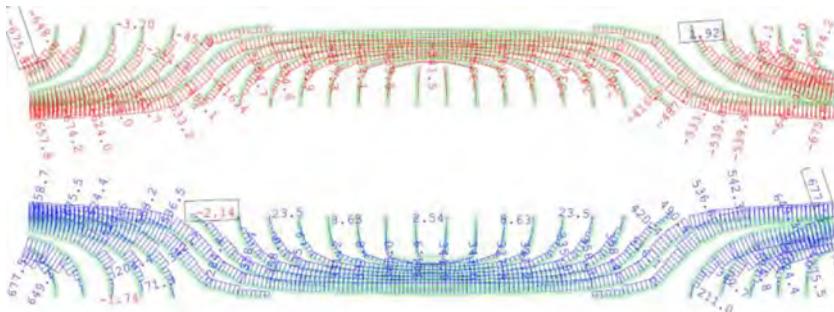


Рис. 2. Эпюры нормальных усилий в стержнях жёсткой фермы.

Сверху по первой группе элементов, работающих на сжатие.

Снизу по второй группе элементов, работающих на растяжение

Следующим шагом стала попытка заменить все жёсткие работающие на растяжение элементы на стальные канаты диаметром 50мм. При этом элементы, работающие на сжатие, были оставлены жёсткими. В результате была получена новая расчётная схема (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид расчётной схемы плоской фермы. Элементы, работающие на растяжение, заменены канатами (жёлтые линии)

В результате замены элементов, система полностью сохранила принципы работы, но произошла потеря жёсткости отдельных элементов. Несущая способность была сохранена, однако, усилия в жёстких элементах возросли.

При создании в канатах преднапряжения в 200кН произошло восстановление жёсткости системы. Усилия в жёстких элементах значительно снизились: на 15-20%.

Следующим шагом стало проектирование пространственной фермы, которая повторяла своими очертаниями оболочку в форме вытянутого тела с постоянным поперечным сечением в форме эллипса (рис. 4).

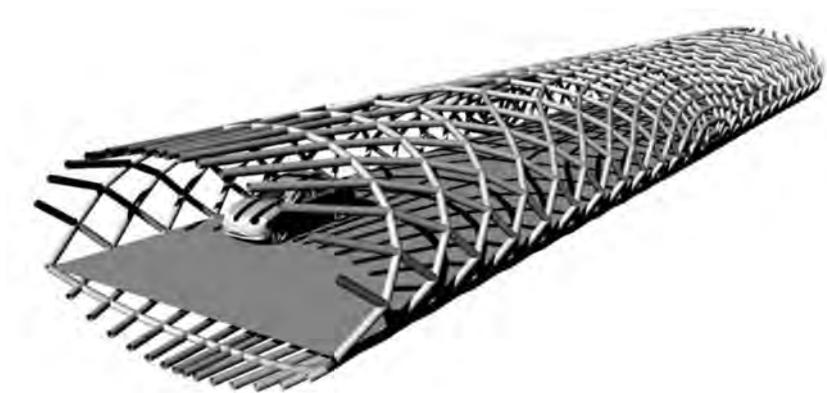


Рис. 4. Репётка пространственной фермы, элементы которой построены по линиям главных напряжений

Здесь также применялось жёсткое закрепление конструкции по концам. Линии главных напряжений выстраивались по тому же принципу что и в плоской ферме.

Важным отличием стало то, что здесь отсутствует искусственно вводимый контур конструкции, как это было в плоской ферме. В данном случае оболочка замкнута и абсолютно все элементы являются выстроенными по линиям главных напряжений.

Расчёт конструкции был произведён для фермы с расчётным пролётом 50м. Высота конструкции 5,5м, ширина 11м. Сечение стержней фермы представляло собой трубки диаметром 139,7мм и толщиной стенки 20мм. Стержни из стали 10ХСНД.

По результатам расчёта в SOFiSTiK несущая способность конструкции была сохранена.

Были получены эпюры нормальных усилий (рис. 5, 6). Можно заметить, что выделенные группы элементов в целом сохраняют предполагаемый принцип работы. Однако в нижней и верхней части пролёта имеются серьёзные отклонения.

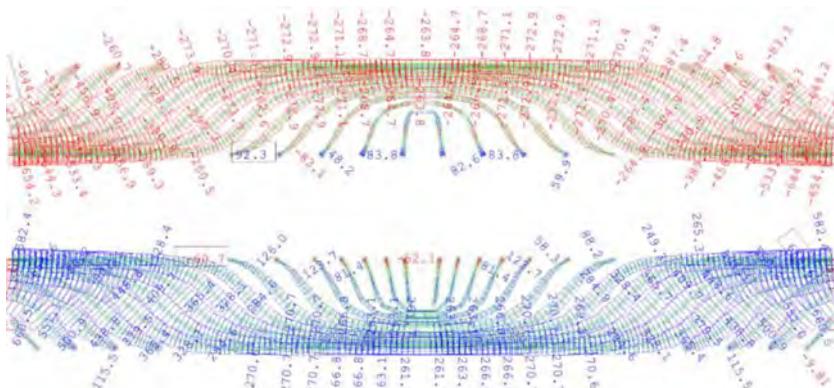


Рис. 5. Эпюры нормальных усилий в стержнях пространственной фермы. Вид сбоку. Сверху по первой группе элементов, работающих на сжатие. Снизу по второй группе элементов, работающих на растяжение

