



(18)-0371-1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО ПОКРЫТИЯ НА КРИВОЛИНЕЙНОМ ПЛАНЕ

В. Ф. Муцанов, Н. А. Вишнякова

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.
E-mail: natali.perevaryukha@mail.ru*

Получена 26 декабря 2017; принята 23 марта 2018.

Анотация. В статье изложен анализ влияния различных конструктивных решений на пространственную работу большепролетного покрытия. Описываются результаты численных исследований рационального конструктивного решения как на основе усилий, так и с учетом перемещений. Представлены различные конструктивные решения большепролетного стержневого покрытия, отвечающие климатическим условиям г. Донецка.

Ключевые слова: большепролетное пространственное покрытие, численный анализ, напряженно-деформированное состояние (НДС), металлические несущие конструкции.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ БАГАТОПРОЛЕТНОГО ПОКРИТТЯ НА КРИВОЛІНІЙНОМУ ПЛАНІ

В. П. Муцанов, Н. А. Вишнякова

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.
E-mail: natali.perevaryukha@mail.ru*

Отримана 26 грудня 2017; прийнята 23 березня 2018.

Аннотация. У статті викладено аналіз впливу різних конструктивних рішень на просторову роботу багатопрольотного покриття. Описуються результати чисельних досліджень раціонального конструктивного рішення як на основі зусиль, так і з урахуванням переміщень. Представлені різні конструктивні рішення багатопрольотного стержневого покриття, що відповідають кліматичним умовам м. Донецька.

Ключові слова: багатопрольотне просторове покриття, чисельний аналіз напружено-деформованого стану (НДС), металеві несучі конструкції.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF STRUCTURAL SOLUTIONS OF LARGE-SPAN COVERAGE ON THE CURVILINEAR PLANE

Volodymyr Mushchanov, Natalia Vishniakova

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

E-mail: natali.perevaryukha@mail.ru

Received 26 December 2017; accepted 23 March 2018.

Abstract. The article presents an analysis of the influence of various design solutions on the spatial work of long-span coverage. The results of numerical studies of the rational constructive solution both on the basis of efforts and taking into account displacements are described. Various constructive solutions of the large-span rod covering meeting climatic conditions of Donetsk are presented.

Keywords: large-span spatial coverage, numerical analysis, stress-strain state (VAT), metal bearing structures.

1. Актуальность темы

В настоящее время строительство большепролетных спортивно-зрелищных сооружений является весьма актуальным и востребованным мероприятием. Такая тенденция вызвана потребностью населения в физическом развитии, занятии спортом, массовым интересом к спортивным мероприятиям и здоровому образу жизни. В сложившейся ситуации вырос спрос на строительство таких большепролетных сооружений. Главной особенностью данного направления является то, что независимо от целевого назначения все общественные здания и сооружения проектируются с учетом одновременного пребывания в них большого количества людей. По этой причине при проектировании общественных зданий необходимо особое внимание уделять разработке способов обеспечения безопасности людей, находящихся в общественном здании, а именно: проектированию каркаса здания, разделам пожарной безопасности и инженерно-технического обеспечения зданий, куда входят: система вентиляция, пожарной сигнализации и оповещения и т. д.

Поэтому поиск рационального конструктивного решения при одновременном соблюдении требований проектирования и конструирования является весьма актуальной задачей.

2. Результаты численных исследований рационального проектирования большепролетного покрытия

Данное сооружение выполнено по рамной конструктивной схеме с жестким соединением колонн с фундаментами и шарнирным сопряжением с фермами покрытия.

В конструктивной системе покрытия выделяются два типа несущих конструкций:

- 1) основные (несущие) конструкции;
- 2) вспомогательные конструкции.

Основными (несущими) конструкциями выступают радиально расположенные фермы и кольцевые прогоны сквозного сечения (К-1, К-2, К-3).

Вспомогательными конструкциями выступают горизонтальные и вертикальные связи по покрытию, опорные элементы.

Численное исследование рационального проектирования большепролетного покрытия реализовано в программном комплексе «Лира-Сапр». Были предложены различные конструктивные схемы покрытия.

Расчету ферм предшествует сбор нагрузок. Нагрузки, действующие на ферму, складываются из постоянных (от собственной массы фермы и ограждающих конструкций покрытия) и временных (чаще всего только от снега).

1. Постоянная нагрузка

Конструкция должна воспринимать любые виды и сочетания нагрузок: распределенные и сосредоточенные, постоянные и временные, статические и динамические, силовые и кинематические, тепловые и прочие агрессивные воздействия окружающей среды (табл. 1, 2).

