



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

2012, ТОМ 18, НОМЕР 1, 5–16

УДК 624.014

(12)-0255-1

## **НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ВИСЯЧОЇ СИСТЕМИ, УТВОРЕНОЇ СИСТЕМОЮ ЗГИНАЛЬНО-ЖОРСТКИХ НИТОК, З УРАХУВАННЯМ ПОДАТЛИВОСТІ ОПОР**

**В. П. Мущанов, І. М. Руднева, Ю. М. Прядко**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.  
E-mail: mvf@dgasa.dn.ua, irene\_p@mail.ru, yura\_pryadko@mail.ru*

*Отримана 19 грудня 2011; прийнята 24 лютого 2012.*

**Анотація.** Представлені результати аналізу чутливості конструктивної схеми висячого покриття до горизонтальних зсувів і осідань опор, що буде використано при вивченні спільної роботи несучої просторової стрижньової оболонки і огорожувальної конструкції з пластику, які мають, як правило, різні міцнісні і деформативні властивості. На основі чисельних досліджень напружено-деформованого стану згинально-жорстких ниток у складі висячого покриття і окремого блока висячих ферм, що є моделлю блока покриття, запропонована первинна система поправних коефіцієнтів, які при визначенні розрахункових значень напружено-деформованого стану дозволять враховувати максимально можливі відхилення стрижньових елементів радіальних ферм від прямолінійності, обумовлені технологією виготовлення, умовами постачання, а також податливістю опор конструкції.

**Ключові слова:** осідання, горизонтальний зсув опор, зусилля, просторово-стрижньова висяча оболонка, згинально-жорсткі нитки наскрізного перерізу.

## **НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВИСЯЧЕЙ СИСТЕМЫ, ОБРАЗОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ИЗГИБНО-ЖЕСТКИХ НИТЕЙ, ПРИ УЧЕТЕ ПОДАТЛИВОСТИ ОПОР**

**В. Ф. Мущанов, И. Н. Руднева, Ю. Н. Прядко**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.  
E-mail: mvf@dgasa.dn.ua, irene\_p@mail.ru, yura\_pryadko@mail.ru*

*Получена 19 декабря 2011; принята 24 февраля 2012.*

**Аннотация.** Представлены результаты анализа чувствительности конструктивной схемы висячего покрытия к горизонтальным смещениям опор и осадкам основания, что будет использовано при изучении совместной работы несущей пространственной стержневой оболочки и ограждающей конструкции из пластика, которые имеют, как правило, различные прочностные и деформативные свойства. На основе численных исследований напряженно-деформированного состояния изгибно-жестких нитей в составе висячего покрытия и отдельного блока висячих ферм, являющегося моделью блока покрытия, предложена первоначальная система поправочных коэффициентов, которые при определении расчетных значений напряженно-деформированного состояния позволят учитывать максимально возможные отклонения стержневых элементов радиальных ферм от прямолинейности, обусловленные технологией изготовления, условиями поставки, а также податливостью опор конструкции.

**Ключевые слова:** осадка, горизонтальное смещение опор, усилия, пространственно-стержневая висячая оболочка, изгибно-жесткие нити сквозного сечения.

## INTENSE-DEFORMED CONDITION OF SUSPENDED SYSTEM OF BENDING-RIGID FIBERS AT THE ACCOUNT OF PLIABILITY OF SUPPORTS

Volodymyr Mushchanov, Irina Rudneva, Yurii Priadko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.  
E-mail: mvf@dgasa.dn.ua, irene\_p@mail.ru, yura\_pryadko@mail.ru*

*Received 19 Desember 2011; accepted 24 February 2012.*

**Abstract.** The results of numeral researches of sensitiveness of structure of suspension roof to horizontal displacements of supports and sinking, that will be used in the study of joint work of the bearing spatial cored shell and non-load-bearing plastic construction, which have, properly, different strength and strain qualities are presented in the article. On the basis of numeral researches of the stress and strained state of flexurally-hard filaments in as a part of suspension roof and a separate block of suspended girders, being a model block of the roof, the primary system of correction coefficients which at determination of calculation values of the stress and strained state will allow to take into account maximally possible deviations of the cored elements of radial girders from straightforwardness, conditioned by the production technology, by the terms of delivery, and also pliability of construction supports.

**Keywords:** sinking, horizontal displacement of supports, efforts, a spatial-rod suspended shell, hard thread of open section.

### Введение

В настоящее время для проектирования всяких оболочек покрытий с большим вырезом используется традиционный подход, основанный на декомпозиции системы и последовательном упрощенном расчете основных конструктивов системы: всячая нить на неподвижных опорах, всячая нить на упруго-податливых опорах, расчет опорных контуров, загруженных распором радиальных элементов. Расчеты отдельных изгибно-жестких нитей ведутся с использованием известных методик таких ученых, как В. К. Качурин, П. Г. Еремеев, Н. С. Москалев, Г. С. Ведеников, Н. И. Кирсанов, А. Л. Телоян, А. Юзапайтис [5, 7–13] и др. Однако рассматриваемый подход не позволяет проследить истинное распределение усилий в изгибно-жестких нитях, являющихся элементами всячей системы, а также при учете податливости опор. В таком случае становится очевидным, что наиболее рациональным будет введение некоторой системы поправочных коэффициентов.

