

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ И РАСЧЕТА БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО ПОКРЫТИЯ СПОРТКОМПЛЕКСА В Г.ГРОДНО

Введение. Одним из эффективных типов пространственных конструкций для покрытия уникальных большепролетных сооружений являются комбинированные конструкции с применением структурных плит. Отличительные особенности комбинированных конструкций – наиболее полное использование прочностных свойств всех элементов конструкции, совмещение в одной конструкции несущих и ограждающих функций. Комбинированными конструкциями можно перекрывать пролеты более 200м с разнообразным очертанием в плане. С увеличением пролета эффективность применения таких конструкций возрастает. Они просты в изготовлении и монтаже, имеют минимальную строительную высоту, учитывая поэтапную сборку на строительной площадке, они просты в транспортировке на любые расстояния.

Необходимо отметить, что применение такого рода конструкций в мировой практике используется довольно давно и, как показывает практика, довольно успешно. Список примененных комбинированных большепролетных конструкций довольно велик, вот лишь некоторые примеры возведенных в различное время и в различных странах мира объектов с применением такого рода конструкций: спортивно-выставочный зал в Дармунде (ФРГ), плавательный бассейн в Биле (Польша), ледовый стадион «Юханнесхоф» в Стокгольме (Швеция), спортивный зал в Братиславе (Чехия), олимпийский плавательный бассейн в Токио (Япония), ряд спортивных сооружений, построенных к XXII олимпийским играм в Москве этот список можно продолжать бесконечно долго.

Опыт применения комбинированных большепролетных покрытий в Беларуси также достаточно велик. На различных объектах в течение нескольких лет успешно эксплуатируются структурные конструкции, отличающиеся формой, габаритами, пролетами и условиями монтажа. Такими примерами могут служить: покрытие над амфитеатром концертного комплекса «Славянский базар» в г. Витебске, навес для мостовой площадки автотранспорта на погранпереходе «Козловичи», стрелковый тир в г. Бресте, магазин «Бела трейдинг» на погранпереходе «Варшавский мост», спорткомплекс «Виктория» в г. Бресте, спортивный комплекс ДЮСШ в г. Калинковичи, ледовая арена в Пружанах и многие другие объекты.

В октябре 2008 года коллективом кафедры СК БрГТУ был разработан архитектурный проект покрытия универсального спортивного комплекса для игровых видов спорта в г. Гродно.

1. Конструктивное решение покрытия. Проект спорткомплекса в г. Гродно является аналогом спорткомплекса «Виктория» в г. Бресте, хотя имеет ряд весьма существенных отличий. Весьма интересным является их сравнение, которое не только показывает разницу зависимости НДС от выбора комбинации конструкций при их сов-

местной работе, но и является доказательством эффективного применения комбинированных конструкций для большепролетных зданий.

1.1. Покрытие спорткомплекса в г. Гродно. Покрытие представляет собой в плане квадрат 74х74м, опирающийся на колонны (и диафрагмы жесткости) по контуру 64х64м, с пятиметровыми консольными свесами по всем граням.

Несущие конструкции запроектированы в виде металлической трубчатой регулярной структурной плиты с квадратными ячейками решеток поясов. Стержни верхнего и нижнего решеток поясов и раскосов имеют одинаковую длину, образуют ортогональную сетку с ячейкой 3х3м, высота структурной плиты 2,12м по осям поясов. Структурная плита сломана по диагонали и образует два треугольных ската с уклоном 15°. Структурная конструкция опирается по контуру на 48 железобетонных колонн, 4 диафрагмы жесткости и 2 ферменные колонны. Также структурная плита опирается на нижние пояса треугольной пространственной фермы. По верхним узлам структурных плит устанавливаются прогоны из швеллеров, на которые укладывается профнастил и элементы кровли.

Структурная плита покрытия запроектирована из круглых труб, соединенных полыми шаровыми узлами системы «БрГТУ». Структура имеет ортогональную верхнюю и нижнюю поясные сетки. Стержни пространственной структуры запроектированы из бесшовных горячекатаных труб, в торцы которых свариваются круглые гайки резьбой М30. Для стержневых элементов с усилиями более 400 кН сопряжение с узлами выполняется через фасонку с помощью монтажной сварки. Узел крепления конструкции кровли к типовому узлу верхнего пояса пространственной конструкции показан на рис. 1.