Большепролетные конструкции работают в основном на нагрузку от собственного веса; поэтому уменьшение собственного веса конструкции является главной задачей. Особенно важным является применение в большепролетных перекрытиях облегченных кровельных конструкций и материалов.

2. Временная нагрузка (снег)

Проектируемое сооружение находится в г. Донецке. Снеговой район для г. Донецка: V – согласно [1].

Характеристическое значение снеговой нагрузки для г. Донецка:

$$S_o = 1,5 \text{ кН/м}^2, \quad (1)$$

Предельное расчетное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия (конструкции):

$$S_m = \gamma_{fm} \cdot S_o \cdot C, \quad (2)$$

где γ_{fm} – коэффициент надежности по предельному значению снеговой нагрузки; для $T=100$ лет; $\gamma_{fm} = 1,14$.

C – коэффициент, определяется по формуле:

$$C = \mu \cdot C_e \cdot C_{alt}, \quad (3)$$

где μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова на поверхности земли к снеговой нагрузке на покрытие, определяемый согласно [1] по приложению Ж в зависимости от формы кровли и схемы распределения снеговой нагрузки; $\mu = 1$.

C_e – коэффициент, учитывающий режим эксплуатации кровли. Т. к. отсутствуют данные о режиме эксплуатации кровли, следовательно $C_e = 1$.

C_{alt} – коэффициент географической высоты; $C_{alt} = 1$.

Таблица 1. Постоянная нагрузка на покрытие

Номер п/п	Наименование нагрузки	Нормативная, кН/м ²	Коэффициент γ_f	Расчетная, кН/м ²
1	Гидроизоляционный ковер	0,12	1,10	0,130
2	Утеплитель	0,45	1,20	0,500
3	Пароизоляция	0,05	1,20	0,060
4	Проф. лист ПН-60	0,10	1,05	0,105
5	Прогоны кровли	0,15	1,05	0,160
6	Главные фермы	0,20	1,05	0,210
7	Связи по фермам	0,04	1,05	0,042
	Итого	1,11		1,207

Таблица 2. Нагрузка от веса кровли

Номер п/п	Наименование нагрузки	Нормативная, кН/м ²	Коэффициент γ_f	Расчетная, кН/м ²
1	Гидроизоляционный ковер	0,12	1,1	0,13
2	Утеплитель	0,45	1,2	0,50
3	Пароизоляция	0,05	1,2	0,06
	Итого	0,62		0,69

$$C = \mu \cdot C_e \cdot C_{alt} = 1.$$

$$S_m = \gamma_{fm} \cdot S_o \cdot C = 1,5 \cdot 1,14 \cdot 1 = 1,71 \text{ кН/м}^2. \quad (4)$$

На рисунке 1 показана пространственная схема расположения ферм на шарнирно-неподвижных опорах. С помощью ПК «Лира-Сапр» были получены усилия в определенной центральной

рассматриваемой ферме (рис. 2). Результаты данного расчета показали, что пространственная работа конструкции в целом значительно повлияла на усилия в фермах. В связи с тем, что обе опоры были шарнирно-неподвижными и у фермы не было возможности горизонтального перемещения, нижний пояс фермы оказался частич-

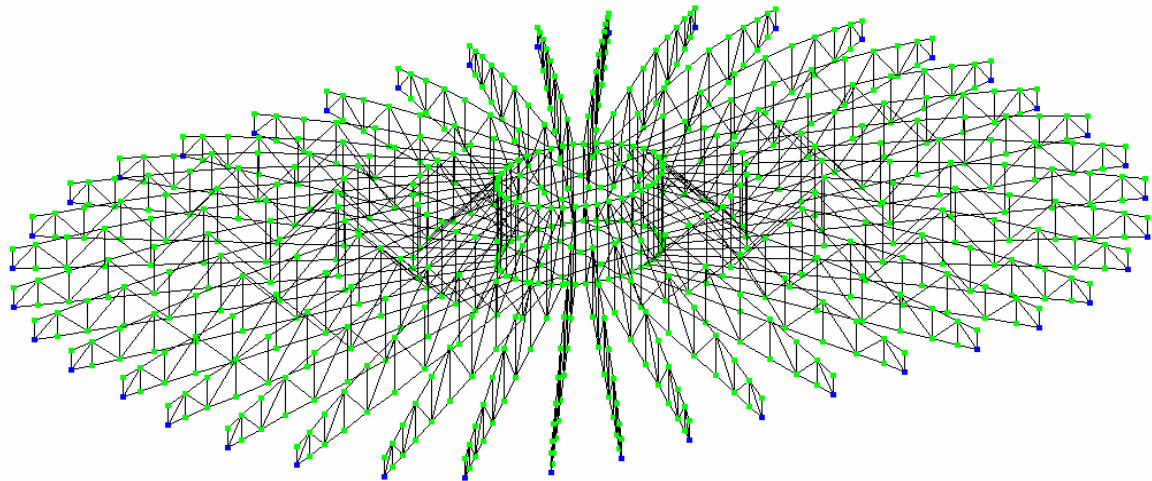


Рисунок 1. Пространственная схема расположения ферм на шарнирно-неподвижных опорах.

