



(05)-0095-1

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКУ ВИСЯЧИХ ФЕРМ ПРИ ДІЇ НЕРІВНОВАЖНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

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

*Кафедра "Теоретична і прикладна механіка", Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.
E-mail: irene_p@mail.ru*

Отримана 8 червня 2005; прийнята 18 серпня 2005

Анотація. При роботі несучих великопролітних конструкцій, таких як висячі оболонки з великим вирізом над трибунами стадіонів, виникають значні переміщення узлов, що може привести к пошкодженню і навіть руйнуванню легких світлопрозорих огорожуючих конструкцій, виконаних з углепластику. В роботі проведено експериментальне дослідження блоку висячих ферм, який з'являється фрагментом просторової стрижневої оболонки з вирізом на еліптичному плані при дії нерівноважних навантажень.

Ключові слова: висяча ферма, просторова, стрижнева оболонка, деформації, напруження, експериментальне дослідження.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОКА ВИСЯЧИХ ФЕРМ ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НАГРУЗОК

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

*Кафедра "Теоретическая и прикладная механика", Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.
E-mail: irene_p@mail.ru*

Получена 8 июня 2005; принята 18 августа 2005

Аннотация. При работе несущих большепролетных конструкций, таких как висячие оболочки с большим вырезом над трибунами стадионов, возникают значительные перемещения отдельных узлов, что может привести к повреждению и даже разрушению легких светопрозрачных ограждающих конструкций, выполненных из поликарбонатных углепластиков. В настоящей работе проведено экспериментальное исследование блока висячих ферм, являющегося фрагментом пространственной стержневой оболочки с вырезом на эллиптическом плане, при действии неравновесных нагрузок.

Ключевые слова: висячая ферма, пространственная, стержневая оболочка, деформации, напряжения, экспериментальное исследование.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE SUSPENDED TRUSSES BLOCK AT ACTION OF NON-EQUILIBRIUM LOADINGS

V.P. Mushchanov, I.M. Rudneva, Yu.M. Pryadko

Department of theoretical and applied mechanics, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Derzavin str. 2, 86123, Makiyivka, Ukraine.

E-mail: irene_p@mail.ru

Received 8 June 2005; 18 August 2005

Abstract. A significant moving of separate units, that can cause damage and even destruction of light light-transparent protecting constructions made of polycarbonate plastics arises at work of bearing wide-span constructions, such as suspended shell with a big aperture above stadiums' tribunes. Experimental research of a suspended trusses block which is a part of a spatial rod shell with an aperture on the elliptic plan at non-equilibrium loadings is presented in the given article.

Keywords: suspended trusses, a spatial rod shell, deformations, stress, an experimental research.

1. Постановка проблемы и ее связь с научными и практическими задачами

Первое применение висячих конструкций принадлежит В.Г.Шухову в 1896 году. Интенсивное развитие применение висячих конструкций получило с пятидесятых годов XX века. В этот период были запроектированы и построены покрытия с использованием изгибно-жестких нитей, большой вклад сделали ученые: Качурин В.К., Стрелецкий Н.С., Ржаницын А.Р., Смирнов В.А., Москалев Н.С., Ведеников Г.С., Кирсанов Н.И., Телоян А.Л., Чаадаев В.К., Казакевич М.И., Перельмутер А.В., Шимановский В.Н.,

Отто Ф, Шлейра К., Скорделис А, Банделя Х.К., Сobotки З., Рюле Х. и др. Но ни одна из разработанных методик расчета не учитывает пространственной работы изгибно-жесткой нити вместе с ограждающей конструкцией в составе покрытия на эллиптическом плане с большим вырезом, что и является целью данной работы.