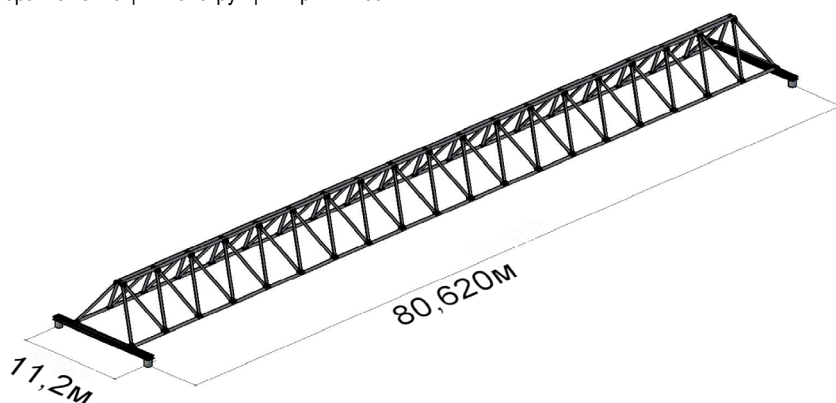
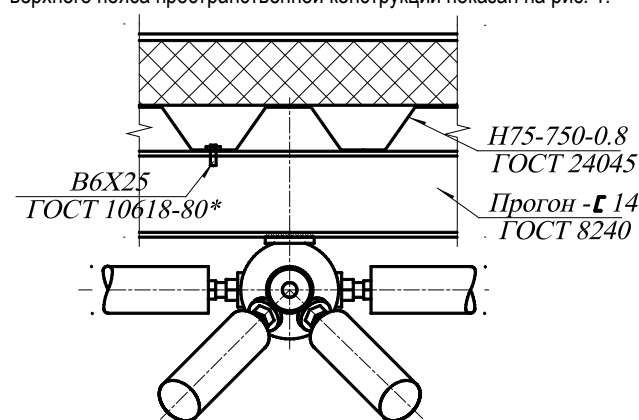


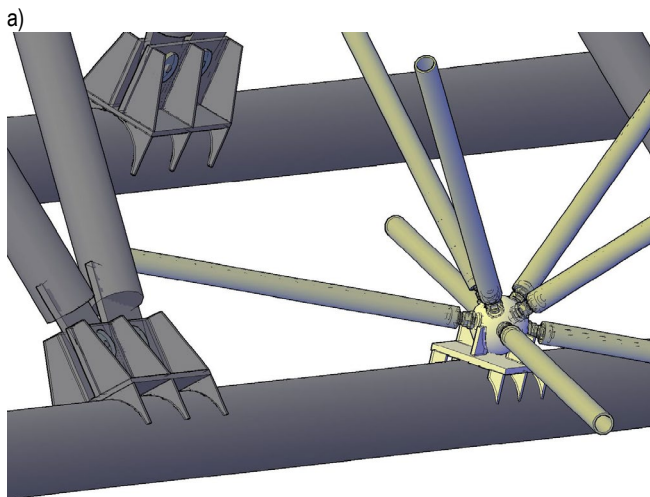
Рис. 2. Конструктивная схема фермы

Морилова Наталья Леонидовна, ассистент кафедры экономики и организации строительства Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Рис. 1. Узел крепления конструкции кровли к узлам верхнего пояса

Треугольная пространственная ферма состоит из двух плоских ферм, установленных под углом 63° , связанных структурной плитой. Верхний и нижний пояса плоских ферм запроектированы из бесшовных горячекатаных труб $\varnothing 273 \times 10$, а раскосы из труб – $\varnothing 168 \times 8$. На нижние пояса ферм с шагом 4,24 м опирается структурная плита, что обусловило геометрию плоских ферм (рис. 2, 3а). Узлом опирания структурной плиты на нижний пояс фермы также является узел структурной конструкции типа «БрГТУ» в форме полого шара, подкрепленного ребрами жесткости (см. рис. 3б).



б)

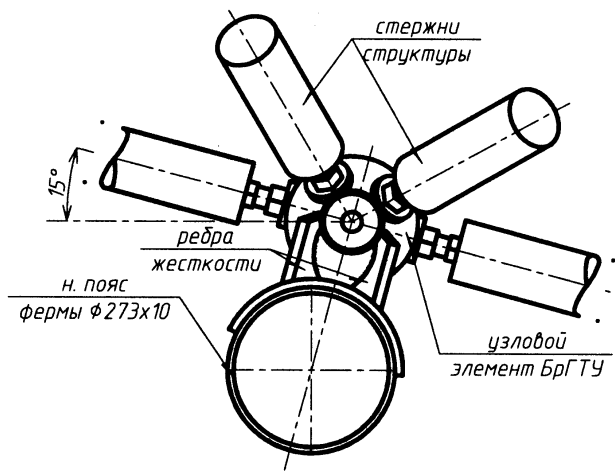
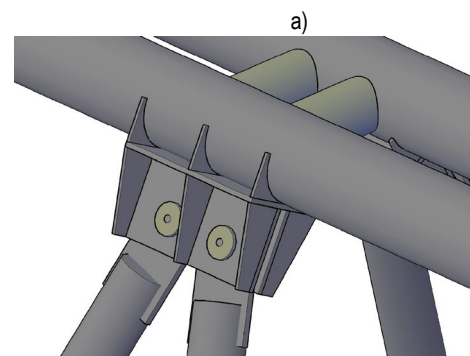
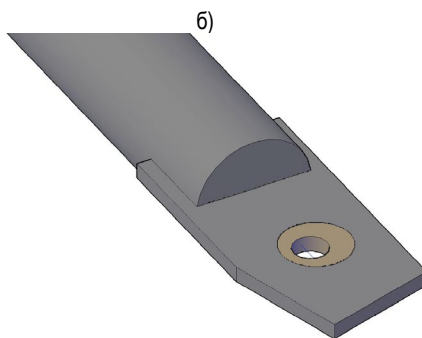


