



ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НДС В ЕЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦІЇ МОДЕЛІ ПОКРИТТЯ СТАДІОНУ

В. П. Мущанов, Ю. В. Сивоконь, В. Т. Горлишкін

Донбаська національна академія будівництва й архітектури,

вул. Державіна 2, Макіївка, Україна, 86123.

e-mail: y55lia@gmail.com

Отримана 12 лютого 2009; прийнята 21 березня 2010.

Анотація. У статті описане експериментальне дослідження фізико-механічних властивостей матеріалу ПВХ (полівінілхлориду) із застосуванням клею Cosmofen CA12, використаних при виготовленні великомасштабної моделі стаціонарного покриття над трибунами стадіону з розмірами 2.46x1.7 м. Загальні розміри моделі спроектовані відповідно до розмірів трибун ЦС «Шахтар» в м. Донецьку. ПВХ використовується головним чином при виготовленні рекламної продукції, це матеріал, що легко піддається механічній обробці, порівняно недорогий, завдяки чому його зручно використовувати при моделюванні конструкцій. Приведена діаграма розтягування пластика ПВХ, на підставі якої встановлений діапазон навантажень, при яких даний матеріал працює в пружній стадії.

Ключові слова: діаграма розтягування, полівінілхлорид, модель конструкції, оболонка.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ МОДЕЛИ ПОКРЫТИЯ СТАДИОНА

В. Ф. Мущанов, Ю. В. Сивоконь, В. Т. Горлышкин

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,

ул. Державина 2, Макеевка, Украина, 86123.

e-mail: y55lia@gmail.com

Получена 12 февраля 2009; принята 21 марта 2010.

Аннотация. В статье описано экспериментальное исследование физико-механических свойств материала ПВХ (поливинилхлорида) с применением клея Cosmofen CA12, использованных при изготовлении крупномасштабной модели стационарного покрытия над трибунами стадиона с размерами 2.46x1.7 м. Общие размеры модели спроектированы в соответствии с размерами трибун ЦС «Шахтер» в г. Донецке. ПВХ используется главным образом при изготовлении рекламной продукции. Это материал, легко поддающийся механической обработке, сравнительно недорогой, благодаря чему его удобно использовать при моделировании конструкций. Приведена диаграмма растяжения пластика ПВХ, на основании которой установлен диапазон нагрузок, при которых данный материал работает в упругой стадии.

Ключевые слова: диаграмма растяжения, поливинилхлорид, модель конструкции, оболочка.

RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL MATERIAL PROPERTIES OF EXPERIMENTAL MODEL FOR DETERMINATION OF TDS IN THE ELEMENTS OF MODEL STRUCTURE OF STADIUM COVERAGE

V. P. Mushchanov, Yu. V. Syvokon', V. T. Gorlishkin

The Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

Derzhavin Street 2, Makeyevka, Ukraine, 86123.

e-mail: y55lia@gmail.com

Received 12 February 2009; accepted 21 March 2010.

Abstract. In the article the experimental research of physical and mechanical properties of material of PVC (polyvinylchloride) is described with the use of glue of Cosmofen CA12, applying used while of large-scale model manufacturing of stationary coverage above the stadium tribunes with of 2.46x1.7 m. The general sizes of model are designed in accordance with tribune CS «Shakhtar» sizes in Donetsk. PVC is used mainly while manufacturing of products advertisment, it is the material, easily was open for mechanical treatment, comparatively inexpensive, due to what comfortably to use it while structure modeling. The expansion diagram of plastic of PVC for which reason the loadings diapason was established when this material works in the resilient stage.

Keywords: expansion diagram, polyvinylchloride, structure model, casing.