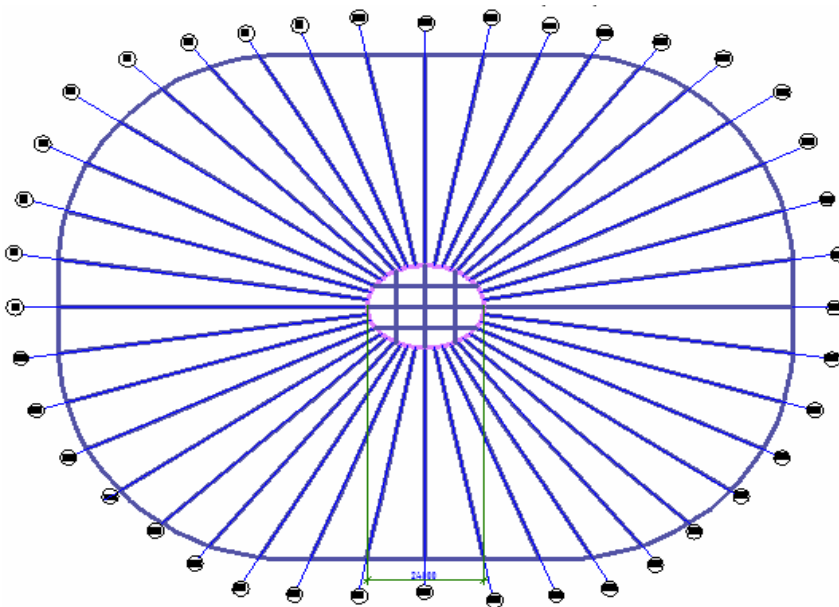


Рисунок 2. План радиально расположенных ферм на шарнирно-неподвижных опорах без кольцевых элементов К-1, К-2, К-3.

но сжат, что отрицательно сказалось на НДС стропильных ферм. То есть данный вариант отличается от традиционной картины распределения усилий в фермах.

На рисунке 3 показана пространственная радиально-кольцевая схема расположения ферм на шарнирно-неподвижных и катучих опорах в со-

четании с кольцевыми фермами. Данные кольцевые фермы обеспечивают геометрическую неизменяемость системы (рис. 4). Результаты данного расчета показали, что благодаря катучей опоре у ферм появилась возможность горизонтального перемещения, что приводит к исключению сжимающих усилий в нижнем поясе фер-

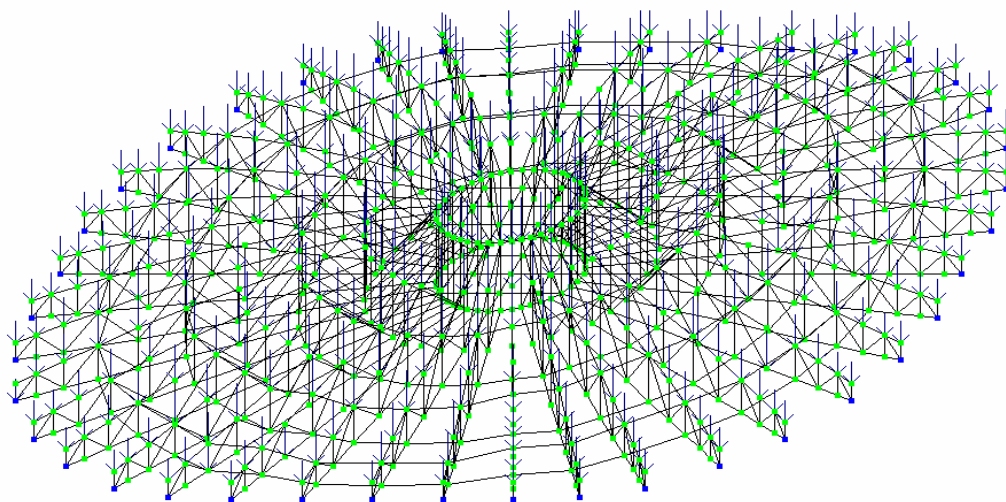


Рисунок 3. Пространственная схема расположения ферм на шарнирно-неподвижных и катучих опорах с кольцевыми фермами.