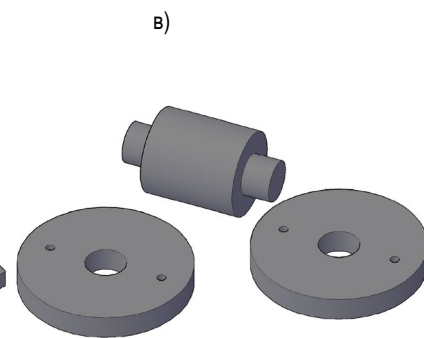
Рис. 3. (а) Конструкция опирания пространственной фермы на колонны (б) Узел опирания нижнего пояса структурной плиты на нижний пояс фермы



а)



б)



в)

Рис. 4 (а) Конструктивное решение балансирующего шарнира (б) Узел соединения раскосов и поясов фермы, в) крепежный элемент.

Т.к. геометрические размеры запроектированных плоских ферм больше транспортных габаритов, то сборку ферм необходимо производить на строительной площадке. Каждый из поясов плоских ферм разбит на отправочные марки. Стыки отправочных марок производятся вне узлов фермы и опорных узлов структуры, что снижает в узлах концентрацию напряжений. Укрупнительные стыки плоских ферм выполняются при помощи внутренних втулок и наружных муфт на сварке.

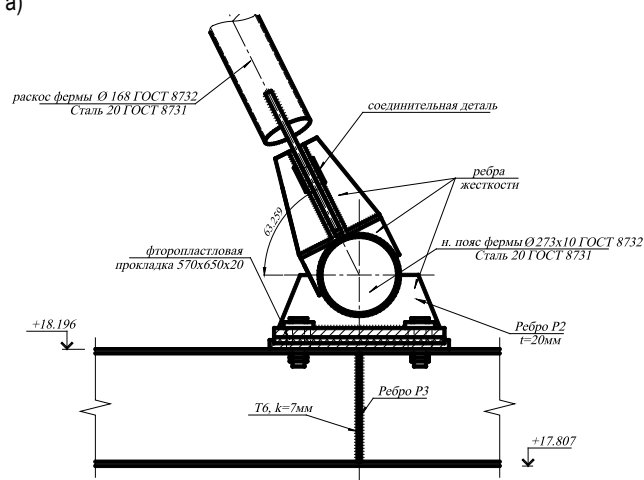
Узел соединения решетки раскосов с поясами фермы, запроектирован с применением балансирующего шарнира (рис.4).

Балансирующий шарнир состоит из круглой втулки с эксцентрично расположенным отверстием (эксцентриситет 10 мм) и соединительной детали $\varnothing 50$ мм. После сборки узлового элемента соединительная деталь фиксируется двумя круглыми гайками.

Балансирующий шарнир позволяет центрировать отверстия в фасонках стержней раскосов и поясов и обеспечивает необходимые допуски для сборки конструкции (рис. 4). В этом случае все стержни ферм испытывают только осевые усилия (центральное растяжение или центральное сжатие), что позволяет более полно использовать материал. Устройство узлов с применением балансирующего шарнира обеспечивает простоту сборки плоских ферм на строительной площадке с учетом температурных деформаций и конструктивных несовершенств.

Большепролетная треугольная пространственная ферма опирается на балки, состоящие из двух широкополочных двутавров 40Ш1, соединенных между собой накладками. Двутавровые балки в свою очередь опираются на сталебетонные колонны $\varnothing 63$ см, расстояние между осями колонн – 11,2 м. Стальная плита опорного узла фермы устанавливается на фторопластовую прокладку, в месте опирания на балки, такая опорная конструкция исключает передачу распорных усилий на колонны при прогибах фермы и при изменении температуры. Решение опирания узла фермы на балки см. рис. 5.

