

N и *M*, полученных в соответствии с ТКП EN 1991-1-4-2009 [1], имеет место с аналогичными параметрами, рассчитанными согласно ДБН В.1.2-2:2006 [4], а наибольшее расхождение – согласно методикам СНиП 2.01.07 [2] и СП 20.13330.2011 [3]. Полученные значения горизонтальных перемещений верха зданий всех типов не превышают предельных значений, установленных ТКП 45-3.02-108-2008 [6, п. 10.1.1].

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–4. Общие воздействия. Ветровые воздействия: ТКП EN 1991-1-4-2009. – Введ. 01.01.2010. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2010. – 118 с.
2. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. – Введ. 01.01.87. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 36 с.
3. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*: СП 20.13330.2011. – Введ. 20.05.11. – М.: Минрегион России, 2011. – 80 с.
4. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования: ДБН В.1.2-2:2006. – Введ. 01.01.07. – Киев: Минстрой Украины, 2006. – 78 с.
5. Eurocode 1. Actions on structures – General actions – Part 1–4: Wind actions: EN 1991-1-4:2005/AC:2009. – Brussels: European Committee for Standardization, 2009. – 148 p.
6. Высотные здания. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.02-108-2008 (02250) – Введ. 01.12.2008. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008. – 92 с.
7. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП EN 1990-2011. – Введ. 01.01.2012. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2011. – 96 с.
8. Тур, В.В. Моделирование ветровых воздействий на здания и сооружения в соответствии с ТКП EN 1991-1-4 / В.В. Тур, А.В. Черноиван // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. ст. / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: Т.М. Пецольт (отв. ред.), Е.А. Ровба [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2010. – С. 203–211.
9. Тур, В.В. К оценке средней скорости ветра при расчете зданий и сооружений / В.В. Тур, А.В. Черноиван // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2011. – № 1(67): Архитектура и строительство. – С. 50–53.
10. Тур, В.В. Расчет некоторых параметров ветрового воздействия с использованием математического пакета MathCAD / В.В. Тур, А.В. Черноиван // Вестник Российского университета дружбы народов. – 2011. – № 2: Инженерные исследования. – С. 31–37.
11. Райзер, В.Д. Теория надежности в строительном проектировании / В.Д. Райзер. – М.: АСВ, 1998. – 304 с.
12. Żurański, J.A. Wpływ warunków klimatycznych i terenowych na obciążenie wiatrem konstrukcji budowlanych / J.A. Żurański. – Warszawa: Wydawnictwa Instytut Techniki Budowlanej, 2005. – 128 p.
13. Гордеев, В.Н. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин; под общей ред. А.В. Перельмутера. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 482 с.
14. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан / Пер. с англ. Б.Е. Маслова, А.В. Швецово; под ред. Б.Е. Маслова. – М.: Стройиздат, 1984. – 360 с.

Материал поступил в редакцию 31.02.12

TUR V.V., CHERNOIVAN A.V. Standardization of wind loading on buildings and constructions for climatic conditions of Belarus

In article state fundamentals of a technique of wind mapping and the map of wind zone for Belarus and frontier territory is presented. Values of the directional factor and structural factor, entered into the National Annex to ТКП EN 1991-1-4 «Eurocode 1. Actions on structures. Part 1–4. General actions. Wind actions». Results of the comparative analysis of some techniques under the account of the wind actions, executed in the form of numerical experiment are presented.

УДК 624.014.27

Драган В.И., Морилова Н.Л.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЖИВУЧЕСТИ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМЫ «БРГТУ»

Введение. Структурные покрытия с применением системы «БРГТУ» относятся к 1 уровню ответственности, для которых необходим расчет уровня живучести. Сразу отметим, что при последующем расчете не берется вероятность терактов, взрывов и других событий, имеющих бесконечно малую вероятность их появления. Данный расчет проводился с целью определения величины критической нагрузки, выявления путей разрушения различных структурных систем, а также влияния формы системы на характер их разрушения.

Обоснование уровня живучести проводилось в ПК SAP2000 в нелинейной постановке. Было необходимо рассчитать весь процесс нагружения, включая докритическое и закритическое деформирование. Кроме того, предлагаемый метод позволил рассчитать такие сложные задачи, которые традиционным способом решались или очень приближенно, или не решались вовсе. Полученные результаты оказались весьма наглядными, а сам процесс определения несущей способности оказался полностью автоматизированным.

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 до-

бавочное 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.

Структурные пространственные покрытия являются 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.

При создании расчетных моделей были приняты следующие исходные параметры: все узлы системы (кроме опорных) принимаются шарнирными, принималась гипотеза о центральном нагружении

Драган Вячеслав Игнатьевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Морилова Наталья Леонидовна, аспирантка кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

