

По результатам нелинейных расчетов различных форм покрытия можно назначить качественные критерии надежности и живучести сложных конструктивных систем:

- деформации конструкцией покрытия при нелинейной работе сложных конструктивных схем с образованием пластических шарниров (относительная диаграмма «нагрузка – перемещение центральных узлов покрытия»);
- коэффициент конструктивной безопасности;
- вычисление математических характеристик надежности на различных этапах жизненного цикла системы;
- нелинейная диаграмма в относительных координатах «нагрузка – количество шарниров»;
- величина накопленного повреждения, измеряемая количеством пластических шарниров, и процент полного или частично исчерпавших несущую способность стержней к общему количеству стержней в структурной конструкции системы «БрГТУ».

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Драган, В.И. Механика большепролетных металлических структурных конструкций системы «БрГТУ» / В.И. Драган, Н.Л. Морилова // Труды VI Международного симпозиума по трибофатике МСТФ 2010 в 2 частях. – Минск: БГУ, 2010. – Ч. 2 – С. 317–322.
2. Драган, В.И. Методика расчета живучести структурных конструкций системы «БрГТУ» / В.И. Драган, Н.Л. Морилова // Вестник БрГТУ. – №1(73): Архитектура и строительство – Брест: БрГТУ, 2012. – С. 39–46.
3. Драган, В.И. Оценка надежности конструкций системы «БрГТУ» на стадии проектирования методом прямого расчета вероятности отказа / В.И. Драган, В.В. Тур, Н.Л. Морилова, А.В. Дмитриева // Вестник БрГТУ. – №1(79): Архитектура и строительство – Брест: БрГТУ, 2013. – С. 43–50.
4. Драган, В.И. Комбинированная структурная оболочка покрытия ледового катка по ул. Головацкого в городе Гомеле / В.И. Драган, А.Б. Шурин, А.В. Мухин, Н.Н. Шалобыта // Сборник трудов XVIII международного научно-методического семинара: в 2-х т. – Новополоцк, 28–29 ноября 2012 / Под общ. ред. Д.Н. Лазовского, А.И. Колтунова. – Новополоцк: ПГУ, 2012. – Т. 1. – С. 53–58.
5. Основы проектирования конструкций: ТКП EN 1990. – Мн.: Типпроект, 2011 – 137 с.
6. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету: ГОСТ 27751-88.
7. Нагрузки и воздействия. Строительные нормы и правила: СНиП 2.01.07-85 / Госстрой СССР. – М.: ГП ЦГП, 1996. – 44 с.

УДК 624.074.5

*Драган В.И., Шурин А.Б., Драган А.В., Морилова Н.Л.*

### **ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМЫ «БрГТУ» В ПОКРЫТИЯХ АВТОВОКЗАЛА В Г. БРЕСТЕ**

#### **Введение**

В начале XXI века для перекрытия больших пролетов, сложных форм в плане, предпочтение отдается легким металлическим конструкциям, чаще всего различным структурным системам. На территории РБ лидером по числу запроектированных и построенным структурных конструкций являются структурные конструкции системы «БрГТУ».

Сегодня структурная система «БрГТУ», получившая широкое применение в Республике Беларусь при строительстве большепролетных сооружений, отличающихся конструктивными и статическими схемами, очертаниями планов,

формами поверхностей, пролетами, методами изготовления и монтажа. Их использование открывает широкие возможности создания сооружений, отличающихся легкостью, высокими технико – экономическими показателями, архитектурной выразительностью. Элементарные схемы разнообразными способами объединяются в сложные пространственные структуры.

Для дальнейшего развития, проектирования и строительства новых объектов с применением структурных конструкций системы «БрГТУ» необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований с целью определения и уточнения новых конструктивных решений, а также реализации новых методов расчета и проектирования конструкций, в том числе в случае аварийных нагрузок и аварийных состояний, включая методы расчета живучести структурных конструкций системы «БрГТУ».

Срок службы современных сооружений достигает 100 лет. На протяжении этого периода они подвергаются действию различных нагрузок. Говорить о том, что на стадии проектирования мы можем проектировать их со 100% надежностью нельзя. В связи с чем для подобного рода объектов еще на стадии проектирования необходима оценка свойств надежности и живучести сооружений.

