Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 2 (41). 2016. 18-29

Construction of Unique Buildings and Structures

journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Рациональные геометрические и жесткостные параметры большепролетного структурного покрытия

А.В. Мущанов[1], В.Ф. Мущанов[2], И.В. Роменский[3]

[1-3]Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 86123, Украина, Донецкая область, Макеевка, ул.Державина, 2.

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК	Подана в редакцию 11 июля 2015	большепролетные структурные покрытия; система МАРХИ; напряженно-деформированное состояние; типизация; унификация;

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены возможности перекрытия прямоугольных в плане большепролетных покрытий с нестандартным соотношением сторон с помощью структурной системы МАРХИ. Приведены основные сведения типизации основных конструктивных элементов системы МАРХИ для стержней и узловых вставок-коннекторов. Предложены подходы для регулирования основных параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) проектируемой системы, реализация которых позволяет использовать для перекрытия нестандартных пролетов типовые конструктивные элементы рассматриваемой системы. Предложены аналитические зависимости для назначения основных параметров (относительная высота покрытия h/l, относительный выгиб покрытия f/l) и рассмотрены основные закономерности изменения параметров НДС проектируемого покрытия в зависимости от изменения параметров проектирования.

Содержание

1. Введение 19
2. Обзор литературы 21
3. Основная часть 22
4. Заключение 26

Контактный автор:
1. +380997934155, mushhanov93@gmail.com (Мущанов Александр Владимирович, студент)
2. +38(050)3680804, mvf@donnasa.edu.ua (Мущанов Владимир Филиппович, д.т.н., профессор)
3. +38(050)-529-22-03, riv_2005@mail.ru (Роменский Игорь Викторович, к.т.н., доцент)

1. Введение

Система МАРХИ представляет собой принципиально новый способ проектирования и строительства, основанный на тесном взаимодействии вопросов расчета, изготовления, транспортировки и монтажа составных элементов конструкции и формирования объемно-пространственной конструктивной "оболочки" зданий и сооружений. Эта система отвечает всестороннему качественному анализу функционально-технологических, архитектурно-художественных, строительно-технических и экономических задач.

В отличие от ранее существующих методов строительства, основанных на типизации крупных строительных конструкций (колонна, балка, ферма и т.п.) или зданий в целом, в системе МАРХИ объектом типизации является стержень и узловой элемент, оптимизированные по массе и несущей способности. Они не подчиняются какой-либо конкретной архитектурно-конструктивной форме, что обеспечивает возможность их накопления на складе завода-изготовителя с последующей комплектацией любой необходимой конструкции [6, 4, 8, 12, 14, 23].

Структурные конструкции обладают рядом достоинств: благодаря большой пространственной жесткости структурными покрытиями можно перекрывать значительные пролеты при разнообразных опорных контурах или сетках колонн [16]. Применяемая при этом сравнительно небольшая строительная высота позволяет получить выразительное архитектурное решение, а также экономию на объеме здания и ограждающих стеновых конструкциях. Регулярность строения конструкции позволяет собирать из одних стандартных элементов покрытия разных пролетов и конфигураций в плане, а многосвязность системы повышает степень ее надежности при внезапных локальных разрушениях. [2, 11, 13, 15, 24].

К недостаткам структурных систем относится повышенная трудоемкость их изготовления и сборки, что является следствием отступления от принципа концентрации материала. Этот недостаток в определенной мере компенсируется однородностью операции при изготовлении и сборке, что создает условия для поточного производства стандартных конструктивных элементов. [2].

Перекрестно-стержневые пространственные конструкции (ПСПК) системы МАРХИ обладают большими формообразующими возможностями. Собираемые из отдельных трубчатых стержней и многогранных узловых элементов при помощи одноболтового соединения, ПСПК системы МАРХИ представляют собой регулярные структуры, в основе которых лежат правильные многогранники, обладающие важнейшим свойством — плотным заполнением пространства и единой длиной модульного стержня в пределах проектируемой конструкции (Рис. 1. URL: http://www.sistems-marhi.ru/upload/medialibrary/25c/polyhedron.gif).

