

**Выводы**

1. Податливость элементов структурного покрытия привела к увеличению прогиба конструкции, и в свою очередь, к перераспределению усилий за счет высокой степени статической неопределенности.
2. Учет податливости болтовых соединений структурной конструкции позволил приблизить расчетную схему к действительной работе конструкции. Однако из-за неравномерного включения стержней в работу точно описать жесткость узлов и стержней не представляется возможным.
3. Учитывая возможное перераспределение усилий и изменение знака усилия, стержни структурной плиты рекомендуется подбирать по предельной гибкости для сжатых стержней.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Драган, В.И. Конструкции арок комбинированного покрытия универсального спортивного комплекса в г. Бресте / В.И. Драган, А.Б. Шуриц // Вестн. Брест. гос. тех. ун-та. – 2006. – № 1(37): Строительство и архитектура. – С. 87–91.
2. Драган, В.И. Экспериментальное исследование несущей способности большепролетного металлического покрытия здания универсального спортивного комплекса в г. Бресте / В.И. Драган, А.Б. Шуриц // Строительная наука и техника. – Мн., 2005. – № 2. – С. 9–14.
3. Трофимов, В.И. Учет влияния податливости болтового соединения на работу структурной конструкции / В.И. Трофимов, Э.В. Третьякова, И.И. Зуева // Строительная механика и расчет сооружений. – 1976. – №7. – С. 24–26.
4. Рекомендации по проектированию структурных конструкций / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1984. – 304 с.

*Материал поступил в редакцию 03.01.08*

**DRAGAN V.I., SHURYN A.B. The account of influence of a ductility of central connection combined a structural shell on its is intense-deformed status**

The description of constructive solution of a combined structures in Brest is presented in this paper. The review of researches of influence of a ductility of bolts of connections on operation of structural constructions is fulfilled. The FEM of a combined structural shell is offered. The results of influence of a pliability of nodal connection of a combined structural construction on its intense deformed status are given.

УДК 624.014.27

**Драган В.И., Морилова Н.Л.**

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО ПОКРЫТИЯ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА «ВИКТОРИЯ» В г. БРЕСТЕ**

**Введение.** Одной из важнейших задач безопасности строительства является улучшение характеристик зданий по замедлению или предупреждению прогрессирующего разрушения. Решить эти проблемы невозможно без разработки специальных методов оценки стойкости зданий против прогрессирующего обрушения при комбинированных особых воздействиях. Поэтому необходимо выполнять расчеты не только в установившемся режиме, но и в аварийном режиме, вызванном чрезвычайной ситуацией при расчетных схемах, когда один из несущих элементов или их сочетание... разрушены.

Здания должны быть защищены от прогрессирующего (цепного) обрушения в случае локального разрушения их несущих конструкций при аварийных воздействиях, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации зданий (пожары, взрывы, ударные действия транспортных средств, несанкционированная перепланировка). Конструктивная схема здания должна обеспечивать его прочность и устойчивость в случае локального разрушения несущих конструкций как минимум на время, необходимое для эвакуации людей.

**1. Методика расчета на прогрессирующее обрушение.** Использование в строительстве методики нормирования, основанной на коэффициентах надежности, теоретически обеспечивает безопасность строительных конструкций. Однако опыт эксплуатации конструкций показывает, что надежность является необходимым, но не достаточным условием безопасности.

Конструкции зданий и сооружений первой категории ответственности рассчитываются с учетом таких экстремальных природных воздействий, как максимальное расчетное землетрясение, ураганы, экстремальные ветровые, снеговые нагрузки. Помимо того, учитываются воздействия, вызываемые деятельностью человека: максимальная проектная авария, падение на здание самолета, воздушная ударная волна при взрыве твердых веществ или газопаровоздушных смесей внутри здания или за ее пределами.

Другой способ применяется, когда может быть установлена вероятность реализации экстремальных событий. В некоторых странах достаточно «осторожным» значением считается величина  $10^{-7}$  событий год на одно здание. Другой уровень вероятности, начиная с ко-

торого событие обязательно должно учитываться, является проектная вероятность. Обычно она примерно на порядок больше, чем отобранный уровень.

Прогнозирование безопасности сооружений заключается в определении зоны риска и скорости ее роста до допускаемой величины, установленного для каждого конкретного случая.

Ключевым вопросом является выбор нормативных значений для показателей риска и безопасности объектов различного назначения. Это — трудная техническая и социально-экономическая задача, для решения которой в настоящее время предлагаются различные подходы.