а)



б)

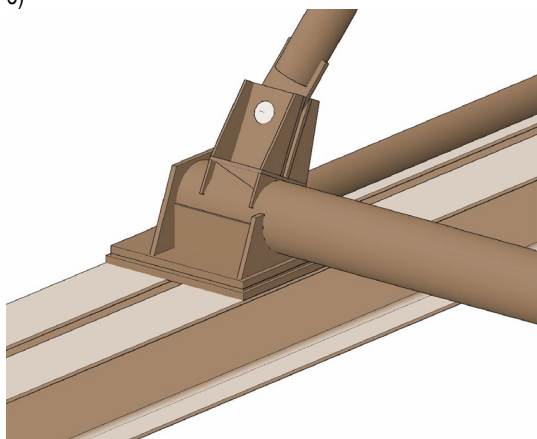


Рис. 5. Узел опирания фермы на двутавровые балки: а) чертеж; б) 3D модель

1.2. Покрытие спорткомплекса “Виктория” в г. Бресте. Структурная плита покрытия поддерживается в средней части двумя металлическими арками и опирается по контуру на сталебетонные колонны с шагом 6с и четыре диафрагмы жесткости. Основными несущими конструкциями покрытия являются две металлические арки пролетом 80,62м, установленные вдоль диагонали покрытия на расстоянии 11,2м друг от друга, соединенные связевыми фермами и преднапряженными крестовыми связями для обеспечения их пространственной устойчивости.

Каждая арка состоит из 2-ух типов отпавочных марок: опорных (верхний и нижний пояса - сечением труб 426х14 мм, раскосы 140х6) и промежуточных (верхний пояс - 325х14 мм, нижний пояс 426х14 мм, раскосы – 140х6 мм). Соединения элементов отпавочных марок – сварные, между собой отпавочные марки соединяются на болтах класса прочности 8.8.

В арочную конструкцию включена затяжка (труба 324х14). Во избежание провисания затяжки под весом структурной плиты, узлы которой опираются на неё с шагом 4.24 м, и под собственным весом арочная система дополнена подвесками (труба 127х6), шарнирно связанными с аркой и затяжкой. На расстоянии 2.86м от затяжки в подвески поставлены форкопфы, позволяющие производить натяжение затяжки, тем самым уменьшая её прогиб и прогиб структуры, опирающейся на неё.

Опорные узлы арки установлены на цилиндрические катки диаметром 120 мм, изготовленные из стали 35 ГС. Такая опорная конструкция исключает передачи распорных усилий на колонны от нагрузки и при изменении температуры арок.

Сама арка располагается снаружи, над кровлей, что позволило существенно уменьшить внутренний отапливаемый объём здания без уменьшения полезного объёма. Устойчивость арки из её плоскости обеспечивается вертикальными связевыми фермами, расположенными между арками. Расчетную схему арок см. рис. 6.

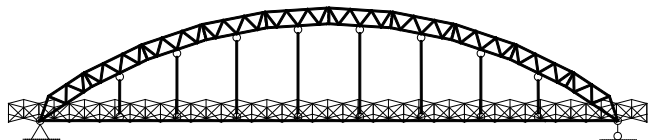


Рис. 6. Расчетная схема арок

Структурная плита имеет одинаковую геометрию для двух вариантов покрытия. Однако узлы структурной плиты СК “Виктория” выполнены узлами типа “Брестпроект”, состоящий из уголков, с отверстиями для болтов, приваренных к пластинам. (см. рис 7) Подробное описание конструктивного решения СК “Виктория” см. [1].

Эти типы узлов имеют ряд конструктивных особенностей.

Преимущество узлов типа “Брестпроект”, примененных на СК “Виктория” в г. Бресте:

- Не требуют монтажной сварки (собираются на болтах).
- Увеличивая число и диаметр болтов, прикрепляемый к узлу стержень, можно увеличить несущую способность узла.
- Болтовые соединения рассчитываются из условия прочности на срез болта и смятие.

Недостатки узлов типа “Брестпроект”:

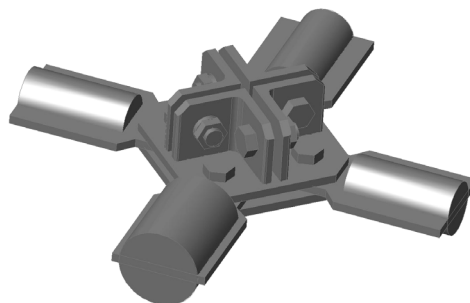
- Наличие физических и геометрических эксцентриситетов в узлах.
- Наличие в строительной конструкции не включающихся в работу стержней, что делает невозможным достоверно описать НДС.

Преимущества узлов типа “БрГТУ”:

- Архитектурная выразительность и привлекательность.
- Высокая несущая способность и пригодность воспринимать нагрузки свыше 3кН/м² при пролетах до 150м.
- Высокая индустриальность изготовления всех элементов, их полная заводская готовность.
- Возможность их широкой унификации для зданий с различными пролетами, нагрузками, схемами опирания, эффективность по расходу стали, трудозатратам и сокращениям сроков строительства.

На рис. 7(а, б) показан внешний вид узлов типа “Брестпроект” и узлов типа “БрГТУ”.