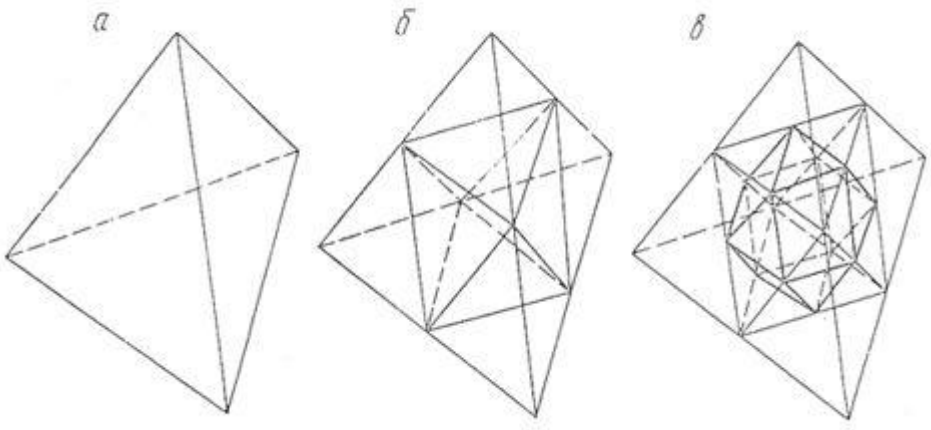

Рис. 1. Платоновы и Архимедовы тела:
А – тетраэдр; б,в – многогранники

Этими свойствами, в частности, обладают правильные Платоновы тела — *тетраэдр и октаэдр*, — и ряд Архимедовых тел — *полуправильные многогранники*, получаемые делением ребер Платоновых тел на равное число отрезков [6].

Унифицированный сортамент системы МАРХИ был создан на основе оптимизации по весу ограниченного числа стержневых и узловых элементов, выбор которых основывается на трех основных аспектах:

1. Определение градаций несущих способностей стержневых и узловых элементов сортамента, используемых для комплектации практически неограниченного количества монтажных схем пространственных конструкций;

2. Определение рационального числа типоразмеров стержневых и узловых элементов в большом диапазоне несущей способности от 1 до 1000 кН;

3. Стандартизация основных геометрических размеров стержневых и узловых элементов и их соединений, а также применение конструктивных материалов высокой прочности, обеспечивающих оптимальную экономику монтажных марок системы [6].

Рис. 2. Турбинный зал – Бурейская ГЭС
(размер перекрываемой части 150х28,5 м)

Система МАРХИ имеет довольно широкую область применения в строительстве. Эта система позволяет перекрывать сооружения любого назначения с пролетами до 100 м включительно [17]. Это могут быть как элитные масштабные сооружения типа музеев, выставочных зданий и крытых стадионов для тренировки футбольных команд, для складских, торговых и специальных производственных помещений, покрытий машинных залов крупных гидроэлектростанций (Рис. 2. URL: http://www.sistems-marhi.ru/upload/medialibrary/efe/buria3.gif) [10]. На данный момент система имеет широкое распространение на территории РФ (Бурейская ГЭС в труднодоступном районе Дальнего Востока, 86 объектов, построенных к Московской Олимпиаде 1980 г.), однако не нашла своего широкого применения в Украине [6].

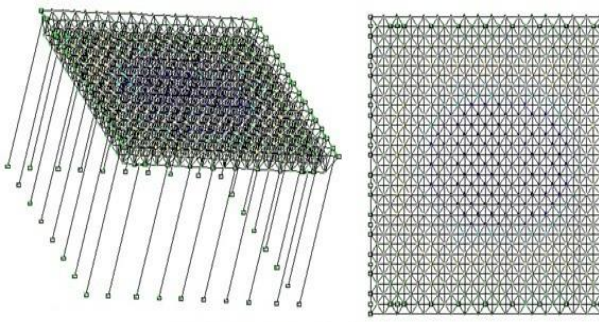

Рис. 3. Исследуемая структурная конструкция

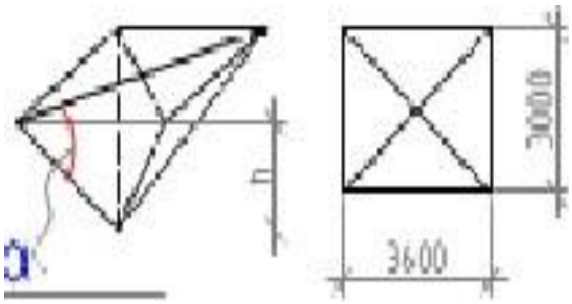

Рис. 4. Элементарная ячейка покрытия

Объектом исследования является структурная несущая конструкции большепролетного покрытия культурно-развлекательного комплекса в городе Донецке.

Размеры перекрываемой части здания в плане составляют 68,4х42м. (Рис. 3). Шаг колонн различный в продольном и поперечном направлении. Отметка низа покрытия +12.2 м [3].

В качестве покрытия используется структурная плита типа МАРХИ. Несущими элементами структурной плиты являются трубы, соединенные в узлах на болтах, с помощью специальных узловых элементов (коннекторов). В качестве элементарной ячейки структуры базового варианта принята пирамида с основанием в виде прямоугольника 3х3,6 м (что соответствует шагу колонн вдоль и поперек здания) и ребрами равными 3,6 м. Высота структурного покрытия составляет 2,73м, угол наклона ребра α = 49,4° (Рис. 4) [3]. Все выбранные сечения труб были приняты по [19, 20].

