



(06)-0099-1

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ВЕЛИКОПРОЛЬотної ВИСЯЧОЇ ОБОЛОНКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ НАДІЙНІСТЬ ОГОРОДЖУЮВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ, ВИКОНАНИХ З ВУГЛЕПЛАСТИКІВ

І.М. Руднева

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

Отримана 6 вересня 2005; прийнята 11 жовтня 2005

Анотація. При роботі несучих великопрольотних конструкцій, таких як висячі оболонки з великим вирізом над трибунами стадіонів, виникають значні переміщення вузлів, що може призвести до пошкодження і навіть руйнування легких світлопрозорих огороджувальних конструкцій, виконаних з полікарбонатних вуглепластиків. В роботі запропонована методика розрахунку та проектування конструкції покриття у вигляді великопрольотної висячої оболонки з вирізом на еліптичному плані, що дозволяє забезпечити експлуатаційну надійність огороджувальних конструкцій, виконаних з полікарбонатних вуглепластиків.

Ключові слова: просторова, великопрольотна висяча оболонка з вирізом на еліптичному плані, деформації, методика розрахунку, світлопрозора огороджувальна конструкція, вуглепластик.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОЙ ВИСЯЧЕЙ ОБОЛОЧКИ, УЧИТЫВАЮЩАЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКОВ

И.Н. Руднева

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

Получена 6 сентября 2005; принята 11 октября 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 предложена методика расчета и проектирования большепролетной висячей оболочки с вырезом на эллиптическом плане, учитывающая эксплуатационную надежность ограждающих конструкций, выполненных из углепластиков.

Ключевые слова: пространственная, большепролетная висячая оболочка с вырезом на эллиптическом плане, деформации, методика расчета, светопрозрачная ограждающая конструкция, углепластик.

METHOD OF CALCULATION AND DESIGNING A SPATIAL ROD SHELL, TAKING INTO ACCOUNT OPERATIONAL RELIABILITY OF THE PROTECTING DESIGNS MADE OF POLYCARBONATE PLASTICS

I.M. Rudneva

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

Derzhavin str. 2, 86123, Makiyivka, Ukraine

E-mail: irene_p@mail.ru

Received September 6, 2005; accepted October 11, 2005

Abstract. During the exploitation of wide-span structures, such as trailing shells with a big aperture above the stadiums' tribunes, there arise significant travels of separate units, that may cause damage and destruction of transparent protecting constructions made of polycarbonate plastics. The methods of calculation and designing a wide-span trailing shell with an aperture on the elliptic plan, taking into account an operational reliability of protecting constructions made of polycarbonate plastics are offered.

Keywords: spatial, rod shell with an aperture on the elliptic plan, deformations, a design procedure, transparent protecting construction, polycarbonate plastics.

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

Все виды конструкции из изгибно-жестких нитей, запроектированные ранее имеют ограждающую конструкцию, которая не способна пропускать солнечный свет. Эту проблему можно решить с применением светопрозрачных материалов, например, поликарбонатных пластиков, которые к тому же значительно удешевляют и облегчают конструкцию покрытия. Однако в современной литературе существуют значительные пробелы относительно данных о совместной работе несущих элементов висячих покрытий со светопрозрачными углепластиковыми.

2. Нерешенная часть проблемы и формирование целей исследования

Из опыта эксплуатации поликарбонатных пластиков в составе пространственных конструкций покрытий известны случаи деформаций, разрушений и даже появления трещин в ограждающих конструкциях, что вызвано жестким его креплением к несущим конструкциям. По требованиям фирм-производителей углепластиков панели ограждающей конструкции необходимо соединять с несущими элементами че-

рез специальные элементы крепления (Рис. 2, 4), таким образом, теоретически, совместная работа несущей и ограждающей конструкций исключается. Но нет информации о проектировании висячих покрытий с повышенной деформативностью.