Для объектов с повышенной ответственностью (многофункциональные высотные здания, ответственные инженерные и другие уникальные сооружения) предложены значения приемлемого риска порядка  $10^{-4}$ - $10^{-5}$  событий год. Нормативный риск ( $10^{-6}$ - $10^{-7}$  событий год).

Обрушение сооружений может происходить по двум схемам: либо с постепенным накоплением напряжений и деформаций и последующим обрушением несущих конструкций, либо быстротечно (прогрессирующее обрушение) при возможно даже кратковременном, но существенном перегрузе важного несущего элемента конструкций, при разрушении которого и возможно последующее прогрессирующее обрушение.

При первом способе обрушения, как показывает многолетний опыт обследования и мониторинга зданий и сооружений, нет необходимости вести непрерывный контроль деформаций конструкций, достаточно его вести регулярно периодически, что и заложено в разрабатываемые нормы многофункциональных зданий.

Защитой от второго способа обрушения может быть надежный расчет несущих элементов конструкций только на основе риск-анализа и разработка соответствующих конструктивных мероприятий, обеспечивающих недопустимость прогрессирующего обрушения, поскольку при такой схеме обрушения не могут помочь какие-либо системы контроля деформаций строительных конструкций, так как если процесс начался, то в силу его скоротечности, равносильной взрыву, даже предварительное обнаружение не дает возможности предпринять какие-либо предотвращения или спасения людей и оборудования.

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

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

Катастрофическое воздействие может вызывать принципиальное изменение расчетной схемы сооружения и, одновременно с этим – работу конструктивных элементов в запределном состоянии, не предусмотренном действующими нормативами.

Защита от прогрессирующего обрушения в настоящее время стоит настолько остро, что были созданы различные нормативные документы, основной целью которых является обеспечение многофункциональных зданий при запроектных чрезвычайных ситуациях.

Расчет здания в случае локального разрушения несущих конструкций производится только по предельным состояниям первой группы. Развитие неупругих деформаций, перемещения конструкций и раскрытие в них трещин в рассматриваемой чрезвычайной ситуации не ограничиваются.

Расчет здания также можно выполнять с использованием различных программных комплексов, в том числе основанных на методе конечного элемента. Использование программных комплексов, допускающих возможность учета физической и геометрической нелинейности жесткостных характеристик элементов, обеспечивает наибольшую достоверность результатов расчета и снижение дополнительных материалозатрат.

Полученные на основании статического расчета усилия в отдельных конструктивных элементах должны сравниваться с предельными усилиями, которые могут быть восприняты этими элементами. Устойчивость здания против прогрессирующего обрушения обеспечена, если для любого элемента соблюдается условие  $F \leq S$ , где  $F$  и  $S$  соответственно усилие в конструктивном элементе, найденное из выполненного статического расчета, и предельно допустимое усилие в элементе, установленное с учетом физико-механических характеристик материала, и геометрических характеристик сечения. Конструкции, для которых требования по прочности не удовлетворяются, должны быть усилены, либо должны быть приняты другие меры, повышающие сопротивление конструкций прогрессирующему обрушению.

**2. Моделирование прогрессирующего обрушения СК «Виктория».** В СК «Виктория» две различные несущие конструкции: металлические арки и структурная плита с различным механизмом перераспределения сил, объединены в единую действующую комбинированную систему с новым механизмом работы. Причем нельзя сказать, что какая-либо из этих конструкций играет второстепенную роль: у каждой из них своя функция. Необходимо отметить, что применение конструкций подобного типа (комбинирование различных конструкций) широко ценится и часто используется в мировой строительной практике [1].

С целью изучения поведения данной конструкции в критических ситуациях был проведен ряд теоретических исследований (расчет на прогрессирующее разрушение). При помощи компьютерного моделирования были созданы различные аварийные ситуации, с помощью которых выяснялось, как будет происходить распределение

нагрузок в случае «аварии».

Расчеты были выполнены при помощи вычислительного комплекса «Лира 9.2». При составлении расчетной схемы для компьютерного моделирования (рис. 1) сечения стержневых элементов структурной плиты и элементы несущих арок описывались сплошными стержневыми элементами эквивалентной жесткости. Опорные узлы несущих арок были описаны при помощи конечного элемента, моделирующего упругую связь (КЭ55).