Система МАРХИ обладает множеством положительных качеств и является надежным и экономически выгодным вариантом покрытия [18]. Однако, существует определенный ряд проблем, с которыми возможно столкновение при выборе в качестве покрытия системы МАРХИ:

1) использование системы МАРХИ при нестандартных пролетах приводит к геометрическому изменению элементарной ячейки и соответственно нестандартного шага колонн;
2) из-за нетрадиционного соотношения размеров объекта в плане (для частного случая, рассматриваемого далее,68,4х42≈1, 6:1) в узлах возникают большие усилия. И даже использование высокопрочных болтов из наиболее прочных марок стали, применяющихся в данный момент в Украине - 40Х «селект», не позволяет решить эту проблему.

Некоторыми возможными способами регулировки усилий в элементах покрытия является:

1) изменение локальных геометрических параметров (в данном случае изменение элементарной ячейки по высоте);
2) изменение общей геометрии покрытия путем «вспарушивания» (перехода от плоской геометрии к криволинейной).

2. Обзор литературы

Выполненный обзор литературы подчинен решению основной задачи, рассматриваемой в данной статье, а именно: установлению таких геометрических параметров проектируемой конструкции на нетиповом плане, которые обеспечили бы возможность использования типовых элементов системы МАРХИ (стержней и вставок-коннекторов).

Из множества трудов отечественных и зарубежных авторов, посвященных расчету, проектированию и эксплуатации структурных покрытий, прежде всего, следует выделить работы посвященные:

- нормативному обеспечению процесса проектирования [1,19,20],
- изложению общих принципов компоновки, расчета и проектирования рассматриваемых конструкций [2,4,8,10,13,14,17,23],
- численному исследованию особенностей напряженно-деформированного состояния большепролетных структурных конструкций, в том числе на нетиповом плане, с учетом геометрических несовершенств и других значимых факторов [3,7,9,11,12,21,24,25],
- разработке аналитических принципов расчета, базирующихся на теории изгиба тонких плит [5,15,16,22]
- типизации и унификации конструктивных элементов структурных покрытий [6,16,18].

Выполненный обзор и анализ проведенных ранее исследований позволил сформулировать основную задачу исследования, результаты которого представлены в данной статье, а именно: *отыскание таких геометрических параметров типовой ячейки покрытия, которые могли бы удовлетворять*

максимальной несущей способности высокопрочного болта 40Х «селект» (100 т), являющегося одним из основных типовых конструктивных элементов системы МАРХИ, регламентирующего его несущую способность

3. Основная часть

Для достижения этой цели, в работе используется как аналитический, так и численный расчет напряженно-деформированного состояния конструкций.

Аналитический метод расчета основывается на приближенном методе расчета изгибаемых тонких плит и выполняется в соответствии с методикой, предложенной в изученных нами отечественных работах [16] и зарубежных [15, 22]. Однако в качестве фундаментальных работ в этом направлении, конечно следует считать работу А.Г. Трущева [5].

Численные исследования в данном исследовании были выполнены с помощью программного комплекса «SCAD» – вычислительного комплекса для прочностного анализа конструкций методом конечных элементов [7]. Единая графическая среда синтеза расчетной схемы и анализа результатов обеспечивает неограниченные возможности моделирования расчетных схем от самых простых до самых сложных конструкций [25].

В ходе анализа основным варьируемым параметром являлось соотношение высоты покрытия к пролету (*h*/ *l*), в зависимости от которых анализировалось изменение усилий в основных несущих элементах покрытия. Данные результатов аналитического и численного анализа представлены в таблицах 1 и 2, а также на рис. 5 и 6, где определение усилий в поясах и раскосах осуществлялось по формулам:

$$N_{\text{п}} = \pm 2{,}1 \cdot M_{max} \cdot \frac{a}{h}; \qquad N_{\text{р}} = \mp 1{,}4 \cdot V \cdot \frac{a_1}{sin\alpha}$$

Таблица 1. Параметры и результаты аналитического расчета

№ Строки	Параметры	Соотношение *h*к *l*				
		1/15	1/16,5 (Standard)	1/20	1/25	1/30
1	2	3	4	5	6	7
1	Коэффициенты: Ψ $a_{кор}$ $a_{дл}$	 49 47,5 21	 49 47,5 21	 49 47,5 21	 49 47,5 21	 49 47,5 21
2	*V* (кН)	54,1	54,1	54,1	54,1	54,1
3	$M_{кор}$ (кНм) $M_{дл}$(кНм) M_{max} (кНм)	358,6 158,4 358,6	358,6 158,4 358,6	358,6 158,4 358,6	358,6 158,4 358,6	358,6 158,4 358,6
4	*h* (м)	3	2,74	2,5	2	1,5
5	$l_{кор}$(м)	42	42	42	42	42
6	$l_{дл}$(м)	68,4	68,4	68,4	68,4	68,4
7	*P* (кН/м)	2,628	2,628	2,628	2,628	2,628
8	$a_{кор}$(м)	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
9	$A_{дл}$(м)	3	3	3	3	3
10	$a_{1,кор}$(м)	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
11	$a_{1,дл}$ (м)	3	3	3	3	3
12	*Sinα*	0,85	0,83	0,81	0,74	0,64
13	$N_п$	±753,06	±824,5	±903,7	±1129,6	±1506,1
14	$N_р$	-366,6	-375,4	-384,7	-421,1	-486,9