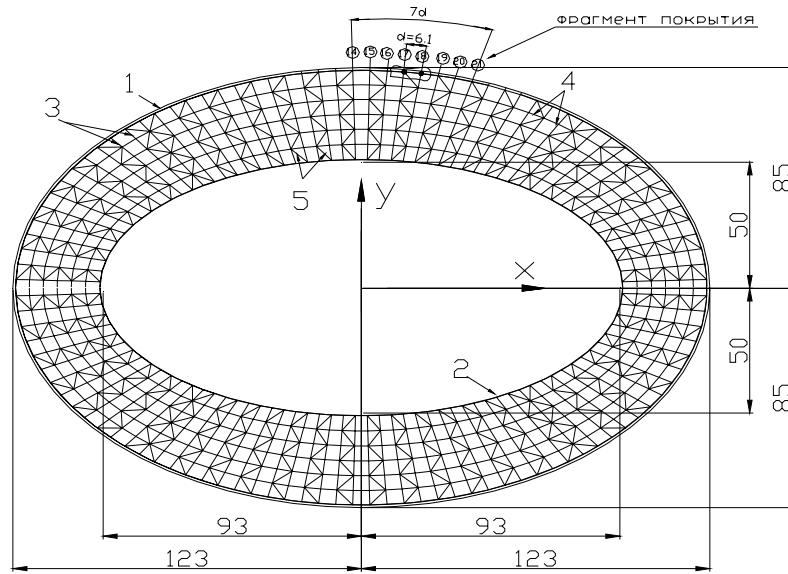
### Теоретические и экспериментальное исследования

При работе несущих большепролетных конструкций, таких как всячие оболочки, возника-

ют значительные деформации отдельных узлов, что может быть вызвано как внешними нагрузками, так и чувствительностью опорных конструкций к осадкам и горизонтальным смещениям. Исходя из этого, было изучено напряженно-деформированное состояние блока всячих ферм (рис. 1), являющегося моделью блока ферм проектируемой всячей системы над трибунами стадиона «Шахтер» в г. Донецке, на чувствительность конструктивной схемы к осадкам основания и смещениям опор. Конструктивная схема стационарного покрытия выполнена в виде пространственно-стержневой системы на эллиптическом плане с осями 246×170 м [3, 7].

Для моделирования используется система индикаторов простого геометрического подобия элементов балочного типа [4] с масштабным множителем  $m_e = 0,25$ , поскольку, как показали результаты численных исследований, преобладающими в жестких нитях являются изгибные напряжения.

На основании исследований, проведенных в программном комплексе «КОРОНА» [2], в результате которых методом «вспарушивания» была определена рациональная конструктивная форма покрытия, после приложения нагрузки были получены горизонтальные перемещения

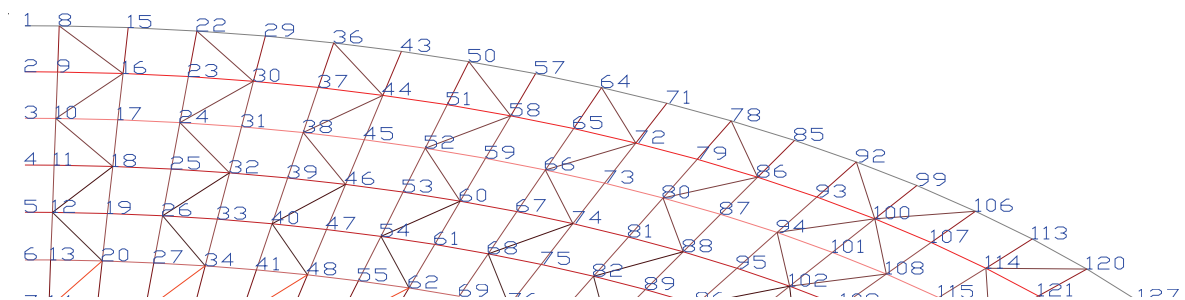


**Рисунок 1.** Конструктивная схема пространственно-стержневого покрытия: 1 – внешний и 2 – внутренний опорные контуры, 3 – радиальные, 4 – кольцевые и 5 – диагональные элементы.

внешнего опорного контура (рис. 2–3), максимальные из них составили 0,136 м для осей, примыкающих к короткой оси, где пролет радиальных элементов максимальный. Для модели смещения принимаем с учетом масштабного коэффициента, т. е.  $0,136 / 4 = 0,033$  м. Для уточнения данных о горизонтальных смещениях опор покрытий, образованных системой изгибно-жестких нитей при учете податливости опор, было выполнено экспериментальное исследование напряженно-деформированное состояния блока висячих ферм (рис. 4) с нумерацией узлов для фермы 1.

Пролет модели каждой из двух ферм  $L = 7,92$  м, стрела провисания  $f = 0,96$  м, высота фермы  $h = 0,47$  м. В плане фермы расположены трапециевидно, повторяя реальную форму блока

пространственной стержневой оболочки. На одном конце блока расстояние между фермами равно 1,0 м, на противоположном 0,8 м. Пояса ферм выполнены из листовой стали –  $40 \times 5$  мм, раскосы из равнополочного уголка  $\angle 35 \times 5$  мм, прогоны между фермами выполнены из швеллера [10, диагональные связи между фермами – из  $\angle 35 \times 5$  мм. Оттяжки колонн выполнены из круглой стали  $\varnothing 22$  мм. Материал ферм – малоуглеродистая сталь С245 по ГОСТ 27772-88. Модель блока покрытия исследовалась в упругой стадии работы материала на статические нагрузки. В узлах ферм и на опорах установлены прогибомеры системы ПАО-6 с ценой деления 0,01 мм для определения вертикальных и горизонтальных перемещений узлов ферм (рис. 4–5).



