



ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДІЙ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ВИСЯЧОЇ СИСТЕМИ, УТВОРЕНОЇ СИСТЕМОЮ ЗГИНАЛЬНО-ЖОРСТКИХ НИТОК

В. П. Мущанов, І. М. Руднева

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: irene_p@mail.ru

Отримана 9 лютого 2012; прийнята 23 березня 2012.

Анотація. Представлені результати чисельних досліджень при аналізі чутливості конструктивної схеми висячого покриття, утвореного системою згинально-жорстких ниток, до температурних коливань, які виникають у процесі експлуатації тільки статично невизначних систем і викликають зміну не тільки лінійних розмірів конструкцій, але й появу додаткових зусиль. При дослідженні висячого покриття враховані наступні навантаження і дії: власна вага, снігове навантаження, зміна температури по відношенню до температури замикання конструкції покриття в теплий і холодний періоди року. Для основних несучих елементів висячої системи отримані результати чисельних досліджень напружено-деформованого стану, які дозволяють оцінити ступінь впливу температурних дій.

Ключові слова: просторово-стрижньова висяча оболонка, згинально-жорсткі нитки наскрізного перерізу, температурні дії, зусилля.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВИСЯЧЕЙ СИСТЕМЫ, ОБРАЗОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ИЗГИБНО-ЖЕСТКИХ НИТЕЙ

В. Ф. Мущанов, И. Н. Руднева

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: irene_p@mail.ru

Получена 9 февраля 2012; принята 23 марта 2012.

Аннотация. Представлены результаты численных исследований при анализе чувствительности конструктивной схемы висячего покрытия, образованного системой изгибно-жестких нитей, к температурным колебаниям, которые возникают в процессе эксплуатации только статически неопределимых систем и вызывают изменение не только линейных размеров конструкций, но и появление дополнительных усилий. При исследовании висячего покрытия учтены следующие нагрузки и воздействия: собственный вес, снеговая нагрузка, изменение температуры по отношению к температуре замыкания конструкции покрытия в теплый и холодный периоды года. Для основных несущих элементов висячей системы получены результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния, позволяющие оценить степень влияния температурных воздействий.

Ключевые слова: пространственно-стержневая висячая оболочка, изгибно-жесткие нити сквозного сечения, температурные воздействия, усилия.

EFFECT OF TEMPERATURE ON STRESSED AND STRAINED SUSPENDED SYSTEM OF BENDING AND RIGID THREADS

Volodymyr Mushchanov, Irina Rudneva

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Dergavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: irene_p@mail.ru

Received 9 February 2012; accepted 23 March 2012.

Abstract. The results of numeral investigation at the analysis of sensitiveness of structural chart of suspended coverage formed by the system of bending and rigid threads to the temperature variations appearing in the process of operation of just statically undetermined systems and cause the changes of not only linear sizes of constructions but also the appearance of additional efforts have been presented. At investigation the suspended coverage, the followings loads and effects have been taken into account: own weight, snow load, temperature change in relation to the temperature of shorting of construction coverage in the warm and cold periods of the year. For the basic bearing elements of the suspended system the results of numeral investigations of the stressed and strained state allowing to estimate the degree of the effects of temperature have been obtained.

Keywords: a spatial and rod suspended shell, bending and rigid threads of open section, temperature effects, strengths.

Введение

Обеспечение безопасной эксплуатации зданий и сооружений является актуальной задачей, которая решается комплексом мер на стадиях проектирования объекта. Проектируемое здание должно отвечать требованиям технической целесообразности, т. е. быть прочным, устойчивым, выдерживать различные нагрузки, и долговечным, сохраняя нормальные эксплуатационные качества во времени. Кроме повреждений, накапливающихся в процессе эксплуатации статически неопределимых систем, на их работоспособность и отказы в работе могут оказывать влияние также температурные воздействия, являющиеся несиловыми нагрузками и вызывающие изменение линейных размеров конструкций. Поэтому уже на стадии проектирования следует обеспечить надежность сооружения за счет снижения вероятности появления недопустимых деформаций, которые не должны приводить к разрушению несущих элементов, воспринимающих дополнительные усилия при изменении условий их работы [2, 3]. Устойчивость сооружений должна обеспечиваться конструктивными и профилактическими мероприятиями и проверяться расчетом.