Существенной особенностью исследований живучести систем является их вынужденная априорность. Нерасчетные условия, возникающие в аварийных ситуациях, крайне редки, и их опыт может быть распространен весьма ограниченно. Проведение специальных испытаний в натуре или просто невозможно, или крайне дорого. Под отказоустойчивостью (стойкостью) понимается проявление свойства живучести в нормальном режиме эксплуатации. Так, в нормах для проектирования АЭС существует понятие «проектной» аварии, на которую в том числе должны быть рассчитаны конструкции.

Если брать более узкий объект исследования – большепролетные уникальные сооружения, то для таких зданий в обязательном порядке должен быть повышенный уровень живучести. Ведь такие сооружения вмещают тысячи людей, а ущерб от их обрушения может быть катастрофическим. Учитывая тот факт, что подобная категория зданий относится к не типовым, нельзя рассматривать их по каким-то общим критериям. Каждое такое сооружение уникально, со своей расчетной схемой и конструктивным решением и подход должен быть соответствующим.

Модель живучести лежит в основе механики катастроф, в рамках которой исследуются процессы накопления повреждений, достижения предельного (критического) состояния, реакции элементов конструкций на внешние воздействия и т.д. Особое место занимает изучение процесса закритического поведения элементов конструкций (систем). Когда в своей закритической области они выходят из строя и оказывают влияние на другие элементы системы, порождая внутренние для самой конструкции негативные воздействия, внешние и внутренние воздействия приводят к последовательности отказов элементов системы, инициирующих ее переход в аварийное состояние. Такие модели незаменимы там, где нужна осознанность в оценке живучести системы.

Проект здания автовокзала в г. Бресте предусматривает перекрытие помещений различного назначения структурными конструкциями системы «БрГТУ» (рис. 1), а именно: перекрытие помещения кассового зала структурной оболочкой (рассмотренной в разделе 1) и проектирование конструкций покрытия навесов над автобусными площадками – 2 симметричные конструкции (рассмотрены в разделе 2).



Рисунок 1 – Главный фасад здания автовокзала г. Бреста

## 1. Конструктивные решения покрытия кассового зала.

1.1. Конструкция покрытия кассового зала по форме представляет собой боковую поверхность усеченного конуса с размерами: 40,8 м – большее основание, 13,846 м – меньшее основание, 28,92 м – длина образующей.

Несущая конструкция является структурной оболочкой с применением металлической системы «БрГТУ» с треугольной ячейкой. Структура имеет ортогональную верхнюю и нижнюю поясные сетки, высота структурной плиты 1,60 м. Структурная плита состоит из правильных тетраэдров с длиной ребер поясов 3,0 м. Распор воспринимается двумя затяжками, расположенными вдоль меньшей и большей сторон оснований усеченного конуса. Кровля покрытия включает прогоны, профнастил, утеплитель и профиль KALZIP 65/400 на клипопорах. В средней части покрытия устанавливается световой фонарь трапецевидного очертания в плане с размерами: 8,25 м – большее основание, 0,34 м – меньшее основание, 11,94 м – длина. Структурная плита опирается на монолитную железобетонную балку по осям 9 и 12. По оси 12 опоры шарнирно неподвижные, по оси 9 – шарнирно подвижные.