2. Нерешенная часть проблемы и формирование целей исследования

Для изучения действительной работы изгибно-жестких нитей сквозного сечения в составе пространственной стержневой оболочки при

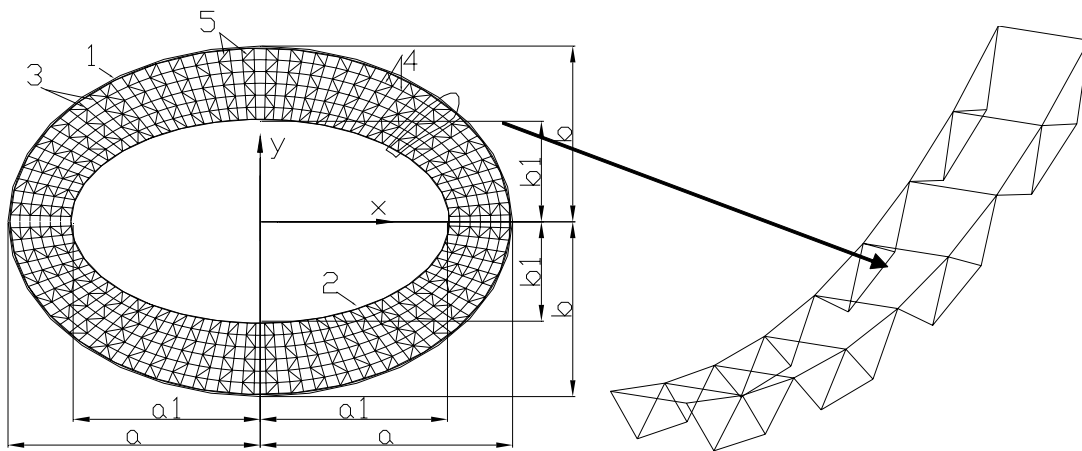


Рис. 1. Конструктивная схема пространственно-стержневого покрытия: 1 – внешний и 2 – внутренний опорные контуры, 3 – радиальные, 4 – кольцевые и 5 – диагональные элементы.



Рис. 2. Экспериментальная установка модели блока висячих ферм.

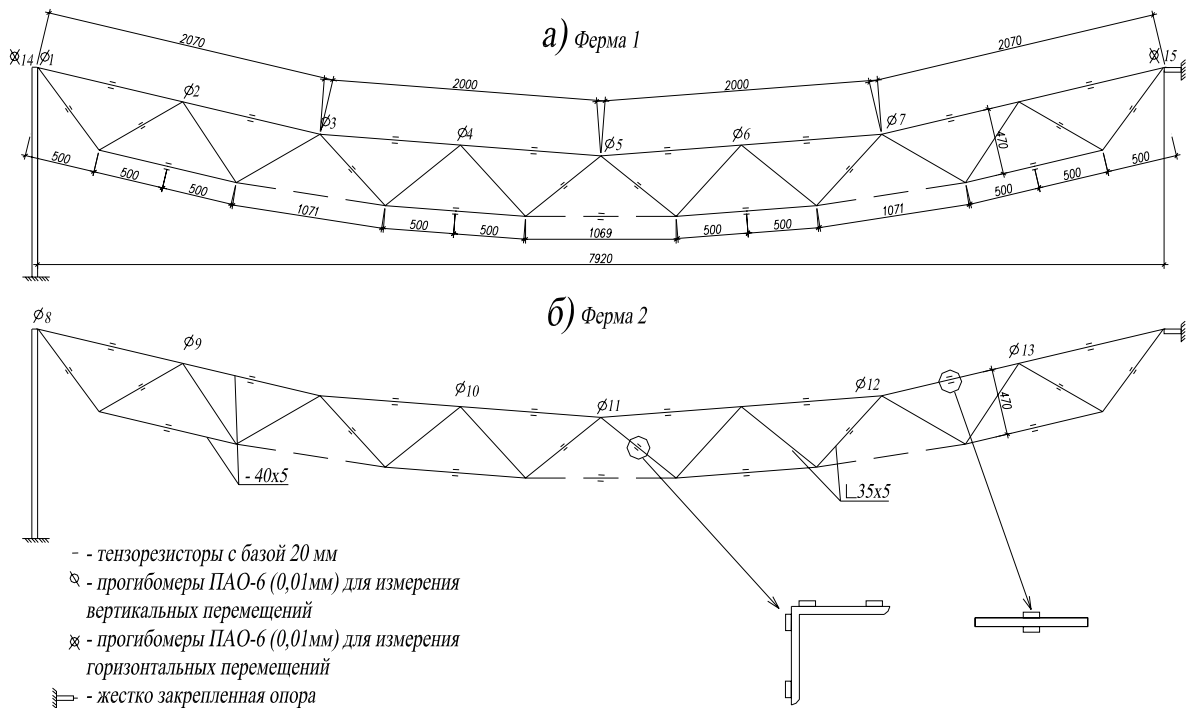


Рис. 3. Схема экспериментальной установки и расположение измерительных приборов.