Основной целью данной работы является уточнение степени влияния температурных ко-

лебаний на покрытие сооружения, т. е. изменений средних температур эксплуатации в теплое время и в холодное время. В связи с этим был выполнен температурный расчет всей системы над трибунами стадиона средней вместимости (28 тыс. зрителей) и стандартных размерах поля 108×72 м (рис. 1). Конструктивная схема стационарного покрытия выполнена в виде пространственно-стержневой системы на эллиптическом плане с осями 246×170 м.

В целях уточнения степени влияния температурных колебаний на каркас здания был выполнен температурный расчет в соответствии с ДБН В.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия» [1]. Начальная температура, соответствующая замыканию конструкции в законченную систему, принята $t_0 = +15^\circ\text{C}$ (п. 11.7), т. е. предполагается, что монтаж и замыкание конструкций выполнены в теплый период года. Рассмотрено следующее состояние здания:

- на каркас действуют постоянная и снеговая нагрузки, а также колебания температуры. В стадии эксплуатации на каркас действуют колебания температуры, определенные как для неотопляемого открытого здания;

- **характеристические значения средних температур по сечению элемента** в соответствии с п. 11.4 [1]:

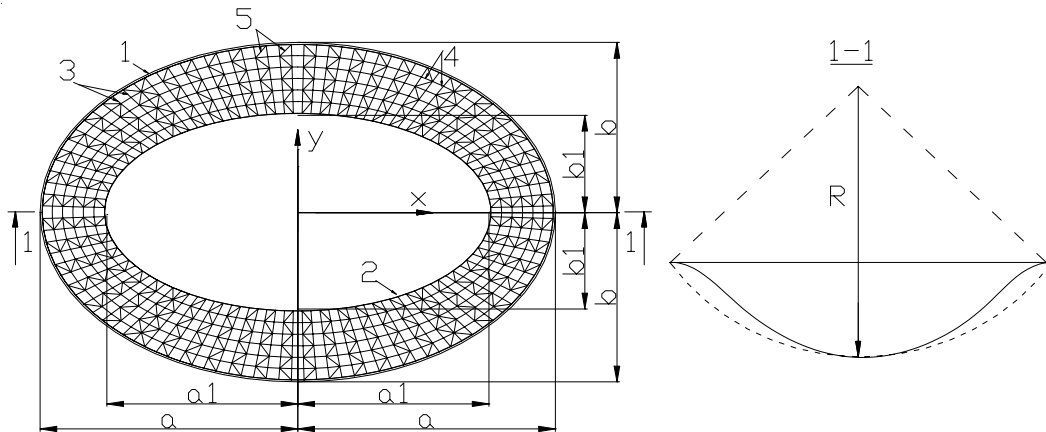


Рисунок 1. Конструктивная схема пространственно-стержневого покрытия (основные несущие элементы конструкции покрытия: внешний (1) и внутренний (2) опорные контуры, радиальные в виде жестких нитей сквозного сечения (3), кольцевые (4) и диагональные (5) элементы).

- в теплое время года

$$t_w = t_{ew} = t_{VII} + \Delta t_{VII} = 28 + 6 = 34 \text{ }^\circ\text{C},$$

- холодное

$$t_c = t_{ec} = t_I - \Delta t_I = -20 - 6 = -26 \text{ }^\circ\text{C}$$

(t_{VII} и t_I – среднесуточные температуры наружного воздуха в теплое и холодное время года соответственно (п. 11.5), Δt_{VII} и Δt_I – отклонения среднесуточных температур, рекомендуется принимать величину $6 \text{ }^\circ\text{C}$ [3]);

– **характеристические значения изменений средних температур по сечению элемента** в соответствии с п.11.3 [1]:

- в теплое время:

$$\Delta_{tw} = t_w - t_0 = 34 - 15 = 19 \text{ }^\circ\text{C},$$

- в холодное время:

$$\Delta_{tc} = t_c - t_0 = -26 - 15 = -41 \text{ }^\circ\text{C}.$$

– **предельные расчетные значения:**

- в теплое время

$$\Delta_{twm} = \Delta_{tw} \cdot \gamma_{fm} = 19 \cdot 1,1 = 20,9 \text{ }^\circ\text{C},$$

- в холодное время:

$$\Delta_{tcm} = \Delta_{tc} \cdot \gamma_{fm} = -41 \cdot 1,1 = -45,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

(коэффициент надежности по предельной нагрузке $\gamma_{fm} = 1,1$ в соответствии с п. 11.8).

Одним из главных этапов проводимых исследований является получение усилий и деформаций в несущих конструкциях покрытия. При этом проводилось сравнение напряженно-деформированного состояния блока висячих ферм при учете собственного веса, снеговой нагрузки, а также температурных воздействий. Для этого использовался Программный комплекс SCAD 11.3, где учитывалось изменение температуры по отношению к температуре замыкания, и приня-

то $+21 \text{ }^\circ\text{C}$ для теплого времени и $-45 \text{ }^\circ\text{C}$ для холодного времени (коэффициент линейного расширения $1,2e-005 \text{ } 1/^\circ\text{C}$).

В качестве расчетных воздействий для проведения исследований приняты 3 схемы:

- собственный вес (верхний и нижний пояса радиальных элементов – из $\perp 30$ ШТ1, прогонов – из $\perp 13,5$ ШТ1, раскосы из $\perp 100 \times 10$, связи из трубы $D_H = 219 \text{ мм}$, $t = 4,5 \text{ мм}$, внешний опорный контур с площадью сечения $A = 1 \text{ } 428 \text{ см}^2$, внутренний $A = 1 \text{ } 831 \text{ см}^2$, ограждающая конструкция кровли – поликарбонатный пластик ($t = 16 \text{ мм}$ с направляющими из [12]),

- снеговая нагрузка $1,6 \text{ кН/м}^2$,
- температурное воздействие $+21 \text{ }^\circ\text{C}$,
- температурное воздействие $-45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Распределение усилий в элементах покрытия при воздействии собственного веса, снеговой нагрузки $1,6 \text{ кН/м}^2$, температурного воздействия $+21$ и $-45 \text{ }^\circ\text{C}$ представлено в таблице 1.

Для обобщения данных об изменениях напряженно-деформированного состояния в радиальных элементах при воздействии температуры, а также при изменении жесткости внутреннего опорного контура были взяты:

– **безразмерные пространственно-жесткостные параметры:**

$$\bar{D}_1 = \frac{EI_z^{внеш} ab_1^4 + EI_z^{внут} a_1 b^4}{Et b^4 b_1^4} \text{ и}$$

$$\bar{D}_4 = \frac{EI_y^{внут} b}{Et R^2},$$

Таблица 1. Усилия в элементах покрытия при воздействии собственного веса, снеговой нагрузки 1,6 кН/м², температурного воздействия +21 и -45 °С