а)



б)

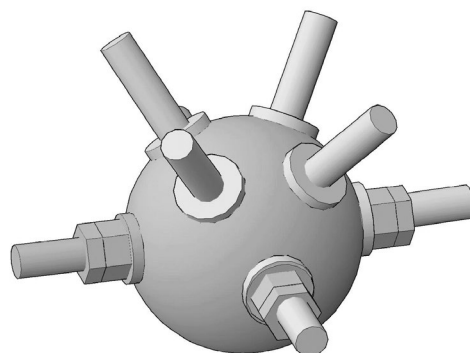


Рис. 7. (а) типовой узел системы “Брестпроект”, примененный в покрытии СК “Виктория”, (б) типовой узел системы “БрГТУ” (стержни в узлах условно не показаны)

1.3. Отличия конструктивных решений спорткомплексов.

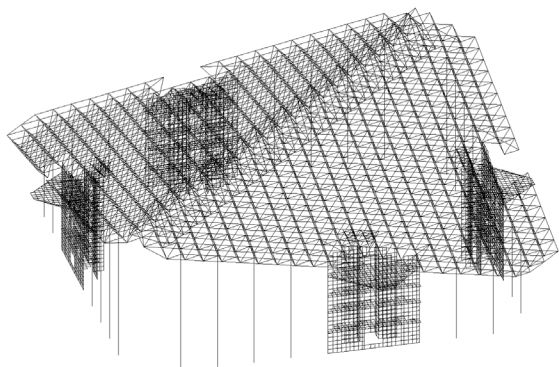
Основными отличиями этих проектов являются:

- Применение в структурных плитах различных типов узлов (узлы типа “Брестпроект” для СК в г. Бресте и узлы системы “БрГТУ” для СК в г. Гродно)
- В качестве основной несущей конструкции СК в г.Бресте применялись арки, соединенные между собой связевыми фермами, а для СК в г. Гродно применялась пространственная ферма.
- Арки находятся над кровлей и подвергаются температурным воздействиям, треугольная пространственная ферма является одновременно конструкцией фонаря и находится внутри здания, не подвергаясь температурным нагрузкам.
- В СК “Виктория” в конструкции структурной плиты около диафрагм жесткости была уменьшена типовая ячейка для восприятия больших усилий. В СК в г. Гродно ячейка не уменьшалась, а были введены диагональные стержни для восприятия этих усилий.

- В СК «Виктория» расстояние между осями затяжек, на которые опирается структурная плита, составило 11,2м, а для СК в г. Гродно расстояние между нижними поясами пространственной фермы составило 7,1м, т.е. произошло увеличение пролета структуры из-за изменения геометрии несущей конструкции.
- Опорные узлы арок запроектированы при помощи катков, установленных на колонны, а фермы передают свои усилия на балку при помощи опорного узла, через фторопластовую пластину.
- Также имеются отличия в прикладываемых нагрузках.

2. Расчетная модель покрытия. Расчеты конструкции покрытия были произведены при помощи ПК «Лира» и «Лир СТК» и контролировались по методикам, изложенным в нормативных документах.

а)



б)

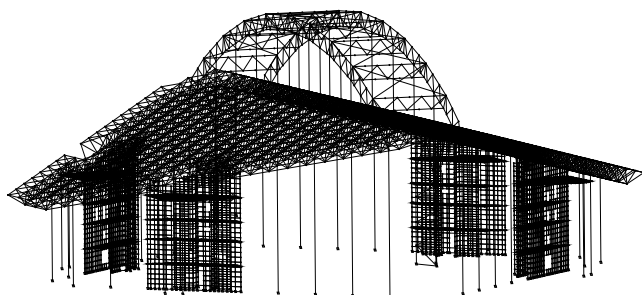
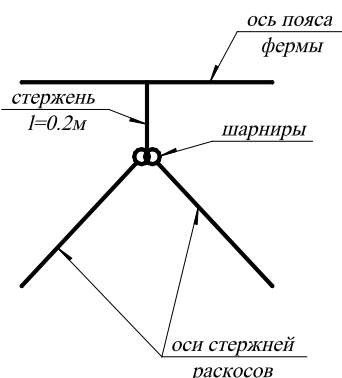


Рис. 8. а) расчетная модель СК в г.Гродно; б) расчетная модель СК «Виктория» в г.Бресте

Были разработаны расчетные модели, которые позволили учесть особенности работы комбинированных металлических конструкций обеих зданий. Стержни структурных плит, пояса, раскосы арок и фермы описывались пространственными стержневыми элементами, узлы структуры моделировались пространственными шарнирами [1].

Узел примыкания стержней раскосов к поясам ферм – шарнирный, и моделировался путем прикрепления к поясу фермы жесткой вставки (в виде стержня $l=0,2м$), равный расстоянию от нижнего пояса фермы до центра узла структуры, и создания шарниров по концам раскосов (см. рис. 9а).