Таблица 2. Параметры и результаты численного расчета

№ Строки	Параметры	Соотношение *h*к *l*				
		1/15	1/16,5 (Standard)	1/20	1/25	1/30
1	$N_{max\ п}$, кН (эл-т 247)	871,27	953,05	1043,6	1302,1	1733,27
2	$N_{min\ п}$, кН (эл-т 861)	-854,5	-937,27	-1028,75	-1289,19	-1722,19
3	W_{max}, мм (узел 143)	93,3	107,9	125,8	186,4	318,5
4	$N_{min,\ р}$кН (эл-т 1237)	-265,41	-273,36	-282,89	-313,53	-372,56

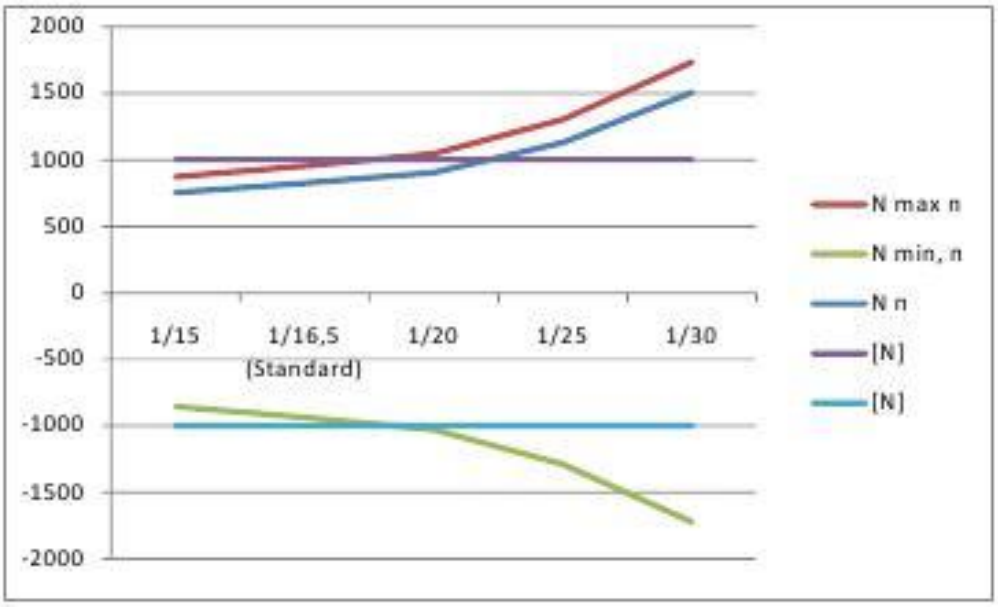

Рис. 5. Усилия в поясах (численный и аналитический расчет) в зависимости от соотношения *h* / *l*

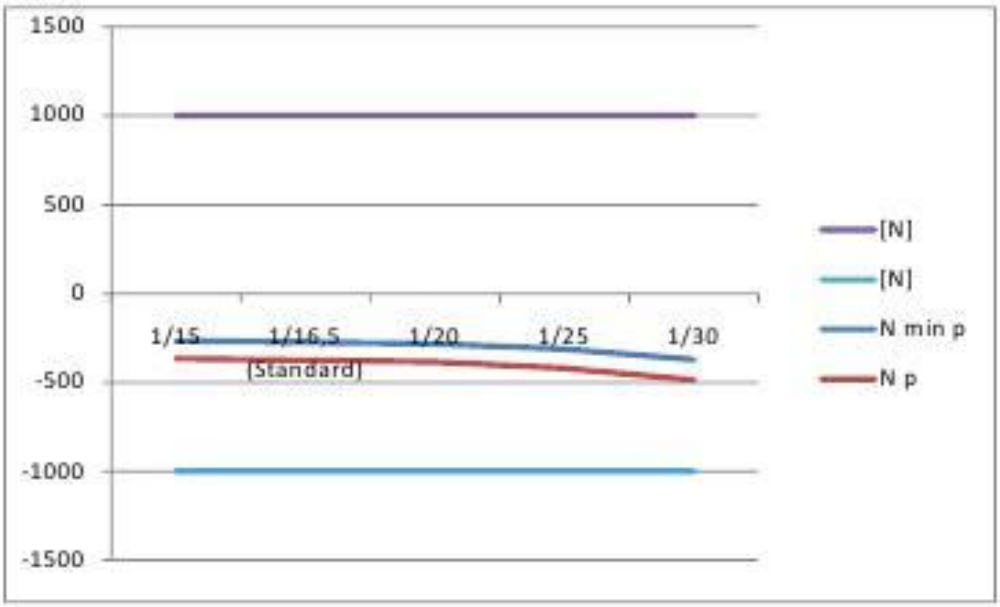

Рис. 6. Максимальные усилия в раскосах (численный и аналитический расчет) в зависимости от соотношения *h* / *l*

В рис. 5. и 6 использованы следующие условные обозначения:
Nmin p – максимальные сжимающие усилия в раскосах, полученные численным методом.
N п – усилия в раскосах, полученные аналитическим методом.