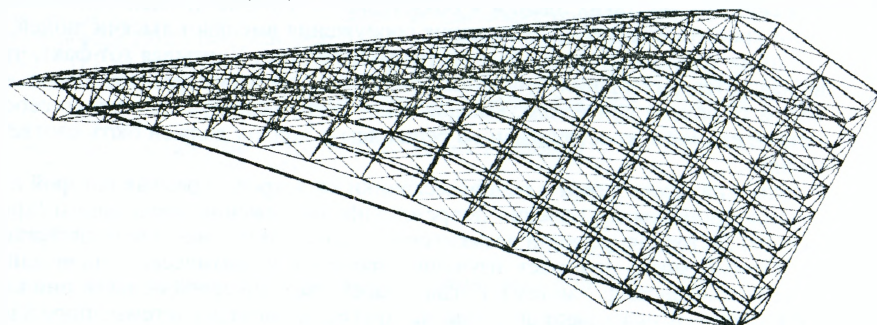


Рисунок 2 – Общий вид расчетной модели покрытия кассового центра

## 1.2. Исследование НДС покрытия кассового зала.

Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния структурного покрытия выполнялось с использованием стержневых конечных элементов с шарнирным сопряжением в узлах (рис. 2). Статические расчеты конструкций покрытия производились при помощи вычислительных комплексов «Lira 9.2» и «SAP2000» и конструировались по методикам, изложенным в нормативных документах. При проектировании применяли следующие нагрузки.

Таблица 1

№ п.п.	Вид нагрузки	Нормативная, кН/м <sup>2</sup>	$\gamma_f$	Расчетная кН/м <sup>2</sup>
1	<i>Постоянная</i>			
1.1	Собственный вес	программно 0.112	1.05	0.118
1.2	Профлист типа KALZIP 65/400 толщ. 1.2мм		1.05	
1.3	Минплита «Белтеп РУФ-35» 115кг/м <sup>3</sup> – толщ. 250мм	0.288	1.3	0.065
1.4	Пленка паронизоляционная «Ютафол Н сильвер» - 220 кг/м <sup>3</sup>	0.05	1.3	0.065
1.5	Прогоны гн. профиль 120x80x5 ГОСТ 30245	программно	1.05	
1.6				
2	<i>Длительная</i> - оборудование	0.30	1.2	0.36
3	<i>Кратковременная</i>			
3.1	Снег (снеговой район – IB)	0.8	1.6	1.28
3.2	Ветер (ветровой район – I)	0.23	1.4	0.322
3.3	Гололед (гололедный район – III)	0.10	1.3	0.13
3.4	Температурная нагрузка	$t=+50C$		
3.5	Температурная нагрузка	$t=-50C$		

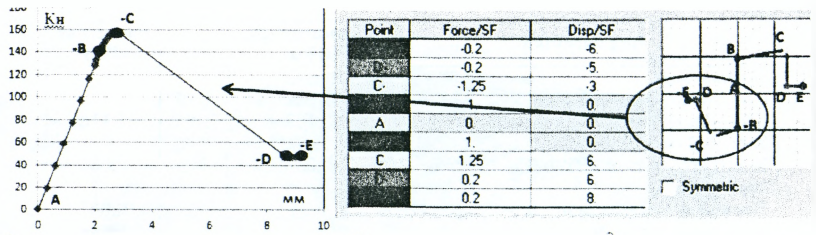
Тем не менее, многие предельные состояния предполагают нелинейную работу, потому предполагается полезным разработать систематизированную методику расчета сложных систем в нелинейной постановке на запроектные нагрузки [1-5].

Весьма важной задачей было нахождение величины критической (разрушающей) узловой нагрузки, определение предельного состояния системы в целом. Предельное напряженное состояние системы соответствует такому напряженному состоянию, когда малейшее добавочное силовое воздействие нарушает существующее равновесие и приводит систему в неустойчивое состояние. Достаточное условие устойчивости – потенциальная энергия имеет минимум. Выполнение этого условия, а также определение границ перехода различных состояний энергии, представляет сложнейшую проблему.

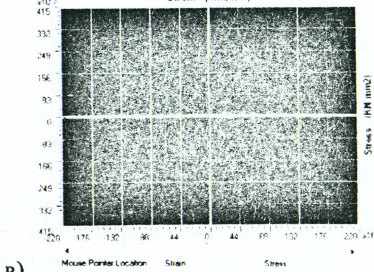
Структурное пространственное покрытие является весьма сложной системой, включающей в себя тысячи элементов, в которой при увеличении нагрузки происходит исчерпание несущей способности отдельных стержней, перераспределение усилий и даже смена знака усилия в элементах. По сравнению с растянутыми элементами, расчет сжатых элементов требует значительно большей исходной информации. Во-первых, необходимо описать геометрические характеристики стержня: длину, форму поперечного сечения и форму оси, которая имеет начальную погибь. Во-вторых, необходимо задать упругопластическую диаграмму материала. И, в-третьих, необходимо описать условия прикрепления концов элемента к остальной конструкции.