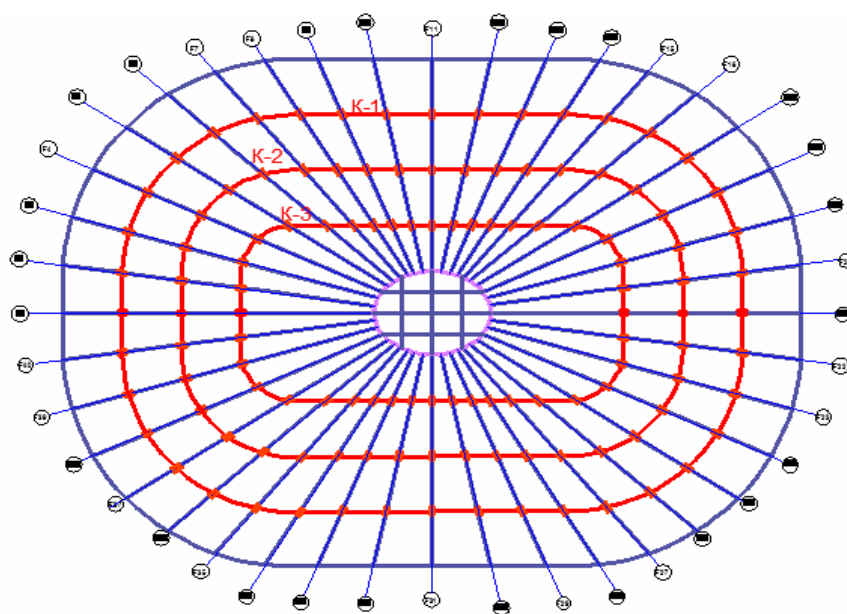


Рисунок 4. План радиально расположенных ферм на шарнирно-неподвижных и катучих опорах с кольцевыми элементами К-1, К-2, К-3.

мы. Усилия, полученные в результате расчета, оказались традиционными: верхний пояс фермы сжат, а нижний – растянут.

То есть мы можем утверждать, что полученный нами второй расчет соответствует эффективному конструктивному решению данного большепролетного покрытия.

В связи с принятым эффективным решением рассмотрим различные варианты загрузки

покрытия снеговой нагрузкой для г. Донецка. Рассмотрим радиально-кольцевую схему расположения ферм на шарнирно-неподвижных и катучих опорах в сочетании с кольцевыми фермами, снеговая нагрузка действует на половину пролета (рис. 5, 6).

В ходе исследования данного варианта загрузки от снеговой нагрузки, действующей на половину пролета, мы установили, что верхний

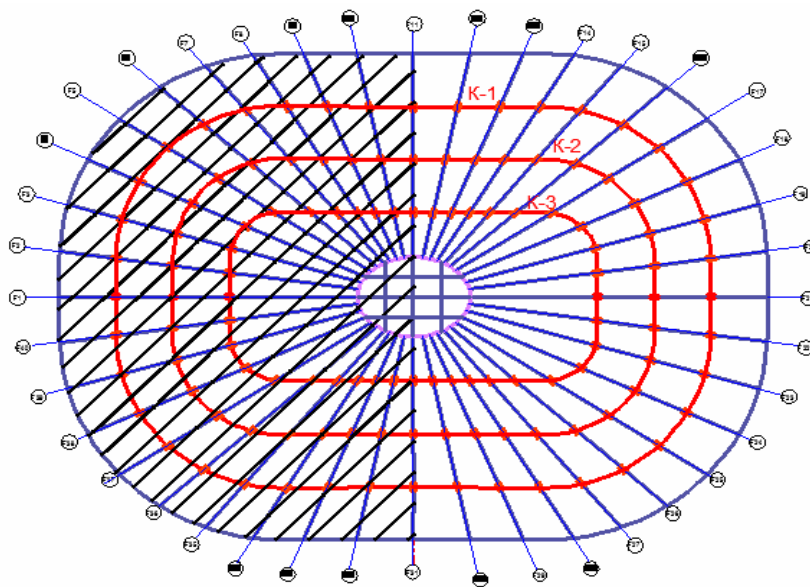


Рисунок 5. План радиально расположенных ферм на шарнирно-неподвижных и катучих опорах с кольцевыми элементами К-1, К-2, К-3, снеговая нагрузка действует на половину пролета.