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

Строительство и архитектура

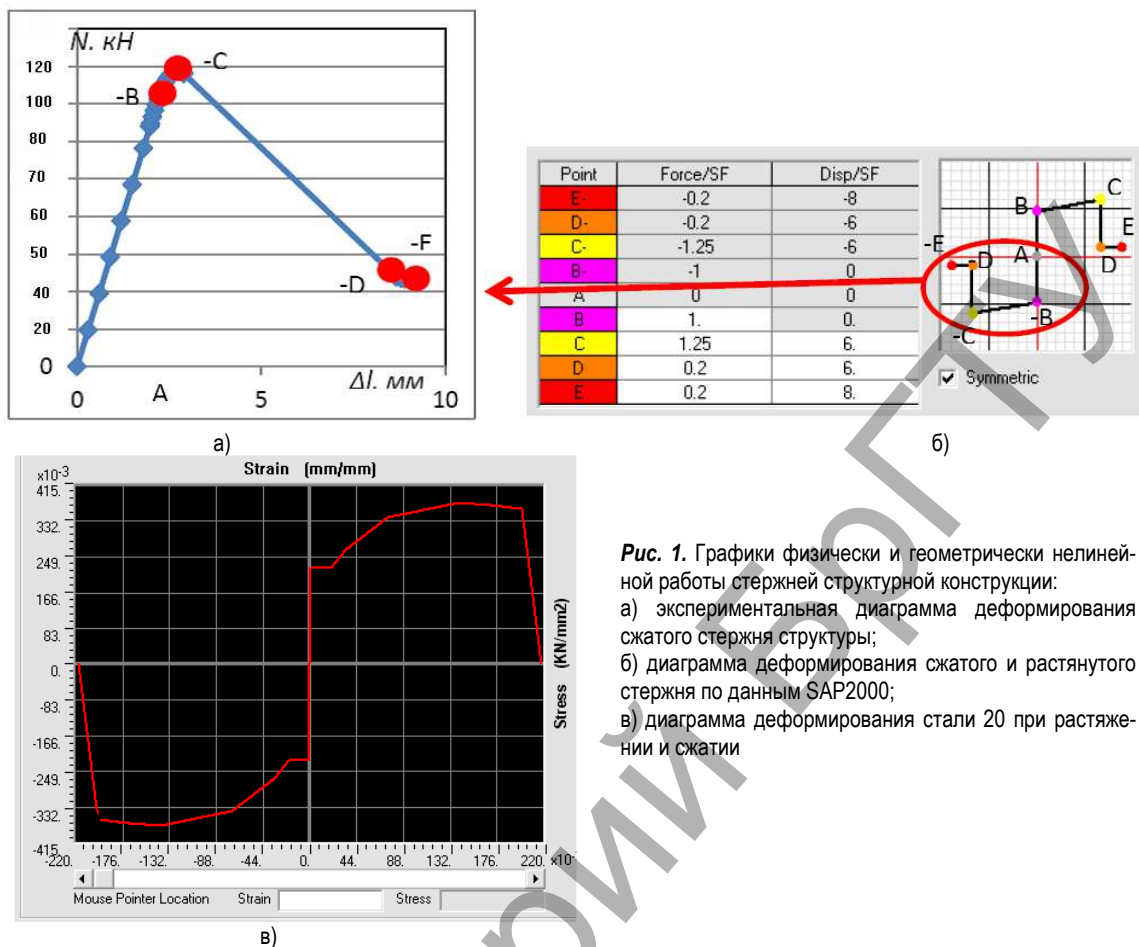


Рис. 1. Графики физической и геометрически нелинейной работы стержней структурной конструкции:
 а) экспериментальная диаграмма деформирования сжатого стержня структуры;
 б) диаграмма деформирования сжатого и растянутого стержня по данным SAP2000;
 в) диаграмма деформирования стали 20 при растяжении и сжатии

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. 1).

Полученная расчетная модель была протестирована на фрагментах. Сопоставление экспериментальных данных с теоретическими дало хорошие результаты, что позволяет ее применять на реальных конструкциях.

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. 1б.

Работа сжатых элементов была описана графиком, построенным по результатам испытания отдельных стержней (рис. 1а) – на рис. 1в нижняя левая ветвь графика.

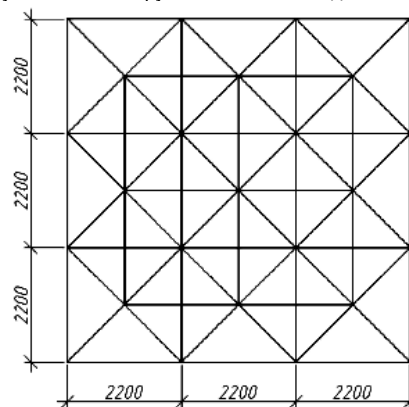
Верификация расчетной модели проводилась на натуральных фрагментах конструкций системы «БрГТУ». По данным испытаний была получена величина практической разрушающей нагрузки, определены ключевые элементы и схемы разрушения фрагментов.

1. Фрагмент большепролетного металлического покрытия системы «БрГТУ». Фрагмент представляет собой квадратную часть большепролетного покрытия (рис. 2а). Все стержни фрагмента выполнены из труб Ø60x4 мм, длиной 2,2 м. Нагружение фрагмента производится через узлы нижнего пояса (рис. 2б), пошагово, до полного разрушения фрагмента. Определялась разрушающая нагрузка в ключевых элементах. После чего, было произведено сопоставление экспериментальных и теоретических данных.

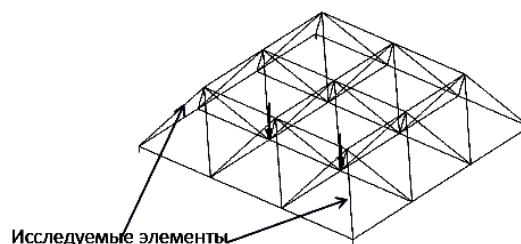
По экспериментальным данным было выявлено наличие ключевых элементов, которыми являются опорные раскосы, именно в этих элементах показаны величины усилий (рис. 2 в–ж). Перемещения указаны для узлов нижнего пояса, в которых была приложена нагрузка.

Нагружение фрагмента производилось пошагово:

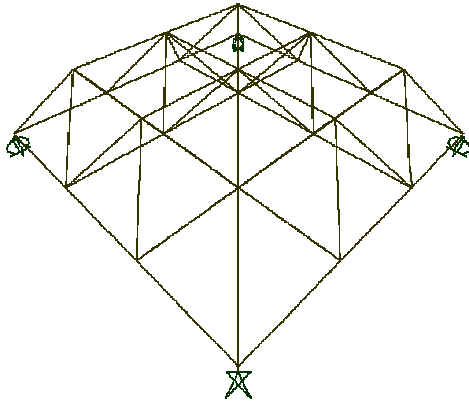
- 1 шаг – без нагрузки, создание фрагмента (собственный вес фрагмента);
- 2 шаг – нагрузка 50 кН в узел;
- 3–6 шаг – увеличение нагрузки по 10 кН на каждом шаге в узел;
- 7–41 шаг – увеличение нагрузка по 1 кН на каждом шаге в узел.