Расчеты были выполнены на стадии проектирования, что позволило выявить наиболее ответственные элементы и придать им дополнительный запас прочности.

Такого рода ситуации моделировались путем «удаления» выбранных элементов из расчетной схемы. При этом необходимо было создать алгоритм, по которому выбирались элементы, относительно которых будут происходить исследования.

Это должны быть элементы, имеющие если не максимальное усилие, то близкое к нему, и в то же время «ответственные» элементы, т.е. элементы, выход которых из рабочего состояния может существенно повлиять на работы других элементов или здания в целом. Также искомый элемент должен являться опорой, удаление которой может повлечь обрушение конструкции в целом.

Существенным вопросом был вопрос о приложении нагрузок. Здание может только частично рассчитываться на неординарные (запредельные) напряжения. В противном случае это означало бы, что вместо легких зданий и сооружений необходимо строить бункеры [2]. Расчетное сочетание нагрузок должно быть максимально приближено к реальному и таким, чтобы при создании аварийной ситуации конструкция имела запас прочности на период времени, необходимый для безопасной эвакуации людей из здания. Для всех моделируемых ситуаций было создано следующее расчетное сочетание нагрузок.

Для расчетного сценария при расчете поврежденной конструктивной системы при удалении одного из ключевых элементов принималось сочетание

$$G_k + 0.5Q_k + 0.3S_k + 0.2W_k,$$

где  $G_k$ ,  $Q_k$ ,  $S_k$ ,  $W_k$  – соответственно нормативные значения нагрузок собственного веса, полезной (переменной), снега, ветра.

Постоянные и временные длительные нагрузки при расчете устойчивости здания против прогрессирующего обрушения следует принимать в соответствии с МГСН 4.19-05 и EN 1990 (ЕС 1). При этом коэффициенты сочетаний нагрузок и коэффициенты надежности по нагрузке принимаются равными единице [3, 4].

При составлении компьютерной модели были созданы следующие загрузки и приняты следующие коэффициенты для расчета на прогрессирующее разрушение (РСН1):

1. «Технологическая нагрузка» (постоянная нагрузка  $K=1,0$ );
2. «Ветер слева» (ветровая нагрузка, принятая с  $K=0,2$ );
3. «Ветер справа» ( $K=0,2$ );
4. «Прожекторное освещение» (постоянная нагрузка  $K=1$ );

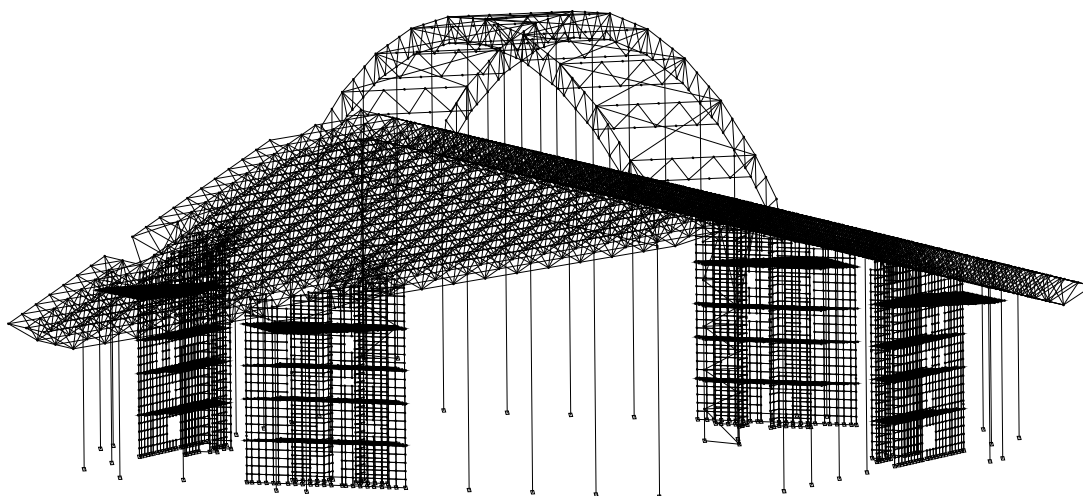


Рис. 1. Расчетная модель СК «Виктория»