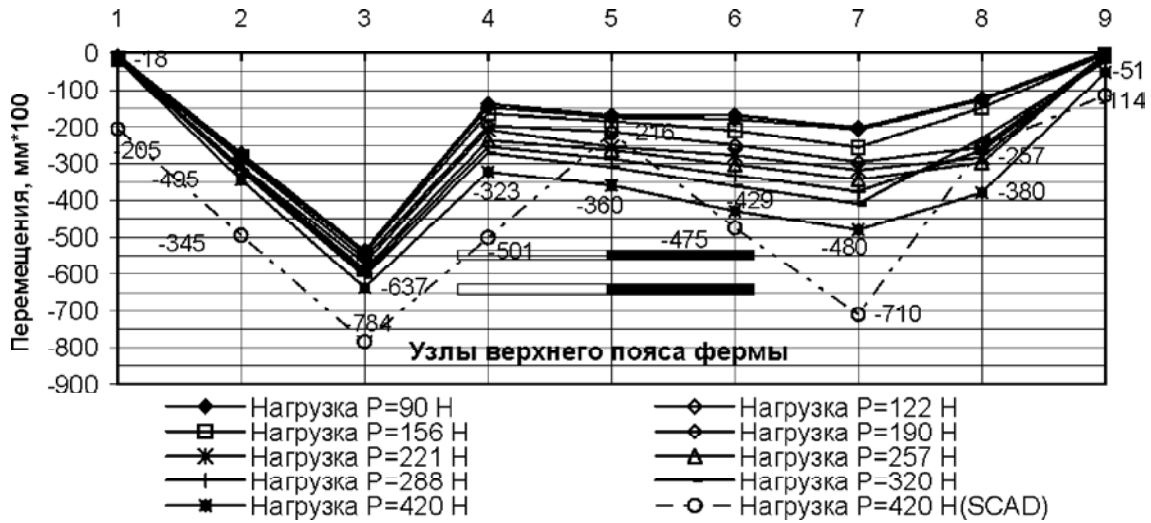


Рис. 4. Зависимость вертикальных перемещений узлов ферм от постоянной и временной (снеговой) нагрузки на половину пролета ближе к узкой части (Загружение 1).



Рис. 5. Зависимости продольных сил N , кН узлов верхнего пояса фермы 1 от снеговой нагрузки на половину пролета ближе к узкой части (Загружение 1).