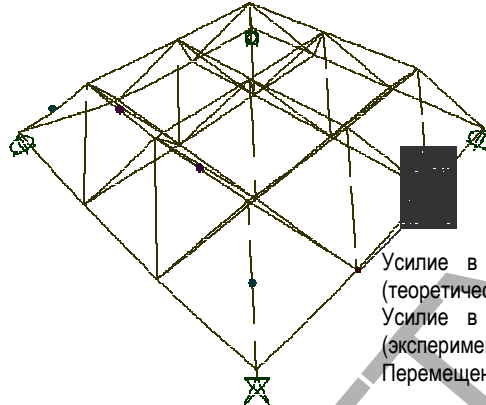
а) испытываемый фрагмент (размеры в плане)



б) схема нагружения



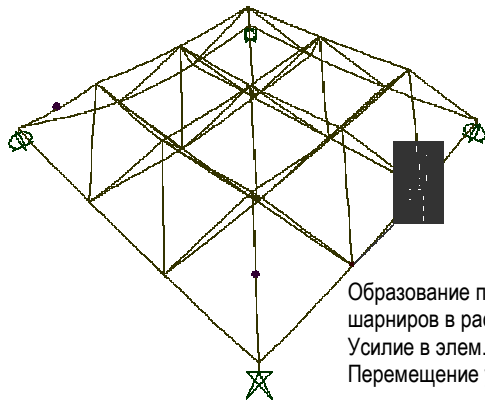
в) шаг 1 – создание расчетной схемы загрузки собственным весом



Усилие в опорном раскосе (теоретическое) – 124 кН
Усилие в опорном раскосе (экспериментальное) – 126 кН
Перемещение узлов – 14,0 мм

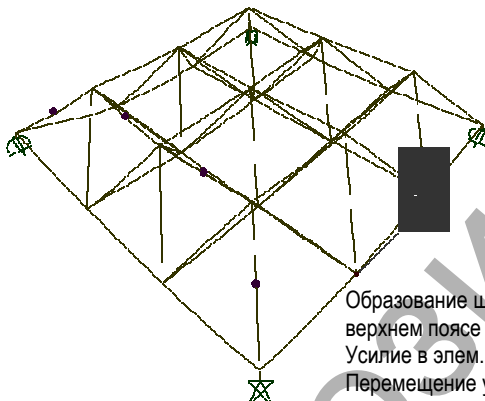
ж) шаг 40 – разрушающая нагрузка 126 кН (экспериментальная разрушающая нагрузка)

Рис. 2. Пошаговое нагружение фрагмента, определение усилий в элементах и перемещения узлов



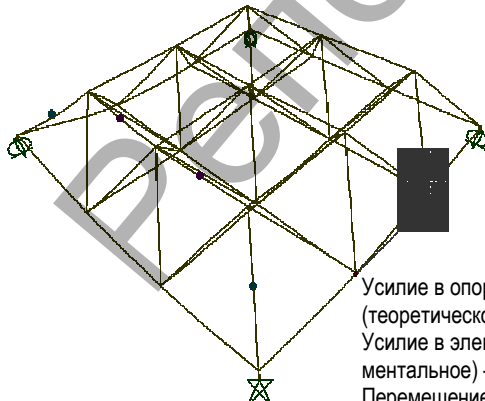
Образование пластических шарниров в раскосах
Усилие в элем. – 93 кН
Перемещение узлов – 4,793 мм

г) шаг 15 – нагрузка 99 кН



Образование шарниров в верхнем поясе
Усилие в элем. – 99,7 кН
Перемещение узлов – 6,21 мм

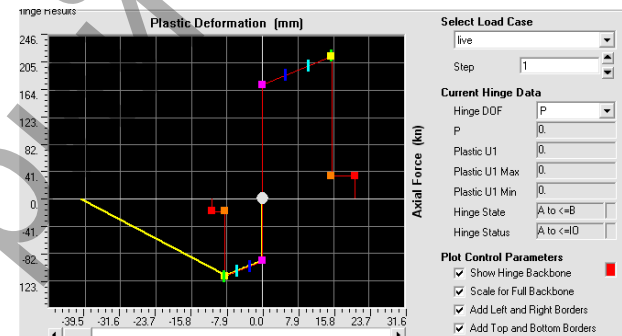
д) шаг 19 – нагрузка 103 кН



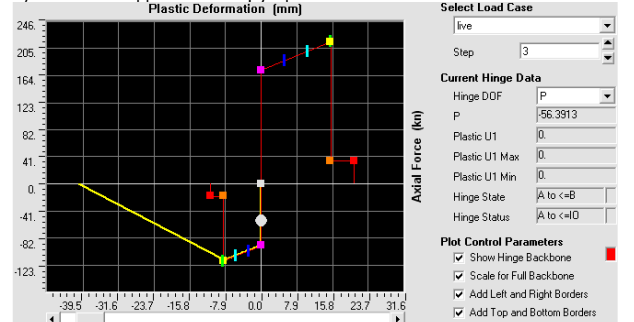
е) шаг 36 – нагрузка 120 кН

Усилие в опорных раскосах (теоретическое) – 112,1 кН
Усилие в элементе (экспериментальное) – 126 кН
Перемещение узлов – 12,52 мм
Перемещение узлов (экспериментальное) – 9 мм

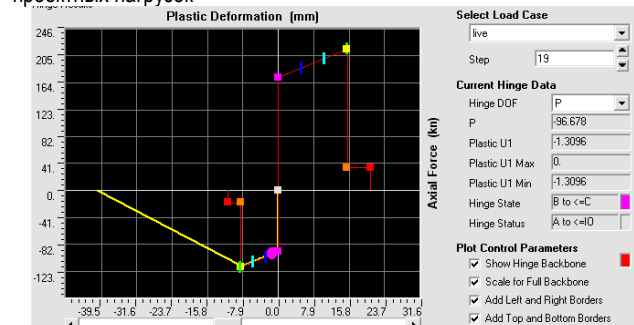
Как видно из расчетной модели наиболее ответственными элементами данного фрагмента являются опорные раскосы, после потери ими устойчивости конструкция превращается в механизм. При помощи ПК SAP2000 было проведено исследование работы опорных раскосов структурной конструкции (рис. 3). Образование пластических шарниров в элементах и переход их на последующие стадии нагружения отмечается по цветовой шкале.