Введение

Поливинилхлорид (ПВХ), термопластичный полимер винилхлорида - материал, относящийся к группе термопластов (термопласты – пластмассы, сохраняющие способность к повторной переработке после формования изделия). Чистый ПВХ на 43% состоит из этилена и на 57% из связанного хлора. Твёрдый ПВХ представляет собой однородные листы с гладкой поверхностью, изготовленные методом экструзии, этот материал легко поддается механической обработке, сравнительно недорогой, благодаря чему его удобнее и гораздо менее трудоемко использовать при моделировании конструкций по сравнению с моделями, которые изготавливаются из стали. Кроме того, для соединения деталей, изготовленных из ПВХ, применяется клей Cosmofen CA12, который характеризуется быстрым временем схватываемости и не требует применения дополнительных приспособлений, как, например, оборудования для сварочных работ при изготовлении стальных моделей конструкций. Для изготовления описанной крупномасштабной модели был использован листовой ПВХ.

Исследование физико-механических свойств ПВХ и конструкция модели, в которой применялся этот материал

Цель исследования физико-механических свойств клееного пластика ПВХ – определение модуля упругости, коэффициента Пуассона и нагрузок, в пределах которых данный материал работает в упругой стадии.

Для проведения экспериментальных исследований мембранного покрытия положительной гауссовой кривизны на эллиптическом плане изготовлена крупномасштабная модель стационарного покрытия над трибунами стадиона, размеры которой в плане составили $2a \times 2b = 2.46 \times 1.7$ м, со стрелой подъёма $f = 88$ мм. Общие размеры модели спроектированы в соответствии с размерами трибун ЦС «Шахтер» в г. Донецке. Размеры и общий вид модели показаны на рис. 1 а, б. Фото модели на рисунке 4 а. Материал для изготовления модели оболочки, опорных контуров и стабилизирующих элементов – пластик ПВХ, колонн – дерево. В таблице 2 приведены геометрические характеристики элементов, использованных при изготовлении модели. Т.к. для изготовления модели