Для изучения действительной работы поликарбонатного светопрозрачного пластика в составе пространственной висячей оболочки с вырезом на эллиптическом плане с учетом постоянной и временной нагрузок, были выполнены экспериментальные исследования крупномасштабной модели блока висячих ферм совместно с ограждающей конструкцией из ячеистого углепластика типа «Danpalon» с толщиной листа 8 мм, представляющих собой фрагмент оболочки покрытия (Рис. 1).

В соответствии с задачами исследований были приняты следующие схемы загрузки временной нагрузкой: 1 – узловая кососимметрично расположенная на половине пролета каждой из ферм $0,82 \text{ кН/м}^2$ (Рис. 4); 2 – распределенная по поверхности ограждающей конструкции углепластика $0,31 \text{ кН/м}^2$ (Рис. 3).

Из результатов испытаний можно сделать вывод, что для обеспечения надежности эксплуатации ограждающей конструкции должна производиться проверка как 1-го и 2-го пре-



Рис. 1. Общий вид экспериментальной модели.



Рис. 2. Узел крепления пластика к несущей конструкции модели.



Рис. 3. Деформирование ограждающей конструкции по схеме 2.



Рис. 4. Деформирование ограждающей конструкции по схеме 1.

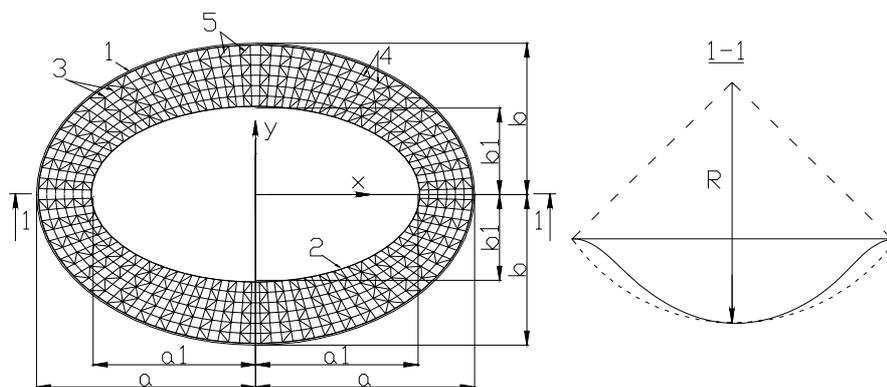


Рис. 5. Конструктивная схема пространственно-стержневого покрытия: 1 — внешний и 2 — внутренний опорные контуры, 3 — радиальные, 4 — кольцевые и 5 — диагональные элементы.

дельного состояния, а обеспечение нормальной эксплуатации узла сопряжения элементов ограждающей конструкции, выполняется при величине относительных узловых вертикальных перемещений элемента $f/l \leq [1/50]$.

На основании сделанных выше выводов, а также результатов выполненных теоретических

и экспериментальных исследований [1,2,3], разработана методика расчета и проектирования конструкции покрытия в виде большепролетной висячей оболочки с вырезом на эллиптическом плане, которая позволяет определять и оценивать геометрические параметры, жесткостные характеристики основных несущих эле-