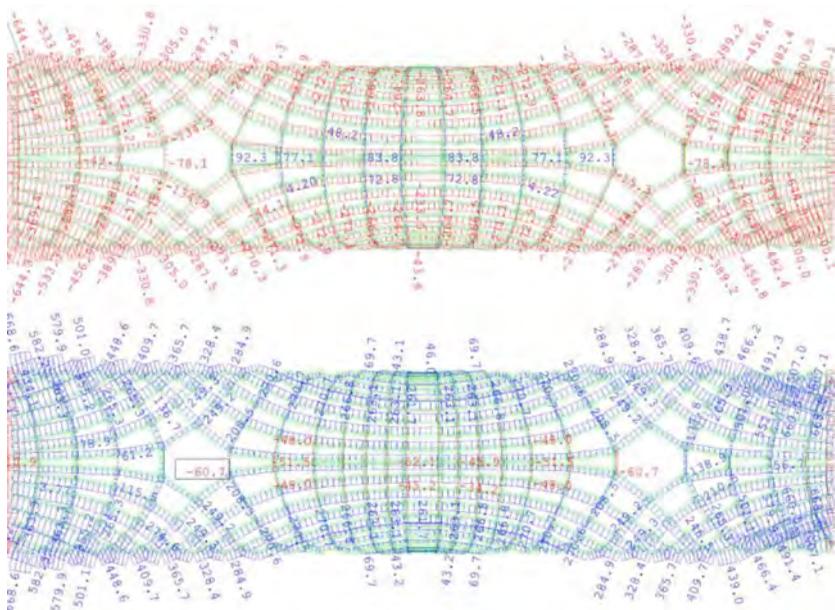


Рис. 6. Эпюры нормальных усилий в стержнях пространственной фермы.  
 Вид сверху. Сверху по первой группе элементов, работающих на сжатие.  
 Снизу по второй группе элементов, работающих на растяжение

При замене группы растянутых элементов на канаты диаметром 50мм потребовалось увеличить сечения жёстких элементов до трубок диаметром 244,5мм и толщиной стенки 20мм (рис. 7). В противном случае несущая способность конструкции по первой группе предельных состояний не обеспечивалась.

В результате расчёта обнаружилось, что верхние стержни ближе к центру пролёта получили очень большие перемещения «вовнутрь» конструкции. Прогиб конструкции составил 265,7мм, что говорит о низкой жёсткости фермы.

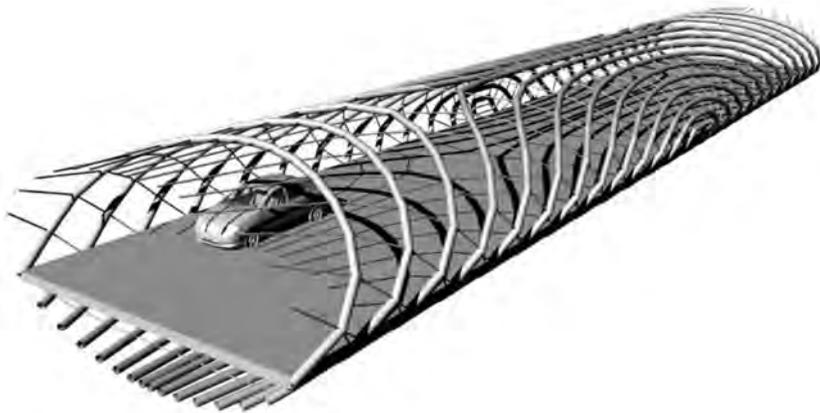


Рис. 7. Общий вид конструкции.  
Группа растянутых элементов заменена 50 мм канатами

После придания канатам преднапряжения в 200кН несущая способность конструкции по второй группе предельных состояний сохранилась. Прогиб в центре пролёта уменьшился до 225мм. Усилия в жёстких стержнях существенно не изменились. Однако появились серьёзные изгибающие моменты в стержнях, до 200кНм.

При придании канатам преднапряжения в 500кН, несущая способность конструкции по второй группе предельных состояний также сохранилась. Прогиб в центре пролёта уменьшился до 163,2мм. Усилия в жёстких стержнях также существенно не изменились.

Построение классической фермы подразумевает треугольную структуру как наиболее устойчивую. Однако в данном случае мы получили уникальные по своей природе случаи ферм с ячейками из четырёхугольников, которые благодаря своему расположению образуют не менее стабильную структуру практически с полным отсутствием изгибающих моментов. 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 большой архитектурной ценностью по сравнению с классической фермой, в основе которой лежит триангуляция.