**Рисунок 2.** Нумерация узлов фрагмента покрытия.

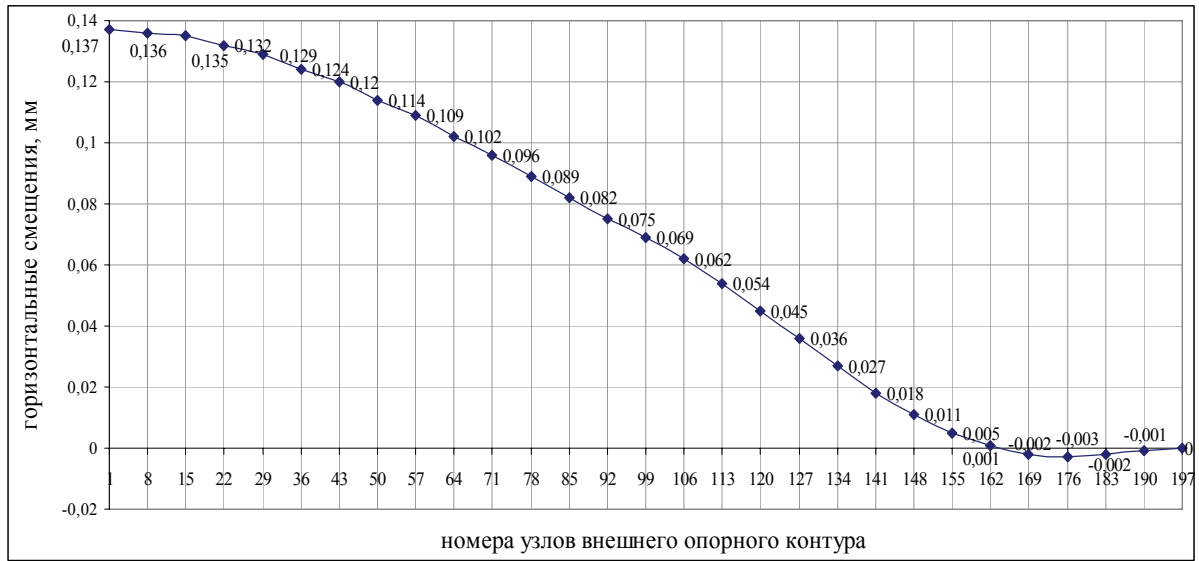


Рисунок 3. График перемещений по внешнему опорному контуру.

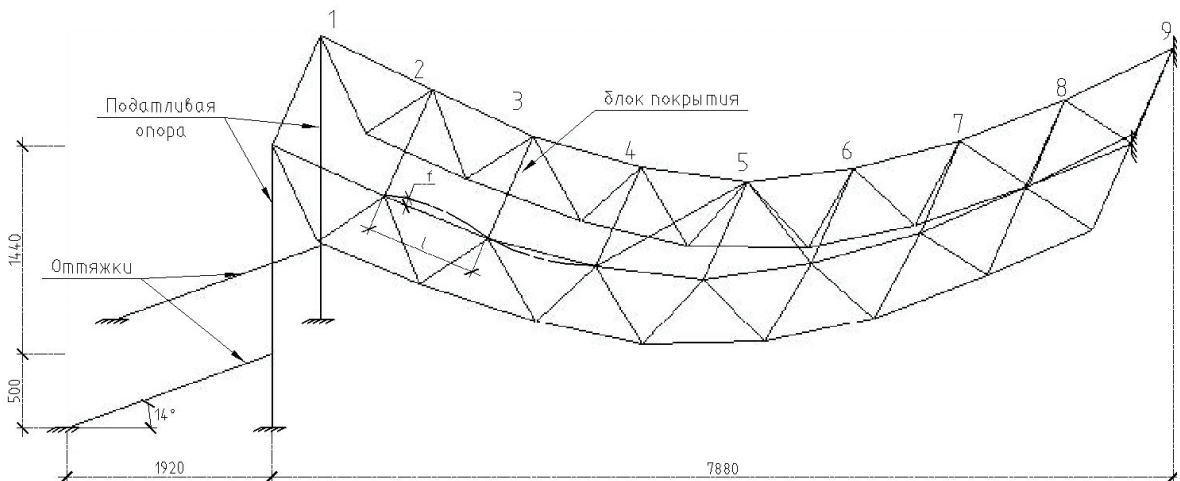


Рисунок 4. Экспериментальная модель покрытия с нумерацией узлов для фермы 1.

Сопряжение элементов модели выполнено следующим образом: радиальных элементов (висячие фермы) с кольцевыми (прогонами) – жесткое, диагональных элементов с радиальными – жесткое, радиальных элементов с опорными частями – шарнирное.

#### План проведения эксперимента

Основным вопросом, который рассматривался на данном этапе испытаний является влияние податливости опор нити в горизонтальном направлении, имитирующих перемещения опорного контура в горизонтальной плоскости, на НДС блока жесткой нити. Загружение модели

проводилось при податливом закреплении оттяжек, воспринимающих горизонтальные усилия от колонн. Податливость опор зафиксирована величиной угла наклона оттяжек  $\alpha = 14^\circ$ .

В качестве экспериментальной была принята равномерно распределенная модель нагружения. Нагрузка прикладывалась в виде системы подвески штучных грузов. Величина распределенной временной нагрузки составила  $q = 1,6 \text{ кН/м}^2$  и была принята в соответствии с ДБН В.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия» (нормативная снеговая нагрузка для г. Донецк).

Нагрузка прикладывалась поэтапно в узлы ферм и была разделена на 3 этапа по 0,22 кН в узел.



Рисунок 5. Экспериментальная модель покрытия в ходе проведения эксперимента.

### Результаты эксперимента

В ходе проведенного эксперимента было выявлено, что горизонтальное отклонение вертикальных податливых опор составило 28 мм. Максимальное вертикальное перемещение в пролетной части составило 25 мм (рис. 6).

Расчёт производился при помощи программного комплекса SCAD 11.3, реализация расчёта на заданные перемещения осуществляется при помощи нуль-элементов.

Исходя из полученных результатов экспериментальных и численных исследований в качестве расчетных нагрузок и воздействий для численных исследований модели принять:

- собственный вес (в соответствии с характеристиками принятых сечений);
- собственный вес + горизонтальное смещение 5 мм;
- собственный вес + горизонтальное смещение 33 мм.