[N] – предельно допустимые нагрузки по несущей способности болта.

Вторым способом регулирования усилий, как уже было оговорено выше, является «вспарушивание». Целью исследования данного способа является изучение влияния стрелы выгиба структурной плиты на напряженно-деформированные состояния (НДС) конструкции.

Для анализа влияния «вспарушивания» на принятую конструкцию разработан вариант шарнирно неподвижного закрепления структурной конструкции по контуру;

Все расчеты по данному способу также были произведены с помощью программного комплекса «SCAD». Результаты исследования представлены в таблицах 3,4,5 и на рис. 7.

Таблица 3. Параметры численного расчета для 1/50

№ шага «выдавливания»	Контролируемый параметр	Вариант закрепления опор
		Неподвижное закрепление
0 (плоский вариант)	W_{max} (мм)	357,49
	N_{max} (кН)	171,42
	f_0/l	0
1	W_{max} (мм)	309,64
	N_{max} (кН)	151,36
	f_0/l	8,5
2	W_{max} (мм)	249,72
	N_{max} (кН)	151,27
	f_0/l	15,8
3	W_{max} (мм)	202,95
	N_{max} (кН)	133,66
	f_0/l	21,8
4	W_{max} (мм)	170,23
	N_{max} (кН)	118,57
	f_0/l	26,6
5	W_{max} (мм)	147,27
	N_{max} (кН)	106,48
	f_0/l	30,7
6	W_{max} (мм)	130,37
	N_{max} (кН)	96,90

	f_0/l	34,2

Таблица 4. Параметры численного расчета для 1/30

№ шага «выдавливания»	Контролируемый параметр	Вариант закрепления опор
		Неподвижное закрепление
0 (плоский вариант)	W_{max} (мм)	135,76
	N_{max} (кН)	95,39
	f_0/l	0
1	W_{max} (мм)	-
	N_{max} (кН)	-
	f_0/l	-
2	W_{max} (мм)	-
	N_{max} (кН)	-
	f_0/l	-
3	W_{max} (мм)	-
	N_{max} (кН)	-
	f_0/l	-

Таблица 5. Параметры численного расчета для 1/20

№ шага «выдавливания»	Контролируемый параметр	Вариант закрепления опор
		Неподвижное закрепление
0 (плоский вариант)	W_{max} (мм)	67,33
	N_{max} (кН)	63,11
	f_0/l	0
1	W_{max} (мм)	-
	N_{max} (кН)	-
	f_0/l	-

Примечание к таблицам 3,4,5: Прочерк в колонках означает попадание предыдущего параметра в границы допустимых значений.

На рис. 7 представлен график зависимости напряженно-деформированного состояния (НДС) от стрелы выгиба структурной плиты. Значения для графика были приняты из соответствующих таблиц (3,4,5).

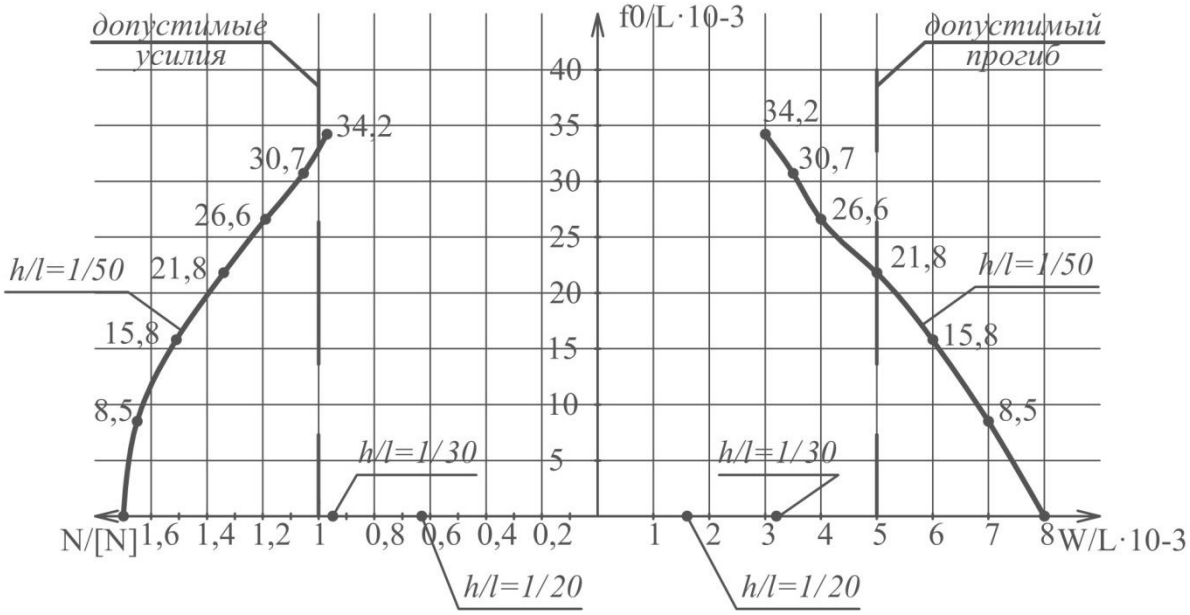

Рис. 7. Зависимости основных параметров НДС покрытия (неподвижное закрепление)