а)



б)

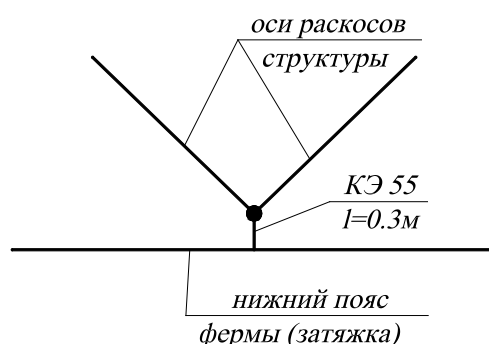


Рис. 9. а) Узел шарнирного прикрепления раскосов к поясам ферм; б) узел опирания структуры на нижний пояс фермы или затяжку (КЭ модель)

Вся модель загружалась десятью видами нагрузок и воздействий.

- загрузка: «собственный вес»
- загрузка: «снеговая нагрузка»
- загрузка: «ветер слева»
- загрузка: «ветер справа»
- загрузка: «вес табло»
- загрузка: «составляющая по контуру»
- загрузка: «вес кровли»
- загрузка: «прожекторное освещение»
- загрузка: «температурные воздействия»

Необходимо отметить что загрузки, отмеченные знаком * являются одинаковыми для обеих конструкций.

Из вышеперечисленных загрузок было образовано несколько различных РСН для наиболее невыгодных комбинаций.

3. Сравнительный анализ НДС конструкций покрытия. В силу симметричности конструкции покрытия для проведения анализа можно рассматривать $1/4$ часть, т.е. $1/2$ часть арки или фермы и $1/4$ часть структурной плиты.

Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции покрытия также был выполнен по эпюрам вертикальных перемещений (по оси z) см. рис. 10, составленных для продольного и поперечного сечений, проходящих по осям симметрии покрытия.

Все перемещения представлены в мм.

Из-за симметрии эпюра перемещений показана лишь на половине конструкции.

f_{max} принято в соответствии со СНиП 2.01.07-85, прил. 10 [2], что соответствует $1/300$ пролета или 296мм.

Эпюры со знаком * построены для СК в г. Гродно, а без знака * для СК в г. Бресте

Эпюры построены о:

- 1 - от собственного веса конструкции покрытия (приложенного в ПК «Лира» в зависимости от заданных сечений);
- 2 - от снеговой нагрузки

$$PCN1 = \sum P + 0,9(S+W+T); PCN2 = \sum P;$$

где P, S, W, T – соответственно постоянная, снеговая, ветровая и температурная (только для СК «Виктория») нагрузки.

Как видно из рис. 10 перемещения от всех видов нагрузок для СК «Виктория» приблизительно равны для СК в г. Гродно, и при любых нагрузках и воздействиях перемещения не достигают предельно допустимых значений.

Элементы ферм и арок, с затяжками, безусловно являются важнейшими элементами в конструкциях покрытий, поэтому при анализе НДС была построена диаграмма зависимости перемещений в середине пролета от величины усилий, возникающих в элементах ферм и затяжек. Данные зависимости приведены на рис. 11.