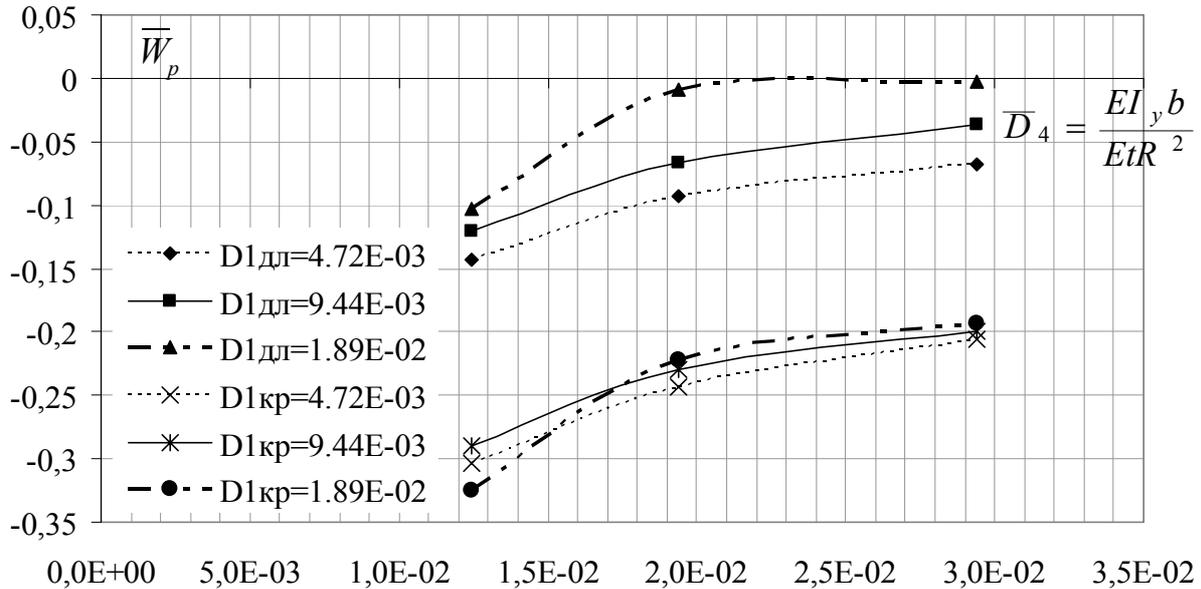


Рис. 6. Безразмерный параметр максимальных вертикальных перемещений радиального элемента по длинной (верхняя часть графика) и по короткой оси (нижняя часть) при расчетной $S=0,7 \text{ кН/м}^2$ и соотношении $P/S=1:1$.

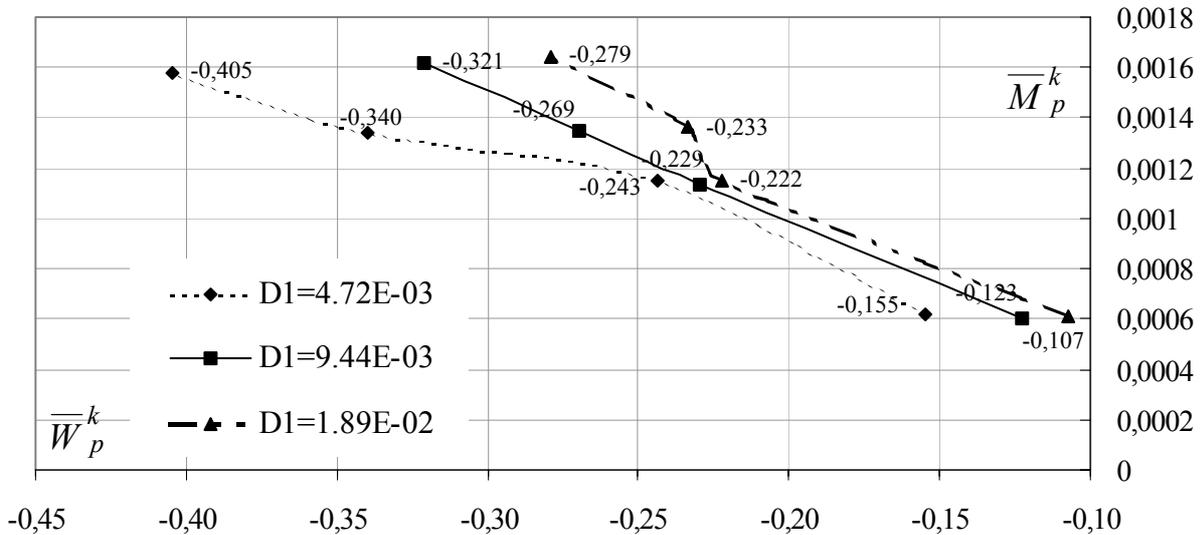


Рис. 7. Зависимость безразмерного параметра максимальных изгибающих моментов от безразмерного параметра максимальных вертикальных перемещений в радиальных элементах, расположенных по короткой оси при 0, 0,7, 1,0, 1,4 кН/м^2 .