4. Заключение

1. Для анализируемого плана покрытия (*a*:*b=1,6*:*1*), при нагрузке *Q=263 кг/м²* [1], характерной для города Донецка, предельным соотношением *h/l,* при котором возможно использование типовых узлов системы МАРХИ есть *h/l=1/17,* что несколько отличается от традиционных рекомендаций по назначению *h/l* для структурных покрытий (1/15…1/30).

2. Наиболее чувствительными к изменению соотношения *h/l* являются усилия в поясах, которые изменяются пропорционально высоте покрытия *h.* При уменьшении высоты покрытия в 2 раза усилия в поясах структуры увеличиваются на 100%. Менее чувствительными к изменению геометрии являются усилия в раскосах, для которых изменения геометрических параметров покрытия в 2 раза приводит к изменению усилий в раскосах на 40%.

3. При переходе от плоской схемы к пространственной в виде пологой оболочки, требуемое значение начальной стрелы выгиба составляет *f/l=1/27*, при которой обеспечивается возможность использования стандартных элементов типа МАРХИ, для пологой оболочки неподвижно закрепленной по контуру.

4. Сопоставление результатов аналитических и численных исследований показывают их удовлетворительность сходимости в пределах 15%.

5. Результаты исследования НДС конструкции, полученные путем «вспарушивания», показали, что «вспарушивание» является эффективным методом регулирования параметров НДС при условии «жесткого защемления» конструкции.

Литература

[1]. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2006. 78 с.

[2]. Беленя Е. И., Балдин В. А., Ведеников Г. С. и др. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1985. 560 с.

[3]. Мущанов А. В., Роменский И. В. Учет особенностей конструктивных решений системы МАРХИ при разработке индивидуального проекта большепролетного структурного покрытия // сборник докладов Пятой Международной научно-практической конференции (Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях). М.: Изд-во МГСУ, 2013. С 111-115.

[4]. Gaylord Edwin, Gaylord Charles, Stallmeyer James. Structural engineering. New York: The McGraw Hill Companies, 1997. 1024 p. – ISBN 0070237247.

[5]. Трущев А. Г. Пространственные металлические конструкции: учебное пособие. М.: Стройиздат, 1983. 216 с.

[6]. НПЦ Виктория: система МАРХИ [Электронный ресурс]. URL: http://www.sistems-marhi.ru/marhi/ (дата обращения: 12.05.2015)

[7]. Перельмутер А.В, Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа– 4-е изд., перераб. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 736 стр.

[8]. Горохов Е.В., Мущанов В.Ф., Кинаш Р.И. [и др.]. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов. Макеевка: ДонНАСА, 2008. 405 стр.

[9]. Мущанов В.Ф. Избранные методы строительной механики в расчетах пространственных конструкций. Макеевка: ДонНАСА, 2006. 292 стр.

[10]. Горохов Е.В., Мущанов В.Ф., Назим Я.В., Роменский И.В. Расчет и проектирование пространственных металлических конструкций. Макеевка: ДонНАСА, 2012. 561 с.

[11]. Modern building materials, structures and techniques: Abstracts of the 9th International Conference, held on May 16-18, 2007 / Vilnius Gediminas Technical University. - VIlnius: Technika, 2007. 516 p.

[12]. Bujisen Michel. Dynamic Space Frame Structures [Web source]. System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: http://homepage.tudelft.nl/x4x4j/saddbtreports/1011nj/Dynamic_Space_Frame_Structures_Michel_Bujisen.pdf (date of rederence 14.05.2015]

[13]. Beranek W.J. Krachtswerking deel 3: Varkwerken, standzekerheid. Delft: TU Delft – 2000. 92 p.

[14]. Schumacher M., Schaeffer O., Vogt M.M. Move – Architecture in Motion. Basel: Birkhauser Verlag AG. 2010, 248 p. ISBN: 3764399864.

[15]. Hutchinson R.G., [et al]. Kagome plate structures // International Journal of Solids and Structures, №40. 2003, pp. 6969-6980.

[16]. Файбишенко В.К. Металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1984. 336 с.

[17]. Дыховичный Ю.А. Большепролетные конструкции сооружений Олимпиады-80 в Москве. М.: Стройиздат, 1982. 277 с.