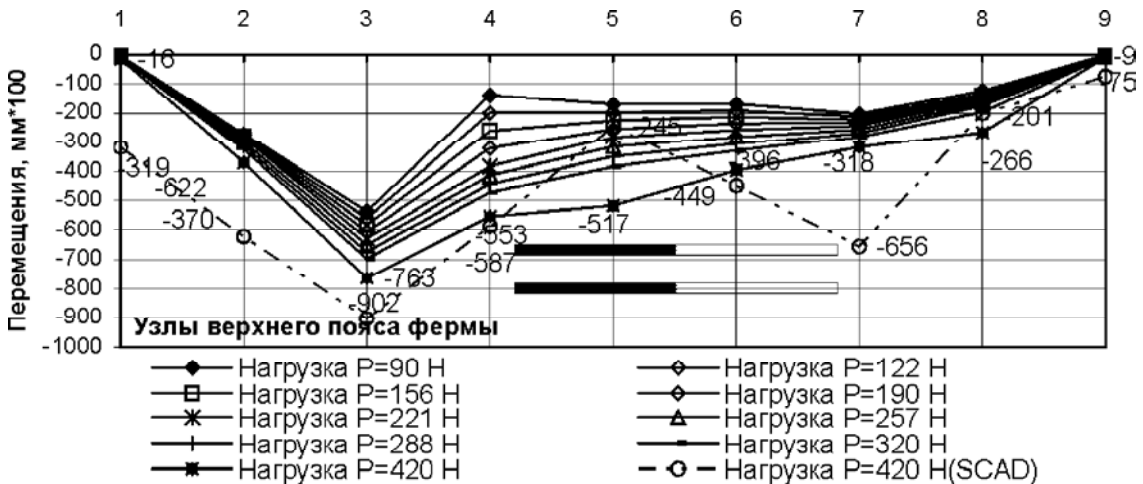


Рис. 6. Зависимость вертикальных перемещений узлов ферм от постоянной и временной (снеговой) нагрузки на половину пролета ближе к широкой части (Загружение 2).



Рис. 7. Зависимости продольных сил N , кН узлов верхнего пояса фермы 1 от снеговой нагрузки на половину пролета ближе к широкой части (Загружение 2).

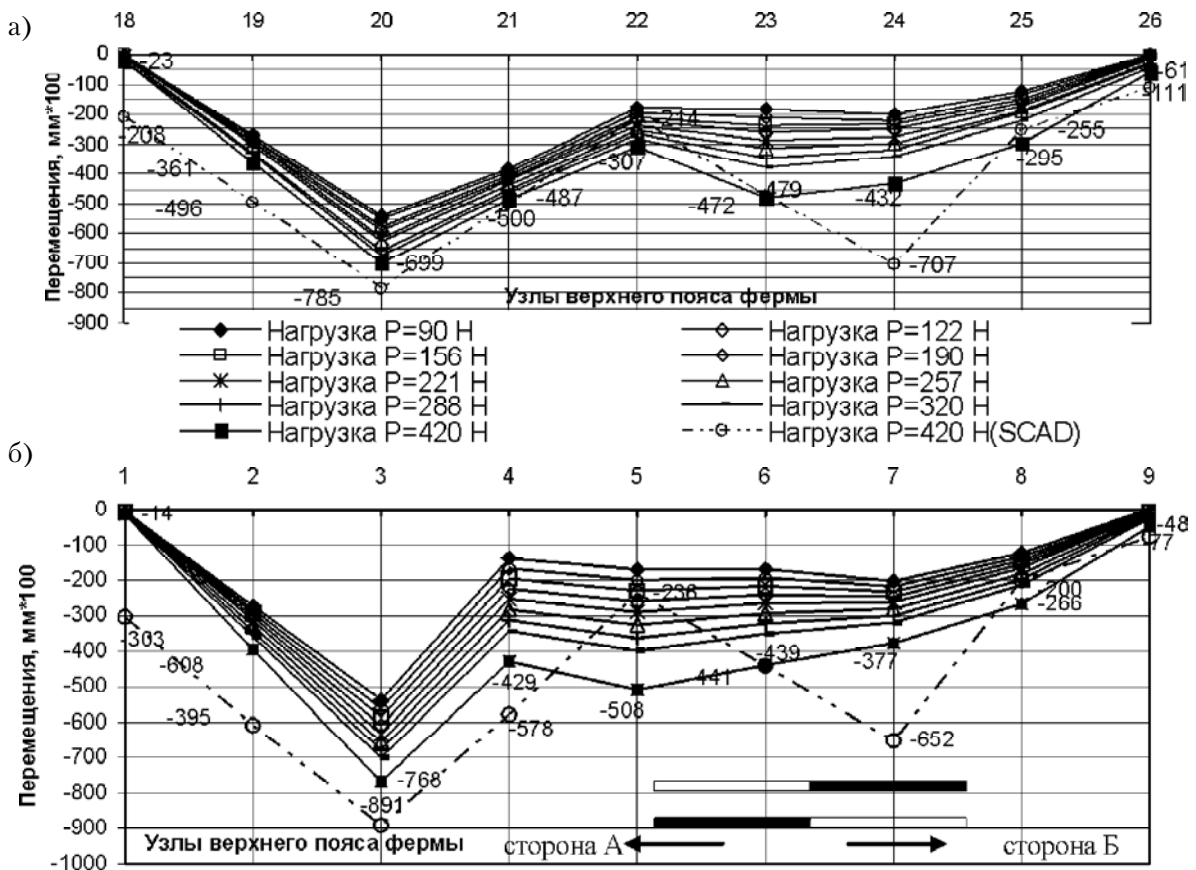


Рис. 8. Зависимость вертикальных перемещений узлов фермы 1 (а) и фермы 2 (б) от постоянной и временной (снеговой) косимметрично расположенной нагрузки на половине пролета каждой из ферм (Загружение 3).