ментов, а также позволяет обеспечить эксплуатационную надежность ограждающих конструкций, выполненных из поликарбонатных углепластиков.

На основе выполненных теоретических исследований покрытия над трибунами центрального стадиона “Шахтер” г. Донецк [1], найдена

рациональная геометрия покрытия (Рис. 5) в виде большепролетной висячей оболочки с вырезом на эллиптическом плане со стрелой провеса внутреннего опорного контура по длинной оси $f = a/25 \dots a/30$ и подъема по короткой оси $f = b/400 \dots b/450$ (где a - длинная, b - короткая полуось).

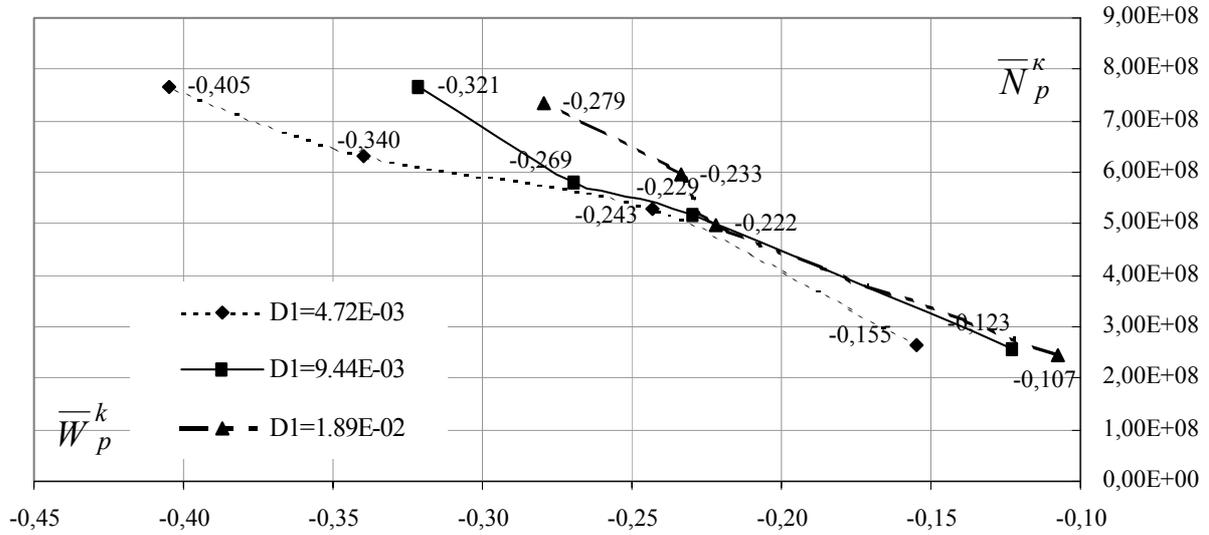


Рис. 8. Зависимость безразмерного параметра максимальных усилий от безразмерного параметра максимальных вертикальных перемещений в радиальных элементах, расположенных по короткой оси при 0, 0,7, 1,0, 1,4 кН/м².