[18]. Стрелецкий Н.С., Стрелецкий Д.Н. Проектирование и изготовление экономичных металлических конструкций. М.: Стройиздат, 1964. 239 с.

[19]. Помощь по ГОСТам. ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. [Электронный ресурс]. URL: http://www.gosthelp.ru/text/GOST1070491Trubystalnyeel.

[20]. Васильченко В.Т., Рутман А.Н., Лукьяненко Е.П. Справочник конструктора металлических конструкций - 2-е изд,, перераб. и доп. К.: Будивэльнык, 1990. 312 с.

[21]. Rosen A., Sabag M., Givoli M. A general nonlinear structural model of a multirod (multibeam) system—I. Theoretical derivations // Computers & Structures, Volume 61, Issue 4 - 1996. pp. 617-632.

[22]. Robert A. Heller. Mechanics of Structures // Encyclopedia of Physical Science and Technology (third edition) - 2003. pp. 259-278

[23]. John D. Renton. Chapter 15 - Regular Structures // Elastic Beams and Frames (Second Edition) - 2002. pp. 15.1 -15.36

[24]. Bondarev A., Yugov A. The Method of Generating Large-span Rod Systems with the Manufacturer Defect and Assembly Sequence // Procedia Engineering, Volume 117 - 2015. pp. 948-958

[25]. Гарифуллин М.Р., Семенов С.А., Беляева С.В., Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Поиск рациональной геометрической схемы пространственной металлической конструкции покрытия большепролетного спортивного сооружения. Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 2 (17). 2014. с. 107-124

Rational geometric and stiffness parameters of long-span structural roof

A.V. Mushchanov [1], V.F. Mushchanov [2], I.V. Romensky[3]

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,2, Derzhavin str., Makiyivka, Donetsk region, Ukraine, 86123

ARTICLE INFO	Articlehistory	Keywords
scientific article **doi:**	Received 11 July 2015	long-span structural coating; system MARCHI; stress-strain state; typing; unification;

ABSTRACT

This work is devoted to solving the actual problem - the spread of well proven standard solutions structural designs for bridging non-standard plans based on the finding of the geometric parameters of a typical cell coverage, which could meet the maximum load capacity of high-strength bolts 40X "SELECT" (100 m), which is one of the main types of structural elements of the Moscow Institute of Architecture and limiting its load-bearing capacity. The object of research, in this case, a regular structural design of the Moscow Architectural Institute at unconventional plan 68,4h45 m. To solve the above problems in using both analytical and numerical methods of calculation. Analytical calculation method based on the theory of bending of thin slabs and is carried out in accordance with the method proposed in the work AG Truscheva. Numerical studies were performed using the software complex «SCAD», which established finite element model of the design, explore further the case securely fastened on a path to consolidate and different variations of geometric shapes cover (from the flat geometry of the structure to reverse dish of structural slabs to form a shallow shell) . As a result of the research, the following results: 1) analyzed the plan cover (a: b = 1,6: 1), with a load of q = 263 kg / m2, the limit value for h / l, in which the possible use of standard system components MARCHI there h / l≈1 / 17, which is somewhat different from the traditional recommendations for appointment of h / l for structural coatings (1/15 ... 1/30); 2) at the transition from the flat circuit to the space, in the form of a shallow shell fixedly attached contour required value dish of primary boom, whereby it is possible to use standard type elements MARKHI is f / l≈1 / 27; 3) The results of the study of stress-strain state (SSS) of the structure obtained in the case of the return of dish plate showed that this method is an effective method of controlling the parameters of the VAT provided fixedly mounted on circuit design. The results obtained in the course of research, have practical importance, as because of their use may theoretically justified the appointment of rational geometric parameters of the projected structural design of coating on the initial design stage.

Corresponding author :
1. +380997934155, mushhanov93@gmail.com (Alexander Vladimirovich Mushchanov, Student)
2. +38(050)3680804, mvf@donnasa.edu.ua (Volodymyr Filippovich Mushchanov, Ph.D., Professor)
3. +38(050)-529-22-03, riv_2005@mail.ru (Igor Victorovich Romensky, Ph.D, Associate Professor)