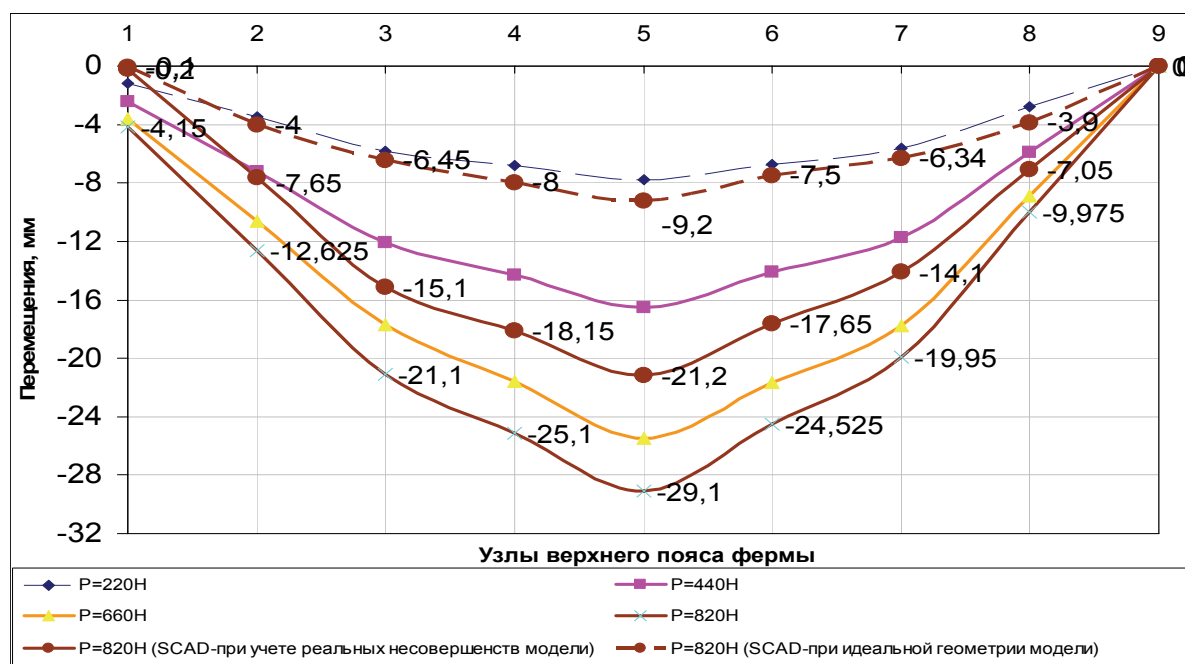


Рисунок 6. Перемещения узлов фермы при распределенной нагрузке на весь пролет.

Одним из главных этапов проводимых исследований является получение усилий и напряжений в стержнях блока ферм. При этом проводилось сравнение напряженно-деформированного состояния блока висячих ферм при учете собственного веса от напряженно-деформированного состояния конструкции при учете собственного веса и влияния горизонтального смещения опор 5 и 33 мм.

Результаты расчетов приведены в табл. 1–3, нумерация узлов на рис. 7.

### Исследование влияния вертикальных смещений опор

Опыт наблюдений, проведенных на таких сооружениях, как стадион «Шахтер» в г. Донецке, позволил предположить, что наиболее характерными смещениями опор являются смещения до 40 мм. Так как конструкция радиальных элементов покрытия по короткой оси

имеет наибольший пролёт, то, вероятней всего, эта часть покрытия будет наиболее чувствительна к осадкам, так как вертикальные перемещения узлов радиальных элементов (ферм) отразятся на работе пролетной части покрытия. В связи с вышеприведенным было принято, что для выполнения анализа чувствительности конструктивной схемы к осадкам основания и смещениям опор опорные точки вертикально перемещаются 40 мм, тем самым моделируя осадки основания, и горизонтально смещаются на 136 мм. Расчёт конструкций покрытия производился при помощи программного комплекса SCAD 11.1, реализация расчёта на заданные перемещения осуществляется при помощи нуль-элементов.

Сопряжение элементов покрытия принято: радиальных элементов (висячие фермы) с кольцевыми (прогонами) – шарнирное, диагональных элементов с радиальными – жесткое, радиальных элементов с опорными частями –

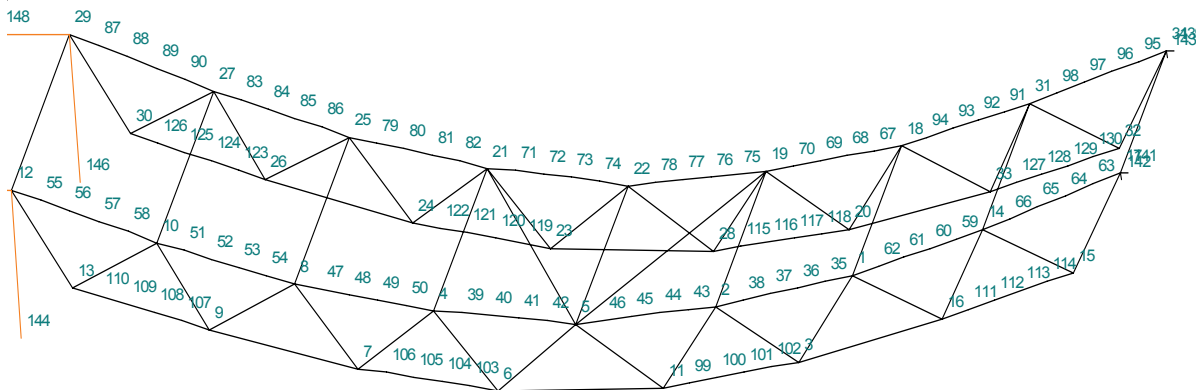


Рисунок 7. Нумерация в блоке ферм.