Решая физически нелинейные задачи шаговым методом, который часто идентифицируют как метод последовательных нагружений, по сути, можно организовать моделирование процесса нагружения. Действительно, в этом случае нагрузка прикладывается частями, а на каждом шаге изменяются жесткостные характеристики системы [1–5] за счет изменения модуля упругости.

Принятый вариант решения математической модели обладает рядом особенностей, которые учитывались для максимального приближения расчетной схемы к действительной работе конструкций. Такими особенностями являются описание элементов расчетной схемы и их математических параметров.



а) экспериментальная диаграмма деформирования сжатого стержня структуры;



б) диаграмма деформирования сжатого и растянутого стержня по данным SAP2000;

в) диаграмма деформирования стали 20 при растяжении и сжатии  
 Рисунок 3 – Графики физически и геометрически нелинейной работы стержней структурной конструкции

При создании расчетных моделей были приняты следующие исходные данные: все узлы системы (кроме опорных) принимаются шарнирными, принималась гипотеза о центральном нагружении элементов, для описания нелинейных характеристик элементов во все стержни системы были введены пластические шарниры, характеристики которых были описаны по реальным характеристикам материала и экспериментальным данным деформирования отдельных элементов (см. рис. 3).

Полученная расчетная модель была протестирована на фрагментах. Сопоставление экспериментальных данных с теоретическими дало хорошие результаты, что говорит о соответствии расчетной модели действительной работе конструкции и позволяет ее применять на реальных объектах.

При задании характеристик пластического шарнира были учтены характеристики работы как растянутых, так и сжатых элементов в составе системы.

Работа растянутых элементов была задана по характеристике материала (диаграмма растяжения стали) – «классическая» диаграмма – верхняя правая ветвь графика (рис. 3б).

Работа сжатых элементов была описана графиком, построенным по результатам испытания отдельных стержней (рис. 3а) – на рис. 3б нижняя левая ветвь графика.

В качестве варианта загрузки снеговой нагрузкой при проведении нелинейного расчета выбран равномерный вариант загрузки, как наиболее приемлемый для данного типа покрытия. В таблице 2 приведены результаты численного эксперимента работы структурной оболочки при проектных и запроектных нагрузках.

Таблица 2

№ ша-га на-гру-жения	Тип нагрузки	Величина нагрузки на текущем этапе, кН/уз	Общая величина нагрузки кН/уз	Кол-во шарниров (на данном шаге/общее)	Общее число шарниров	Пере-меще-ния в.п. мм
1	Обр. системы	-	-	-	-	-
2	С.вес	програмно 1.99	1.99			11.007
3	Остекление	2.04	4.03			11.107
4	Вес фонаря	0.71	4.74			15.237
5	Покрытие	4.2	8.94			39.887
6	Снег-проектная	3.05	11.99			57.992
7	0.5-снег	1.525	13.515	6	6	67.756
8	0.5-снег	1.525	15.04	7	12	80.144
9	0.5-снег	1.525	16.565	16	28	96.118
10	0.5-снег	1.525	18.09	24	52	116.614
11	0.5-снег	1.525	19.615	34	86	148.83
12	0.5-снег	1.525	21.14	26	112	203.987

Как видно из приведенной мозаики повреждения покрытия (см. рис. 3), в основном скопление шарниров происходит в элементах верхнего пояса в направлении ширины структурной оболочки.

Можно отметить, что скорость образования пластических шарниров в элементах верхнего пояса при увеличении нагрузки возрастает. Предельное состояние системы достигается при превращении ее в механизм: система становится геометрически изменяемой при превышении снеговой нагрузки в 4 раза выше общей проектной.