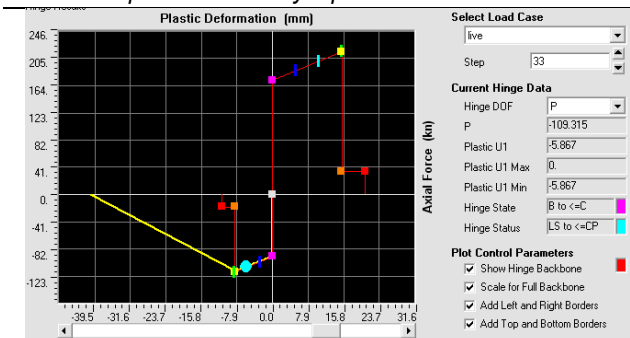
а) шаг 1 – создание конструкции



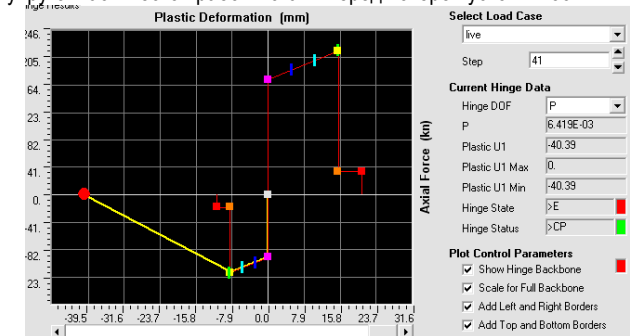
б) шаг 3 – нагрузка 60кН, нагружение опорного раскоса в области проектных нагрузок



в) шаг 19 – нагрузка 103 кН (образование пластических шарниров в опорном раскосе)



г) шаг 33 – нагрузка 117кН, нагружение опорного раскоса в области упругопластической работы стали перед потерей устойчивости



д) шаг 40 – нагрузка 124кН (разрушение фрагмента)

Рис. 3. Работа опорного раскоса в составе фрагмента

Экспериментальные и теоретические данные по испытанию фрагмента сводим в таблицу 1 [1].

Из проведенного анализа можно отметить, что работа элементов фрагмента идет по заложенной диаграмме пластического шарнира, что соответствует действительной работе стержня в составе конструкции, погрешность между экспериментальными и теоретическими данными составляет около 5%, а деформированная схема полностью соответствует полученной экспериментально.

По полученным теоретическим данным была построена диаграмма деформирования фрагмента в координатах «нагрузка на фрагмент – вертикальное перемещение узлов», представленная на рис. 4, которая описывает изменение напряженно – деформированного состояния конструкции на всем протяжении ее нагружения, вплоть до разрушения.

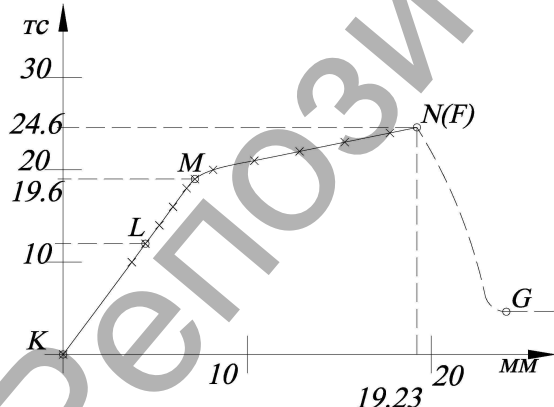


Рис. 4. Зависимость исчерпания живучести, представленная в координатах «суммарная нагрузка на фрагмент – перемещение узла в месте приложения нагрузки»

Таблица 1. Результаты теоретических и экспериментальных исследований живучести фрагмента

Номер стержня	Геом. длина стержня между центрами	Экспериментальные данные		Теоретические данные	
		Критическая сила $N_{кр}$, кН	Нагрузка на фрагмент ¹ , кН	Критическая сила ² , кН	Нагрузка на фрагмент ¹ , кН
1	220	126	120	120	125
2	220	136	120		

¹ – нагрузка в один узел фрагмента, общая нагрузка x2

² – разрушающее усилие в исследуемом стержне

Построенная диаграмма характерна практически для всех пространственных структурных систем, поэтому характеристику ее участков также можно считать общей.

Участок проектной работы характеризуется участком диаграммы в точках K–L. Точка L, для любой системы – есть величина проектной нагрузки (максимальное ее значение). Конструкция работает упруго, снятие нагрузки приводит конструкцию в исходное положение.

Участок LM запроектной работы характеризуется работой системы до исчерпания несущей способности первых стержней конструкции. Для фрагмента точка M соответствует нагружению сжатых раскосов до точки B по диаграммам деформирования (рис. 1а, 1б).

Участок MN сопровождается накоплением повреждений в фрагменте. Данный участок является самым протяженным, а для сложных систем, с большим числом статической неопределенности, может характеризоваться потерей устойчивости нескольких сотен стержней, но не приводит к разрушению конструкции.

Закритическое поведение системы, участок NF. На данном участке происходит дальнейшее накопление повреждений, возможны резкие увеличения перемещений. Работа конструкции при нагрузках, больших величины «уравновешивающей» нагрузки, вычисленной математически [2]. Участок NF при испытании фрагмента не установлен, т.к. после потери устойчивости опорных раскосов расчетная схема становится изменяемой системой.

Аварийное состояние конструкции соответствует участку FG диаграммы KLMNFG. Любой компьютерный расчет в нелинейной постановке прекращается в точке F, т.к. участок FG характеризуется не только разрушением системы в целом, но и превращением расчетной схемы в изменяемую систему.