Таблица 1. Усилия в элементах верхнего пояса ферм при воздействии собственного веса, горизонтального смещения опор 5 и 33 мм

Номер эл-та	Усилия от действия собственного веса		Усилия при воздействии собственного веса, горизонтальных смещений опор 5 мм		Усилия при воздействии собственного веса, горизонтальных смещений опор 33 мм		$\frac{N_5 - N_g}{N_g}$	$\frac{N_{33} - N_g}{N_g}$
	$N_g$ , кН	$\sigma_g$ , МПа	$N_5$ , кН	$\sigma_5$ , МПа	$N_{33}$ , кН	$\sigma_{33}$ , МПа		
29-27	0,92	4,6	-1,58	7,9	-12,95	64,75	0,72	13,08
27-25	0,28	1,4	-2,94	14,7	-20,1	100,5	9,50	70,79
21-22	-0,23	1,15	-4,23	21,2	-27,22	136,1	17,39	117,35
22-19	-0,22	1,1	-4,24	21,2	-27,34	136,7	18,27	123,27
31-34	0,88	4,4	-1,58	7,9	-12,96	64,8	0,80	13,73

шарнирное. В качестве расчетных нагрузок и воздействий для проведения исследований приняты: собственный вес (в соответствии с жесткостными характеристиками принятых в таблице 4 сечений), вертикальное перемещение 4 см, горизонтальное смещение 13,6 см.

Фрагмент покрытия с нумерацией элементов представлен на рис. 8.

На основе проведенных расчетов можно сделать вывод, что в радиальных элементах максимальные усилия наблюдаются в изгибно-жестких нитях по осям 17 и 18, расположенных

**Таблица 2.** Усилия в элементах нижнего пояса ферм при воздействии собственного веса, горизонтального смещения опор 5 и 33 мм

Номер эл-та	Усилия от действия собственного веса		Усилия при воздействии собственного веса, горизонтальных смещений опор 5 мм		Усилия при воздействии собственного веса, горизонтальных смещений опор 33 мм		$\frac{N_5 - N_g}{N_g}$	$\frac{N_{33} - N_g}{N_g}$
	$N_g$ , кН	$\sigma_g$ , МПа	$N_5$ , кН	$\sigma_5$ , МПа	$N_{33}$ , кН	$\sigma_{33}$ , МПа		
30-26	0,77	3,85	1,58	7,9	8,25	41,25	1,05	9,71
23-28	1,49	7,45	4,01	20,05	22,1	110,5	1,69	13,83
28-20	1,4	7	3,42	17,1	18,66	93,3	1,44	12,33
20-33	0,32	1,6	2,81	14,05	15,26	76,3	7,78	46,69
33-32	0,74	3,7	1,54	7,7	8,12	40,6	1,08	9,97

**Таблица 3.** Усилия в раскосах ферм при воздействии собственного веса, горизонтального смещения опор 5 и 33 мм

Номер эл-та	Усилия от действия собственного веса		Усилия при воздействии собственного веса, горизонтальных смещений опор 5 мм		Усилия при воздействии собственного веса, горизонтальных смещений опор 33 мм		$\frac{N_5 - N_g}{N_g}$	$\frac{N_{33} - N_g}{N_g}$
	$N_g$ , кН	$\sigma_g$ , МПа	$N_5$ , кН	$\sigma_5$ , МПа	$N_{33}$ , кН	$\sigma_{33}$ , МПа		
29-30	0,6	1,83	1,11	3,38	5,63	17,16	0,85	8,38
26-25	-0,32	0,98	-0,93	2,84	-5,26	16,04	1,91	15,44
25-24	0,14	0,43	0,29	0,88	1,52	4,63	1,07	9,86
28-19	-0,07	0,21	-0,05	0,15	-0,14	0,43	0,29	1,00
18-33	-0,31	0,95	-0,96	2,93	-5,48	16,71	2,10	16,68
31-32	-0,46	1,40	-1,03	3,14	-5,48	16,71	1,24	10,91
32-34	0,57	1,74	1,09	3,32	5,59	17,04	0,53	0,1

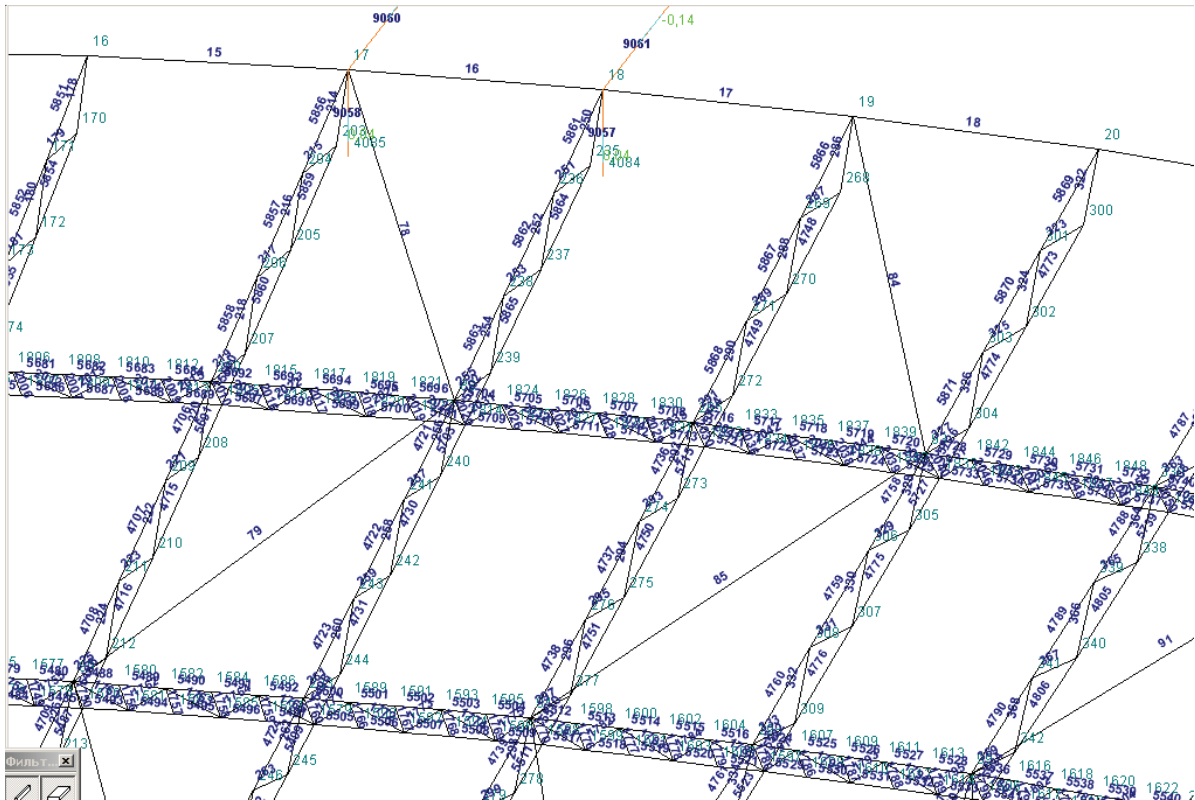
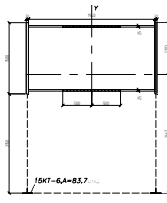
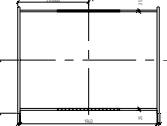