различных схемах постоянной и временной нагрузок были выполнены экспериментальные исследования крупномасштабной модели блока висячих ферм (Рис. 1), представляющих собой фрагмент оболочки покрытия положительной Гауссовой кривизны на эллиптическом плане.

Пролет модели каждой из двух ферм $L = 7,92\text{ м}$, стрела провисания $f = 0,96\text{ м}$, высота фермы $h = 0,470\text{ м}$. В плане фермы расположены трапециевидно, повторяя реальную форму блока пространственной стержневой оболочки. На одном конце блока расстояние

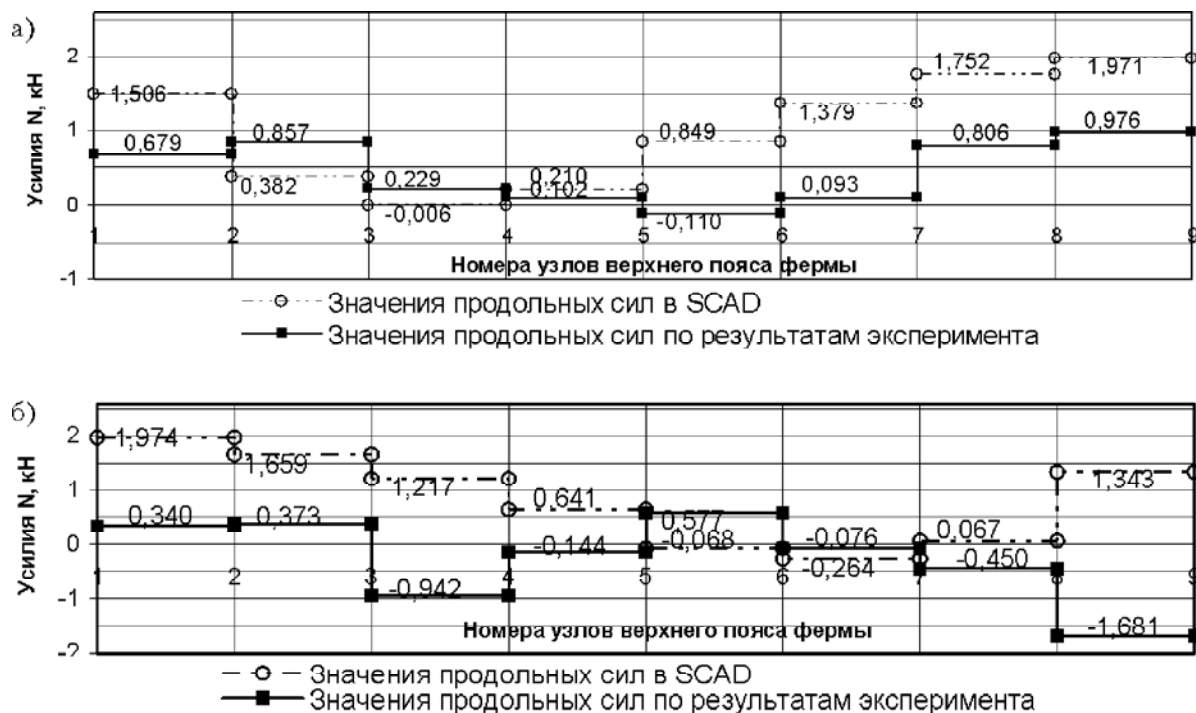


Рис. 9. Зависимости продольных сил N , кН узлов верхнего пояса фермы 1 (а) и фермы 2 (б) от снеговой кососимметрично расположенной нагрузки (Загружение 3).