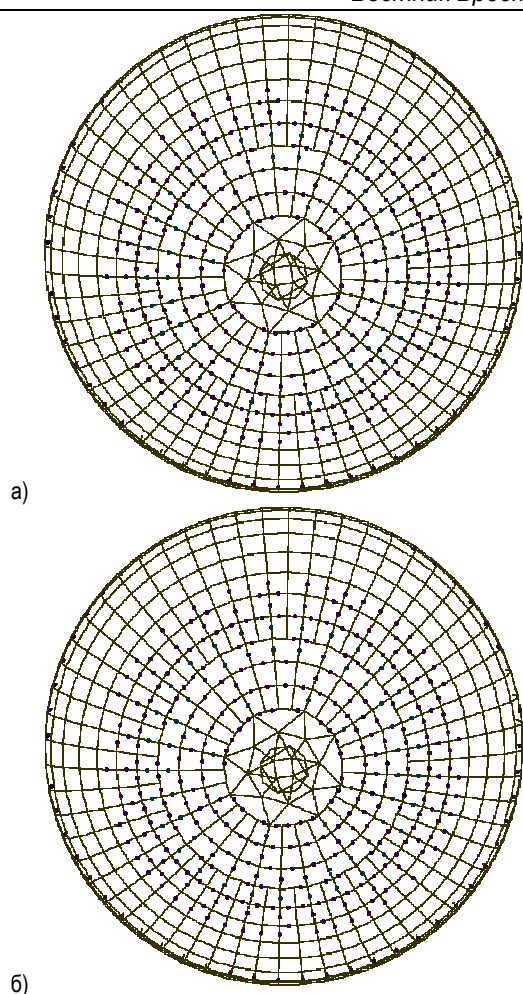
На практике потеря устойчивости опорных раскосов происходит в течении нескольких секунд. При этом, в силу малой величины статической неопределенности фрагмента, проявление динамических воздействий не наблюдалось. Однако в сложных системах, где до полного разрушения может образоваться до тысячи пластических шарниров в элементах системы, возможно накопление такой потенциальной энергии деформирования, что приведет к выделению большой кинетической энергии разрушения. Для таких систем на диаграмме образуется участок NF закритической работы системы, для которого характерен динамический эффект накопления повреждений. Для диаграммы данного фрагмента точки N и F совпадают.

При анализе работ структурных конструкций в среде SAP2000 можно отметить следующие особенности:

- перераспределение усилий в стержнях при их упругопластической работе вплоть до потери устойчивости сжатых стержней и разрыве растянутых стержней;
- определение разных стадий развития нагруженности стержней в процессе нагружения системы;
- прекращение расчета системы при вырождении статической неопределенности;
- возможность нагружения системы во времени.

2. Штаб-квартира НОК РБ в г. Минске. Было проведено исследование живучести купольного покрытия штаб-квартиры НОК РБ в г. Минске.

Конструкции запроектированы в виде двухслойной сетчатой оболочки из структурной системы «БрГТУ» с расстояниями между поясами 1640 мм. Внутренняя поверхность оболочки образована вращением кривой, состоящей из двух дуг окружностей с радиусами $R_1=7,07$ м, $R_2=33$ м.



а)
б)
Рис. 5. Превращение системы в механизм (шаг 39). Узловая нагрузка –11,78 кН а) – повреждения верхнего пояса купола, б) – повреждения нижнего пояса купола

Нагружение системы производилось узловой нагрузкой. Система загружалась постоянными и временными нагрузками. При расчете в нелинейной постановке было важным выявить величину критической (разрушающей) нагрузки. Целью данного расчета было создание адекватной расчетной модели и определение превышения разрушающей нагрузки над проектной. Поэтому нагружение модели производилось через узлы верхнего пояса, а разрушающая нагрузка определялась путем пошагового увеличения снеговой нагрузки.

Полученная расчетная модель НОКа включала в себя следующие нагрузки:

- собственный вес оболочки;
- вес остекления;
- вес оборудования.
- снеговая нагрузка, в расчет из всех схем нагружения принималась наиболее неблагоприятная. Данная нагрузка увеличивалась с шагом $k=0,1 \cdot q$ до момента разрушения системы.

Наиболее важными являются шаги в начале образования шарниров и при разрушении системы. Можно отметить, что скорость выключения элементов верхнего пояса при увеличении нагрузки возрастает, а нижнего пояса – замедляется, при этом в раскосах образовывается всего по 2 шарнира около дверных проемов купола. Общий график скорости выключения элементов при возрастании нагрузки представлен на рис. 7. Разрушение системы происходит при превращении ее в механизм – система становится геометрически изменяемой при превышении проектной снеговой нагрузки почти в 4,5 раза выше проектной.

Анализируя график KLMNFG можно установить следующие участки деформирования сооружения. Участок диаграммы KL – работа конструкций купола в области проектных нагрузок, участок LM – работа конструкций до начала исчерпания несущей способности первых стержней системы, происходит при превышении проектной нагрузки в 1,3 раза. Участок MN – накопление повреждений. В точке N уровень накопленных повреждений характеризуется исчерпанием несущей способности 186 стержней. На участке NF исчерпание несущей способности в результате разрыва стержней или потере устойчивости сжатых стержней имеет динамический характер. Перераспределение усилий происходит с коэффициентом динамичности