Максимальные значения усилий и напряжений	Нагрузки и воздействия				$\frac{s}{g}$ *	$\frac{+21}{g}$ *	$\frac{-45}{g}$ *
	Собственный вес	Снег 1,6 кН/м ²	$\Delta t_{wm} = +21^\circ$	$\Delta t_{vc} = -45^\circ$			
	g, кН	s, кН	+21, кН	-45, кН			
Пояса радиальных элементов							
N ₊ , кН	313,0	1873,0	300,0	663,0	5,98	0,96	2,12
σ_+ , МПа	43,2	258,4	41,4	91,5			
N ₋ , кН	-52,0	-717,0	-310,0	-642,0	13,79	5,96	12,35
σ_- , МПа	7,2	98,9	42,8	88,6			
Раскосы радиальных элементов							
N ₊ , кН	20,5	286,0	13,4	27,0	13,95	0,65	1,32
σ_+ , МПа	10,7	148,6	7,0	14,0			
N ₋ , кН	-21,0	-301,0	-12,6	-29,0	14,33	0,60	1,38
σ_- , МПа	10,9	156,4	6,5	15,1			
Внутренний опорный контур							
N ₊ , кН	2197,0	12952,0	185,0	693,0	5,90	0,08	0,32
σ_+ , МПа	12,0	70,7	1,0	3,8			
N ₋ , кН	--	--	-323,0	-398,0	--	--	--
σ_- , МПа	--	--	1,8	2,2	--	--	--
Внешний опорный контур							
N ₊ , кН	--	--	--	15892	--	--	6,92
σ_+ , МПа	--	--	--	111,3	--	--	
N ₋ , кН	-2297,0	-13581,0	-7417,0	--	5,91	3,23	
σ_- , МПа	16,1	95,1	51,9	--			
Прогоны							
N ₊ , кН	61,0	388,0	52,0	169,0	6,36	0,85	2,77
σ_+ , МПа	22,6	144,0	19,3	62,7			
N ₋ , кН	-32,0	-145,0	-79,0	-111,0	4,53	2,47	3,47
σ_- , МПа	11,9	53,8	29,3	41,2			
Связи							
N ₊ , кН	69,0	462,0	158,0	287,0	6,70	2,29	4,16
σ_+ , МПа	22,8	152,5	52,1	94,7			
N ₋ , кН	-48,0	-343,0	-134,0	-338,0	7,15	2,79	7,04
σ_- , МПа	15,8	113,2	44,2	111,6			

* – имеется в виду соотношение усилий или напряжений из колонок g, s, +21, -45, т. е. $N_s / N_g = \sigma_s / \sigma_g$, $N_{+21} / N_g = \sigma_{+21} / \sigma_g$, $N_{-45} / N_g = \sigma_{-45} / \sigma_g$.

где a, b, a_1, b_1 – размеры главных полуосей покрытия (рис. 1),

E_{Iz} и E_{Iy} – изгибные жесткости опорных контуров в горизонтальной и вертикальной плоскостях,

R – условный радиус кривизны внутреннего опорного контура,

$t = A_{кр.}/S_{кр.} + A_{р.р.}/S_{р.р.}$ – приведенная толщина оболочки,

– безразмерные параметры напряженно-деформированного состояния: параметр продольной силы в поясах ферм

$$\bar{N}_p = N_p a b a_p^2 / E A_p^3$$

и параметр вертикальных перемещений радиальных элементов

$$\bar{W} = W / f,$$

где a_p – длина в плане радиального элемента,

A_p – площадь поперечного сечения элемента,

I_p^y – момент инерции площади сечения элемента,

W – значения вертикальных перемещений,

f – стрела провисания внутреннего опорного контура или радиального элемента [6].

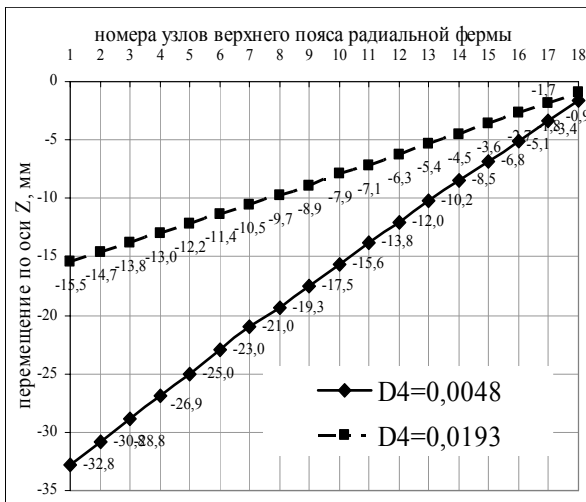
Поскольку основным управляющим фактором напряженно-деформированного состояния является изгибная жесткость внутреннего опорного контура в вертикальной плоскости $EI_{\text{внутр.}}$, то управляющим параметром напряженно-деформированного состояния принят параметр \bar{D}_4 , изменение которого осуществлялось в соответствии с таблицей 2, а параметр \bar{D}_1 принимал постоянное значение.