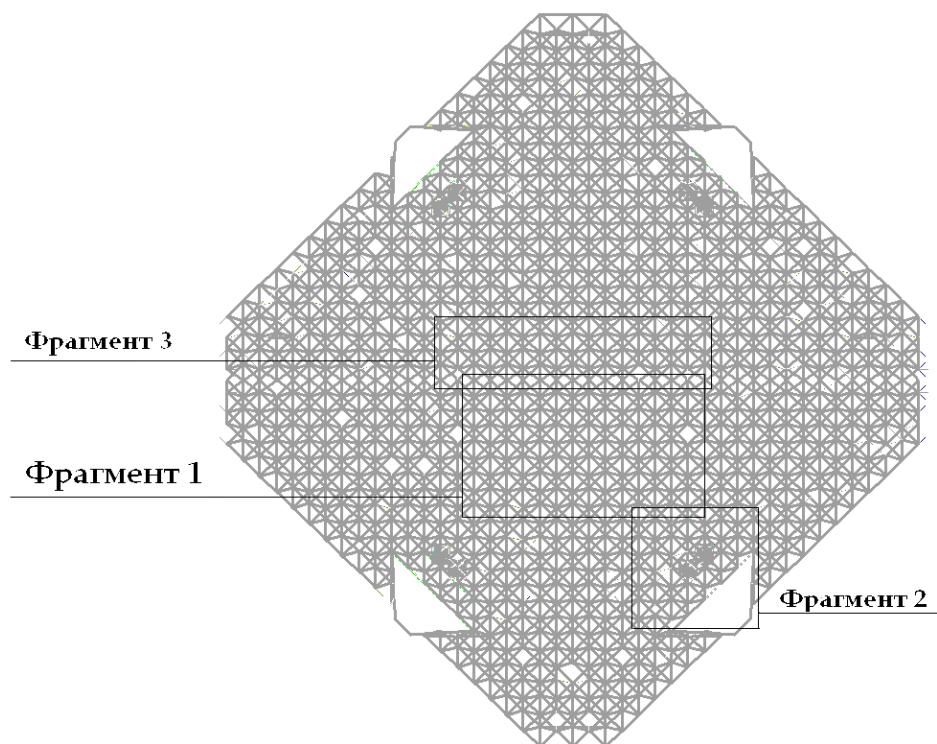


Рис. 2. Деление конструкции покрытия СК «Виктория» на фрагменты

5. «Снеговая нагрузка» (принят  $k-t K=0,3$ );
6. «Постоянная от покрытия» (постоянная нагрузка  $K=1,0$ );
7. «Составляющая по контуру» ( $K=1,0$ );
8. «Собственный вес конструкций» (был принят коэффициент  $K=1,0$ ).

Эти загрузки и принятые для них коэффициенты были применены ко всем моделируемым ситуациям, т.е. в процессе расчетов на прогрессирующее разрушение менялись лишь удаляемые элементы с целью обнаружения «ключевого» элемента.

Были созданы следующие аварийные ситуации работы здания:

- ✓ ситуация образования третьего шарнира в арках;
- ✓ ситуация обрыва подвески одной из арок;
- ✓ ситуация разрыва стержней структуры
- ✓ ситуация разрыва затяжки в одной из арок.

Исследования показали, что наибольший интерес вызывает ситуация «с разрывом затяжки» которая будет рассмотрена далее.

Затяжка – является одним из самых «ответственных» элементов конструкции. Она несет в себе двойную функцию. Первая её функция, классическая – восприятие распора арочной конструкции, вторая же её функция – опорная, т.е. она является опорой для структурной плиты, тем самым уменьшая пролет покрытия.

Именно поэтому, было важно смоделировать ситуацию, в которой по какой-либо причине затяжка не включится в работу. Для этого в программе «Лири» была удалена центральная часть затяжки в одной из арок. (Наибольший интерес представляют не симметричные ситуации, чтобы проверить работу не только в критической ситуации, но и в несимметричной). В арочной конструкции затяжка воспринимала распорные усилия арок, но после её «обрыва» восприятие распора передалось на структуру, в связи с чем сильно возросли усилия в её стержнях. Кроме того увеличился пролёт структурной плиты.

Был проведен тщательный анализ всех элементов покрытия. Для этого структурное покрытие было «разделено» на 3 фрагмента (рис. 2). Усилия в стержнях структуры в 1 и 2-м фрагментах не достигают предельных значений, запас прочности составляет 30-40%. Максимальные перемещения узлов в этих фрагментах составляют 70-90 мм, при нормальной работе конструкции (РСН1) перемещения равняются 45-55 мм.

