



(06)-0122-1

## ПРОЕКТУВАННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПОКРИТТЯ СЕГМЕНТНОГО КОНТУРА НА ОСНОВІ ТОЧКОВОГО ЧИСЛЕННЯ

**Ж.М. Войтова, Т.П. Малютіна, Д.В. Левченко**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Державіна 2,  
86123, м. Макіївка, Україна.  
E-mail: jnv2002@mail.ru*

*Отримана 8 липня 2006; прийнята 15 жовтня 2006*

**Анотація.** У статті розглядаються питання формоутворення при проектуванні захищаючої конструкції сегментного контура покриття внутрішнього дворика, розташованого по пр. Мира у м. Донецьку, на основі точкового числення. Для даного об'єкту показана математична можливість розрахунку вузлових точок ферм для двостороннього криволінійного покриття. Обчислювальні формули були представлені у вигляді математичного апарату точкового числення: як створюючі і такі, що направляють криволінійного покриття була вибрана парабола другого порядку, відома як  $B^2$  крива площина. Маючи рівняння параболи, за допомогою комп'ютерного алгоритму формоутворювальна дуга кривої ділилася на необхідне число вузлів, з певними координатами які і задали необхідну схему ферми при розрахунку конструкції покриття в програмному комплексі «SCAD».

**Ключові слова:** оптимізація завдання розрахункової схеми, точкове числення, крива  $B^2$ -го порядку, математична можливість розрахунку координат вузлових точок, полікарбонатна світлопрозора панель.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ СЕГМЕНТНОГО ОЧЕРТАНИЯ НА ОСНОВЕ ТОЧЕЧНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ

**Ж.Н. Войтова, Т.П. Малютина, Д.В. Левченко**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ул. Державина 2,  
86123, г. Макеевка, Украина.  
E-mail: jnv2002@mail.ru*

*Получена 8 июля 2006; принята 15 октября 2006*

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы формообразования при проектировании ограждающей конструкции сегментного очертания покрытия внутреннего дворика, расположенного по пр. Мира в г. Донецке, на основе точечного исчисления. Для данного объекта показана математическая возможность расчета узловых точек ферм для двустороннего криволинейного покрытия. Вычислительные формулы были представлены в виде математического аппарата точечного исчисления [1]: в качестве образующих и направляющих криволинейного покрытия была выбрана парабола второго порядка, известная как  $B^2$  кривая плоскость. Имея уравнения параболы, с помощью компьютерного алгоритма формообразующая дуга кривой делилась на необходимое число узлов с определенными координатами, которые и задали требуемую схему фермы при расчете конструкции покрытия в программном комплексе «SCAD» [2].

**Ключевые слова:** оптимизация задания расчетной схемы, точечное исчисление, кривая  $B^2$ -го порядка, математическая возможность расчета координат узловых точек, поликарбонатная светопрозрачная панель.

## DESIGN OF A SEGMENT OUTLINE PROTECTING CONSTRUCTIONS OF COVERINGS ON THE POINT CALCULUS BASIS

Zh.M. Voitiva, T.P. Malyutina, D.V. Levchenko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Derzavin str. 2,  
86123, Makeyevka, Ukraine.*

*E-mail: jnv2002@mail.ru*

*Received 8 July 2006; accepted 15 October 2006*

**Abstract.** In the article there are considered the questions of forming when designing a segment outline protecting construction for a patio covering located in Mira Avenue, in Donetsk, on the point calculus basis. For this object there is viewed a mathematical opportunity of calculating frame points for a double-sided curved covering. Calculation formulas were given in the form of a mathematical apparatus of the point calculus: the second order parabola was taken as a generating and guiding line of a curved covering, the parabola being known as a curve plane  $B^2$ . The parabola equation being available, a forming arc of the curve was divided with the help of a computer algorithm into a necessary number of nodes of definite coordinates, the latter having set a required frame scheme when calculating a covering construction in the program complex "SCAD".

**Keywords:** task optimization for a design model, point calculus, a  $B^2$  order curve, a mathematical opportunity of calculating the node point coordinates, polycarbonate translucent panel.