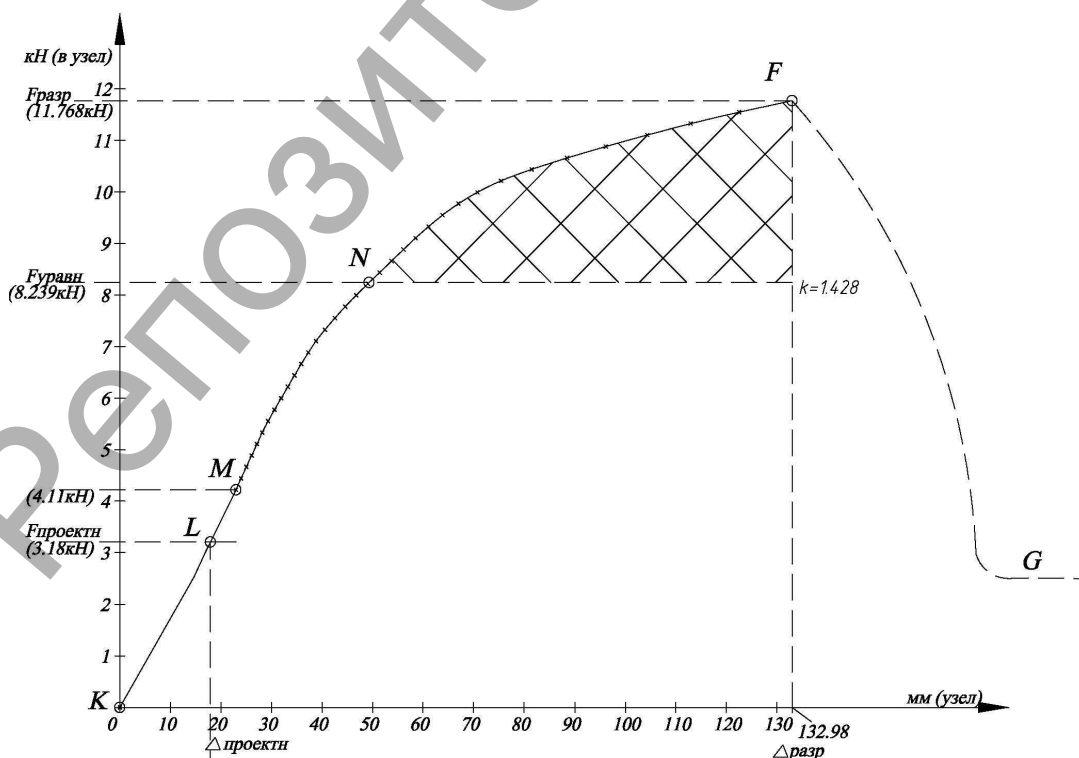


Рис. 6. Зависимость исчерпания живучести в координатах «нагрузка на узел – перемещение центральных узлов купола»

$k_d=1,428$. Величина коэффициента динамичности k_d определена

отношением нагрузок в точках F и N. $k_d = \frac{P_F}{P_N}$, где P_F – нагрузка,

равная полной потенциальной энергии деформирования системы, рассчитанная по площади диаграммы KLMNFG [2].

Построенный график показывает отсутствие ключевых элементов, при пошаговом увеличении нагрузки распределение пластических шарниров происходит равномерно преимущественно по поясам радиальных стержней поясов структурной оболочки.

Для определения скорости накопления повреждений и образования пластических шарниров построен график (рис. 7). По горизонтальной оси указано отношение действующей нагрузки к проектной, по вертикальной оси – отношение стержней исчерпавшим свою несущую способность к общему числу элементов системы. Для исследуемой системы: общее количество стержней в системе – 4949 шт., в момент разрушения сооружения исчерпали несущую способность – 786 стержней, разрушающая узловая нагрузка – 11,768 кН, проектная узловая нагрузка – 3,18 кН.

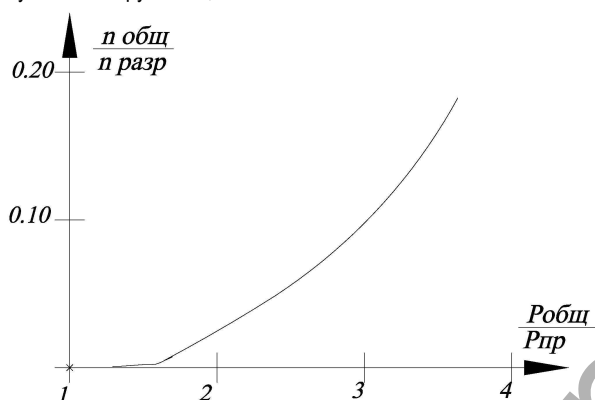


Рис. 7. График скорости накопления повреждений в системе купола НОК

3. Навес в парке г. Хойники. Навес в городском парке г. Хойники представляет собой структурную плиты с треугольной ячейкой. Все стержни длиной 1,5 м и сечением $\varnothing 63,5 \times 3,5$, узлы приняты $\varnothing 160$ мм с толщиной стенки 10 мм. Навес представляет собой приблизительно круглую плиту размерами в плане 16,25x17,255 м, установленную под углом 5° на четыре пространственные колонны (рис. 6). Передача нагрузки происходит через узлы верхнего пояса в местах опирания прогонов.



Рис. 8. Пространственная модель навеса

Нагрузки на покрытие:

- собственный вес структурной плиты;
- постоянная нагрузка (прогоны и профнастил);
- снеговая нагрузка;
- ветровая нагрузка.

Нагрузка прикладывается в узлах пошагово для определения момента разрушения конструкции. Проектная нагрузка – 3,6 кН в узел. Перемещение узлов передней консоли от проектной нагрузки 23 мм.

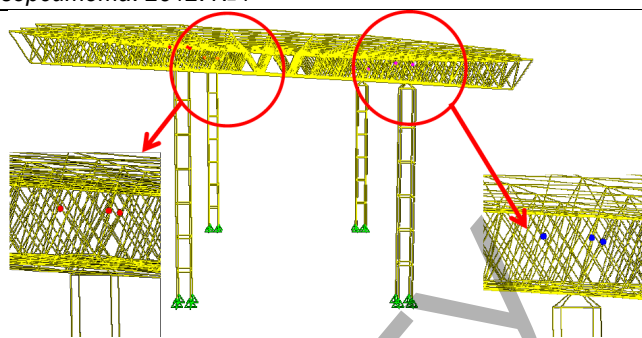


Рис. 9. Деформации структурной плиты (40 мм) и образование первых пластических шарниров в опорных раскосах при нагрузке 9 кН на узел