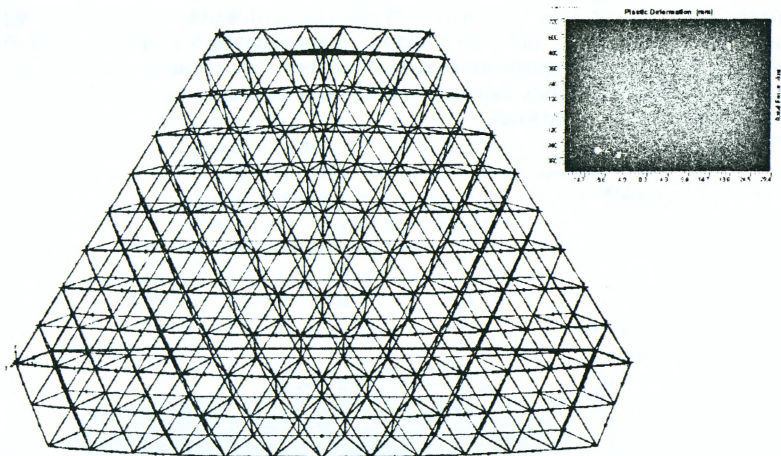


Рисунок 4 – Схема образования пластических шарниров на стадии разрушения

Схема образования пластических шарниров в элементах структурной оболочки позволяет выявить скорость накопления повреждения, развития шарниров и являются частью результатов нелинейного расчета.

По цветовой шкале (степени развития пластических шарниров в стержнях структуры) видно, что процесс накопления повреждений от момента превыше-

ния полной проектной нагрузки и дальнейшего нагружения – процесс, происходящий не мгновенно, а во времени, образование и развитие шарниров происходит поэтапно, по мере нагружения конструкции покрытия в целом.

Приведенная схема элементов покрытия на стадии разрушения позволяет выявить наиболее нагруженные места, места со скоплением пластических шарниров, что может быть весьма полезным при:

- определении путей разрушения системы;
- распределения нагрузки при пошаговом нагружении конструкции до момента ее разрушения;
- при повторном применении таких конструкций в районах с другими климатическими условиями (другим весом снегового покрова) могут быть определены места необходимого увеличения сечений.

Наиболее показательным и важным является график в координатах «нагрузка-перемещение». График показывает:

- запас несущей способности системы, от полной проектной нагрузки до полного разрушения системы (образование в структурной системе механизмов), составляет 1,76 от проектной нагрузки или 4,0 от полной снеговой нагрузки;
- количество образовавшихся пластических шарниров, от общего количества стержней структуры составляет 11,16%;
- рассматривая форму (внешний вид) графика как отклик на накопление повреждений системы, вызванных приложением запроектных нагрузок, показывает отсутствие высвобождения резкого и большого количества энергии, что позволяет говорить об отсутствии опасности хрупкого разрушения.

На рисунке 5 приведена диаграмма деформирования структурной оболочки, полученная в результате численного эксперимента. Конструкция покрытия работает упруго до точки М, когда в стержнях не появляются пластические шарниры. На участке MF идет накопление повреждений в стержнях, которое проявляется в различной загруженности пластических шарниров вплоть до потери устойчивости отдельных сжатых стержней и исчерпания пластических деформаций растянутых стержней.

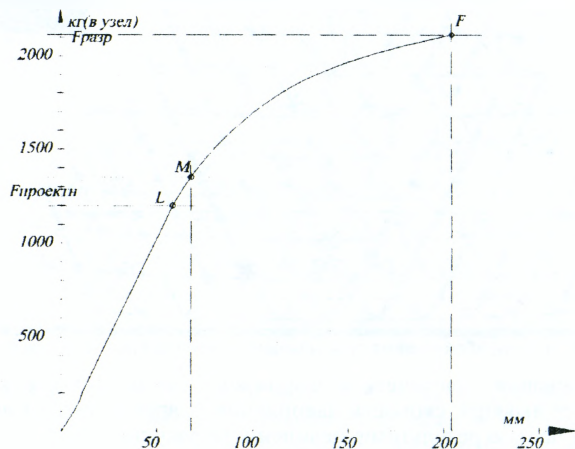


Рисунок 5 – Зависимость «узловая нагрузка на узел – перемещение центральных узлов оболочки покрытия» по результатам нелинейного расчета

Таблица 3 – Значения индекса надежности и вероятности отказа на различных этапах нагружения

$\beta$	$P_f$	Этап нагружения
3.95	$1.41 \cdot 10^{-5}$	Проектная нагрузка
7.67	$8.16 \cdot 10^{-13}$	Исчерпание несущей способности
3.8	$10^{-4}$	Нормируемые значения*

Необходимо отметить, что показатели  $\beta$  и  $P_f$  рассчитаны для уже поврежденной системы (системы с образованием шарниров). На таких этапах нельзя говорить только о надежности системы, необходимо рассматривать еще и живучесть.