Рисунок 8. Фрагмент покрытия с нумерацией элементов.

Таблица 4. Геометрические характеристики площадей сечений основных элементов

Тип элемента	$A, \text{см}^2$	$I_y, \text{см}^4$	$I_z, \text{см}^4$
Радиальные элементы – висячие фермы			
Верхний и нижний пояса $\perp$ 25ШТ1	72,49	3320	3380
Раскосы $\perp$ 100x10	19,24	283,83	74,08
Прогоны между фермами фермы			
Верхний и нижний пояса $\perp$ 20ШТ1	60,84	1530	3150
Раскосы $\perp$ 100x10 (1-ый ярус)	6,13	36,8	9,52
Раскосы $\perp$ 63x5 (2-5-ый яруса)	6,13	36,8	9,52
Внешний опорный контур			
	1428	11902055	4209293
Внутренний опорный контур			
	1831	15975195	27277139



непосредственно в зоне смещения опор. На рисунке 9 показана нумерация в радиальном элементе по оси 18, а результаты расчета приведены в табл. 5–7.

**Выводы**

Анализируя представленные выше результаты теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для проектируемых висячих оболочек покрытий с большим вырезом традиционный подход, основанный на декомпозиции системы и последовательном упрощенном расчете основных конструктивов системы:

- висячая нить на неподвижных опорах;
- висячая нить на упруго-податливых опорах;
- расчет опорных контуров, загруженных распором радиальных элементов;

применим лишь с использованием системы соответствующих поправочных коэффициентов.

2. Сравнительный анализ результатов исследований, приведенных в таблицах 1–7, позволяет назначить первоначальные значения поправочных коэффициентов, для основных элементов радиального конструктивного элемента, запроектированного при предельно-допустимых значениях параметров горизонтального

$$\frac{\Delta_{гор}}{l} = \frac{136}{36500} \leq \frac{1}{260}$$

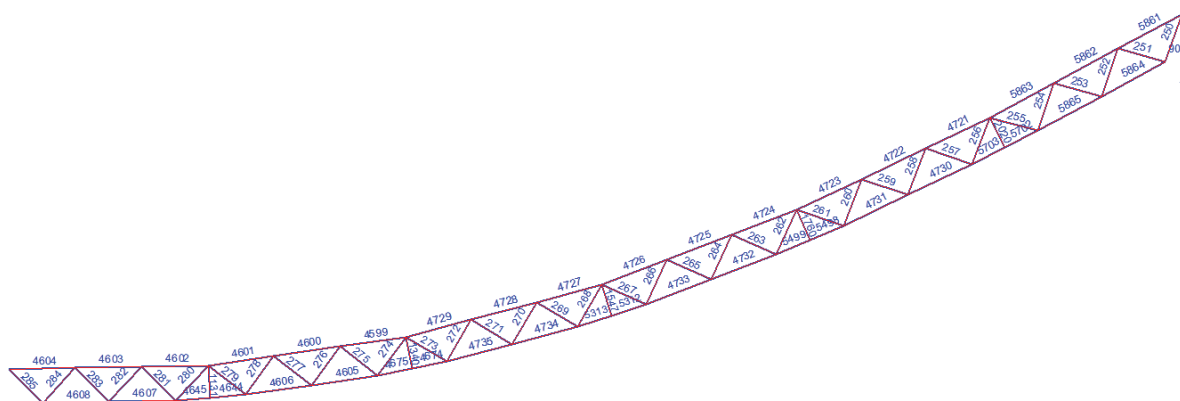
и вертикального

$$\frac{\Delta_{верт}}{l} = \frac{40}{2600} \leq \frac{1}{65} :$$

- $k_{вп} = 0,08...0,11$  – для элементов верхнего пояса;
- $k_{нп} = 0,1...0,2$  – для элементов нижнего пояса;
- $k_p = 0,45...0,90$  – для раскосов;

**Таблица 5.** Усилия в элементах верхнего пояса фермы по оси 18 при воздействии собственного веса, осадки опор 40 мм и горизонтального смещения опор 136 мм

Номер эл-та	Внутренние усилия от действия собственного веса		Усилия при воздействии собственного веса, осадки опор 40 мм и горизонтальных смещений опор 136 мм		$\frac{N_v - N_g}{N_g} \cdot 100\%$
	Ng, кН	$\sigma_g$ , МПа	Nv, кН	$\sigma_v$ , МПа	
4604	87,62	12,09	91,45	12,62	4,37
4601	-12,08	1,67	-7,97	1,10	34,02
4724	-88,15	12,16	-84,06	11,60	4,64
4723	-75,18	10,37	-73,88	10,19	1,73
5861	54,88	7,57	84,07	11,60	34,72