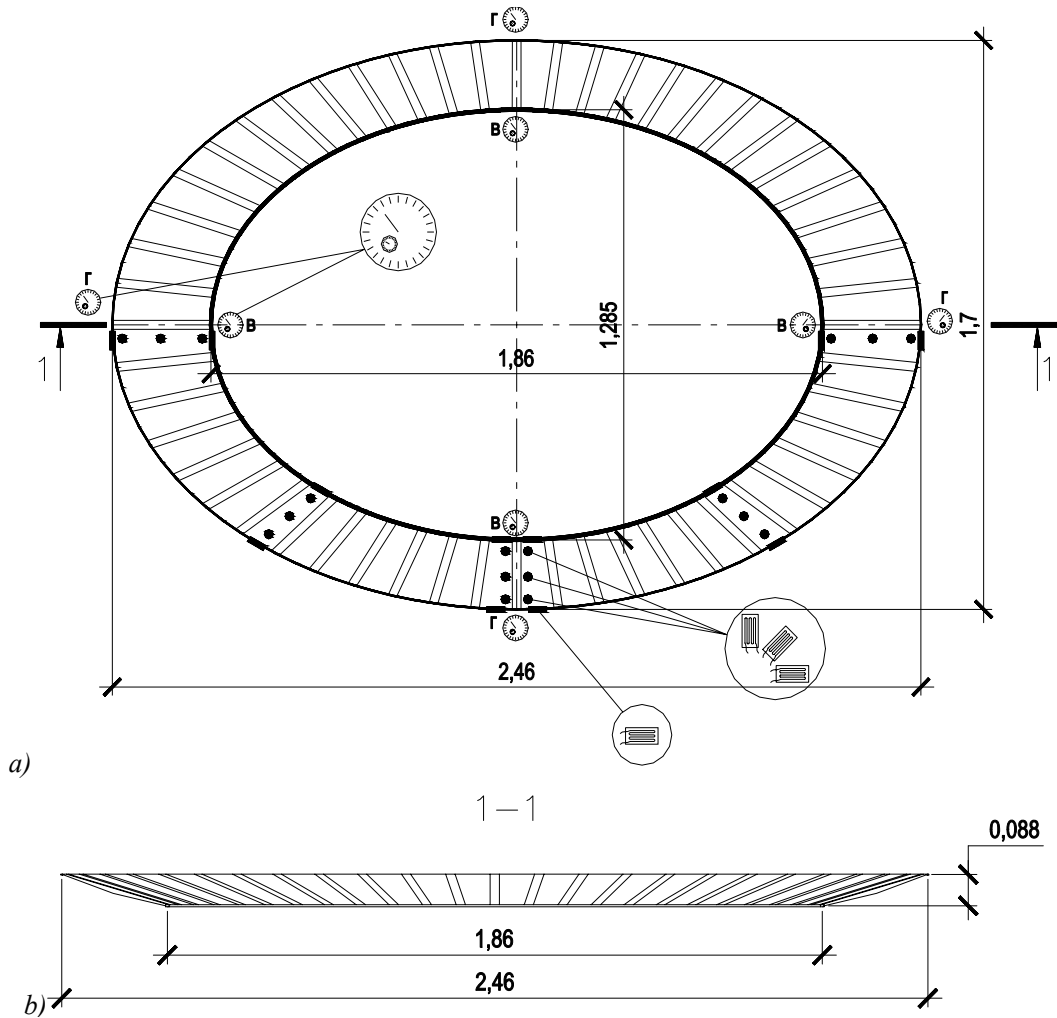


Рис. 1. Схема модели с расстановкой измерительных приборов а) план, б) разрез.

был приобретен листовой пластик толщиной 0.2 мм и 1 мм, детали толщиной более 1 мм изготавливались путем послойного склеивания. Аналогично был изготовлен образец для определения физико-механических свойств.

Объектом исследования является пространственная мембранная оболочка положительной Гауссовой кривизны с поверхностью в виде эллиптического параболоида

$$z(x, y) = f \cdot \left(1 - \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right)^{3/2} \right).$$

Для уточнения фактических жесткостных характеристик элементов модели выполнены исследования физико-механических характеристик материала (пластика). На рис. 2 показано фото испытаний, на рис. 3 – диаграмма растяжения в координатах $P, \Delta l$. Испытания

проводились с помощью машины для растяжения, деформации измерялись с помощью тензометров Гугенбергера с базой 2 см.

Из графика 3 видно, что на участке до 1400 Н диаграмма близка к прямой, следовательно, на этом участке должен выполняться закон Гука. В результате аппроксимации графика на этом участке линейной функцией

$$y = 120.73 + 33.24 \cdot x,$$

где y – усилие в Н, x – деформация в мм, коэффициент корреляции $r=0.994$. В диапазоне напряжений до 7.78 МПа пластик можно использовать для моделирования.

Система масштабных коэффициентов, используемых при переходе расчетной схемы покрытия в натуральную величину к модели, имеет вид:

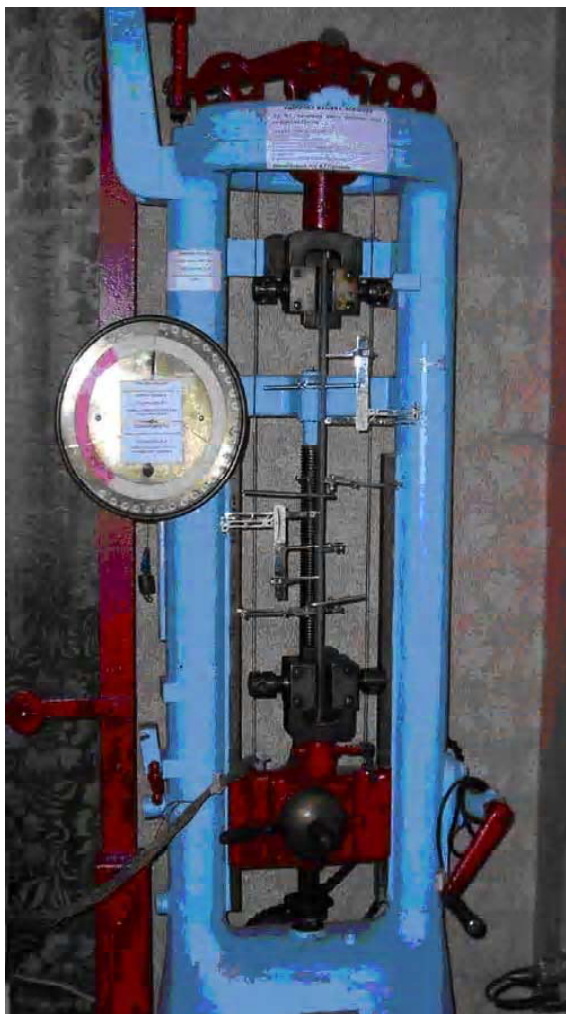


Рис. 2. Испытание образца пластика.

