

5. Драган, В.И. Проектирование и строительство оболочки покрытия амфитеатра «Славянский базар» / В.И. Драган // Архитектурно – планировочные решения, конструктивно – технологические системы и энергосберегающее оборудование жилых и общественных зданий XXI века: материалы международной научно – технической конференции. – Минск, 25-26 июня 2008. – Мн., 2008. – С. 42-45.
6. Драган, В.И. Опыт проектирования металлической структурной конструкции системы «БрГТУ» на уникальных объектах республики Беларусь // Сборник научных трудов XVI международного научно – методического семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Брест 28-30 мая 2009г: в 2 т. – 2009. – Т.1. – С. 42-49.
7. Драган, В.И. Новое направление в конструировании металлических структурных конструкций с высокой несущей способностью и экономической эффективностью // Техническое нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве. – 2009. - №4(35). – С.72-75.
8. Драган, В.И. Большепролетные металлические структурные конструкции системы «БрГТУ» // Збірник наукових праць Українського науково – дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М.Шимановського / Під загальною редакцією заслуженого діяча техніки України, д.т.н., професора О.В. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь». – 2010. – Вип.5. – С. 72-82.
9. Драган, В.И. Комбинированная структурная оболочка покрытия ледового катка по ул. Головацкого в г.Гомеле // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. трудов XVIII Международного научно – методического семинара. – Новополоцк, 28-29 ноября 2012 г.: в 2 т. – Новополоцк: ПГУ, 2012. – Т.1. – С. 53-58.
10. Узел соединения полых стержней пространственного каркаса: пат.2489 Респ. Беларусь, Е04В 1/58/ В.И. Драган, А.А. Левчук, Н.Н. Шалобыта, В.Н. Пчелин; заявитель Брестский го. ун-т. - №20050458, заявл. 21.07.2005; опубл. 28.02.2006 // афішыйны бюл/ нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.2006. - №1. – С.194.

УДК 624.014.27

*Драган В.И., Морилова Н.Л.*

## **ИССЛЕДОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ ЖИВУЧЕСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМЫ «БрГТУ»**

### **Введение**

Проектирование современных архитектурных форм большой выразительности и универсальности, образуемых на основе многократно повторяющихся элементов, привели к созданию металлической структурной системы нового типа – структурной конструкции системы «БрГТУ».

За последние десять лет запроектировано более 30 и построено 19 уникальных сооружений с применением металлических структурных конструкций системы «БрГТУ». Это покрытия сцен летних амфитеатров в г. Бресте, г. Кобрине, г. Хойники, покрытия ледовых арен в г. Пружаны, г. Лунинец, г. Ивацевичи, г. Кобрине, покрытие летнего амфитеатра в г. Витебске, навес над трибунами стадиона «Спартак» в г. Могилеве, покрытием спортивного зала и главного входа на «Минск - арена», покрытия ДЮСШ №2 в г. Калинковичи, купол здания НОК в г.Минске, покрытие амфитеатра в парке г. Молодечно и другие.

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 определения надежности и живучести структурных конструкций системы «БрГТУ».

На сегодняшний день отсутствует общепринятый научно – обоснованный подход проектирования живучести и долговечности зданий и сооружений на различных стадиях жизненного цикла. В этой связи развитие элементов теории и практических методов расчета живучести приобретает все большую актуальность. Новый этап исследований связан с изучением живучести физически и геометрически нелинейных систем, а также влияния выключения отдельных элементов на процесс общей несущей способности в запредельных состояниях.

Для решения задач оценки живучести структурных конструкций системы «БрГТУ» приняты следующие гипотезы:

- запроектное воздействие на структурную конструкцию определяется интегральным результатом накопления повреждений, выраженный диаграммой деформирования покрытия «нагрузка – прогиб покрытия»;

- разрушение структурной конструкции определяется набором выключенных связей, в частности пластических шарниров, которые превращают конструкцию в кинематически изменяемую систему;

- на начальном этапе нагрузка, при действии которой не происходит образование пластических шарниров считается постоянной (проектная нагрузка), остальная нагрузка изменяется пропорционально по одному параметру.