между фермами равно 1,0 м, на противоположном 0,8 м. Пояса ферм выполнены из листовой стали – 40х5мм, раскосы из равнополочного уголка Л35х5мм, прогоны между фермами выполнены из швеллера [10, диагональные связи между фермами - из Л35х5мм. Материал ферм – малоуглеродистая сталь С245 по ГОСТ 27772-88. Модель блока покрытия исследовалась в упругой стадии работы материала на статические нагрузки. В характерных точках измерялись деформации поясов и раскосов тензодатчиками с базой измерения 20 мм. 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 (см. рис.2 и 3).

Модель покрытия испытывалась в упругой стадии на статические нагрузки. Во время проведения эксперимента измерялись относительные деформации верхних поясов ферм и раскосов [4]. Кроме того, измерялись вертикальные перемещения узлов верхних поясов ферм в пролетной части и на опорах, а также горизонтальное смещение опор от распора в результате нагрузки. Горизонтальные перемещения

измерялись на тех опорах, где фермы опираются на колонны.

Основные этапы экспериментальных исследований определяются последовательностью монтажа реальных конструкций покрытия и возможными схемами приложения снеговой нагрузки: 1-й этап – нижний пояс фермы разомкнут (Рис.3), постоянная нагрузка в каждый узел фермы – 90 Н, 2-й этап – нижний пояс фермы замкнут, что дает возможность рассмотреть влияние данного фактора на напряженно-деформированное состояние верхнего пояса и на блок ферм в целом. Прикладывается временная (снеговая) нагрузка по всему пролету – 400 Н; 3-й этап – прикладывается временная (снеговая) нагрузка на половине пролета ближе к стороне Б – 400 Н; 4-й этап – прикладывается временная (снеговая) нагрузка на половине пролета ближе к стороне А – 400 Н; 5-й этап – прикладывается временная (снеговая) кососимметрично расположенная нагрузка на половине пролета каждой из ферм – 400 Н в каждый узел верхнего пояса.

Результаты эксперимента при загрузке постоянной и временной нагрузкой на весь

пролет уже были опубликованы в прошлых работах [3]. В настоящей работе предоставляются результаты загрузки модели временной (снеговой) нагрузкой на половине пролета ближе к узкой части (сторона Б), ближе к широкой части (сторона А) и кососимметрично расположенной нагрузкой на половине пролета каждой из ферм по 330 Н в каждый узел верхнего пояса.

На графиках приведены значения перемещений верхнего пояса конструкции фермы (Рис.4-6, 8), а также значения продольных сил N_{gn} (Рис.7, 9) при действии неравновесных нагрузок (3, 4, 5 этап).

Из графиков зависимости, представленных на рисунках 4-7, перемещения, возникающие в четверти пролета ферм ближе к узкой части отличаются в меньшую сторону от перемещений, возникающих в четверти пролета ферм ближе к широкой части:

- для загрузки неравновесной временной нагрузкой на половину пролета ближе к широкой части – на 55-60%,
- для загрузки неравновесной временной нагрузкой на половину пролета ближе к узкой части – на 20...26%.

Из рисунка 8 видно, что перемещения, возникающие в четверти пролета по стороне Б при кососимметричном нагружении отличаются от перемещений, возникающих в четверти пролета ферм по стороне Б на 12-17%, при этом при нагружении фермы по стороне А наблюдаются более высокие показания перемещений по стороне А, чем при нагружении по стороне Б.

3. Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. Как видно из приведенных графиков (Рис. 4, 6, 8), перемещения, возникающие в четверти пролета фермы по стороне Б отличаются в меньшую сторону от перемещений, возникающих в четверти пролета ферм по стороне А: для загрузки 1 – на 20...26%, для загрузки 2 – на 55-60%, для кососимметричного нагружения 3 – на 12-17%.
2. Полученные в ходе эксперимента усилия в элементах ферм подтверждают качественную картину распределения усилий в элементах ферм, возникающих в результате численных исследований для нагружений

временной (снеговой) нагрузкой по схеме 1, 2, 3. Аналогичное качественное совпадение результатов расчета с результатами экспериментальных исследований наблюдается при анализе величин вертикальных перемещений (см. Рис. 4, 6, 8). При этом, отличия в сравниваемых величинах максимальных перемещений составляют до 10-19%.