Основные: по линейным размерам $m_l = l'/l$, по модулю упругости $m_E = E'/E$

Производные: $m_F = m_l^2$, $m_I = m_l^4$, $m_q = m_E m_p$, $m_\sigma = m_E$ [3]

Общий вид модели в процессе испытаний показан на рис. 4. Поперечное сечение полосы пластика для испытаний 3×0.6 см.

При моделировании использован принцип прямого геометрического подобия с масштабным коэффициентом $m_l = 1/100$. Поперечное сечение основных несущих элементов подобрано, исходя из гипотез прямого геометрического подобия с коэффициентом подобия $m_l = 1/100$.

Модуль упругости пластика $E_{pl} = 2.43 \cdot 10^9$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu_{pl} = 0.392$.

В таблице 1. приведены геометрические характеристики площадей сечений основных

несущих элементов, вычисленные на основе приведенных выше результатов.

В плане опорные контуры описаны по эллипсу с полуосями, составляющими для внешнего опорного контура $a = 1230$ мм, $b = 850$ мм, для внутреннего опорного контура – $a = 930$ мм, $b = 643$ мм. Шаг радиальных ребер по внешнему опорному контуру составляет 125 мм и по внутреннему опорному контуру – 95 мм.

Сопряжение элементов модели выполнено следующим образом:

- мембраны с внутренним опорным контуром - шарнирное
- мембраны с внешним опорным контуром - шарнирное
- радиальных элементов с внутренним и внешним опорным контуром – шарнирное
- колонн с внешним опорным контуром – шарнирное, колонн с испытательным столом – жесткое

Внешнее закрепление модели моделируется опиранием колонн на испытательный стол.

В качестве подтверждения работы пластика в упругой стадии приведены некоторые сравнительные графики результатов испытаний с методикой расчета мембранных конструкций [7, 9] и численными расчетами (см. рисунки 6-8).

Выводы:

1. Листовой пластик ПВХ с применением клея Cosmofen CA12 удобно использовать при изготовлении моделей строительных конструкций ввиду легкости механической обработки и склеивания.
2. Модуль упругости пластика ПВХ $E_{pl} = 2.43 \cdot 10^9$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu_{pl} = 0.392$.
3. На участке до 1400 Н диаграмма растяжения пластика ПВХ близка к прямой, следовательно, на этом участке выполняется закон Гука и данный материал при напряжениях до 7.78 МПа пригоден для испытаний моделей строительных конструкций, изготовленных из него.

Литература

1. http://www.profile.com.ua/cosmofen_ca12.htm
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/ПВХ>