Изложенные выше исследования покрытия структурного покрытия кассового зала автовокзала в г. Бресте справедливы для отдельного стержневого элемента, в котором произошло образование пластического шарнира. При определении уровня живучести важным моментом является определение величин  $\beta$  и  $P_f$  не только для отдельного элемента, но и для системы в целом.

Ориентируясь на наиболее невыгодную ситуацию (первый стержень), можно определять уровень надежности на этапе разрушения (вероятность разрушения):

$$P_{\text{сист}} = (1 - P_{1\text{гр}})^{n_1} \cdot (1 - P_{2\text{гр}})^{n_2} \cdot \dots \cdot (1 - P_{i\text{гр}})^{n_i} = \sum (1 - P_{i\text{гр}})^{n_i}$$

Тогда данное выражение для структурной оболочки покрытия будет:  $P_{\text{сист}} = \sum (1 - P_{i\text{гр}})^{n_i} = (1 - 7,67 \cdot 10^{-15})^{112} = 0,999(9)$

Данная величина находится в пределах погрешности (менее 0,1%).

Вероятность того что действующая нагрузка составит более 21,14 кН/узел (превысит полную расчетную в 1,76 раза) и при этом откажут 112 стержней с изменением расчетной схемы, стремится к нулю, а индекс надежности намного превышает нормируемый.

## 2. Решения покрытия навесов.

2.1. Несущие конструкции покрытия и опорные элементы запроектированы в металлических конструкциях заводского изготовления.

Конструкция покрытия, с размерами 58,432x19,034 м, состоит из пятиугольной структурной плиты, наклоненной на 11° к горизонту, опертой на три стойки и монолитные железобетонные пояса по осям 1 и 8.

Покрытие запроектировано в виде структурного покрытия из круглых труб, соединенных полыми шаровыми узлами системы "БрГТУ" с треугольной ячейкой. Структура имеет ортогональную верхнюю и нижнюю поясные сетки, высота структурной плиты 1,440 м. Структурная плита состоит из правильных тетраэдров с длиной ребер поясов 2,0 м.

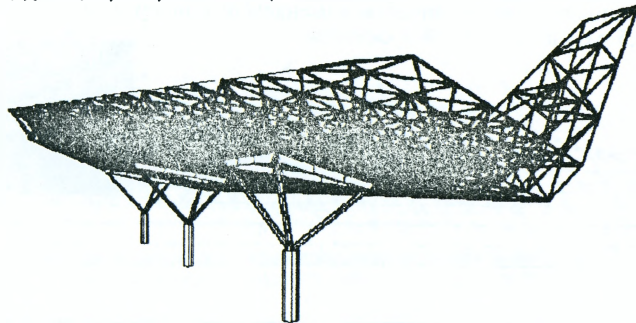


Рисунок 5 – Общий вид расчетной модели навеса



2.2. Исследование напряженно-деформированного состояния покрытия навеса.  
 Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния включало следующие нагрузки:

Таблица 4

№ п.п.	Вид нагрузки	Нормативная, кН/м <sup>2</sup>	$\gamma_f$	Расчетная кН/м <sup>2</sup>
1	<i>Постоянная</i>			
1.1	Собственный вес	програмно	1.05	
1.2	Вес остекления	0.76	1.05	0.80
1.3	Вес рекламы	0.19	1.05	0.20
2	<i>Кратковременная</i>			
2.1	Снег (снеговой район – ІБ)	0.8	1.6	1.28
2.2	Ветер (ветровой район – І)	0.23	1.4	0.322
2.3	Гололед (гололедный район – ІІІ)	0.10	1.3	0.13
2.4	Температурная нагрузка	$t=+50^{\circ}\text{C}$		
2.5	Температурная нагрузка	$t=-50^{\circ}\text{C}$		

Выполнение нелинейного расчета дало следующие результаты:

Таблица 5

№ шага нагружения	Тип нагрузки	Величина нагрузки на текущем этапе, кН/уз	Общая величина нагрузки, кН/уз	Кол-во шарниров (на данном шаге/общее)	Общее число шарниров	Перемещения в.п. мм
1	Обр. системы	-	-	-	-	-
2	С.вес	програмно 0.86	0.86			2.38
3	Остекление	1.40	2.26			5.53
4	Снег-проектная	2.05	4.31			10.37
5	0.5 снег	1.025	5.335			15.12
6	0.5 снег	1.025	6.360			17.50
7	0.5 снег	1.025	7.385			19.87
8	0.5 снег	1.025	8.410			22.25
9	0.5 снег	1.025	9.435	6	6	24.68
10	0.5 снег	1.025	10.46	2	8	27.79
11	0.5 снег	1.025	11.485	5	13	31.25
12	0.5 снег	1.025	12.51	2	15	35.17
13	0.5 снег	1.025	13.535	1	16	39.34
14	0.5 снег	1.025	14.560		16	43.68
15	0.5 снег	1.025	15.585		16	51.38

Как видно из приведенной мозаики повреждения покрытия (см. рис. 7), скопление шарниров происходит в опорных раскосах узлов на колоннах.

Предельное состояние системы достигается при превращении ее в механизм: система становится геометрически изменяемой при превышении снеговой нагрузки в 6,5 раза выше общей проектной.

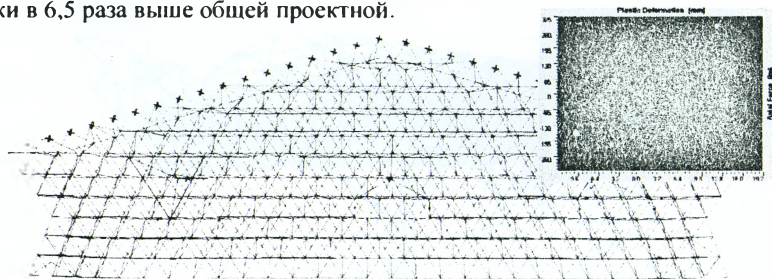


Рисунок 7 – Схема образования пластических шарниров на стадии разрушения

Анализируя диаграмму деформирования структурной плиты навеса, можно сделать следующие выводы:

- структурная плита с треугольной решеткой имеет повышенную жесткость, максимальный прогиб на конце консоли от проектных нагрузок составляет 10 мм;
- образование пластических шарниров начинается при превышении проектной нагрузки более чем в два раза;
- разрушение покрытия ожидается при трехкратном превышении проектных нагрузок.

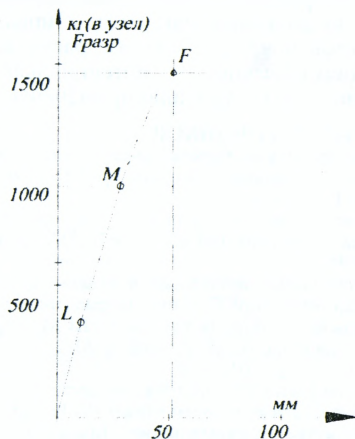


Рисунок 8 – Зависимость «узловая нагрузка на узел – перемещение узлов плиты покрытия» по результатам нелинейного расчета

Вероятность того, что действующая нагрузка составит более 15,585 кН/узел (превысит полную расчетную в 2,921 раза) и при этом откажут 16 стержней с изменением расчетной схемы, стремится к нулю, а индекс надежности намного превышает нормируемый.

Исчерпание несущей способности плиты при запроектных нагрузках происходит в результате разрушения 27 раскосов в узлах опирания раскосов на ригели опор.

В качестве сравнительного варианта проведем нелинейный расчет для аналогичной системы с увеличенной жесткостью опорных раскосов (с  $\varnothing 70 \times 5$  до  $\varnothing 89 \times 10$ ).