Наибольший интерес представляет 3-й фрагмент, в котором 2 стержня достигают усилий близких к предельным. Оба стержня структуры находятся в месте опирания структурной плиты на затяжку и имеют сечение  $50 \times 3,5$  мм. Следующим шагом моделирования прогрессирующего обрушения было удаление этих элементов из расчетной схемы. Необходимо было проверить, повлечет ли удаление этих элементов потерю несущей способности каких-либо других элементов конструкции или нет.

При моделировании аварийной ситуации с удалением некоторых стержней структуры, как видно из таблицы 1, распределение усилий в структурной плите в месте обрыва стержня усилие распределяется на близлежащие стержни. Усилия приведены для стержней, находящихся в непосредственной близости к стержням, достигшим предельных значений.

Усилия при шаге 2 возрастают по сравнению с усилиями при моделировании прогрессирующего обрушения, но при этом не один из элементов не исчерпывает своего запаса несущей способности. Поэтому прогрессирующее обрушение покрытия не развивается.

Работа арки в комбинированной конструкции покрытия интересна тем, что арка с оборванной затяжкой разгружается и перестает воспринимать внешние нагрузки и воздействия, а вторая арка наоборот нагружается сильнее, о чем свидетельствует разность перемещений в обоих арках (рис. 3, 4). На рис.4 (см. стр. 93) показаны эпюры усилий, возникающих «до» и «после» моделируемой ситуации, но ни одно из возникших усилий не является предельным.

Фрагмент А, находящийся в опорной части арок, показывает, что в арке с оборванной затяжкой усилия существенно уменьшаются, что говорит о том что арка начинает выключаться из работы, это же видно из фрагмента Б, расположенного в коньковой части конструкции этой же арки. В данных элементах усилия не просто уменьшаются, но и меняют знак, их разность в фрагменте А достигает 65тс., фрагмент Б показывает, что максимальное изменение усилий составит 50тс. При этом для всех элементов арки с разорванной затяжкой несущая способность обеспечивается.

Из фрагментов А\* и Б\* видно, что другая арка, напротив, становится более нагруженной о чем говорят возрастающие усилия, разность которых составляет 15-30% по сравнению с усилиями, возникающими при нормальной работе конструкции (РСН1) – максимальное увеличение усилий фрагмента А\* составляет 20тс. При этом для всех элементов второй арки несущая способность обеспечивается.