Численные исследования выполнены с использованием Программного комплекса SCAD 11.3 и получены зависимости между безразмерными пространственно-жесткостными параметрами и абсолютными значениями перемещений радиальной фермы с максимальными перемещениями (рис. 2), а также параметрами напряженно-деформированного состояния конструкции (рис. 3–6).

Таблица 2. Значения варьируемых параметров

$EIz^{\text{внеш}}$	$EIz^{\text{внут}}$	$EIy^{\text{внут}}$	\bar{D}_1	\bar{D}_4
25000000	48700000	29650000	0,000956732	0,004825949
		44475000		0,007238923
		59300000		0,009651897
		88950000		0,014477846
		118600000		0,019303794

а)



б)

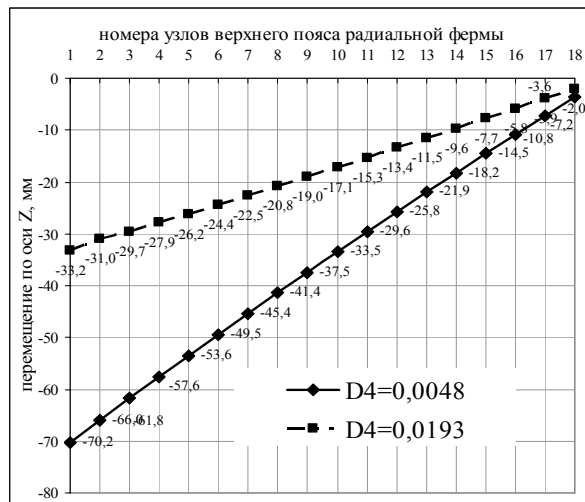


Рисунок 2. Зависимость изменения перемещений узлов верхнего пояса радиальной фермы по короткой оси, имеющей максимальные перемещения, от безразмерного пространственно-жесткостного параметра \bar{D}_4 (а – при $t = -45^\circ$, б – при $t = +21^\circ$).

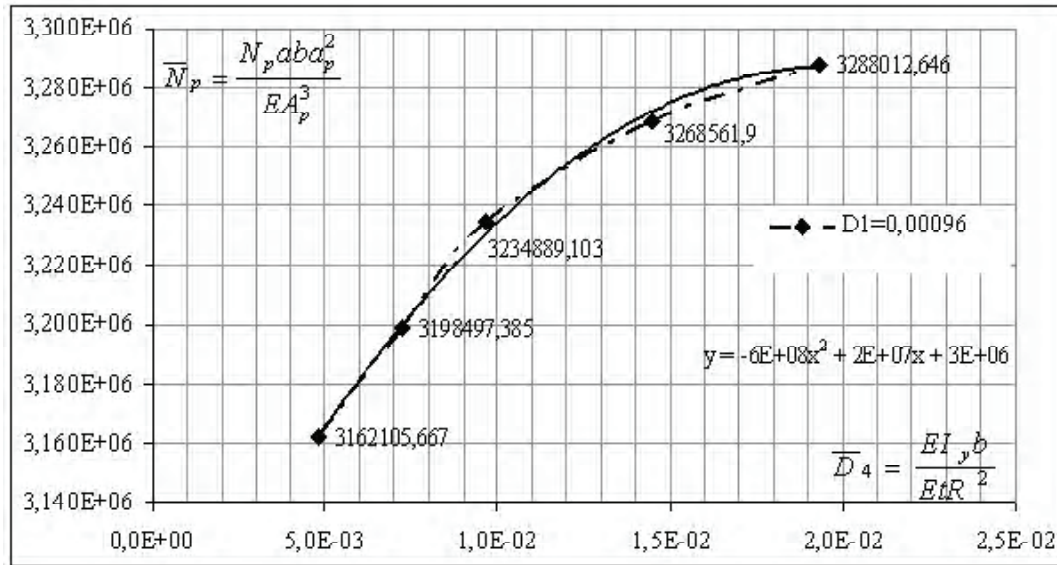


Рисунок 3. Зависимость безразмерного параметра максимальных продольных сил в радиальных элементах от пространственно-жесткостных параметров \bar{D}_1 и \bar{D}_4 при температурном воздействии -45° .