### Введение

Эффективность конструктивных решений комбинированных ограждающих конструкций, используемых при проектировании различных архитектурных форм с помощью вычислительных программных комплексов, включает вопросы совершенствования задания расчетных схем. Такой подход во многом облегчает проблемы научного сопровождения объектов на стадии проектирования и способствует улучшению организации контроля и оценки технического состояния конструкции в период эксплуатации.

### Цель статьи

Цель статьи — обоснование алгоритма задания геометрических параметров покрытия имеющего параболическое очертание для оптимизации создания расчетной модели в ПК "SCAD" и других программных комплексах.

### Постановка задачи

Для достижения поставленной цели в статье анализируются вопросы, связанные с описанием

парабол 2-го порядка на основе точечного исчисления.

### Основная часть

Проектируемая конструкция светопрозрачного покрытия внутреннего двора по пр.Мира в г. Донецке представляет собой систему плоскостепенных ферм сегментного очертания, по которым укладываются прогоны, на которые, в свою очередь, укладываются светопрозрачные панели ограждения (см. рис.1, 3). Расчет конструкции выполнялся с помощью программного комплекса "SCAD" [2].

Создание расчетной модели выполнялось в три этапа:

1. Обоснование и создание геометрической схемы ограждающей конструкции покрытия;
2. Назначение жесткостных характеристик, типов элементов, опорных закреплений и т.д.;
3. Задание нагрузок.

В современном программном комплексе для расчета строительных конструкций "SCAD", реализующем метод конечных элементов,

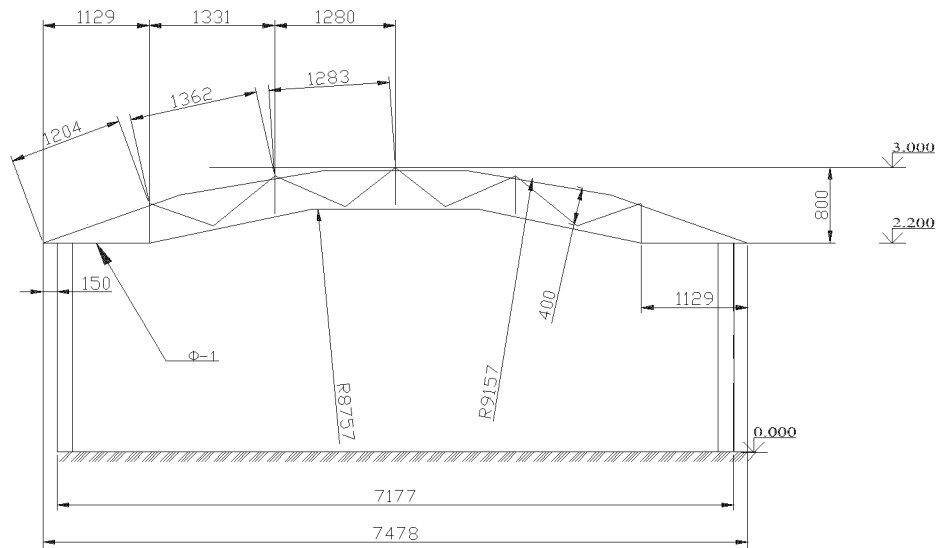


Рис. 1. Поперечный разрез конструкций внутреннего дворика.

существует несколько подходов к созданию расчетной схемы (в данном случае – схемы фермы), с учетом особенностей геометрии предлагаемой формы [3]:

- генерация расчетной схемы фермы уже заданной самим программным комплексом (ПК) “SCAD”: такой способ самый простой, но в нашем случае геометрия фермы не входит в перечень предлагаемых схем;
- использование графического препроцессора, который в режиме графического диалога синтезирует расчетные схемы пространственных стержневых и плоскостных конструкций типа ортогональных каркасов, оболочек произвольной формы и т.д.;
- задание расчетной схемы с помощью графического редактора “AutoCAD”, с последующим конвертированием ее в ПК “SCAD”;
- задание расчетной схемы с помощью задания координат узлов.