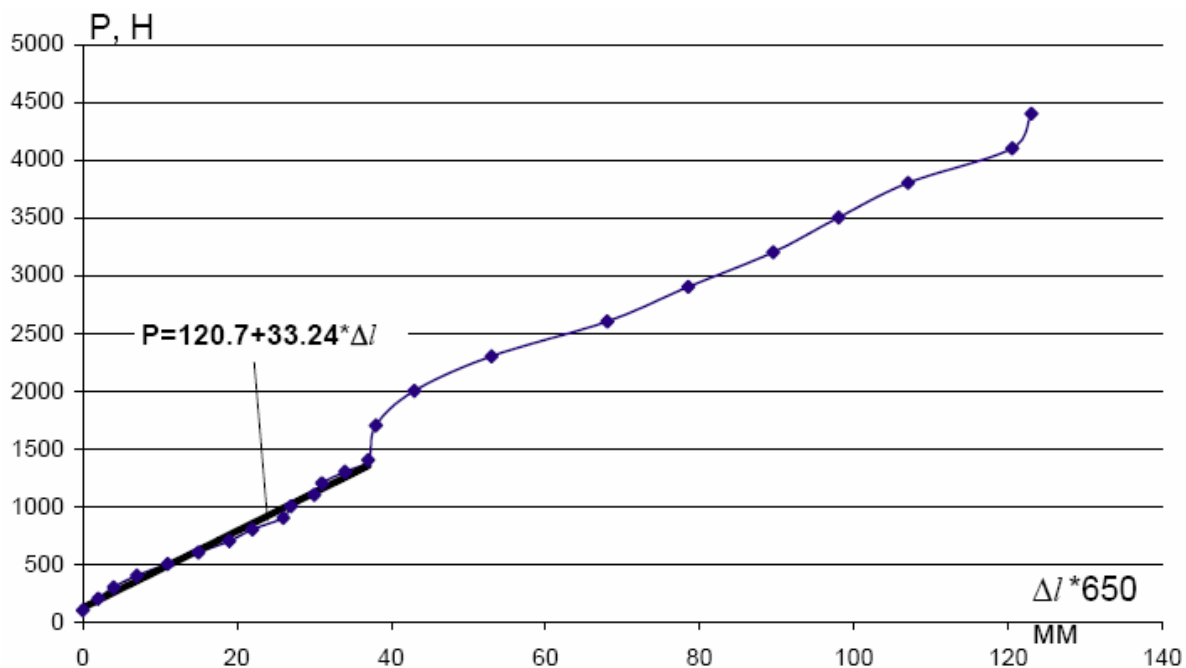


Рис. 3. Диаграмма растяжения пластика ПВХ (здесь К=650 коэффициент увеличения тензометра).

Таблица 1. Геометрические характеристики площадей сечений основных несущих элементов.

Тип элемента	Жесткость элементов объекта исследования			Жесткость элементов модели		
	F, см ²	I _y , см ⁴	I _z , см ⁴	F, см ²	I _y , см ⁴	I _z , см ⁴
мембрана	t=2 мм			t=0.2 мм		
Внешний контур	6.62E-02	2.05E-02	7.78E-04	6.62E-06	2.05E-10	7.78E-12
Внутренний контур	5.63E-02	2.38E-02	5.32E-02	5.63E-06	2.38E-10	5.32E-10
Кольцевые рёбра	2.73E-03	1.72E-06	2.46E-04	-	-	-
Радиальные элементы	2.67E+01	2.11E+03	1.51E+02	2.67E-03	2.11E-05	1.51E-06

Таблица 2. Площади сечений основных элементов модели.

Тип элемента	Внешний опорный контур	Внутренний опорный контур	Радиальные элементы	мембрана
Эскиз поперечного сечения элемента				
Генеральные размеры	h=2 мм b=4 мм	h=6 мм b=10 мм	h=1 мм b=27 мм	t=0.2 мм



a)



b)

Рис. 4. Фото модели в процессе испытаний. а) общий вид модели, б) измерение усилий, напряжений, вертикальных и горизонтальных перемещений по координатной оси сооружения.

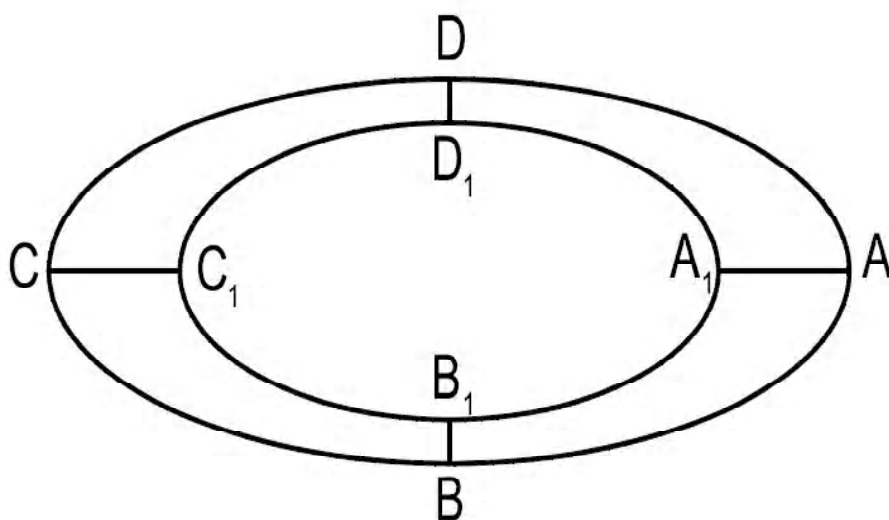


Рис. 5. Обозначение точек на развертке (расшифровка графиков).