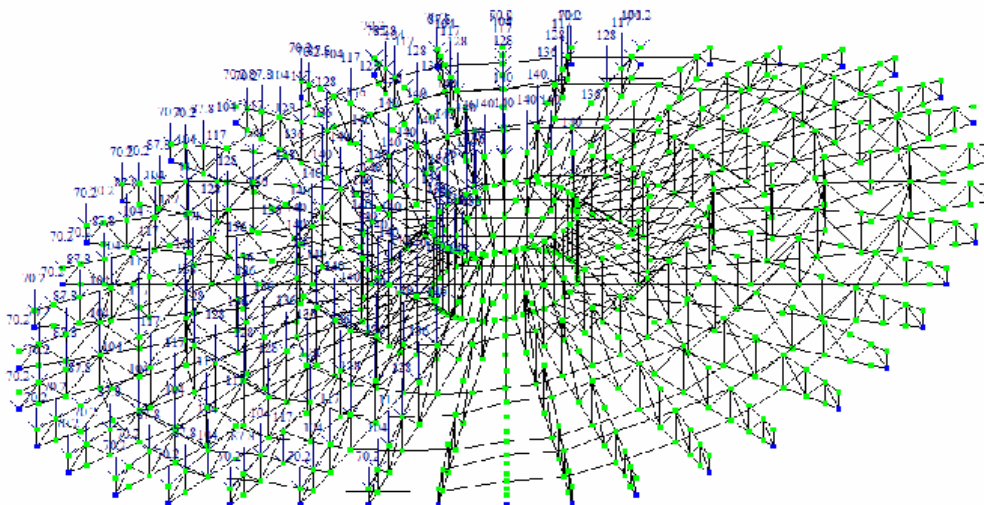


Рисунок 6. Пространственная схема расположения ферм на шарнирно-неподвижных и катучих опорах с кольцевыми фермами, снеговая нагрузка действует на половину пролета.

пояс традиционно сжат, а нижний – растянут частично. Первые четыре панели нижнего пояса фермы были сжаты.

А теперь рассмотрим второе загрузке снеговой нагрузкой, действующей уже на четверть пролета (рис. 7, 8).

В ходе исследования данного варианта загрузки от снеговой нагрузки, действующей на

четверть пролета, мы установили, что верхний пояс также традиционно сжат, а нижний – также растянут частично. Первые четыре панели нижнего пояса фермы сжаты.

Анализ влияния усилий от различных конструктивных решений рассмотрен в таблице 3.

Анализ влияния перемещений от снеговой нагрузки показан на рисунках 9, 10.

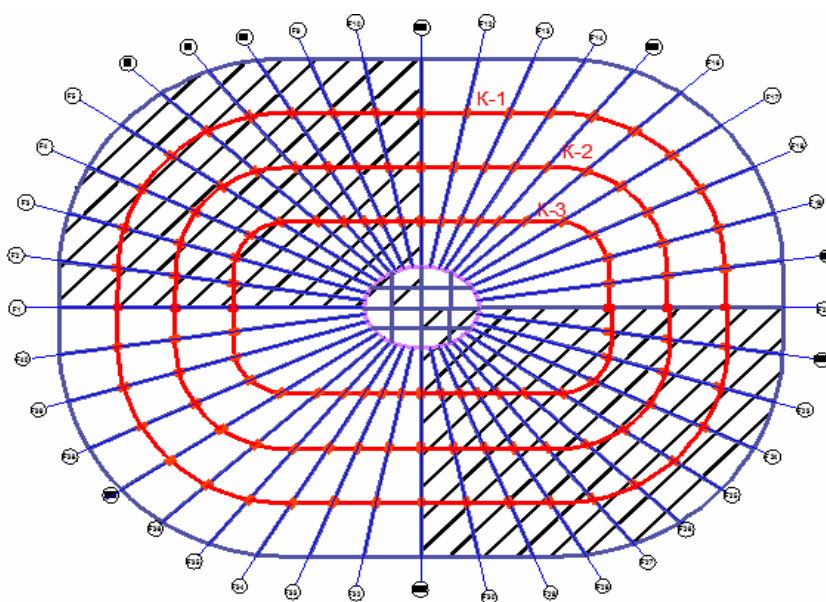


Рисунок 7. План радиально расположенных ферм на шарнирно-неподвижных и катучих опорах с кольцевыми элементами К-1, К-2, К-3, снеговая нагрузка действует на четверть пролета.