Последний способ задания расчетной схемы – наиболее простой и не требующий знаний каких-либо графических редакторов – был применен при проектировании покрытия внутреннего дворика здания, расположенного по пр. Мира в г. Донецке. При этом проектировщикам было необходимо просчитать координаты точек узлов фермы, что в свою очередь является недостатком этого подхода к созданию расчетной схемы.

Учитывая, что образующая конструкции покрытия является фактически сегментом, т.е. кривой второго порядка, проектировщиками было предложено использовать аналитический аппарат точечной геометрии для получения координат узлов фермы.

#### Расчет параметров узловых точек ферм для криволинейных покрытий на прямоугольных планах

Форма покрытия на прямоугольном плане изначально была обеспечена криволинейными координатами поверхности  $u = const, v = const$ , отраженными, соответственно, в поперечном и продольном направлении конструкции покрытия (см. рис. 1, 2, 3). В зависимости от криволинейности этих разрезов будем иметь различные поверхности покрытия. Нами практически выполнены чертежи ферм цилиндрической поверхности, для которых  $v = const$  является прямой линией. Укажем математическую возможность расчета узловых точек ферм для двустороннего криволинейного покрытия. Вычислительные формулы представим с помощью математического аппарата точечного исчисления [1] в качестве образующих и направляющих криволинейного покрытия выбираем параболы второго и высших порядков, известных как  $B^k$  кривые плоскости [3]. Так  $B^1$  кривая,

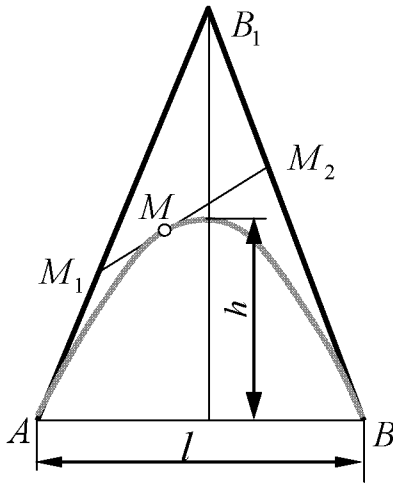


Рис. 2.

известная как прямая линия, использована нами в продольном разрезе покрытия.  $B^2$  кривая, использованная нами в поперечном разрезе покрытия, представляет собой параболу второго порядка, определенную системой точечных линейных уравнений (см. рис. 2):

$$\begin{cases} M_1 = A\bar{u} + B_1u \\ M_2 = B_1\bar{u} + Bu \\ M = M_1\bar{u} + M_2u \end{cases} \quad (1)$$

или точечным уравнением:

$$M = A\bar{u}^2 + 2B_1\bar{u}u + Bu^2, \quad (2)$$

где:

$$u \in [0, 1], \bar{u} = 1 - u, \quad (3)$$

Для нашего варианта точки  $A$  и  $B$  определены положением фермы конструкции покрытия, а точка  $B_1(x_1, y_1, z_1)$  вычисляется по симметрии дуги и высоте  $h$  прогиба дуги:

$$x_1 = \frac{x_A + x_B}{2},$$

$$y_1 = \frac{y_A + y_B}{2}, z_1 = z_A + 2h, \quad (4)$$

где:

$$A(x_A, y_A, z_A), B(x_A + l, y_A, z_A), \quad (5)$$

Параметрическое уравнение параболы при этом принимает вид:

$$\begin{cases} x = const \\ y = y_A\bar{u}^2 + (y_A + y_B)\bar{u}u + y_Bu^2, \text{ где } 0 \leq u \leq 1; \\ z = z_A\bar{u}^2 + 2(z_A + 2h)\bar{u}u + z_Bu^2, \text{ где } 0 \leq u \leq 1. \end{cases} \quad (6)$$

Постоянное значение абсциссы определяется разбивкой прямоугольного плана покрытия на прямоугольные ячейки (см. план покрытия). Параметрическое уравнение можно преобразовать к виду:

$$\begin{cases} x = const \\ y = y_A(1 - u + u^2) + y_Bu(1 - u), \text{ где } 0 \leq u \leq 1; \\ z = z_A + 4hu(1 - u), \text{ где } 0 \leq u \leq 1. \end{cases} \quad (7)$$

В приведенной конструкции покрытия образующая линия  $u = const$  является прямой (линия параллельная оси  $OY$ ).