На живучесть структурных покрытий системы «БрГТУ» влияет также их топология. Рациональный выбор топологии таких покрытий дает возможность управлять их живучестью при исчерпании несущей способности элементов.

#### **1 Сравнительный анализ вероятности отказа и индекса надежности**

Для всех описанных сооружений был проведен ряд расчетов нелинейной постановке с применением ПК SAP2000. Подробная методика проведения нелинейных расчетов была изложена в [3].

Результатами проведенного исследования стали определение численных показателей надежности, подтверждение высокого уровня живучести, отсутствие ключевых элементов, исключение прогрессирующего обрушения, а также действенность применения разработанной расчетной модели.

В данной статье проведен сравнительный анализ полученных результатов, который будет направлен на определение конструктивных форм покрытий, наиболее подходящих для перекрытия больших пролетов.

Проведение нелинейных расчетов [2–3] показало, что образование шарнира в первом элементе не ведет к прогрессирующему обрушению системы в целом. Подобное не происходит и при образовании 5-10-20 и более шарниров.

Все конструктивные формы покрытий, рассматриваемые в данной работе сформированы на основании узлового соединения системы «БрГТУ». Эти объекты, в соответствии с ТКП EN 1990 [5], можно отнести к классу надежности RC2, а в соответствии с ГОСТ 27751-88 [6] при их расчете необходимо принимать коэффициент надежности по назначению  $\gamma_n=1.2$ .

Таким образом эти характеристики означают, что при подборе элементов конструкций коэффициент запаса должен составлять не менее 20% с одной стороны и при проверке соответствия нормативному уровню надежности  $\beta \geq 3.8$  с другой стороны.

В таблице 1 приведены данные определения характеристик надежности ( $\beta/P_r$ ) при проектном нагружении и на стадии разрушения системы.

Перед проведением нелинейного расчета, был проведен статический линейный расчет с целью подбора сечений элементов по I и II группам предельных состояний. Естественно, что в сложных системах, состоящих из нескольких тысяч стержней, показатели исчерпания несущей способности для каждого эле-

мента будут различны, так же как и их показатели надежности. Пытаясь превратить такую систему в ферму равного сопротивления, инженер получит число жесткостей элементов, равное числу стержней.

Для оценки надежности большепролетных покрытий предлагается принимать коэффициент конструктивной безопасности, равный отношению разрушающей нагрузки на покрытие к проектной.

Таблица 1 – Сравнение показателей надежности

Объект	$\beta/P_f$ (нормативный) по ТКП	$\beta/P_f$ проектные нагрузки	$\beta/P_f$ (стадия разрушения первого элемента)	Коэф. конструкт. безопасности
1	2	3	4	5
Навес в г.Хойники	$3.8/10^{-4}$	$9.2/1.2 \cdot 10^{-20}$	$8.12/2.33 \cdot 10^{-16}$	6.56
Покрытие в г.Молодечно	$3.8/10^{-4}$	$3.88/5.08 \cdot 10^{-5}$	$5.0/2.79 \cdot 10^{-7}$	1.85
Ледовый дворец в г.Пружаны	$3.8/10^{-4}$	$4.02/2.85 \cdot 10^{-5}$	$7.67/8.07 \cdot 10^{-15}$	1.41
Купол НОК (равн.снег)	$3.8/10^{-4}$	$4.06/2.53 \cdot 10^{-5}$	$5.67/7.69 \cdot 10^{-9}$	2.47
Каток в г.Гомеле (неравн. снег)	$3.8/10^{-4}$	$4.15/1.61 \cdot 10^{-5}$	$7.77/3.65 \cdot 10^{-5}$	2.46
Каток в г.Гомеле (равн.снег)	$3.8/10^{-4}$	$2.79/2.6 \cdot 10^{-3}$	$3.98/3.3 \cdot 10^{-5}$	1.88
Спорткомплекс в г.Москва (неравн. снег)	$3.8/10^{-4}$	$3.86/2.1 \cdot 10^{-4}$	$4.68/4.68 \cdot 10^{-6}$	1.38
Спорткомплекс в г.Москва (равн.снег)	$3.8/10^{-4}$	$3.96/3.37 \cdot 10^{-5}$	$4.74/1.02 \cdot 10^{-6}$	1.56

Долгое время было принято считать, что если обеспечена необходимая надежность каждого элемента – это есть обеспечение надежности системы в целом. Показатели надежности, приведенные в таблице 1 рассчитаны по первому пластическому шарниру, образовавшемуся в элементе.