**Таблица 6.** Усилия в элементах нижнего пояса фермы по оси 18 при воздействии собственного веса, осадки опор 40 мм и горизонтального смещения опор 136 мм

Номер эл-та	Внутренние усилия от действия собственного веса		Усилия при воздействии собственного веса, осадки опор 40 мм и горизонтальных смещений опор 136 мм		$\frac{N_v - N_g}{N_g} \cdot 100\%$
	Ng, кН	$\sigma_g$ , МПа	Nv, кН	$\sigma_v$ , МПа	
4608	29,2	4,03	29,39	4,05	0,65
4735	135,35	18,67	137,13	18,92	1,32
5313	151,88	20,95	153,82	21,22	1,28
5312	153,81	21,22	156,74	21,62	1,9
4733	151,5	20,90	153,44	21,17	1,28

**Таблица 7.** Усилия в раскосах фермы по оси 18 при воздействии собственного веса, осадки опор 40 мм и горизонтального смещения опор 33 мм

Номер эл-та	Внутренние усилия от действия собственного веса		Усилия при воздействии собственного веса, осадки опор 40 мм и горизонтальных смещений опор 136 мм		$\frac{N_v - N_g}{N_g} \cdot 100\%$
	Ng, кН	$\sigma_g$ , МПа	Nv, кН	$\sigma_v$ , МПа	
288	21,28	11,06	21,41	11,13	0,61
276	-11,36	5,90	-11,71	6,09	3,08
263	-3,57	1,86	-3,51	1,82	1,68
262	-0,38	0,20	-0,37	0,19	2,63
250	28,38	14,75	28,7	14,92	1,13

–  $k_w = 1,8...2,5$  – для максимальных значений вертикальных перемещений.

3. При определении расчетных значений следует обязательно учитывать максимально возможные отклонения стержневых элементов радиальных ферм от прямолинейности, обусловленные технологией изготовления и усло-

виями поставки. При отклонениях элементов до  $f/l_e \approx 0,01$  ( $l_e$  – длина элемента) разница в расчетах для наиболее напряженных элементов радиальной формы может составлять:

- для элементов верхнего пояса – до 60 %;
- для элементов нижнего пояса – 34,5 %;
- для раскосов – до 17,3 %.

## Литература

1. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов [Текст] : для студентов ст. курсов, аспирантов, науч. сотрудников, архитекторов, инженеров-конструкторов науч.-исслед. и проект. орг. / Е. В. Горохов, В. Ф. Муцанов, В. Р. Касимов ; Донбасская гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Макеевка : [б. и.], 2002. – 156 с. – ISBN 966-7477-29-0.
2. Муцанов, В. Ф. Теоретическое исследование закономерностей работы висячей стержневой оболочки с вырезом на эллиптическом плане [Текст] /

## References

1. Gorohov, Ye. V.; Mushchanov, V. F.; Kasimov, V. R. Constructions of fixed-site coverages over stands. Makiivka: [S. l.], 2002. 156 p. (in Russian)
2. Mushchanov, V. F.; Priadko, I. N. Theoretical research of rules of operation of hanging rod shell structure with cutout on ellipsoid plan. In *Proceeding of the Donbas State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2003, Vol. 2003-3(40): Buildings and work structures using modern constructions and work materials. Tom 1.* Makiivka, 2003, p. 49–51. (in Russian)