Как известно, что парабола второго порядка однозначно определяется значениями пролета  $l$  и прогиба  $h$ , и поверхность покрытия, созданная на ее основе, не может учесть никакие другие дополнительные требования к форме покрытия. На практике возникает необходимость учесть угол ската крыши (защита от накопления снега) поверхности параболического цилиндра, тогда необходимо использовать более мощные параболы  $B^3$ -го или  $B^4$ -го порядка, которые способны учесть пролет  $l$ , прогиб  $h$  и угол ската  $\varphi$ .

### Проектирование конструкции покрытия

Фермы и прогоны покрытия выполняются из профилей замкнутого коробчатого сечения: данный тип профиля обеспечивает эстетичный вид всей конструкции и отвечает требованиям первичной защиты от коррозии для заданной схемы конструкции (рис. 3, 4).

В качестве светопрозрачных ограждающих панелей покрытия были выбраны двухслойные сотовые поликарбонатные панели "Plastilux" толщиной 10 мм, которые:

1. обеспечивают высокую степень светопропускания (коэффициент светопропускания

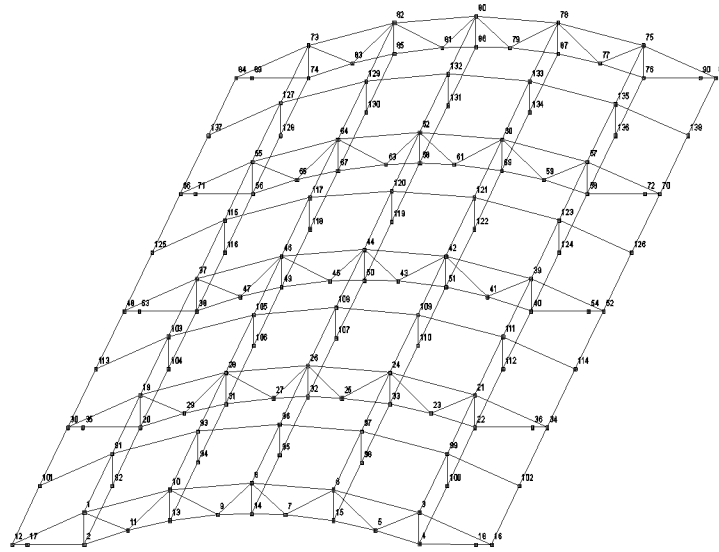


Рис. 3. Расчетная схема покрытия внутреннего дворика здания, расположенного по пр. Мира в г. Донецке.

Стыковка поликарбонатных панелей вдоль ребер жесткости

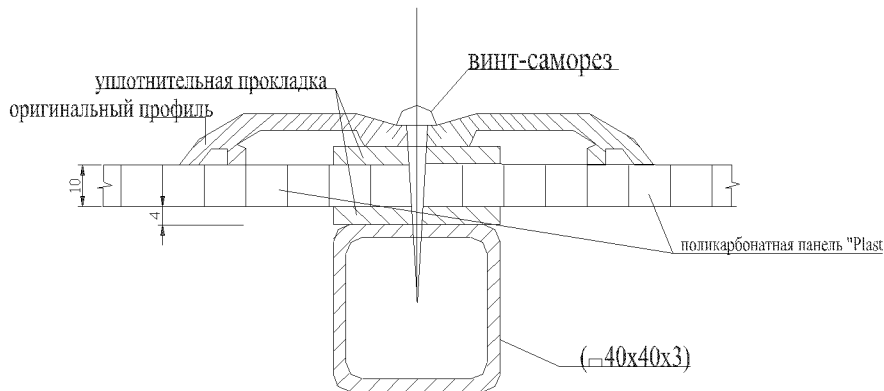


Рис. 4. Узел крепления светопрозрачных ограждающих панелей к несущим конструкциям навеса внутреннего дворика.