Целевые (нормативные) показатели надежности должны обеспечить необходимый запас несущей способности на весь период эксплуатации.

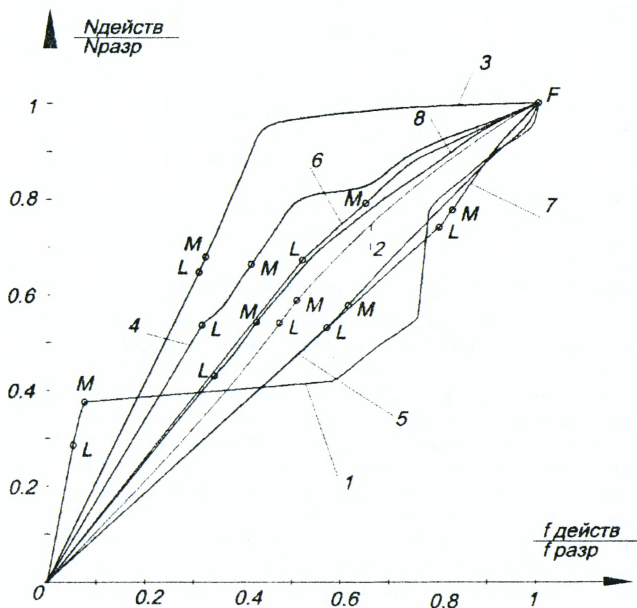
Таким образом, исходя из следующих характеристик: коэффициента конструктивной безопасности, вычисленных индексов надежности и вероятностей отказа, заключаем, что для различных конструктивных форм коэффициенты надежности по назначению должны быть различны. Например:

- для купольных конструкций (в соответствии с расчетом купола НОК) он может приниматься в классическом варианте  $\gamma_n=1.2$ ;
- для структурных плит с более жесткой ячейкой (в соответствии с расчетом структурной плиты навеса в г.Хойники) вполне достаточно  $\gamma_n=1.0$ ;
- для комбинированных структурных плит (по расчету конструкции покрытия ледового дворца в г.Пружаны) его также можно оставить  $\gamma_n=1.2$ ;
- для структурных оболочек сложной формы (покрытия в г. Гомель, Москва) для принятия  $\gamma_n$  необходим дополнительный расчет, возможно в нескольких приближениях с целью определения его необходимой величины, предварительно можно лишь предполагать, что его величина будет превышать 1.2;
- консольные структурные плиты сложной формы (расчет покрытия амфитеатра в г. Молодечно) можно говорить о том, что  $\gamma_n=1.2$  соответствует нормируемым показателям надежности, но при проектировании новых конструкций необходим проверочный расчет.

Проведение сравнительного анализа различных конструктивных форм на соответствие нормируемым характеристикам надежности говорит о невозможности применения обобщенного коэффициента  $\gamma_n=1.2$ , а также о необходимости проведения дополнительных расчетов на стадии проектирования.

## 2 Сравнительный анализ деформационных свойств различных систем

Важной частью сравнительного анализа является нелинейная диаграмма деформирования в относительных координатах «нагрузка – перемещение центральных узлов покрытия» (рис. 1).



1 – структурная плита навеса в г. Хойники; 2 – консольная структурная оболочка в г. Молодечно; 3 – ломаная структурная плита г. Пружаны; 4 – оболочка катка г. Гомель (загружение неравномерным снегом); 5 – оболочка катка г. Гомель (загружение равномерным снегом); 6 – спортивный комплекс г. Москва (загружение равномерным снегом); 7 – спортивный комплекс г. Москва (загружение неравномерным снегом); 8 – купол НОК

Рисунок 1 – Зависимости «нагрузка на  $1\text{ м}^2$  – перемещение центральных узлов покрытия» по результатам нелинейного расчета

На графике, представленном на рис. 1 вертикальная ось представляет собой отношение нагрузки на текущем шаге к разрушающей, а по горизонтальной оси – перемещение на текущем шаге к перемещению, соответствующему разрушающей нагрузке.