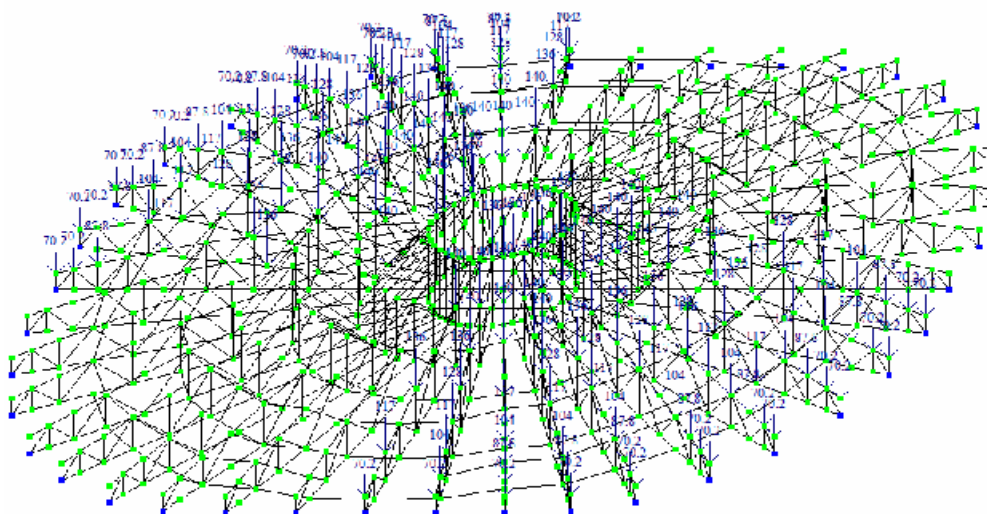
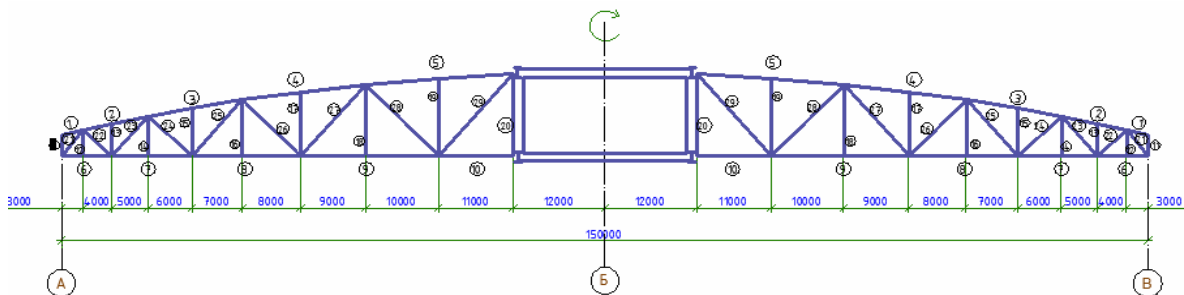


Рисунок 8. Пространственная схема расположения ферм на шарнирно-неподвижных и катучих опорах с кольцевыми фермами, снеговая нагрузка действует на четверть пролета.

Таблица 3. Анализ влияния усилий от различных конструктивных решений



№ эл-та	N, кН шарнирно-неподв. закрепл. без кольцевых эл-тов	N, кН шарнирно-неподв. и катуч. закрепл. с кольцевыми эл-тами	N, кН шарнирно-неподв. и катуч. закрепл. снег на половине пролета	N, кН шарнирно-неподв. и катуч. закрепл. снег на четверте пролета
1	-0,39	-0,39	-0,39	-0,39
2	-3 472,30	-2 707,50	-3 327,30	-2 736,80
3	-5 295,70	-4 133,30	-4 998,20	-4 140,40
4	-6 285,50	-4 945,10	-5 939,10	-4 895,60
5	-6 487,40	-4 824,80	-5 983,60	-5 017,50
6	-3 703,60	1 421,50	-2 744,80	-2 576,10
7	-1 087,60	3 514,00	-250,10	-375,40
8	1 522,10	4 502,50	929,30	596,20
9	820,70	4 756,00	1 420,30	984,50
10	877,20	4 691,70	1 305,60	956,20
11	-142,00	-142,00	-142,00	-142,00
12	5,09	5,09	5,09	5,09
13	-57,50	-63,50	-62,60	-83,80
14	8,10	8,65	8,60	8,65
15	66,50	-27,10	52,30	-32,20
16	11,20	11,60	11,60	11,60
17	-283,10	-283,10	-283,10	-283,10
18	11,30	11,50	11,50	11,50
19	-45,10	-95,70	-63,80	-101,70
20	95,60	8,40	149,70	51,80
21	-3 032,90	-2 305,70	-2 911,00	-2 414,50
22	2 026,00	1 598,00	1 937,50	1 576,90
23	-1 723,40	-1 311,00	-1 637,50	-1 287,60
24	946,30	677,00	876,80	753,50
25	-933,50	-652,70	-851,90	-669,70
26	675,70	443,60	566,90	537,40
27	-249,80	-198,20	-146,50	-118,50
28	93,80	105,40	-45,10	73,90
29	-257,06	-385,90	240,90	205,90