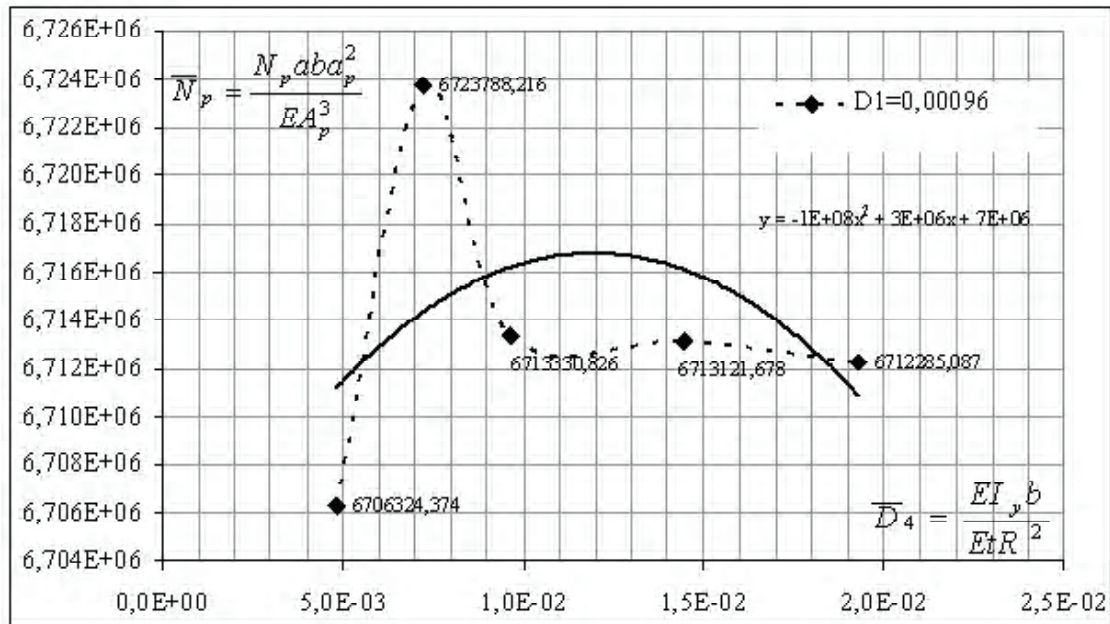


Рисунок 4. Зависимость безразмерного параметра максимальных продольных сил в радиальных элементах от пространственно-жесткостных параметров \bar{D}_1 и \bar{D}_4 при температурном воздействии $+21^\circ$.

Выводы

На основе проведенных теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

1. Проведенные исследования выявили особенность висячего покрытия, образованного системой изгибно-жестких нитей, заключающуюся в том, что температурные воздействия при-

водят к существенному изменению усилий в несущих элементах покрытия. Наибольшее влияние температурные воздействия оказывают на изменение усилий в поясах радиальных ферм, а также во внешнем опорном контуре. При этом при $t = -45^\circ$ напряжения по отношению к собственному весу превышают до 12,4 раза, а при