Каждый график обозначим характеристическими точками где:

L – величина расчетной проектной нагрузки;

M – величина нагрузки при образовании первых пластических шарниров в элементах;

F – величина разрушающей нагрузки.

Таблица 2 – Сводная таблица жесткостных показателей конструкций покрытий

Объект	Вертикальный прогиб			
	Нормированный, [мм] по [7]	От расчетной проектной нагрузки, [мм]	От разрушающей нагрузки, [мм]	В долях пролета*
1	2	3	4	5
Навес в г.Хойники	72	18.35	634.16	1/28
Покрытие в г.Молодечно	134	121.10	255.81	1/86
Ледовый дворец в г.Пружаны	143	65.52	212.34	1/202
Купол НОК (равн.снег)	154	22.38	79.42	1/584
Каток в г.Гомеле (неравн.снег)	164	92.26	292.96	1/168
Каток в г.Гомеле (равн.снег)	164	66.23	116.09	1/424
Спорткомплекс в г.Москва (неравн.снег)	230	111.39	139.26	1/496
Спорткомплекс в г.Москва (равн.снег)	230	114.75	220.90	1/313

\* - вертикальный фактический прогиб при разрушающей нагрузке

Особенностью данных графиков является упругое деформирование конструкций при проектных нагрузках и нелинейное деформирование покрытия с образованием пластических шарниров в стержнях при запроектных нагрузках.

Анализируя диаграмму (рис. 2) видно, что реакция различных конструктивных форм на внешние, в том числе запроектные воздействия различна.

Сводный график зависимостей «нагрузка–перемещение» является весьма показательным с точки зрения поведения сложных систем при действии запроектных нагрузок. Из рис. 2 видно, что скачки, переломы диаграмм присутствуют на графиках сооружений с приложением неравномерных, больших нагрузок, выраженных снеговыми мешками, такое поведение исследуемых конструкций говорит о приспособляемости сложных большепролетных систем к внешним воздействиям. Резкие изменения направления графиков происходит при выключении одних элементов из работы и передачи усилий на другие. Так например на диаграмме 1 (навес в парке г.Хойники) изменение направления диаграммы происходит при исчерпании несущей способности опорных раскосов и перераспределении усилий на элементы поясов.

Картина приспособляемости конструкций покрытий при восприятии запроектных воздействий, образование пластических шарниров при пошаговом увеличении нагрузки, говорит об отсутствии ключевых элементов и об исключении возможности лавинообразного обрушения.

Конечно, на практике, при эксплуатации таких сооружений, никакими объективными и субъективными причинами невозможно объяснить образование до 500 пластических шарниров в элементах, однако, такая картина разрушения говорит о высокой степени надежности и живучести структурных систем.

Таким образом, исследуя различные типы и формы структурных конструкций покрытий, можно сделать выводы об отклике различных конструктивных форм на запроектные воздействия. Так, например:

- структурированные двухслойные купола (по результатам расчетов купола НОК): оптимальный расход стали при высоких запасах несущей способности, разрушение системы происходит при «продавливании» купола при действии разрушающей нагрузки;

- консольная изогнутая оболочка (по результатам исследования амфитеатра в г.Молодечно): при пошаговом приращении нагрузки на покрытие происходит перераспределение усилий от опорных зон в сторону консоли, при этом разрушение системы происходит при достижении критической нагрузки с образованием механизма, расположенного в середине консоли;

- структурная плита (навес в парке г.Хойники): обладает большим запасом несущей способности, при минимальных сечениях узлов и элементов, такие показатели достигаются жесткостью ячейки структурной плиты при незначительном увеличении расхода стали. Наиболее ответственными элементами являются опорные раскосы, при исчерпании несущей способности перераспределение усилий происходит на элементы поясов;