3. Принятые жесткостные характеристики модели, соответствующие жесткостным характеристикам реального сооружения, обеспечивают необходимую жесткость конструкции покрытия в соответствии с требованиями 2-го предельного состояния и обеспечивают геометрически линейную работу конструкции исследуемого блока покрытия, что подтверждается при выполнении расчетов напряженно-деформированного состояния модели в геометрически линейной постановке с использованием универсального программного комплекса «SCAD» (версия 7.31).
4. Наблюдаемые отклонения результатов при нагружении модели равномерно-распределенными нагрузками, определяющими для большинства элементов как с точки зрения 1-го, так и 2-го предельного состояния, обеспечивают некоторое превышение расчетных результатов над экспериментальными, что следует учитывать при разработке окончательной методики проектирования этих конструкций.

Литература

1. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов / Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Касимов В.Р. – Макеевка: «НордКомпьютер», 2002. - 160 с.
2. Теоретическое исследование закономерностей работы висячей стержневой оболочки с вырезом на эллиптическом плане / Муцанов В.Ф., Прядко И.Н. – Макеевка, «Вестник» ДонГАСА, №2003-3 (40), Том №1. – 2003. – С. 49-51.
3. Экспериментальное исследование работы блока висячих ферм пространственной стержневой оболочки / Муцанов В.Ф., Руднева И.Н., Прядко Ю.Н. Журнал «Металлические конструкции» ДонГАСА, №7-1. – Макеевка, 2004. – С. 45-50.
4. Исследование и испытание несущих конструкций зданий и сооружений / Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Васылев В.Н., Ягмур А.А. – Киев, УМК ВО. – 1991. – 154с.

Мущанов Володимир Пилипович працює завідувачем кафедри "Теоретична і прикладна механіка", проректором з наукової роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член міжнародної організації "По мостам і будівельним конструкціям" та міжнародної асоціації "Просторові конструкції", аудитор системи сертифікації УкрСЕПРО. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Руднева Ирина Николаевна є магістром, аспірантом кафедри "Теоретична і прикладна механіка". Наукові інтереси: великопролітні висячі просторово-стрижневі оболонки, снігові навантаження на просторові конструкції з огорожуючими конструкціями із світлопрозорих углепластиків.

Прядко Юрій Миколайович є студентом 3-го курсу ПГС. Наукові інтереси: великопролітні висячі просторово-стрижневі оболонки.

Мущанов Владимир Филиппович работает заведующим кафедрой теоретической и прикладной механики, проректор по научной работе. Член международной организации "По мостам и строительным конструкциям" и международной ассоциации "Пространственные конструкции", аудитор системы сертификации УкрСЕПРО. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Руднева Ирина Николаевна является магистром, аспирантом кафедры "Теоретической и прикладной механики". Научные интересы: большепролетные висячие пространственно-стержневые оболочки, снеговые нагрузки на пространственные конструкции с ограждающими конструкциями из светопрозрачных углепластиков.

Прядко Юрій Николаевич является студентом 3-го курса ПГС. Научные интересы: большепролетные висячие пространственно-стержневые оболочки.

Mushchanov Volodymyr Pylypovych is a Principal of Theoretical and applied mechanics department, pro-rector of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of International Association for Bridge and Structural Engineering, and member of International Association of Spatial Structures, auditor of certification scheme UKRSEPRO. His research interests include the reliability theory, calculation, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.

Iryna Mykolayivna Rudneva is a holder of a master's degree, the post-graduate student of Theoretical and applied mechanics department. Her research interests: wide-span suspended spatial-rod shells, snow loadings on constructions designs with protecting constructions made of polycarbonate transparent plastics.

Yuriy Mykolayovych Pryadko is a 3rd-year student of Civil Engineering. His research interests: wide-span suspended spatial-rod shells.