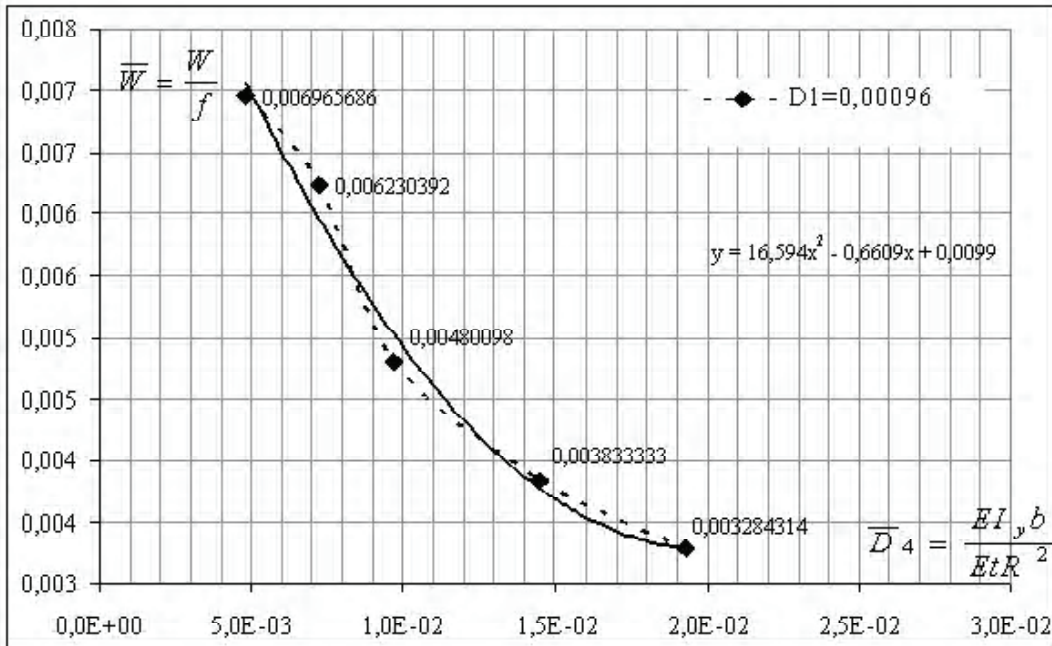


Рисунок 5. Зависимость безразмерного параметра максимальных вертикальных перемещения радиальных элементов от пространственно-жесткостных параметров \bar{D}_1 и \bar{D}_4 при температурном воздействии -45° .

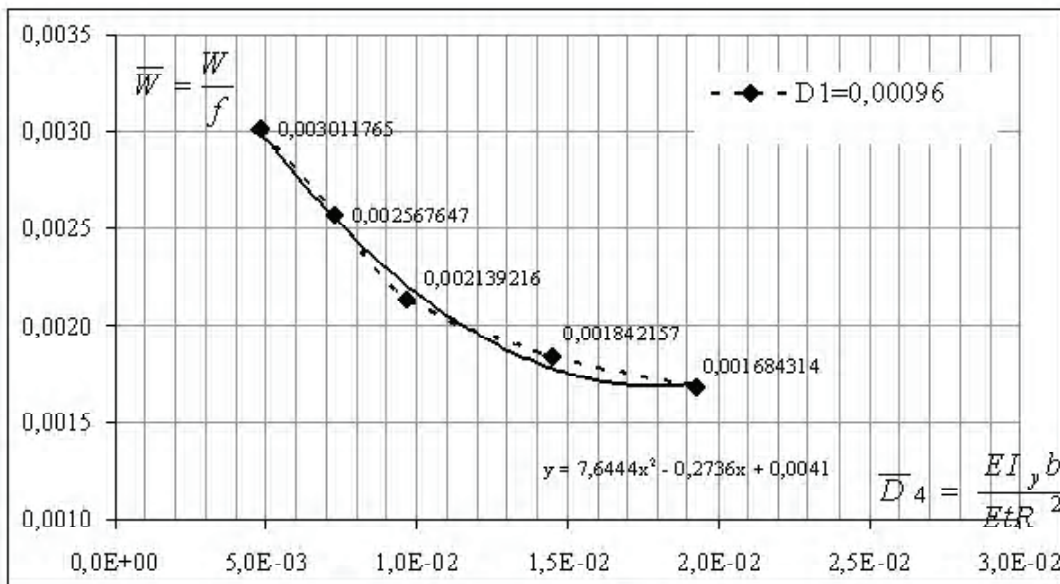


Рисунок 6. Зависимость безразмерного параметра максимальных вертикальных перемещения радиальных элементов от пространственно-жесткостных параметров \bar{D}_1 и \bar{D}_4 при температурном воздействии $+21^\circ$.

$t = +21^\circ$ до 6 раз, что указывает на значительность воздействия именно отрицательных температур. Для остальных элементов напряжения превышают до 2,8 раза.