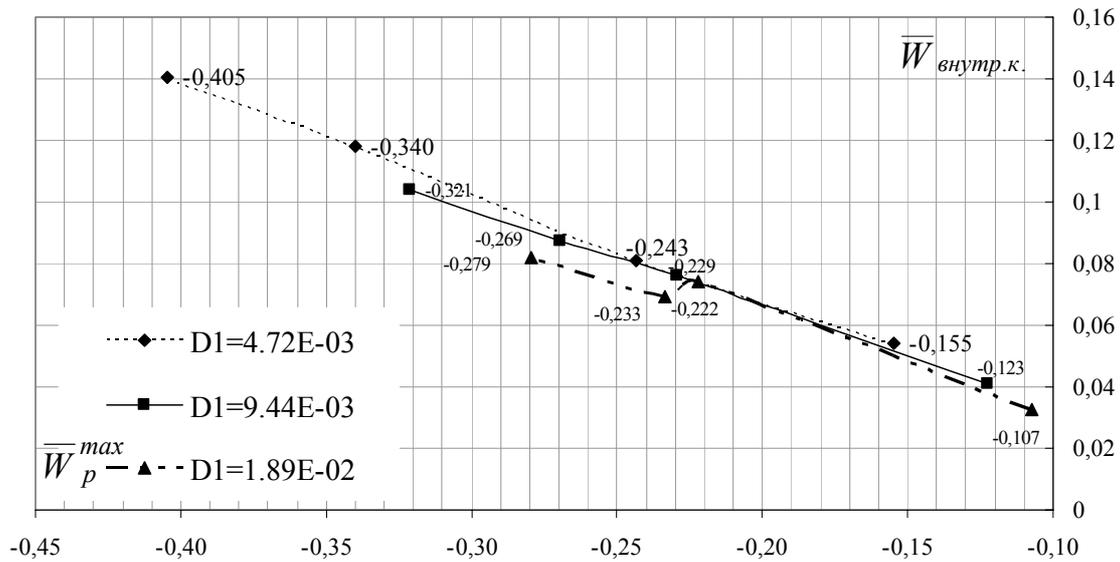


Рис. 9. Зависимость безразмерных параметров максимальных вертикальных перемещений в радиальных элементах от максимальных вертикальных перемещений внутреннего контура при S=0, 0,7, 1,0, 1,4 кН/м².

При этом максимальные перемещения по внутреннему опорному контуру удовлетворяют требованиям, предъявляемым современными нормами проектирования и обусловленными размерами современных стадионов.

На 1 этапе расчета задается расчетная снеговая нагрузка S на 1 м² покрытия в зависи-

мости от снегового района из СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия». Используя зависимость, представленную на рисунке 6, в зависимости от соотношения P/S и принятых безразмерных пространственно - жесткостных параметров D_4 и D_1 , находят безразмерные параметры максимальных вертикальных пере-

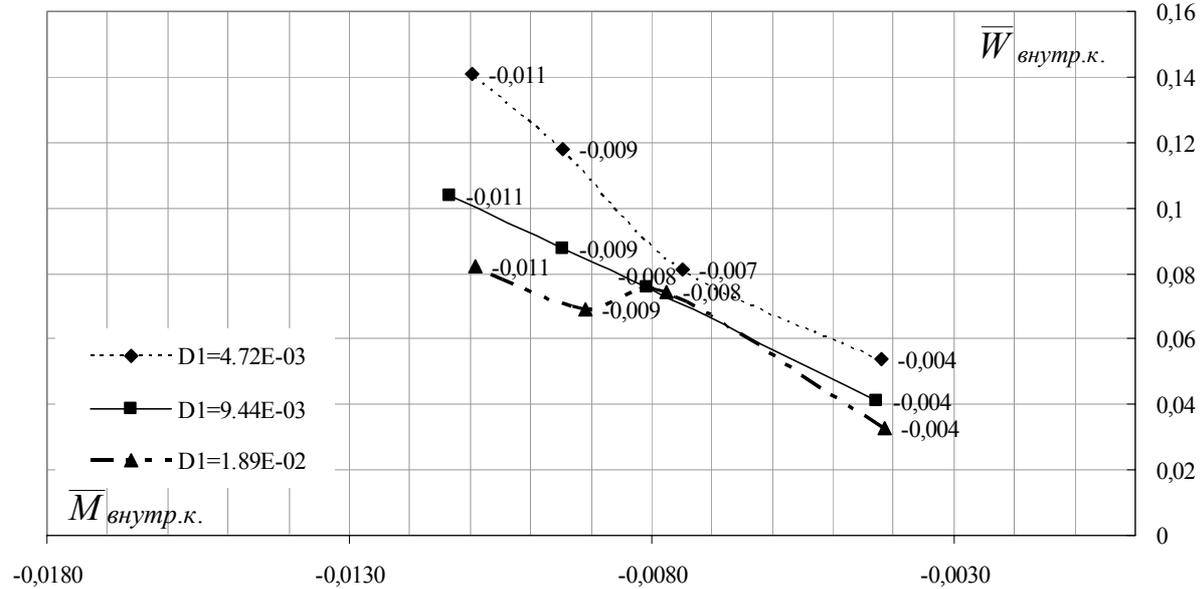


Рис. 10. Зависимость безразмерных параметров максимальных изгибающих моментов от максимальных горизонтальных перемещений во внутреннем контуре при $S=0, 0.7, 1.0, 1.4 \text{ кН/м}^2$.