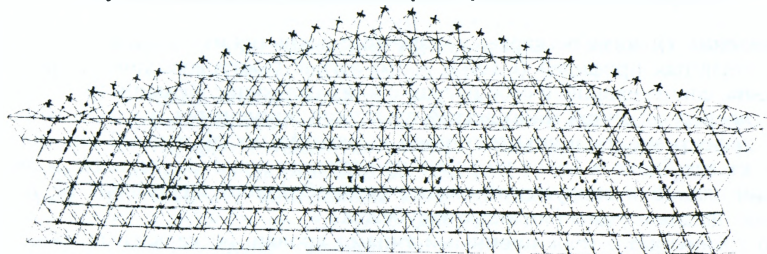


Рисунок 9 – Схема разрушения при сравнительном анализе

Таким образом, изменяя жесткости 27 стержней, увеличивая массу системы в целом менее чем на 0,1%, получим запас по несущей способности в 13 раз. В

процессе нагружения в работу включаются элементы поясов, по мере разрушения образующая в элементах 78 пластических шарниров.

Такое решение с увеличением надежности может быть использовано при строительстве аналогичных сооружений в регионах с большими снеговыми нагрузками, с увеличением нагрузок от оборудования, при необходимости увеличения величины индекса надежности и т.п.

**Выводы.** В данной статье были рассмотрены две различные конструкции покрытия, являющиеся покрытием одного объекта. Была произведена оценка НДС при проектных и запроектных нагрузках. Определены индексы надежности. Результаты расчетов показали, что обе рассчитываемые системы обладают достаточным уровнем надежности и потенциальной живучестью. Данные конструктивные схемы могут быть успешно применены на различных объектах.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Драган, В.И. Расчет структурных конструкций системы «БрГТУ» в физически нелинейной постановке / В.И. Драган, Н.Л. Морилова // Вестник БрГТУ. – №1(67): Архитектура и строительство – Брест, БрГТУ, 2011. – С. 106–111.
2. Драган, В.И. Методика расчета живучести структурных конструкций системы «БрГТУ» / В.И. Драган, Н.Л. Морилова // Вестник БрГТУ. – №1(73): Архитектура и строительство – Брест: БрГТУ, 2012. – С. 39–46.
3. Драган, В.И. Исследование большепролетных покрытий с применением металлических структурных конструкций системы «БрГТУ» при запроектных воздействиях / В.И. Драган, Н.Л. Морилова, А.В. Дмитриева // Сборник трудов XVIII Международного научно-методического семинара: в 2-х т. – Новополоцк, 28–29 ноября 2012 / Под общ. ред. Д.Н. Лазовского, А.И. Колтунова. – Новополоцк: ПГУ, 2012. – Т. 1. – С. 16–25.
4. Драган, В.И. Оценка надежности конструкций системы «БрГТУ» на стадии проектирования методом прямого расчета вероятности отказа / В.И. Драган, Н.Л. Морилова // Вестник БрГТУ. – №1(79): Архитектура и строительство – Брест: БрГТУ, 2013. – С. 43–50.
5. Драган, В.И. Расчет надежности конструкций системы «БрГТУ» / В.И. Драган, В.В. Тур, Н.Л. Морилова, А.В. Дмитриева // Вестник ПГУ. – № 8: Прикладные науки. Строительство – Новополоцк: ПГУ, 2013.

УДК 624.014.2

*Жданов Д.А., Уласевич В.П.*

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛОГИХ БЕСКАРКАСНЫХ АРОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

**Введение.** Пологие бескаркасные арочные покрытия из стальных тонкостенных холодногнутых профилей (СТХП) – это легкие быстровозводимые кровельные системы, совмещающие в себе несущие и ограждающие функции (рис. 1). Благодаря своей, доказанной многолетней практикой применения, высокой экономической эффективности и архитектурной выразительности, данный вид покрытий находит все более и более широкое применение при строительстве и реконструкции зданий и сооружений самого разнообразного назначения не только в странах дальнего, но и ближнего зарубежья.

По сравнению с традиционными типами кровли, бескаркасные арочные покрытия отличает малая материалоемкость, простота монтажа, меньшая нагрузка на нижележащие конструкции, меньшие транспортные и эксплуатационные расходы и ряд других конструктивных, технологических и экономических достоинств, обеспечиваемых совмещением в конструкции несущих и ограждающих функций, а также использованием тонколистового металла.