- может достигать 86%, причем жесткое ультрафиолетовое излучение, лежащее в диапазоне менее 390 нанометров, практически не проходит через панель);
- 2. обладают исключительными теплоизоляционными свойствами (теплопроводность панелей "Plastilux" – 0,20 Вт/м<sup>2</sup>С, а коэффициент теплопроводности стекла толщиной 4мм – 6,4 Вт/м<sup>2</sup>С);
- 3. при минимальном удельном весе (удельный вес панелей "Plastilux" – 2кг/м<sup>2</sup>) обладают высокой ударной прочностью и высокой несущей способностью;

- 4. Являются пожаробезопасными (относятся к самозатухающим материалам) и достаточно долговечны (гарантированный срок службы – 12 лет);
- 5. Идеально подходит для обеспечения формирования данной конструкции, так как обладает требуемой гибкостью.

Последнее свойство особенно важно при выборе материала ограждающей конструкции – гибкость панелей позволяет обеспечить высокую технологичность покрытия при монтаже. Кроме того, несущая способность светопрозрачных конструкций определяется обычно максимально

допустимыми прогибами, т.е. жесткостью конструкций. Этот недостаток в данном проекте устранен применением сегментовидного (арочного) типа покрытия, которое описывается кривой второго порядка.

### Выводы

Таким образом, имея уравнения параболы, с помощью компьютерного алгоритма (описанного стандартной программой "Excel" или "MathCAD") можно разделить дугу кривой на необходимое число узлов (панелей) и получить координаты точек, требуемых для задания схемы фермы с учетом геометрических особенностей формообразования конструкции покрытия при расчете ее в ПК "SCAD".

Предлагаемое решение конструкции покрытия внутреннего двора в виде сегментного

очертания позволит увеличить жесткость всей конструкции, что, в свою очередь, обеспечит увеличение надежности и долговечности данной конструкции на стадии проектирования.

### Литература

1. Балюба І.Г., Поліщук В.І., Малютіна Т.П. Основи математичного апарату точкового числення // Праці ТДАТА. – Вип.4. – т.29. – Мелітополь, 2005. – С. 22-30.
2. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа – К.: ВПП „Компас”, 2001. – 448 с.
3. Балюба І.Г., Мущанов В.П. Криві Б<sup>к</sup> площини. // Прикладна геометрія та інженерна графіка / Праці ТДАТА. – Вип.4. – Прикладна геометрія та інженерна графіка т.22. – Мелітополь, 2003. – С. 14-19.
4. А.Б. Губенко. Строительные конструкции с применением пластмасс. – М.: Стройиздат, 1970. – 326 с.

**Войтова Жанна Миколаївна** працює доцентом кафедри "Металеві конструкції". Наукові інтереси: розрахунок та проектування комбінованих конструкцій з використанням склопластів, полімерних матеріалів та металопластів.

**Малютіна Тетяна Петрівна** працює доцентом кафедри "Інженерна і комп'ютерна графіка". Наукові інтереси: прикладна геометрія і комп'ютерна графіка.

**Левченко Дмитро Вікторович** працює доцентом кафедри "Металеві конструкції". Наукові інтереси: розрахунок та проектування металевих конструкцій.

**Войтова Жанна Николаевна** является доцентом кафедры "Металлические конструкции". Научные интересы: расчет и проектирование комбинированных конструкций с использованием стеклопластов, полимерных материалов и металлопластов.

**Малютіна Тетяна Петровна** является доцентом кафедры "Прикладная геометрия и компьютерная графика". Научные интересы: прикладная геометрия и компьютерная графика.

**Левченко Дмитрий Викторович** является доцентом кафедры "Металлические конструкции". Научные интересы: расчет и проектирование металлических конструкций.

**Voitova Zhanna Mykolayivna** - an Associated Professor at the Department "Metalwork". The scientific interests are design and designing of combined structures with the use of glass-fibre plastics, polymer materials and metalloplastics.

**Malyutina Tetyana Petrivna** - an Associated Professor at the Department "Applied Geometry and Computer Graphics". The scientific interests are applied geometry and computer graphics.

**Levchenko Dmytro Viktorovych** - an Associated Professor at the Department "Metalwork". The scientific interests are design and designing of metal structures.