3. Выводы

1. Предложенный к разработке вариант радиально-кольцевой схемы пространственного покрытия обеспечивает эффективное перераспределение усилий в элементах конструк-

ций, обеспечивая их снижение по сравнению с радиальной схемой на 12–15 %.

2. Основопологающим с учетом величин максимальных усилий в элементах ферм является загрузка временной нагрузкой по всему

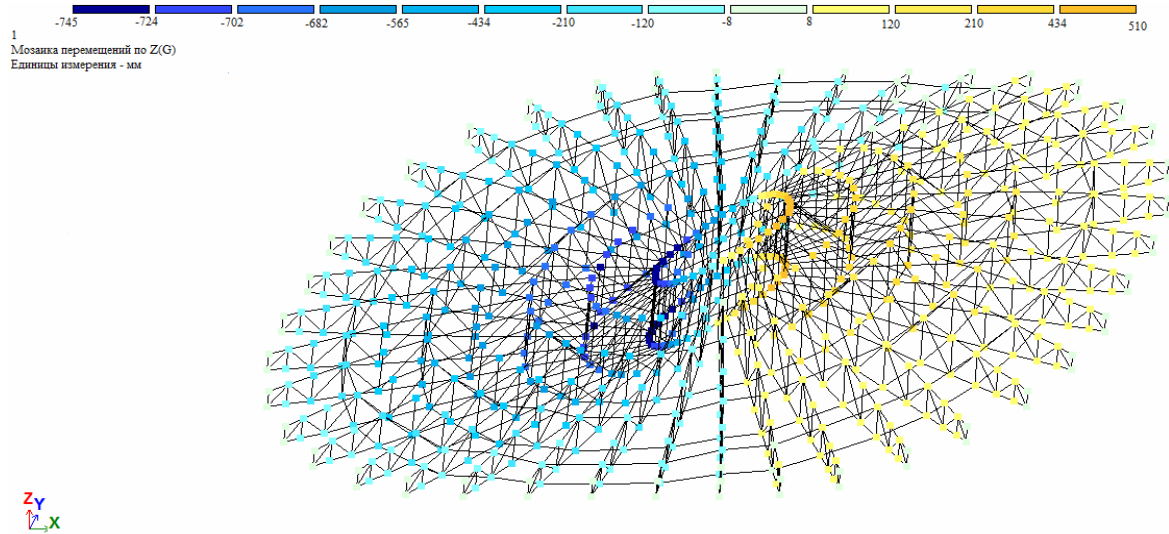


Рисунок 9. Мозаика перемещений по Z, снеговая нагрузка действует на половину пролета.

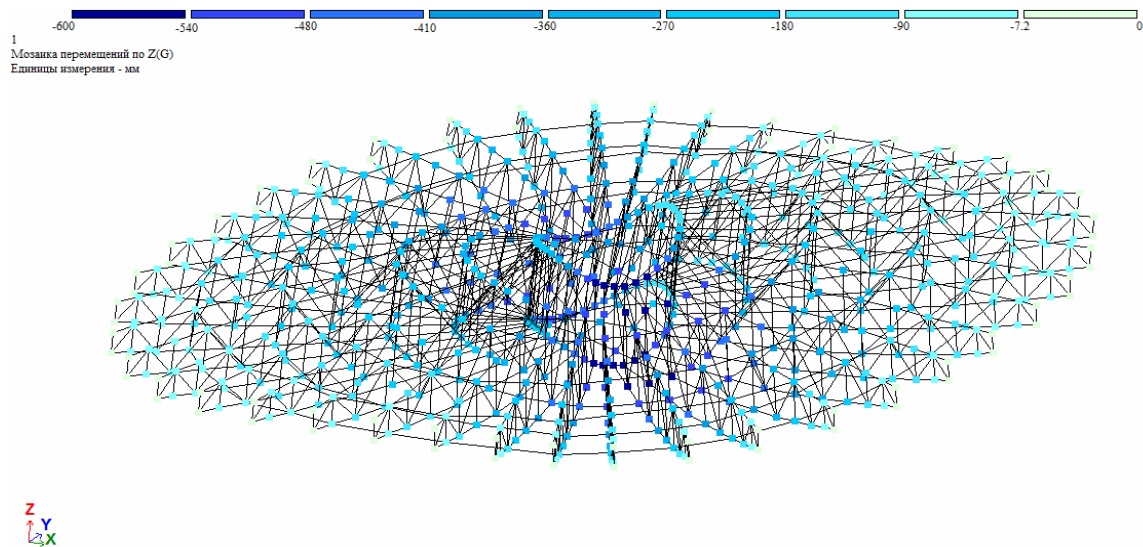


Рисунок 10. Мозаика перемещений по Z, снеговая нагрузка действует на четверть пролета.