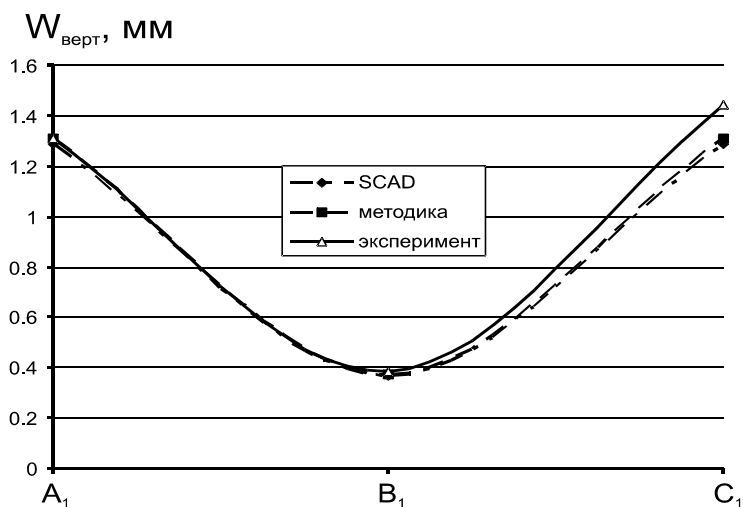


Рис. 6. График вертикальных перемещений внутреннего опорного контура w по развертке.

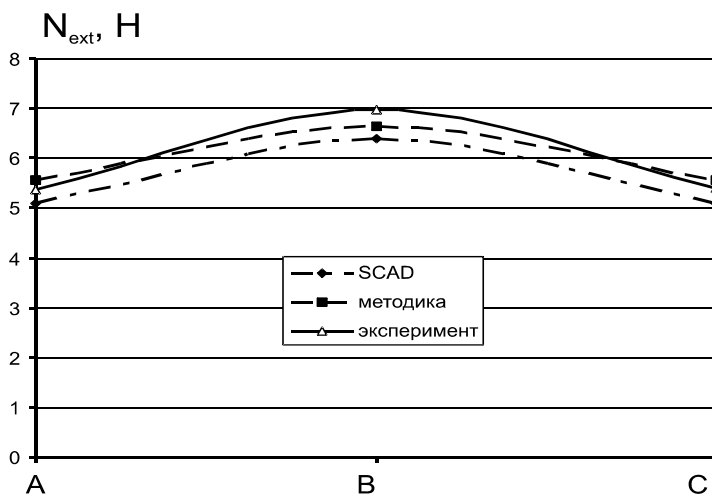


Рис. 7. График продольных усилий внешнего опорного контура N по развертке.

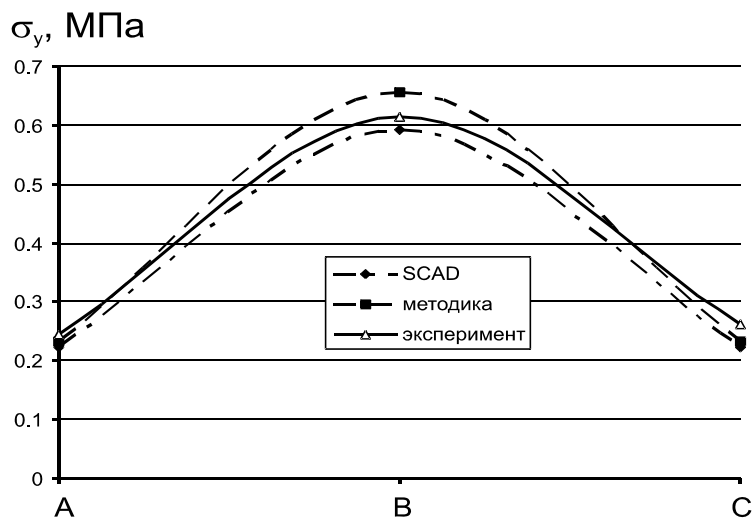


Рис. 8. График кольцевых напряжений в мембране Γ по развертке.