- двухскатная структурная плита с затяжками – комбинированная конструкция (конструкции покрытия в г.Пружаны, Кобрине, Лунинце, Ивацевичах и т.д.): совместная работа комбинированных систем позволяет добиться высокого уровня надежности при минимальном расходе материала, при достижении разрушающего уровня проектного воздействия в системе покрытия образуется несколько механизмов в разных частях конструкции покрытия;

- изогнутая структурированная оболочка (по результатам расчета покрытия катка в г.Гомеле): данная конструкция покрытия была рассчитана на два варианта снеговой нагрузки, результаты расчетов показали различные пути возможных разрушений, а следовательно различные показатели надежности. Проведенный сравнительный анализ для регионов Брест-Гомель показывает необходимость более детального отношения к расчету показателей надежности и живучести сложных систем;

- цилиндрическая оболочка с затяжками (рассмотрена по результатам расчета спортивного комплекса, запроектированного для г.Москвы): рассмотренные два варианта загрузки, доказывают совместную работу всех элементов комбинированной конструкции покрытия, отсутствие ключевых элементов, высокий уровень живучести и как следствие исключение прогрессирующего обрушения.

- исследование работы структурной плиты с более жесткой решеткой показало, что превращение системы в механизм происходит при потере устойчивости опорных раскосов.

Обобщая сравнительный анализ можно говорить, что график зависимости «нагрузка на  $1\text{ м}^2$  – перемещение центральных узлов покрытия» характеризуется углом наклона. Вертикальность графика говорит о жесткости системы: чем вертикальней участок кривой, тем большей жесткостью обладает система на данном этапе загрузки. Из рассматриваемых сооружений можем выделить системы обладающие наибольшей жесткостью: это навес в г.Хойники, купол НОК, структурная плита покрытия в г.Пружаны.

Другим показателем, рассматриваемой диаграммы является скорость накопления деформаций для каждого отдельного графика. Среди рассматриваемых систем можно выделить структурную плиту в г.Хойники. Каждый излом графика говорит о перераспределении усилий, приспособляемости системы и изменении расчетной схемы.

Так, например, диаграмма 1 рис. 1 кардинально меняет свой угол наклона при выключении верхних и нижних опорных раскосов, перераспределении усилий на пояса.

Изменение угла наклона диаграммы 3 рис.1, построенного для покрытия ледовой арены в г.Пружаны происходит при выключении средних раскосов – наиболее ответственных элементов для данной системы.

Равномерность и вертикальность графика НОК (диаграмма 8 рис.1) напротив, говорит о равномерном перераспределении усилий в системе на различных этапах нагружения.

### 3 Скорость накопления повреждений различных систем

Еще одним критерием живучести стала общая относительная диаграмма зависимости «нагрузка – количество пластических шарниров» (рис. 2).

Данная диаграмма характеризует скорость накопления повреждений системы по мере приложения нагрузки. За меру повреждений было принято отношение общего количества шарниров, образовавшихся при разрушении к числу образовавшихся шарниров на рассматриваемом шаге.

Угол наклона данной диаграммы характеризуется способностью системы к перераспределению усилий. Появление горизонтальных участков говорит об изменении расчетной схемы и увеличении скорости накопления повреждений.

Переходя к анализу взаимного расположения кривых, можно отметить:

- минимальная скорость накопления повреждений (лучшая приспособляемость) относится к плоским структурным плитам, как к отдельным системам (навес в г.Хойники) так и комбинированным системам.

- ярко выраженное изменение углов наклона для диаграмм (диаграммы 1, 3, 4) удобно рассматривать с диаграммами рис.1. из чего можно заключить, что изменение угла наклона обоих графиков происходит при выключении отдельных конкретных элементов, приспособляемости, изменении расчетной схемы.