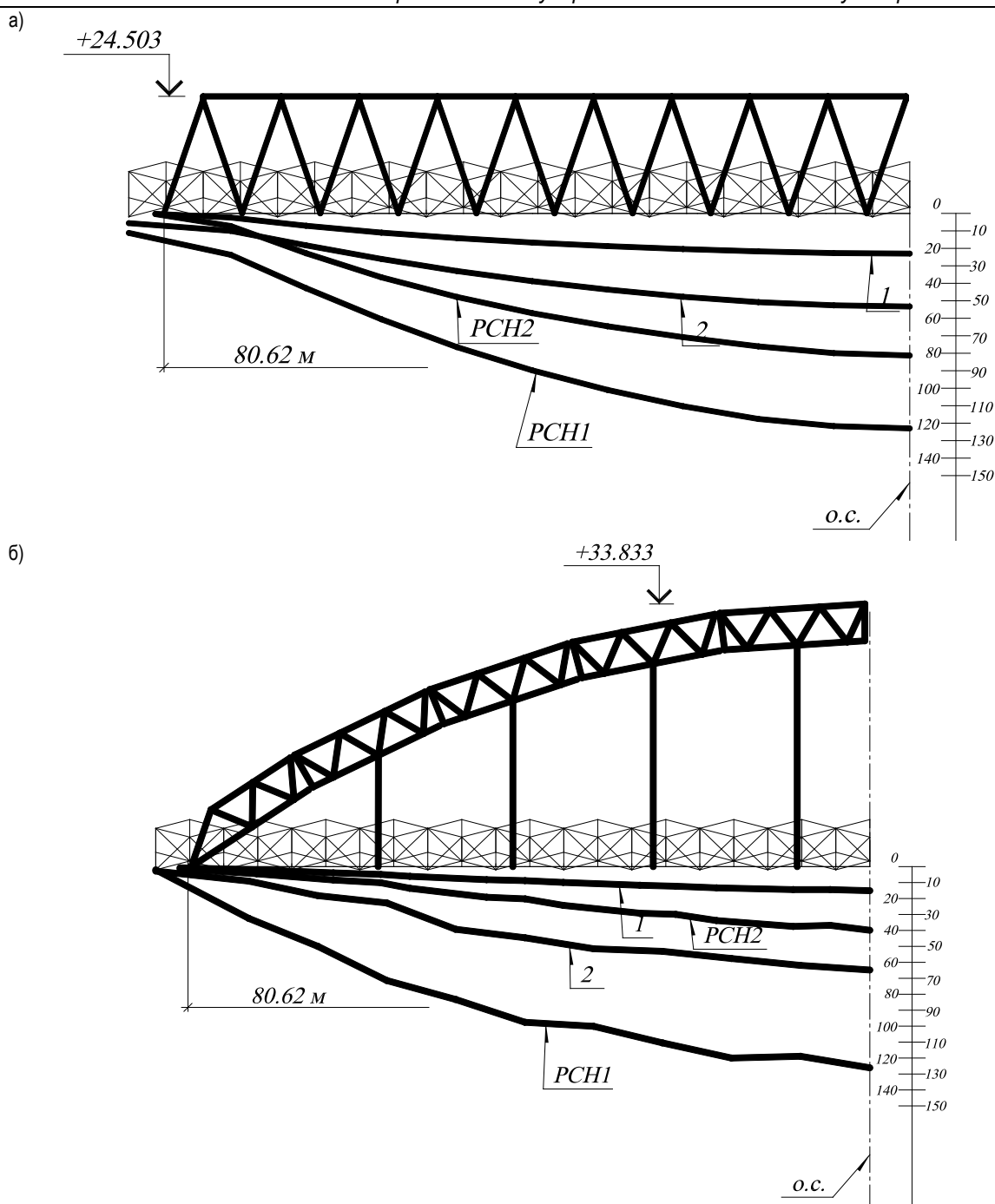


Рис. 10. Характер деформирования металлических конструкций: а) покрытие спортивного комплекса в г.Бресте, б) покрытие спортивного комплекса в г. Гродно

f(N) для эл-в арки и фермы

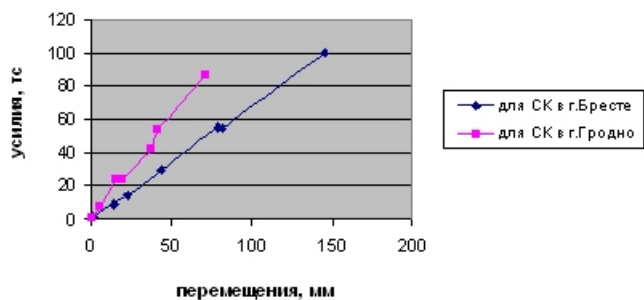


Рис. 11. Зависимость перемещений в середине пролета покрытия от величины максимальных усилий, возникающих в ферме и арках

Т.к. арка является более жесткой, чем ферма, соответственно и усилия в структуре этой конструкции несколько ниже, чем в структуре, опирающейся на ферму. Именно конструкция данных спорткомплексов подходит для подобного сравнительного анализа, т.к. они являются одинаковыми, за исключением особенностей, описанных в п.2.3 данной статьи.

Если проводить сравнительный анализ усилий для ферм и арок, то можно сказать, что максимальные усилия в нижнем поясе арки составляют -105тс у опоры и -14тс в середине пролета, в нижнем поясе арки -3тс у опоры и -99тс в середине пролета, максимальные усилия в раскосах до 13тс, усилия в затяжке достигают 99тс, в то время когда в нижнем поясе фермы составляют от 5 до 99тс, в верхнем поясе фермы - от -10 до -83тс, усилия, возникающие в решетке раскосов достигают -25тс.

Сравнивая обе конструктивные схемы, можно отметить, что конструкция с применением фермы больше обеспечивает совместную работу всех элементов конструкции покрытия. Об этом говорит тот факт, что некоторое уменьшение усилий в элементах фермы сказывается на возрастании усилий в элементах структуры.

Вывод. Конструкция СК в г. Гродно является усовершенствованной, о чем говорит расход стали, где масса арок (со связевыми фермами, затяжкой и подвесками) составляет – 102т, масса фермы – 48т, вес 1м² структурной плиты для г. Бреста – 43,6кг, для г. Гродно – 48кг (данные по г. Гродно даны для архитектурного проекта).