3. Поляков Л.П. Файнбурд В.М. Моделирование строительных конструкций :–Киев.: Будівельник,1975. –144 с.
4. Перельмутер А.В. Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа: – Киев.: ВВП “Компас”,2001. –448 с.
5. Современные пространственные конструкции (железобетон, металл, дерево, пластмассы). Справочник./ Ю.А. Дыховичный, Э.З. Жуковский, В.В. Ермолов и др.; под ред. Ю.А. Дыховичного, Э.З. Жуковского. – М.: Высш. шк., 1991.– 543 с.
6. Муцанов В.Ф. Сивоконь Ю.В. Особенности напряженно-деформированного состояния мембранных покрытий // Матеріали 30 (міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. – Макіївка: Вісник ДонДАБА. – 2004. – С. 68-74.
7. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия. - Взамен СНиП 2.01.07.85; Введ. 01.01.07. – Киев: Минстрой Украины, 2006. –65 с.
8. Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Касимов В.Р., Руднева И.Н., Сивоконь Ю.В. Развитие методов расчета и проектирования большепролетных пространственных покрытий спортивных сооружений // Сборник статей «Пространственные конструкции зданий и сооружений». Вып. 10. - Москва: МОО “Пространственные конструкции”. – 2006. – С. 7-16.
9. Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Сивоконь Ю.В., Руднева И.Н. Теоретическое и экспериментальное исследование стационарных висячих покрытий над трибунами реконструируемых стадионов // Сборник докладов ч.1 «Реконструкция Санкт-Петербург 2005». Международная научно-практическая конференция. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ. – 2005. – С. 88- 92.
10. Сивоконь Ю.В. Экспериментальное исследование модели мембранной оболочки покрытия с большим вырезом на действие статической нагрузки // Сборник научных трудов «Современные строительные конструкции из металла и древесины». – Одесса: ОГАСА 2007. – С. 187-190.

Муцанов Володимир Пилипович – д.т.н., професор завідувач кафедри «Теоретична і прикладна механіка», проректор з наукової роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Міжнародної організації «Інститут цивільних інженерів» та Міжнародної асоціації «Просторові конструкції», аудитор системи сертифікації УкрСЕПРО. Академік Академії будівництва України. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Сивоконь Юлія Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування і дослідження напружено-деформованого стану мембранних оболонок.

Горлышкин Віктор Тихонович – к.т.н., доцент, с.н.с., доцент кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження напружено-деформованого стану тришарових пластин і оболонок з легким заповнювачем.

Муцанов Владимир Филиппович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», проректор по научной работе Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Международной организации «Институт гражданских инженеров» и Международной организации «Пространственные конструкции», аудитор системы сертификации УкрСЕПРО. Академик Академии строительства Украины. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Сивоконь Юлия Владимировна – к.т.н., доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование и исследование напряженно-деформированного состояния мембранных оболочек.

Горлышкин Виктор Тихонович – к.т.н., доцент, с.н.с., доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование напряженно-деформированного состояния трехслойных пластин и оболочек с легким наполнителем.

Mushchanov Volodymyr Pylypovych – doctor of engineering sciences, professor the Head of “The Theoretical and Applied Mechanics” Chair, vice-principal on the scientific work 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”, an auditor of certification UKRSEPRO system. The academician of the Engineering Academy in Ukraine. His research interests the reliability theory, calculation, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.

Syvokon’ Yulia Vladimirovna – candidate of engineering sciences, an assistant professor of the «Theoretical and Applied Mechanics» Chair of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing and research of the tensile-deformed membrane casing.

Gorlyshkin Victor Tikhonovich – candidate of engineering sciences, assistant professor, senior research worker, an assistant professor of «Theoretical and Applied Mechanics» Chair of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of the tensile-deformed state of the three-layer plates and casings with the easy filler.