Так, например:

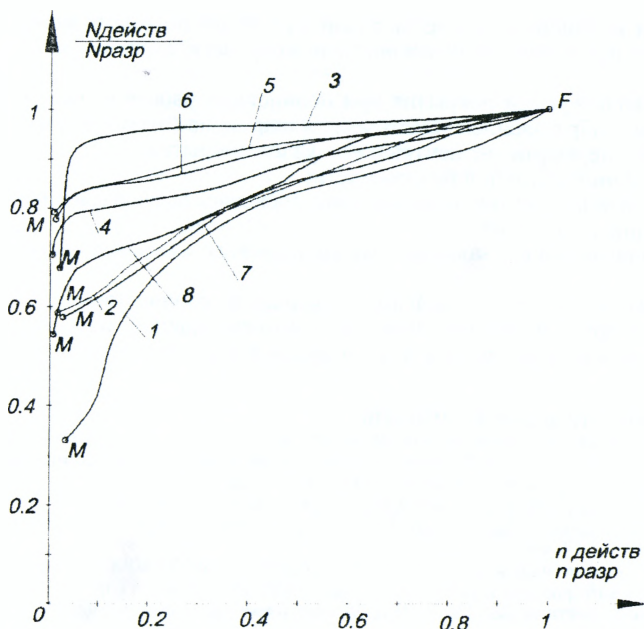
- особенностью купольного формообразования, для рассматриваемой диаграммы на примере купола НОК, изменение углов наклона (диаграмма 8 рис. 2) появляется при образовании новых больших групп пластических шарниров при пошаговом увеличении нагрузки;

- равномерной диаграммой является диаграмма 8 рис.2. Данная диаграмма имеет довольно малый угол наклона к горизонтали, однако отсутствие изменений углов наклона на протяжении жизненного цикла системы, говорит о равномерном перераспределении усилий и о одинаковой скорости накопления повреждений.

Таблица 2 – Сводная таблица наличия повреждения в конструкциях покрытий

Объект	Общее кол-во стержней, шт.	Кол-во образовавшихся шарниров на стадии разрушения	
		шт.	%*
1	2	3	4
Навес в г.Хойники	1399	174	7.15
Покрытие в г. Молодечно	1440	57	3.95
Ледовый дворец в г. Пружаны	2420	188	7.76
Купол НОК (равн.снег)	4499	498	11.07
Каток в г. Гомеле (неравн.снег)	2835	353	12.45
Каток в г.Гомеле (равн.снег)	2835	37	1.3
Спорткомплекс в г. Москва (неравн.снег)	6008	331	5.5
Спорткомплекс в г. Москва (равн.снег)	6008	443	7.19

\* - % образовавшихся шарниров в элементах системы «БрГТУ» на стадии разрушения от общего числа стержней



1 – структурная плита навеса в г. Хойники; 2 – консольная структурная оболочка в г. Молодечно; 3 – ломаная структурная плита г. Пружаны; 4 – оболочка катка г. Гомель (загружение неравномерным снегом); 5 – оболочка катка г. Гомель (загружение равномерным снегом); 6 – спортивный комплекс г. Москва (загружение равномерным снегом); 7 – спортивный комплекс г. Москва (загружение неравномерным снегом); 8 – купол НОК

Рисунок 2 – Зависимости «нагрузка на  $1\text{ м}^2$  – количество пластических шарниров в элементах покрытия» по результатам нелинейного расчета

### Выводы

Для каждого сооружения нелинейный расчет проводился до момента полного разрушения – вырождения статической неопределенности и превращения конструкции в механизм. В данных расчетах не принимался принцип единичного отказа или умышленного внесения повреждений. В таких сложных, статически неопределимых системах на стадии разрушения образуется до 500 шарниров. Конечно, такая ситуация на практике вряд ли возможна, однако такое моделирование позволяет:

- определить действительные резервы несущей способности сооружений;
- определить пути разрушения;
- определить места образования пластических шарниров;
- на любом этапе определить характеристики надежности;
- определить наличие ключевых элементов, если они есть;
- путем регулирования жесткости системы в целом добиться необходимых уровней надежности и живучести;
- определить характеристики надежности при запроектных нагрузках;
- оценить влияние формы на характеристики системы;
- оценить влияние схем приложения нагрузок на характеристики системы.



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

- деформации конструкции 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,