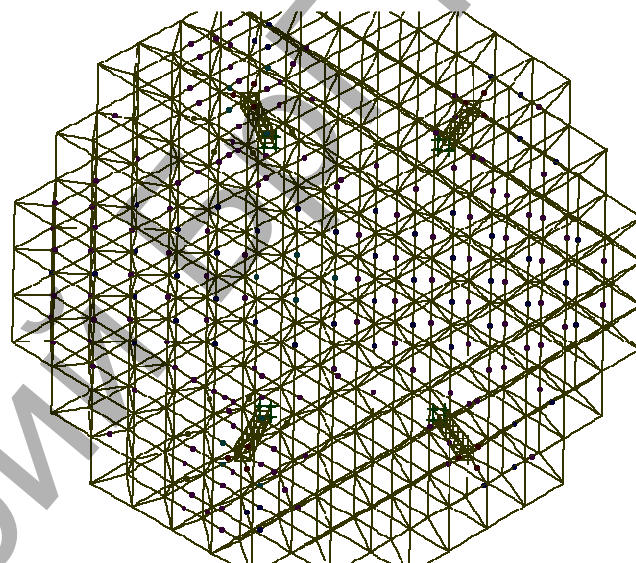


Рис. 10. Исчерпание несущей способности структурной плиты при нагрузке на узел 20 кН

Проведенное исследование показало наличие в данной системе ответственных элементов. Ими являются опорные раскосы, однако их нельзя назвать ключевыми, т.к. при потере их устойчивости конструкция продолжает воспринимать возрастающую нагрузку. При детальном пошаговом расчете было отмечено: при потере устойчивости опорных раскосов при нагрузке 8 кН в узел происходит перераспределение усилий. Шесть стержней нижнего пояса, примыкающих к каждой опоре, ранее работающие на сжатие меняют знаки и начинают работать на растяжение. В плоской структурной плите на опорах проявляется мембранный эффект, который проявляется на графике скачками внутренней энергии системы. При дальнейшем пошаговом нагружении идет постепенное исчерпание несущей способности стержней в структурной плите с последующим вырождением статической неопределенности. Такая работа системы отображена на графике (рис. 11а). Для исследуемой структурной плиты установлено, что общее количество стержней в системе – 1399 шт., число стержней исчерпавших несущую способность до момента разрушения конструкции – 223 шт., разрушающая нагрузка – 20 кН, проектная нагрузка – 3,6 кН.

Путем дополнительного компьютерного моделирования путем придания большей жесткости опорным раскосам было отмечено, что влияние на живучести покрытия это скажется не существенно.

Основные показатели исследования живучести купола НОК РБ и навеса в парке г. Хойники сводим в таблицу 2.

Заключение. Исследования, проведенные на расчетных моделях, построенных для испытанных фрагментов различных форм, навеса в парке г. Хойники, купола НОК в г. Минске позволяют сделать выводы:

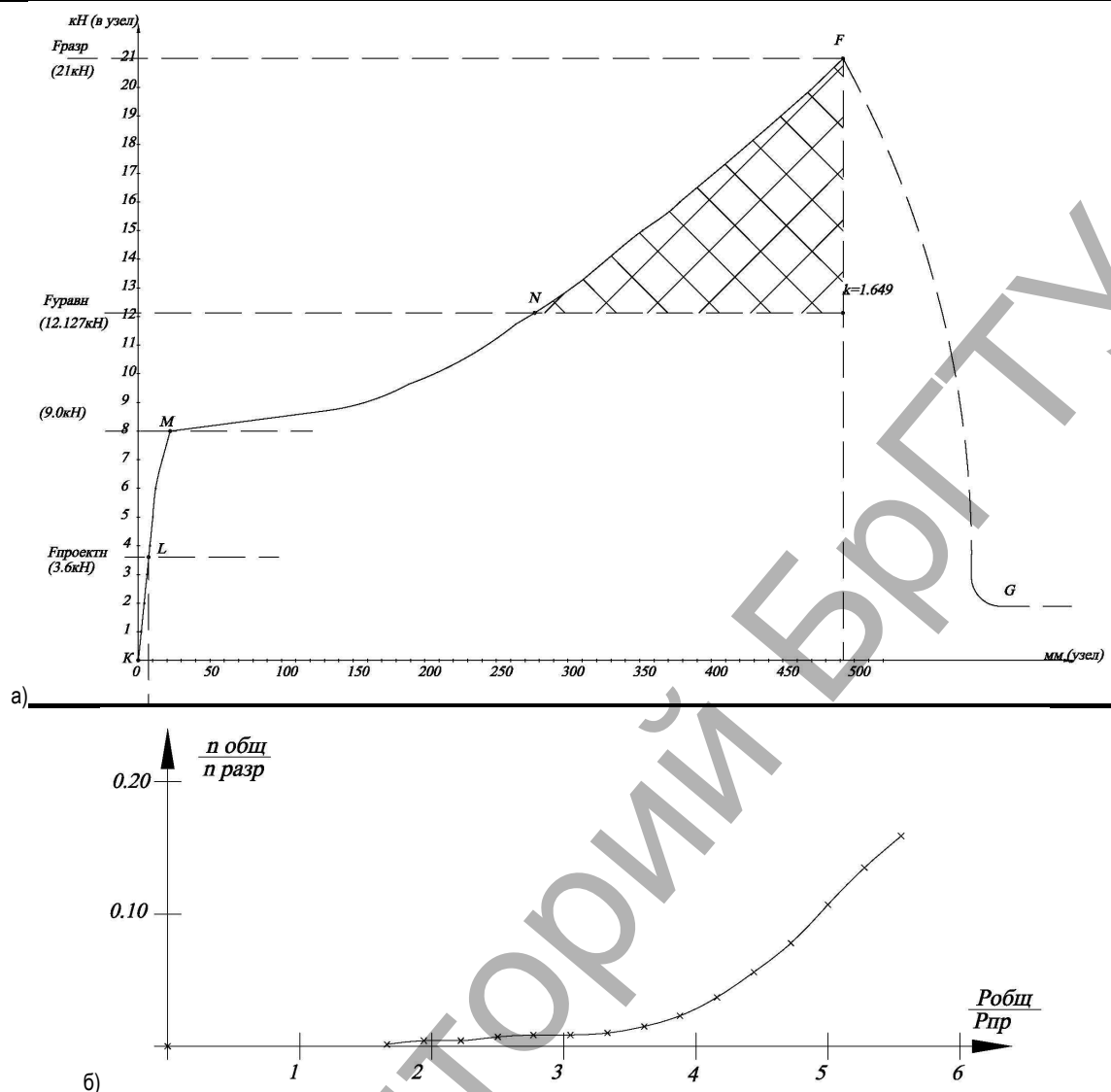


Рис. 11. а) Зависимость исчерпания живучести, представленная в координатах «нагрузка на узел – перемещение узлов передней консоли покрытия», б) график скорости накопления повреждений