2. При воздействии на покрытие температуры по сечению элемента -45° для внешнего опорного контура преобладающими становятся растягива-

ющие усилия (при собственном весе наблюдаются только сжимающие усилия), а напряжения по отношению к собственному весу превышают до 7 раз.

3. Как видно из графиков, приведенных на рис. 2–5, увеличение безразмерного параметра изгибной жесткости внутреннего опорного контура в вертикальной плоскости от $\bar{D}_4 = 0,0048$ до

$\bar{D}_4 = 0,0193$ приводит к снижению величин максимальных вертикальных перемещений узлов радиальных элементов при воздействии температуры -45° на 53 %, а при воздействии температуры

$+21^\circ$ на 44 %, при этом параметр продольных усилий в радиальных элементах увеличивается на 0,09 % при $t = -45^\circ$, на 3,98 % при $t = +21^\circ$.

Литература

1. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст] : ДБН В.1.2-2:2006. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 61 с.
2. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст] : ДБН В.1.2-14-2009. – Уведено вперше (зі скасуванням в Україні ГОСТ 27751, СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4868-84) ; чинні з 2009-12-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.
3. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения [Текст] / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Пашинский [и др.]. – Москва : Издательство ассоциации строительных вузов, 2007. – 477 с.
4. 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.
5. Муцанов, В. Ф. Теоретическое исследование закономерностей работы висячей стержневой оболочки с вырезом на эллиптическом плане [Текст] / В. Ф. Муцанов, 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.
6. Руднева, И. Н. Особенности пространственной работы висячего покрытия, образованного системой жестких нитей [Текст] : диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук : спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / Руднева И. Н. – Макеевка, 2006. – 263 с.
7. 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.
8. 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.

References

1. National Building Specifications. Reliability guarantee system and safety of structural objects. Load and effect. Designing standards: DBN B.1.2-2:2006. Kyiv: Ministry of Regional Civil Engineering of Ukraine, 2006. 61 p. (in Ukrainian)
2. National Building Specifications. Reliability guarantee system and safety of structural objects. General principles of reliability control and constructional safety of buildings, constructions and supports: DBN B.1.2-14-2009. Kyiv: Minregionbud of Ukraine, 2009. 37 p.
3. Gordeev, V. N.; Lantuh-Liashchenko, A. I.; Pashinskii, V. A.; Perelmuter, A. V.; Pichugin, S. F. Loads and actions on buildings and constructions. Moscow: Publishing house association of Civil Engineering Institutions, 2007. 477 p. (in Russian)
4. Gorohov, Ye. V.; Mushchanov, V. F.; Kasimov, V. R. Construction of fixed-site coverings over terraces. Makiivka: [S. l.], 2002. 156 p. ISBN 966-7477-29-0. (in Russian)
5. Mushchanov, V. F.; Priadko, I. N. Theoretical researches of operating rules of hanging rod-shaped shell with cutout on ellipsoid layout. In: *Proceeding of the Donbas State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2003, Vol. 2003-3(40): Buildings and structures with use of modern constructions and materials. Tom 1. Makiivka, 2003, p. 49–51. (in Russian)
6. Rudneva, I. N. Particulars of dimensioned operating of hanging covering formed by hard threads system: dissertation in candidacy for a degree of PhD in Technical Sciences. Makiivka, 2006. 263 p.
7. Report based on the results of monitoring of metal support of covering. Stadium «Donbas Arena» Code 110-01ПК-МК.О/2010. Makiivka: DonNASA, 2010. 90 p. (in Russian)
8. Belenia, E. I.; Streleckii, N. N.; Vedenikov, G. S.; Klepikov, L. V.; Morachevskii, T. N. Metal Constructions. Specialty course. Text edition for higher education institutions. Moscow: Stroizdat, 1991. 687 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.

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, 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.
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.

Мушчанов Володимир Пилипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теоретичної і прикладної механіки, проректор з наукової роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член 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.

Мушчанов 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 «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.

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 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, calculation, 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 flexural-hard filaments.