- В. Ф. Мущанов, И. Н. Прядко // Вісник Донбаської держ. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М–во освіти і науки України, ДонДАБА. – Макіївка, 2003. – Вип. 2003-3(40) : Будівлі та споруди із застосуванням нових конструкцій та матеріалів. Том 1. – С. 49–51.
3. К расчету и проектированию пространственных конструкций стационарных покрытий над трибунами стадионов [Текст] / Е. В. Горохов, В. Ф. Мущанов, В. Р. Касимов [и др.] // Материалы VIII Украинской научно-технической конференции «Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее», посвященной 60-летию образования ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского» / ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского». – К. : ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского», 2004. – С. 323–332.
  4. Обследование и испытание несущих конструкций зданий и сооружений [Текст] : Учебное пособие / Е. В. Горохов, В. Ф. Мущанов, В. Н. Васылев, А. А. Ягмур. – К. : УМК ВО, 1991. – 156 с.
  5. Еремеев, П. Г. Особенности проектирования уникальных большепролетных зданий и сооружений [Текст] / П. Г. Еремеев // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2006. – Том 2, № 1. – С. 5–15.
  6. Отчет по результатам мониторинга несущих металлических конструкций покрытия. Стадион «Донбасс Арена» [Текст] : Шифр 110-01ПК-МК.О/2010 / Донбасская нац. академия строительства и архитектуры. – Макеевка : ДонНАСА, 2010. – 90 с.
  7. Металлические конструкции. Спец. курс [Текст] : Учебное пособие для вузов / Е. И. Беленя, Н. Н. Стрелецкий, Г. С. Ведеников, Л. В. Клепиков, Т. Н. Морачевский. – М. : Стройиздат, 1991. – 687 с.
  8. Москалев, Н. С. Конструкции висячих покрытий [Текст] / Н. С. Москалев. – М. : Стройиздат, 1980. – 335 с.
  9. Grigorjeva, Tatjana. Static analysis and simplified design of suspension bridges having various rigidity of cables [Текст] / Tatjana Grigorjeva, Algirdas Juozapaitis, Zenonas Kamaitis // Journal of Civil Engineering and Management. – 2010. – Volume 16, Issue 3. – P. 363–371.
  10. Non-linear analysis of suspension bridges with flexible and rigid cables [Текст] / Algirdas Juozapaitis, Siim Idnurm, Gintaris Kaklauskas [et al.] // Journal of Civil Engineering and Management. – 2010. – Volume 16, Issue 1. – P. 149–154.
  11. Juozapaitis, Algirdas. Displacement analysis of asymmetrically loaded cable [Текст] / Algirdas Juozapaitis, Arnoldas Norkus // Journal of Civil Engineering and Management. – 2004. – Volume 10, Issue 4. – P. 277–284.
  12. Jatulis, Donatas. Static behaviour analysis of masts with combined guys [Текст] / Donatas Jatulis, Gorohov, Ye. V.; Mushchanov, V. F.; Kasimov, V. R.; Sivokon, Yu. V.; Priadko, I. N. To the analysis and designing of space structures of fixed-site coverages over stands. In *Collection of reports, the 7<sup>th</sup> Ukrainian Scientific and Technical Conference «Metal structures: flash back and looking into the future»*. Kyiv : U kr NI I p r o e k t s t a l k o n s t r u k c i i a im. V. N. Shimanovskogo, 2004, p. 323–332. (in Russian)
  4. Gorohov, Ye. V.; Mushchanov, V. F.; Vasylev, V. N.; Yagmur, A. A. Inspection and test of framework of building and structures: text edition. Kyiv: UMK VO, 1991. 156 p. (in Russian)
  5. Yermeyev, P. G. Design Peculiarities for the Unique Large-Span Buildings and Structures. In *Modern Industrial and Civil Construction*, 2006, Том 2, No. 1, p. 5–15. (in Russian)
  6. Report based on the results of monitoring of metal framework of coverages. Stadium «Donbass Arena». Code 110-01ПК-МК.О/2010. Makiivka: DonNACEA, 2010. 90 p. (in Russian)
  7. Belenia, E. I.; Streleckii, N. N.; Vedenikov, G. S.; Klepikov, L. V.; Morachevskii, T. N. Metal Constructions. Specialty course: text edition for Universities. Moscow: Stroiizdat, 1991. 687 p. (in Russian)
  8. Moskalev, N. S. Constructions of hanging coverages. Moscow: Stroiizdat, 1980. 335 p. (in Russian)
  9. Grigorjeva, Tatjana; Juozapaitis, Algirdas; Kamaitis, Zenonas. Static analysis and simplified design of suspension bridges having various rigidity of cables. In *Journal of Civil Engineering and Management*, 2010, Volume 16, Issue 3, p. 363–371.
  10. Juozapaitis, Algirdas; Idnurm, Siim; Kaklauskas, Gintaris; Idnurm, Juhan; Gribniak, Viktor. Non-linear analysis of suspension bridges with flexible and rigid cables. In *Journal of Civil Engineering and Management*, 2010, Volume 16, Issue 1, p. 149–154.
  11. Juozapaitis, Algirdas; Norkus, Arnoldas. Displacement analysis of asymmetrically loaded cable. In *Journal of Civil Engineering and Management*, 2004, Volume 10, Issue 4, p. 277–284.
  12. Jatulis, Donatas; Kamaitis, Zenonas; Juozapaitis, Algirdas. Static behaviour analysis of masts with combined guys. In *Journal of Civil Engineering and Management*, 2007, Volume 13, Issue 3, p. 177–182.
  13. Juozapaitis, Algirdas; Kutas, Remigijus; Jatulis, Donatas. Mast behaviour analysis and peculiarities of numerical modeling. In *Journal of Civil Engineering and Management*, 2008, Volume 14, Issue 1, p. 61–66.

Zenonas Kamaitis, Algirdas Juozapaitis // Journal of Civil Engineering and Management. – Volume 13, Issue 3. – 2007. – P. 177–182.

13. Juozapaitis, Algirdas. Mast behaviour analysis and peculiarities of numerical modelling [Текст] / Algirdas Juozapaitis, Remigijus Kutas, Donatas Jatulis // Journal of Civil Engineering and Management. – Volume 14, Issue 1. – 2008. – P. 61–66.

**Мущанов Володимир Пилипович** – д. т. н., професор, завідувач кафедри теоретичної і прикладної механіки, проректор з наукової роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член міжнародної організації «Інститут цивільних інженерів» та міжнародної асоціації «Просторові конструкції», академік Української Академії наук, Академії будівництва України, член-кореспондент Академії архітектури України. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

**Руднева Ірина Миколаївна** – к. т. н., доцент кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: особливості просторової роботи висячого покриття, утвореного системою згинально-жорстких ниток.

**Прядко Юрій Миколайович** – аспірант кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи і показників надійності великопролетних жорстких ниток наскрізного перерізу.

**Мущанов Владимир Филиппович** – д. т. н., профессор; заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, проректор по научной работе Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член международной организации «Институт гражданских инженеров» и международной организации «Пространственные конструкции», академик Украинской Академии наук, Академии строительства Украины, член-корреспондент Академии архитектуры Украины. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

**Руднева Ирина Николаевна** – к. т. н., доцент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: особенности пространственной работы висячего покрытия, образованного системой изгибно-жестких нитей.

**Прядко Юрий Николаевич** – аспирант кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование действительной работы и показателей надежности большепролетных жестких нитей сквозного сечения.

**Volodymyr Mushchanov** – DSc (Eng.), Professor; Head of the Theoretical and Applied Mechanics Department, vice-rector on the scientific activity of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the international organization «Institute of Civil Engineer» and international organization of «Spatial Structures», academician of the Ukrainian Academy of Science and Ukrainian Building Academy, Corresponding Member of Ukrainian Academy of Architecture. The academician of the Engineering Academy in Ukraine. His research interests include the reliability theory, analyses, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.

**Irina Rudneva** – PhD (Eng.); Associate Professor of the Theoretical and Applied Mechanics Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: features of spatial work of hanging coverage, formed the system of flexurally-hard filaments.

**Yurii Priadko** – postgraduate-student; Theoretical and Applied Mechanics Department of the National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of the real work and indicators of reliability of large-span filaments of the open section.