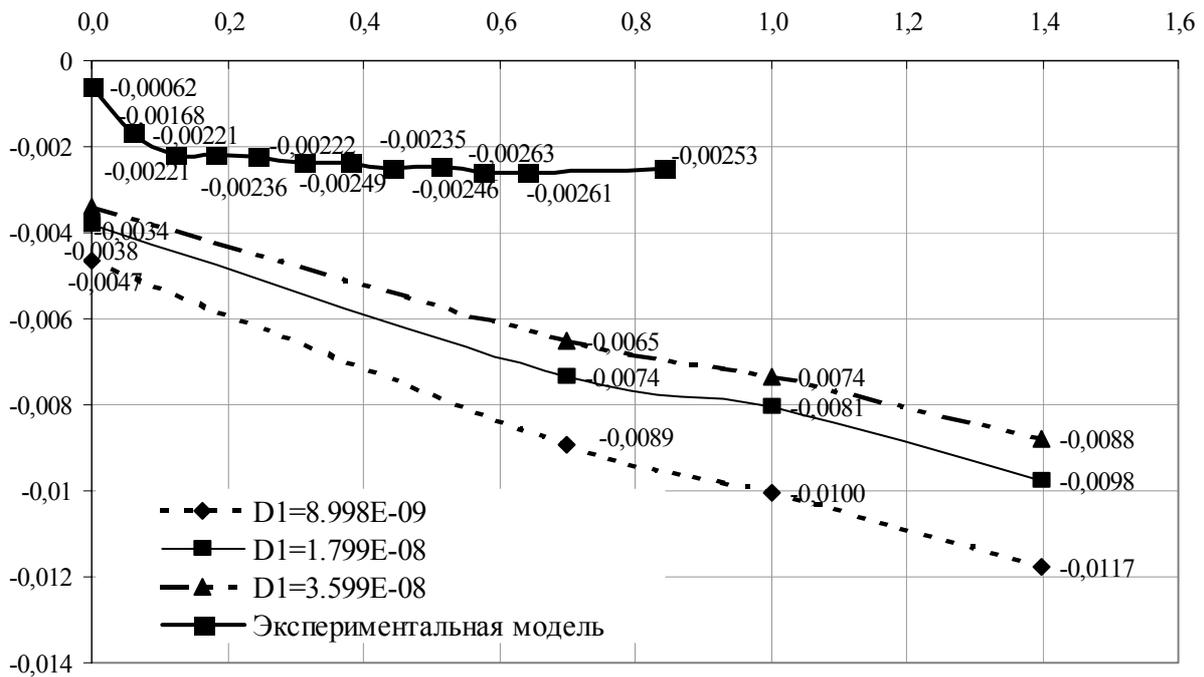


Рис. 11. Зависимость безразмерного параметра диагональных максимальных вертикальных перемещений узлов ячеек покрытия от величины снеговой нагрузки при $S=0, 0.7, 1.0, 1.4 \text{ кН/м}^2$.

мещений радиальных элементов по длинной \bar{W}_p^{dl} и короткой осям \bar{W}_p^k .