Таблица 1

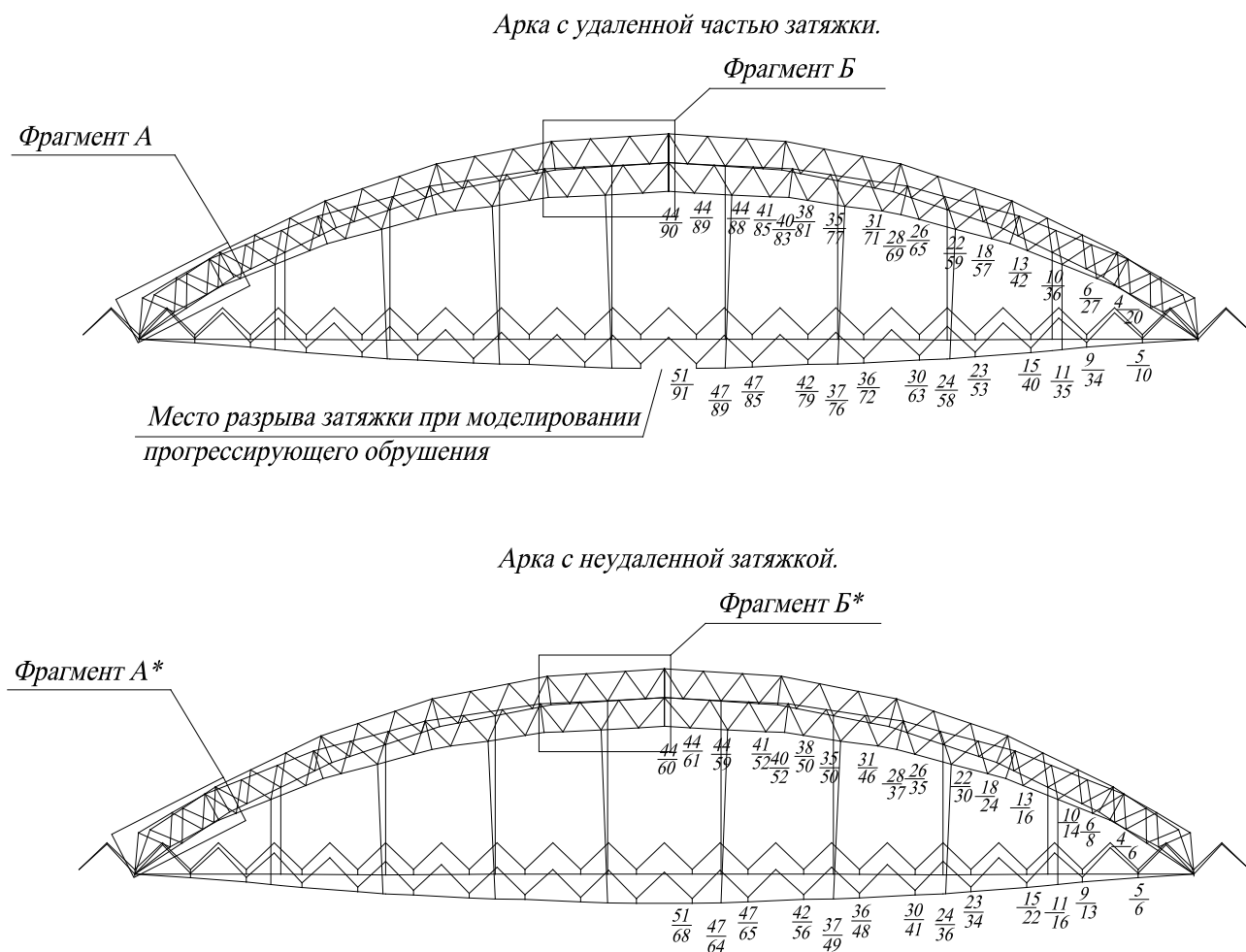
Месторасположение элемента	№ эта	Усилие, возн. в случае прогрессирующего обрушения т.с.	Максимально доп. усилие т.с.	Усилие при нормальной работе т.с.*	Усилие при шаге 2 **	сечение элемента
элементы нижнего пояса	<b>2424</b>	-2.29	-2.3	-0.06	элемент удален из расчетной схемы	50x3.5
	2380	-1.72	-2.3 10.9	0.48	-0.6	50x3.5
	2398	-2.14	-12.03	-0.69	-2.35	60x4
	2379	-0.94	-12.03 13.83	0.27	-1.14	60x4
	2425	-1.42	-12.03	-0.28	-1.45	60x4
элементы верхнего пояса	1491	-2.63	-12.85	-2.32	-3.08	89x4
	2397	-1.75	-19	-2.48	-2.13	114x4
	2435	-0.47	-19	-1.57	-0.93	114x4
	1975	-1.14	-19	-2.4	-1.63	114x4
	1459	-1.89	-12.03	-1.03	-2.07	63.5x4
	1490	-2.21	-12.03	-1.04	-2.25	60x4
элементы раскосов	1408	0.93	13.83	0.34	1.6	60x4
	1998	-0.63	-2.3	-0.72	-0.07	50x3.5
	1997	-0.56	-2.3	-0.75	-0.93	50x3.5
	2416	-3.66	-12.03	-1.65	-4.1	60x4
	2415	0.35	15.9	0.23	-0.23	63.5x4
	1416	1.11	22.8	0.39	1.69	89x4
	1485	-1.72	-2.3	-0.31	-1.21	50x3.5
	1999	-2.71	-12.03	-1.52	-2.16	60x4
элементы нижнего пояса	<b>4537</b>	-2.38	-2.3	-0.73	элемент удален из расчетной схемы	50x3.5
	4482	-0.84	-12.83 13.83	0.79	0.29	60x4
	2629	-1.45	-12.03	-0.49	-0.28	60x4
	2559	-1.53	-12.03	-0.37	-2.01	60x4
элементы верхнего пояса	2735	-2.48	-12.85	-2.04	-2.98	89x4
	2521	-4.08	-12.85	-2.35	-4.42	89x4
	4557	-2.15	-19	-2.39	-2.5	114x4
	4543	-0.69	-12.85	-1.03	-1	89x4
	3745	-0.67	-19	-1.32	-1.21	114x4
	2727	-1.88	-12.85	-1.36	-2.1	89x4
	4514	-4.29	-12.83	-2.4	-4.84	63.5x4
	2579	-2.15	-19	-2.01	-1.46	114x4
	2724	-2.25	-12.03	-0.69	-1.67	60x4
	2690	2.04	10.9	1.26	1.53	50x3.5
	2574	3.22	10.9	2.001	3.64	50x3.5

\* - для нормальной работы конструкции принималось то же РСН, что и для аварийной ситуации.