пролету. С учетом деформативности отмеченное загрузка является определяющим.

3. Основной особенностью расчета несимметричного нагружения временной нагрузкой (рис. 5, 7) является возникновение сжимающих усилий в приопорных панелях нижнего

пояса фермы, что требует обеспечения устойчивости этих элементов.

4. Принятое конструктивное решение обеспечивает высокие технико-экономические показатели проектируемого покрытия с расходом стали в пределах $18,2 \text{ кг/м}^2$.

Литература

1. ДБН В.1.22:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007–01–01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 75 с.
2. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування [Текст]. – Замість ДБН В.2.6-163:2010 ; надано чинності 2015–01–01. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 199 с.
3. Лихтарников Я. М. Расчет строительных конструкций : справочное пособие [Текст] / Я. М. Лихтарников, Д. В. Ладыженский, В. М. Клыкков. – Издание 2-е переработанное и дополненное. – Киев : «Будівельник», 1984. – 366 с.
4. Беленя Е. И. Металлические конструкции : учебник для вузов [Текст] / Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Ведеников и др. ; под общ. ред. Е. И. Беленя. – 6-е изд. перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1985. – 560 с.
5. Пособие по проектированию стальных конструкций : (к СНиП II-23-81*) [Текст]. – М., 1989. – 149 с.
6. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций : справ. теоретич. пособие [Текст] / под ред. А. С. Городецкого. – М., 2003. – 472 с.

References

1. DBN V.1.22: 2006. System of reliability and safety of building objects. Load and impact. Design standards. Instead SNiP 2.01.07-85; Enforced 01–01–01. Kyiv: Ukraine Ministry of Construction. 75 p.
2. DBN V.2.6-198: 2014. Steel structures. Design standards. Instead of DBN V.2.6-163: 2010; Enabled 01–01–2015. Kyiv: Ukraine Ministry of Construction. 199 p.
3. Likhtarnikov, Ya.; Ladyzhensky D. V.; Klykov V. M. Calculation of building constructions: a reference manual. Kyiv: Budivelynyk. 366 p.
4. Belenya, E. I.; Baldin, V. A.; Vedenikov G. S. and others; ed. E. I. Belenya. Metal constructions: Textbook for high schools. 6th ed. Moscow: Stroyizdat, 1985. 650 p.
5. Handbook for the design of steel structures: (to SNiP II-23-81 *). Moscow, 1989. 149 p.
6. Software complex for calculating and designing structures: cases. theoretician allowance. Ed. A. S. Gorodetsky. Moscow, 2003. 472 p.

Мущанов Владимир Филиппович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, проректор по научной работе ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Член международной организации «Институт гражданских инженеров» и международной организации «Пространственные конструкции», академик Академии строительства Украины и Украинской академии наук, член-корреспондент Академии архитектуры Украины. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Вишнякова Наталья Анатольевна – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: расчет и проектирование пространственных большепролетных металлических конструкций.

Мущанов Володимир Пилипович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної і прикладної механіки, проректор з наукової роботи ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Член міжнародної організації «Інститут цивільних інженерів» та міжнародної асоціації «Просторові конструкції», академік Академії будівництва України і Української академії наук, член-корреспондент Академії архітектури України. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Вишнякова Наталя Анатоліївна – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розрахунок і проектування багатопролетних просторових металевих конструкцій.

Mushchanov Volodymyr – D.Sc. (Engineering), Professor; Head of the Theoretical and Applied Mechanics Department, vice-rector on the scientific activity of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the international organization «Institute of Civil Engineer» and international organization of «Spatial Structures», the academician of the Civil Engineering Academy in Ukraine and the Academy of Sciences of Ukraine,

an associate member of the Academy of Architecture of Ukraine. Scientific interests: the reliability theory, analyze, designing and engineering diagnostics of spatial metallic structures.

Vishniakova Natalia – master’s student of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: calculation and design of spatial large-span metal structures.