По значениям вертикальных перемещений находятся безразмерные параметры максимальных изгибающих моментов \bar{M}_p^{\max} по длинной и короткой осям (Рис.7). Затем нахо-

дятся безразмерные параметры максимальных усилий в радиальных элементах \bar{N}_p^{\max} по длинной и короткой осям (Рис.8). По графику зависимости \bar{W}_p от $\bar{W}_{\text{внутр.к.}}$ на рисунке 9 определяется безразмерный параметр максимальных вертикальных перемещений внутреннего

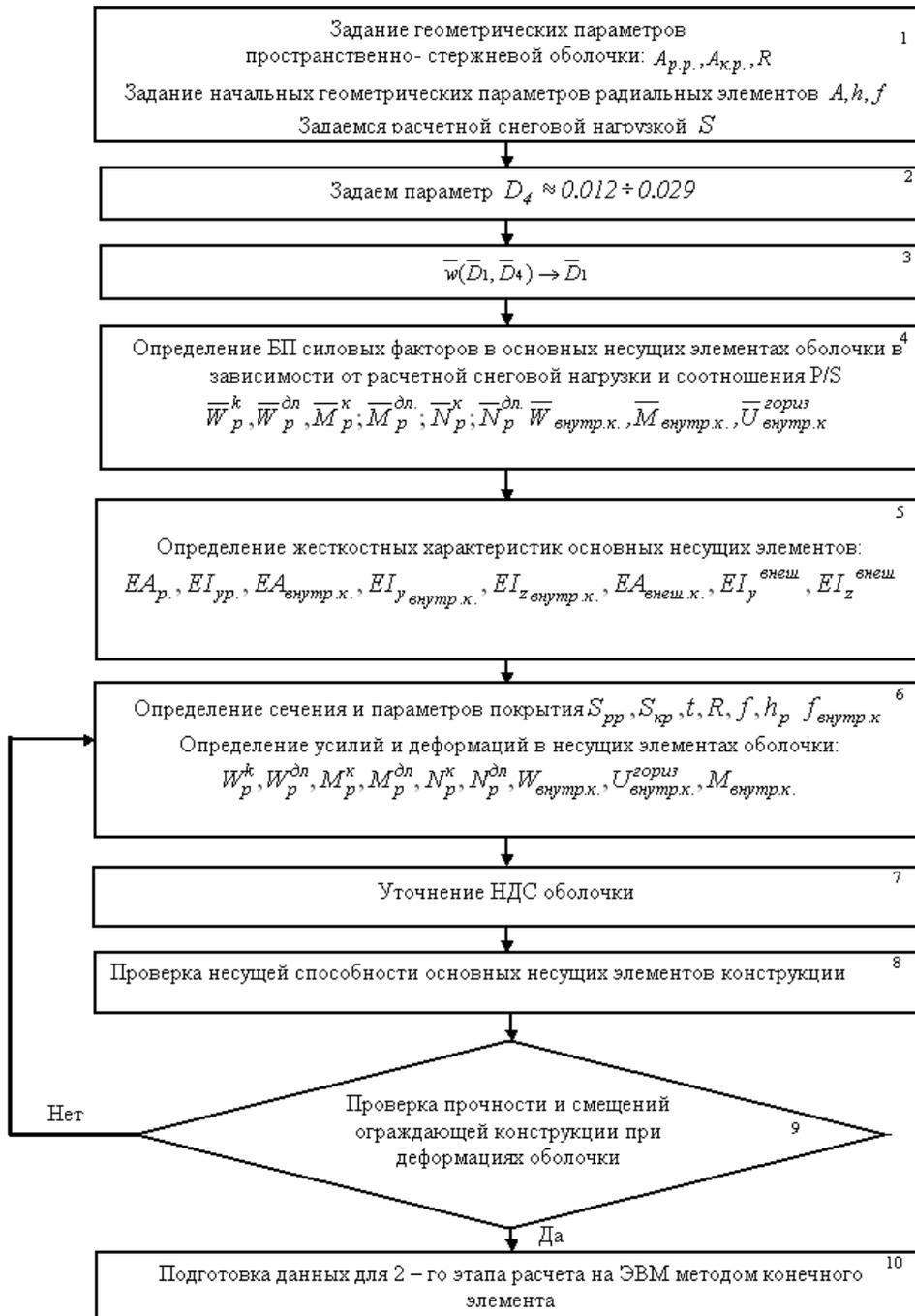


Рис. 12. Блок-схема методики расчета висячего пространственно-стержневого покрытия с большим вырезом.