References

[1]. DBN V.1.2-2:2006. Sistema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeki budivelnikh ob'єktiv. Navantazhennya i vplivi. Normi proyektuvannya. K.: Minbud Ukraïni, 2006. 78 s.
[2]. Belenya Ye. I., Baldin V. A., Vedenikov G. S. i dr. Metallicheskiye konstruktsii. Obshchiy kurs: Uchebnik dlya vuzov. M.: Stroyizdat, 1985. 560 s.
[3]. Mushchanov A. V., Romenskiy I. V. Uchet osobennostey konstruktivnykh resheniy sistemy MARKhI pri razrabotke individualnogo proyekta bolsheproletnogo strukturnogo pokrytiya // sbornik dokladov Pyatoy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Nauchno-tekhnicheskoye tvorchestvo molodezhi – put k obshchestvu, osnovannomu na znaniyakh). M.: Izd-vo MGSU, 2013. C 111-115.
[4]. Gaylord Edwin, Gaylord Charles, Stallmeyer James. Structural engineering. New York: The McGraw Hill Companies, 1997. 1024 p. – ISBN 0070237247.
[5]. Trushchev A. G. Prostranstvennyye metallicheskiye konstruktsii: uchebnoye posobiye. M.: Stroyizdat, 1983. 216 s.
[6]. NPTs Viktoriya: sistema MARKhI [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.sistems-marhi.ru/marhi/ (data obrashcheniya: 12.05.2015)
[7]. Perelmuter A.V, Slivker V.I. Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ikh analiza– 4-ye izd., pererab. M.: Izd-vo SKAD SOFT, 2011. 736 str.
[8]. Gorokhov Ye.V., Mushchanov V,F., Kinash R.I. [i dr.]. Konstruktsii statsionarnykh pokrytiy nad tribunami stadionov. Makeyevka: DonNASA, 2008. 405 str.
[9]. Mushchanov V.F. Izbrannyye metody stroitelnoy mekhaniki v raschetakh prostranstvennykh konstruktsiy. Makeyevka: DonNASA, 2006. 292 str.
[10]. Gorokhov Ye.V., Mushchanov V,F., Nazim Ya.V., Romenskiy I.V. Raschet i proyektirovaniye prostranstvennykh metallicheskikh konstruktsiy. Makeyevka: DonNASA, 2012. 561 s.
[11]. Modern building materials, structures and techniques: Abstracts of the 9th International Conference, held on May 16-18, 2007 / Vilnius Gediminas Technical University. - VIlnius: Technika, 2007. 516 p.
[12]. Bujisen Michel. Dynamic Space Frame Structures [Web source]. System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: http://homepage.tudelft.nl/x4x4j/saddbtreports/1011nj/Dynamic_Space_Frame_Structures_Michel_Bujisen.pdf (date of rederence 14.05.2015]
[13]. Beranek W.J. . Krachtswerking deel 3: Varkwerken, standzekerheid. Delft: TU Delft – 2000. 92 p.
[14]. Schumacher M., Schaeffer O., Vogt M.M. Move – Architecture in Motion. Basel: Birkhauser Verlag AG. 2010, 248 p. ISBN: 3764399864.
[15]. Hutchinson R.G., [et al]. Kagome plate structures // International Journal of Solids and Structures, №40. 2003, pp. 6969-6980.
[16]. Faybishenko V.K. Metallicheskiye konstruktsii. M.: Stroyizdat, 1984. 336 s.
[17]. Dykhovichnyy Yu.A. Bolsheproletnyye konstruktsii sooruzheniy Olimpiady-80 v Moskve. M.: Stroyizdat, 1982. 277 s.
[18]. Streletskiy N.S., Streletskiy D.N. Proyektirovaniye i izgotovleniye ekonomichnykh metallicheskikh konstruktsiy. M.: Stroyizdat, 1964. 239 s.
[19]. Pomoshch po GOSTam. GOST 10704-91 Truby stalnyye elektrosvarnyye pryamoshovnyye. Sortament. [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.gosthelp.ru/text/GOST1070491Trubystalnyeel.
[20]. Vacilchenko V.T., Rutman A.N., Lukyanenko Ye.P. Spravochnik konstruktora metallicheskikh konstruktsiy - 2-ye izd,, pererab. i dop. K.: Budivelnyk, 1990. 312 s.
[21]. Rosen A., Sabag M., Givoli M. A general nonlinear structural model of a multirod (multibeam) system—I. Theoretical derivations // Computers & Structures, Volume 61, Issue 4 - 1996. pp. 617-632.
[22]. Robert A. Heller. Mechanics of Structures // Encyclopedia of Physical Science and Technology (third edition) - 2003. pp. 259-278
[23]. John D. Renton. Chapter 15 - Regular Structures // Elastic Beams and Frames (Second Edition) - 2002. pp. 15.1 -15.36
[24]. Bondarev A., Yugov A. The Method of Generating Large-span Rod Systems with the Manufacturer Defect and Assembly Sequence // Procedia Engineering, Volume 117 - 2015. pp. 948-958
[25]. Garifullin M.R., Semenov S.A., Belyayeva S.V., Poryvayev I.A., Safiullin M.N., Semenov A.A. Poisk ratsionalnoy geometricheskoy skhemy prostranstvennoy metallicheskoy konstruktsii pokrytiya bolsheproletnogo sportivnogo sooruzheniya. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. ISSN 2304-6295. 2 (17). 2014. s. 107-124

Мущанов А.В., Мущанов В.Ф., Роменский И.В. Рациональные геометрические и жесткостные параметры большепролетного структурного покрытия // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №2 (41). С. 18-29.

Mushchanov A.V., Mushchanov V.F., Romensky I.V. Rational geometric and stiffness parameters of long-span structural roof. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 2 (41), Pp. 18-29. (rus)