Применение большепролетной пространственной фермы с балластным шарниром в конструкции покрытия дало ряд преимуществ перед обычными тяжелыми фермами:

- Элементы не имеют мощных и переменных сеченых, а все стержни выполнены из труб, что дало экономию материала 20-25%;
- Узлы запроектированы без применения большого количества высокопрочных болтов, закреплены лишь одним крепежным элементом;

- Все узловые сопряжения обеспечивают герметизацию внутренней полости, чтобы предотвратить возникновения там коррозии;
- Экономия также достигается за счет уменьшения числа «лишних» деталей и уменьшения размеров фасонки.

Приведенные эпюры перемещений, зависимость перемещений в середине пролета от величины усилий, возникающих в элементах ферм и арок, позволяют говорить о большой прочности и достаточной жесткости обеих конструкций покрытий, а также подтверждают надежную работу комбинированного покрытия при действии проектных нагрузок.

Запроектировано новое конструктивное решение покрытия, которое обеспечивает восприятие проектных нагрузок и воздействий с близкими значениями характеристик напряженно – деформированного состояния, как в СК «Виктория» в г. Бресте.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. В.И. Драган, А.Б. Шурин. Конструкции арок комбинированного покрытия универсального спортивного комплекса в г. Бресте. //Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. -2006. -№1.
2. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85/ Госстрой СССР. – М.: ЦИПТ Госстроя СССР, 1988. – 36с.

Материал поступил в редакцию 14.01.09

DRAGAN V.I., MORILOVA N.L. Specificities of industrial design and estimate span roofing of a sport complex in Grodno

In the article analysis mode of deformation of the wide – span roofing of a sport complex in Grodno are investigated. Industrial design and finite element model are described, comparison mode of deformation condition of construction's of the sports complex in Grodno and in Brest. New industrial design of roofing are design, which error – proof perception design loads and actions with close rating mode of deformation condition, such as in sport complex "Victoria" in Brest. Results of diagram displacement, relation of force value, incipient in elements of girder and arch's, allow pronounced about large durability and sufficient stiffness of both roofing construction, and also corroborate dependable performance wide – span roofing at action of design load. Analysis prove the effectiveness application wide – span composite structure of roof for all – service building.

УДК 624.014.2

Малиновский В.Н., Шалобьта Н.Н., Кривицкий П.В.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ПОЛОГО ОТОГНУТОЙ АРМАТУРОЙ

Введение. Материал железобетонных балок, армированных отогнутой арматурой, находится в сложном напряженном состоянии. Экспериментальное определение особенностей напряженно-деформированного состояния как бетона, так и арматуры по длине балки требует больших трудо- и материальных затрат, поэтому целесообразным в их изучении является численное моделирование, в частности, с использованием конечно-элементных моделей (КЭ-модели) [1]. Одним из недостатков использования существующих вычислительных комплексов для определения напряженно-деформированного состояния железобетонных балок является нечеткость моделирования сути преднапряжения и невозможность учета такой важной особенности железобетона, как сцепление арматуры с бетоном. Разработанные авторами алгоритм и на его основе программа расчета позволили компенсировать в расчетной схеме неучитываемые при КЭ-моделировании особенности железобетонной балки с преднапряженной полого отогнутой арматурой; произвести сравнение полученных результатов расчетов по двум расчетным моделям и установить отличительные особенности в напряженно-деформированном состоянии балок.

Описание численных расчетных моделей железобетонной балки с полого отогнутой арматурой. С применением вычисли-

тельного пакета «MSC.visualNastran for Windows» [1] разработана КЭ-модель железобетонной балки с предварительно напряженной полого отогнутой арматурой. Для построения конечно-элементной трехмерной модели применено твердотельное моделирование с использованием конечных элементов «Solid» (твердотельные пространственные пяти- и шестигранные элементы типа «Brick» («Брус») и «Wedge» («Клин»). Схема разбиения бетона и арматуры балки на конечные элементы в виде горизонтальных слоев (рисунок 1) выбрана в связи с предполагаемой незначительной разницы в напряжениях внутри армирующего стержня при изгибе рассматриваемых балок. Данное предположение впоследствии подтверждено проведенными расчетами, согласно которым уровни напряжений в центрах объемов элементов и в их вершинах как для арматуры, так и для бетона отличаются незначительно (на доли процента).

В расчетной модели с использованием вычислительного комплекса [1] создание предварительного напряжения в балках обеспечивается путем введения отрицательной разности температур материалов – арматуры и бетона [2]. Необходимый уровень температуры подбирался с использованием экспериментальных данных [3] и контролировался исходя по значению максимального выгиба моделируемой балки после создания в ней преднапряжения. Сопряжение арматуры и бетона в представленной расчетной модели задавалось

Малиновский Василий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Шалобьта Николай Николаевич, старший преподаватель кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Кривицкий Павел Васильевич, студент строительного факультета Брестского государственного технического университета Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.