Таблица 2. Результаты расчетов живучести купола НОК РБ и навеса в парке г. Хойники.

	$F_{разр}/F_{уравнов}=k_d$	$F_{разр}/F_{проектн}$	Общее количество стержней	Количество стержней с образованием шарниров
НОК	1,428	3,69	4949	786
Навес в г.Хойники	1,649	5,55	1399	223

1. Разработана методика расчета живучести металлических структурных конструкций системы «БрГТУ», основанная на расчете элементов за пределами упругой работы вплоть до потери устойчивости сжатых стержней и разрывов растянутых стержней и перераспределения усилий в системе в процессе запроектной работы сооружения.
2. Выполнена верификация расчетной модели живучести структурных конструкций системы «БрГТУ» по результатам испытаний натурального фрагмента, которая позволила установить основные этапы живучести: 1 – работа конструкции в пределах проектных нагрузок, 2 – работа конструкции до появления первых пластических шарниров в элементах, 3 – стадия накопления повреждений в конструкции, 4 – стадия динамического повреждения конструкции, 5 – стадия разрушения конструкции.
3. Построение диаграммы деформирования различных конструктивных форм структурных конструкций системы «БрГТУ» таких

как купол покрытия здания НОК РБ и структурной плиты покрытия сцены в г. Хойники, которые дают возможность описать процесс накопления повреждений сооружений и определить уровни запаса несущей способности для всех этапов их допроектного и запроектнонагрузений.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Провести теоретические и экспериментальные исследования работы стальных конструкций покрытия летнего амфитеатра в г. Витебске: отчет о НИР / Брестский государственный технический университет; руководитель: В.И. Драган. – Брест, 2007. – 189 с. – № ГР2007457.
2. Городецкий, А.С. Живучесть строительных конструкций в особых расчетных ситуациях / А.С. Городецкий, Т. Цымбалевич, А.В. Тур // Вестник БГТУ: Строительство и архитектура. – 2011. – № 1.

Материал поступил в редакцию 04.02.2012

The design procedure of survivability of metal structural designs of system "BSTU", based on calculation of elements outside of elastic work is developed up to loss of stability of the compressed cores and ruptures of the stretched cores and redistribution of efforts in system in process after design works of a construction.

Verification of settlement model of survivability of structural designs system "BSTU" by results of tests of a natural fragment which has allowed to establish the basic stages of survivability: 1 – work of a design within design loads, 2 – work of a design before occurrence of the first plastic hinges in elements, 3 – a stage of accumulation of damages to a design, 4 – a stage of dynamic damage of a design, 5 – a stage of destruction of a design.

Construction of the diagramme of deformation of various constructive forms of structural designs of system "BSTU" such as a dome of a covering of a building of NOK RB and a structural plate of a covering of a scene in Hojniki who give the chance to describe process of accumulation of damages of constructions and to define levels of a stock of bearing ability for their all stages design loading and after design loading.

УДК 691.322 + 004.94

Разумейчик В.С., Дереченник С.С.

ВЛИЯНИЕ МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯ НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Введение. Современная мировая тенденция производства цементных бетонов заключается в замене обычного портландцемента цементами с высоким содержанием порошкообразных микронаполнителей различного происхождения. Ее обоснование вытекает, в первую очередь, из эколого-экономических соображений и не вызывает сомнений для производителей цемента. Все объясняется очень просто: затвердевший цементный камень содержит до 50% не до конца гидратированных зерен цементного порошка, которые уже не выполняют функции вяжущего материала, а играют роль своеобразного наполнителя, – окруженные продуктами гидратации, они формируют в структуре цементного камня так называемый жесткий каркас, определяя тем самым прочность материала. Это означает потенциальную возможность простого замещения таких цементных зерен специальным порошкообразным микронаполнителем, гораздо более низким по стоимости. В последнее время активно изучается вопрос о том, какой процент цементного порошка можно таким образом сэкономить с сохранением основных свойств конечного материала, и какими характеристиками должен при этом обла-

дать микронаполнитель. В первую очередь это касается его фракционного состава для соответствия исходному гранулометрическому составу цементного порошка – основного структурного параметра, рациональный подбор которого позволяет получать затвердевшие цементы с улучшенными характеристиками.

Для потребителей цемента целесообразность вышеуказанного подхода не всегда однозначна – это связано со свойством наполнителя существенно изменять поведение бетонной смеси уже на стадии ее приготовления. Наполнители влияют на её структуру и свойства путем перераспределения характера и значений сил, возникающих между тонкими частицами твердой фазы и жидкой средой. Сам по себе микронаполняющий эффект является следствием целого ряда взаимосвязанных воздействий дисперсной составляющей на цементную систему в процессе ее гидратации. Комплексный учет таких воздействий возможен только при наличии достаточно эффективного инструмента для исследования кинетики гидратации цементных систем при различных ее исходных характеристиках.



Рис. 1. Концепция стохастического структурно-фазового моделирования гидратирующей цементной системы

Разумейчик Вита Станиславовна, старший преподаватель кафедры «ЭВМ и системы» Брестского государственного технического университета.

Дереченник Станислав Станиславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «ЭВМ и системы» Брестского государственного технического университета.

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