\*\* - шагом 2 является второй этап моделирования аварийной ситуации, при котором были удалены стержни, достигшие предельных усилий.

**Вывод.** Анализ накопленных деформаций покрытия в результате моделирования описанной аварийной ситуации показывает высокую жесткость большепролетной конструкции. Максимальный прогиб покрытия составил 92 мм, что значительно меньше предельнодопустимого значения, равного 276 мм [6].

Из моделирования данной ситуации можно сделать вывод: что большепролетное комбинированное покрытие спортивного комплекса «Виктория» в г. Бресте обладает высокой надежностью в работе на восприятие проектных нагрузок и воздействий и исключает возможность развития прогрессирующего обрушения при возникновении непредвиденных катаклизмов природного и техногенного характера.



$\frac{\text{мм.}}{\text{мм.}}$  - перемещение при нормальном режиме работы (РСН1)  
 $\frac{\text{мм.}}{\text{мм.}}$  - перемещение при разрыве затяжки (РСН1)

Ввиду симметричности конструкции разность перемещений представлена только на половине конструкции.

Все перемещения приведены в мм.

Элементы эпор усилий фрагментов А, А\* и Б, Б\* см. рис. 4.

Рис. 3. Разность перемещений элементов перекрытия

#### 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. Некоторые аспекты проектирования и возведения высотных зданий // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. - №11.
3. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. - М.: Правительство Москвы Москомархитектура. – М., 2006. – 34 с.
4. МГСН 4.19-05 «Многофункциональные здания и комплексы». - М.: Департамент градостроительной политики, развития и реконструкции г. Москвы. - М., 2005. – т. II. – 137 с.
5. Основы проектных стратегий, применяемых для защиты зданий от прогрессирующего обрушения // Строительная наука и техника. — 2007. — № 6.
6. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85/ Госстрой СССР. – М.: ЦИПТ Госстроя СССР, 1988. – 36с.

Материал поступил в редакцию 15.01.08

#### DRAGAN V.I., MORILOVA N.L. The reliability evaluation of the metal wide-span roofing of a sport complex "Victoria" in Brest

In the article methods of calculation on progressive collapse are described, the situation of progressive collapse for the combined construction of the sports complex "Victoria's" roofing is simulated. In the article the analysis of the construction's strained-deformed condition in the state of emergency is carried out. The simulation of the situation of the progressive collapse convincingly proves the reliability work of the construction on any cataclysms of the technogenic and natural character and eliminates the situation of progressive collapse.