опорного контура, а из графика на рисунке 10 найдем безразмерный параметр максимальных изгибающих моментов во внутреннем опорном $\bar{M}_{внутр.к.}$ контуре.

Также находится значение безразмерного параметра максимальных горизонтальных пе-

ремещений внутреннего опорного контура $\bar{U}_{внутр.к.}^{гориз}$.

По найденным значениям безразмерных параметров напряженно-деформированного состояния $\bar{W}_p^k, \bar{W}_p^{\partial n}, \bar{M}_p^k, \bar{M}_p^{\partial n}; \bar{N}_p^k; \bar{N}_p^{\partial n}, \bar{W}_{внутр.к.}, \bar{M}_{внутр.к.}, \bar{U}_{внутр.к.}^{гориз}$, находятся значения макси-

мальных усилий и деформаций в оболочке, а также подбираются жесткостные данные пространственного покрытия. Из графика на рис. 11 в зависимости от величины снеговой нагрузки определяется БП диагональных максимальных вертикальных перемещений узлов ячеек покрытия.

В результате проводится проверка несущей способности основных несущих элементов конструкции: радиальных элементов, внешнего и внутреннего опорных контуров. Также определяется возможность применения углепластика в качестве ограждающей конструкции проектируемого покрытия, зная относительное максимальное разрушающее удлинение пластика в исходном состоянии $\varepsilon_{p,исх}^{0,95} = 3.499 \pm 0.137$ и в результате старения $\varepsilon_{p,сост}^{0,95} = 3.346 \pm 0.114$, а также величину относительных вертикальных перемещений более $f/l = [1/50]$ относительно возможности выскакивания панели из элемента крепления при рассматриваемом виде соединения.

Приведенная выше методика может быть реализована в виде алгоритма на рисунке 12.

4. Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. На основании результатов выполненных исследований разработана экспериментально обоснованная методика расчета и проектирования конструкции покрытия в виде большепролетной висячей оболочки с вырезом на эллиптическом плане, которая позволяет обеспечить эксплуатационную надежность ограждающих конструкций, выполненных из углепластиков и определить основные параметры напряженного деформи-

рованного состояния её основных элементов с погрешностью 14-22%, а жесткостных и геометрических параметров 7-18%.

2. Для обеспечения правильной работы узла сопряжения несущей и ограждающей конструкции величина относительных вертикальных перемещений не должна превышать $\frac{f}{l} = \frac{1}{50}$.
3. При задании исходной геометрии покрытия минимальные перемещения от заданных нагрузок и рациональное распределение усилий в элементах конструкции обеспечивается при следующей исходной геометрии:
 - стрела провеса внутреннего опорного контура по длинной оси $f = a / 25 \dots a / 30$ (где a - длинная полуось);
 - стрела подъема внутреннего опорного контура по короткой оси $f = b / 400 \dots b / 450$ (где b - короткая полуось);
 - общая геометрия конструкции выполнена в виде эллиптического параболоида.

Литература

1. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов / Горохов Е.В., Мущанов В.Ф., Касимов В.Р. — Макеевка: «НордКомпьютер», 2002 г. — 160 с. с илл.
2. Мущанов В.Ф., Прядко И.Н. Теоретическое исследование закономерностей работы висячей стержневой оболочки с вырезом на эллиптическом плане // Вісник ДонДАБА. — вип. 2003 — 3(40). «Будівлі та споруди із застосуванням нових конструкцій та матеріалів». Том 1. — С. 49-51.
3. Мущанов В.Ф., Руднева И.Н., Прядко Ю.Н. Экспериментальное исследование блока висячих ферм пространственной стержневой оболочки / Журнал «Металеві конструкції». — Том 7. — №1. Макеевка. — 2004. — С. 55-59.

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

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

Rudneva Iryna Mykolayivna is a magistrate, the post-graduate student of Theoretical and applied mechanics department. Her research interests: wide-span trailing spatial - rod shell, snow loadings on spatial designs with protecting designs made of polycarbonate, passing light plastics.