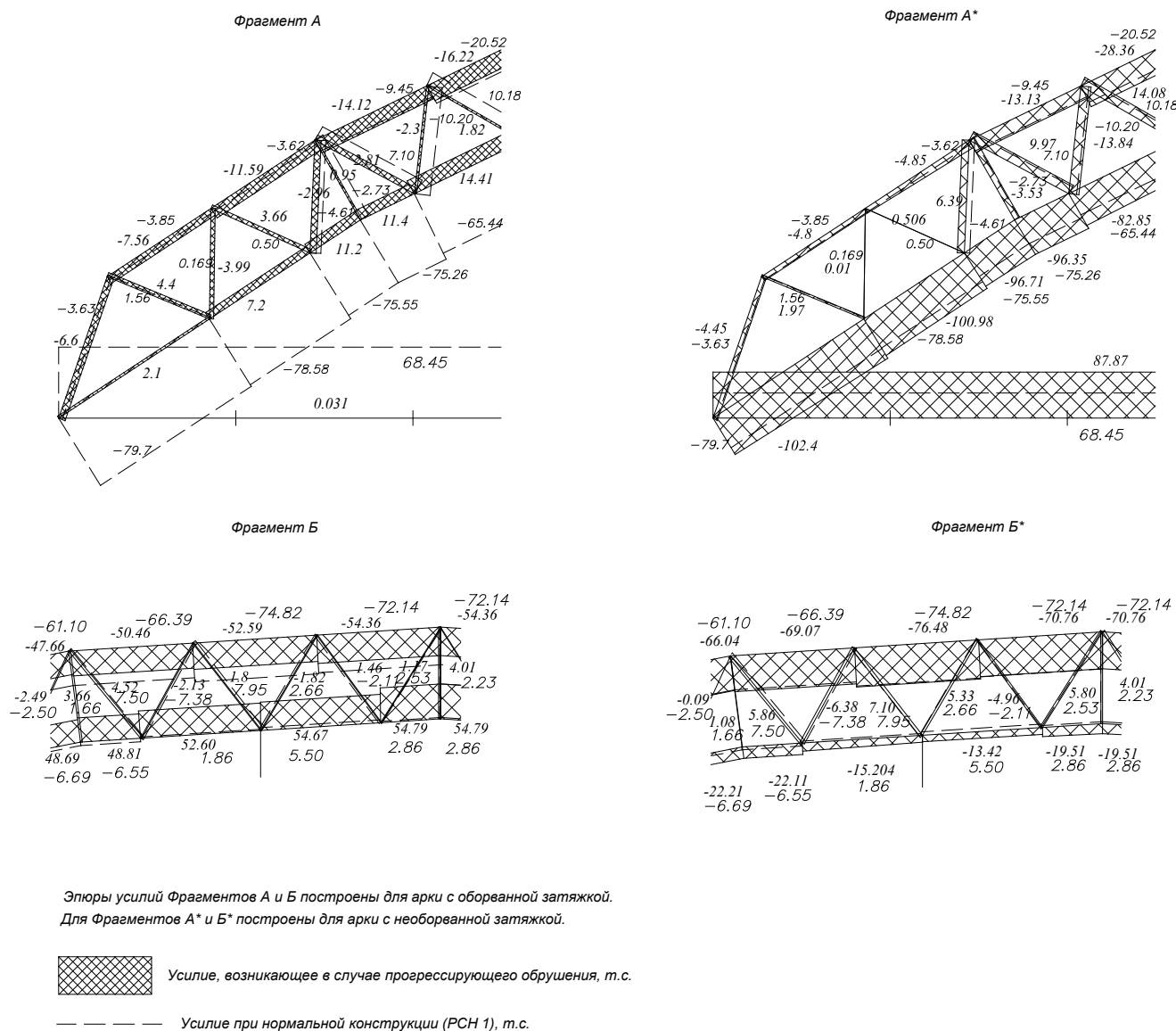


Рис. 4. Эпюры усилий фрагментов А, А\* и Б, Б\* конструкции покрытия СК «Виктория»

УДК 624.012.45

Шалобыта Н.Н., Драган В.И., Шалобыта Т.П.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УЗЛОВ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМЫ «БрГТУ»

**Введение.** В настоящее время в качестве несущих конструкций покрытий промышленных и общественных зданий сложной архитектурной формы или имеющих значительные пролеты широко применяются металлические решетчатые пространственные системы типа структурных плит. Конструктивные решения образования структурных плит отличаются большим многообразием. В мировой практике применения структур насчитывается около 130 различных систем, отличающихся прежде всего конструкцией узла сопряжения стержней [1, 2]. Именно узел сопряжения является наиболее сложным конструктивным элементом структуры, благодаря которому определяются главные особенности технологии изготовления и сборки конструкции. До настоящего времени оптимальное решение не найдено, поэтому в практике строительства соревнуются несколько вариантов соединений элементов в структурных конструкциях: на ванной сварке сплюснутых концов трубчатых стержней или на сварке со стандартными узловыми фасонками; на болтах, изготовленных штампованием или точным литьем, комбинированные узловые со-

единения, в которых сварка выполняется в заводских условиях, а сборка в построечных на болтах.

В данной статье приведены результаты экспериментального исследования при локальном статическом нагружении нового узлового элемента типа «БрГТУ», который представляет собой толстостенную сферическую оболочку. Узловой элемент относится к типу комбинированных [1, 2] и предназначен для соединения стержневых элементов поясов и решетки пространственных систем, выполненных из тонкостенных трубчатых профилей [3].

Узел типа «БрГТУ» выполнен в виде полого шара с отверстиями в стенке (рис. 1). Со стороны полости шара через отверстия пропущены высокопрочные болты с возможностью вкручивания в специальные гайки стержней. Между головками болтов и внутренней поверхностью шара, а также между силовыми гайками и наружной поверхностью шара, установлены шайбы со сферическими обращенными к шару поверхностями [3, 4]. Диаметр шара, толщина стен-