

УДК 514.18

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФОРМОТВОРЕННЯ СКЛАДЕНИХ КРИВОЛІНІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ У ЗАДАЧАХ АРХІТЕКТУРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Ботвіновська С.І., д.т.н.,

Золотова А.В., к.т.н.

*Київський національний університет будівництва і архітектури
(Україна)*

У роботі представлено практичне застосування статико-геометричного методу для формотворення складених криволінійних поверхонь при проектуванні покриттів в архітектурі. Розглянуто процес автоматизованого моделювання криволінійної поверхні, що складається з декількох порцій, які гладко стикуються між собою. Результати досліджень реалізовано у програмі SurfaceUnion, яка дозволяє формувати дискретні каркаси складених поверхонь під дією кусково-рівномірного навантаження. Користувач може задавати вихідні дані поверхні уявної форми, такі як крок сітки та кількість кроків вздовж координатних напрямків. Крім того обов'язково задаються координати контурних вузлів та окремі координати внутрішніх вузлів. Після проведеного параметричного аналізу користувач формує границі порцій поверхні з урахуванням умови, що кількість порцій повинна збігатися з числом заданих координат внутрішніх вузлів. Система рівнянь складається автоматично, з урахуванням умов гладкого стикування, та створюється зображення дискретного каркаса поверхні, яка моделюється. Аплікати вузлів дискретної сітки, отримуються в цифровому вигляді, що дозволяє полегшити розрахунки покриттів на міцність при архітектурному проектуванні великопрогонних покриттів. У роботі описано можливість моделювання гладкої поверхні, яка знаходиться під дією зовнішнього вертикального навантаження і на якій, не виникатимуть значні згинаючі моменти.

Створене програмне забезпечення дозволяє моделювати дискретні каркаси складених криволінійних поверхонь та виконувати пошук оптимальної форми покриттів будинків і споруд в інтерактивному режимі.

Ключові слова: складена поверхня, дискретний каркас, гладке стикування, формоутворююче навантаження, статико-геометричний метод.

Постановка проблеми. Використання криволінійних поверхонь покриттів в архітектурі дозволяє отримати унікальні споруди з гармонійним сучасним дизайном. Якщо такі поверхні використовують для покриття стадіонів, культурно-розважальних центрів, ринків тощо, там, де немає великої кількості підтримуючих колон, то поверхня має бути безмоментною оболонкою. Статико-геометричний метод дозволяє отримувати дискретний каркас криволінійної поверхні, яка працює на стискання-розтягнення і немає значних згинаючих моментів. Такі поверхні неможливо описати аналітичними рівняннями. Щоб отримати більше різноманітних за формою поверхонь, пропонується моделювати їх з окремих порцій простих поверхонь. Кускова інтерполяція дозволяє розв'язувати задачі моделювання складених криволінійних поверхонь з великим масивом вихідних даних. У результаті використаного у дослідженнях алгоритму можна змоделювати складену гладку поверхню. У роботі ставиться задача моделювання складеної поверхні із забезпеченням гладкого стику її порцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для формотворення дискретних каркасів криволінійних поверхонь використовується статико-геометричний метод (СГМ), запропонований проф. Ковальовим С.М. [1]. В основі методу лежить інтерполяція методом скінчених різниць [2], основана на параболічних залежностях. Метод знайшов широке використання у сучасному дискретному моделюванні криволінійних поверхонь різної форми складності і був розвинений у роботах [3-8]. Узагальнення СГМ [9, 10] дозволяє формувати дискретні каркаси аналогів як гладкої кривої лінії та і єдиної (нескладеної) гладкої поверхні на довільно-заданому опорному контурі. Саме оболонкам, представленим як єдині поверхні, віддається перевага при архітектурному проектуванні, оскільки вони мають найкращі характеристики міцності у процесі подальшої експлуатації. На таких оболонках відсутні злами і тому, не виникають небажані напруги.

У роботі [10] було продемонстровано можливості узагальненого статико-геометричного методу для формотворення дискретних каркасів – аналогів гладких поверхонь із заданими вузлами та лініями, включеними у каркаси модельованих об'єктів. Але, у процесі такого моделювання неможливо виконати варіювання форми модельованої поверхні без повного перерахунку координат вузлів дискретної сітки, що залишається дуже трудомістким процесом. Варіювати формою дискретно представлених поверхонь і вивільняти параметри, при врахуванні різноманітних вихідних даних для інтерполяції, можна за рахунок розподілу формотворюючого навантаження [11].

Кускова інтерполяція дозволяє моделювати поверхні із порцій

більш простих поверхонь. Із залученням поверхонь параболічного типу [12], як порцій складеної поверхні у процесі моделювання СГМ, можна знайти залежності між координатами вузлів сіток цих поверхонь. Такий підхід дозволить звільнитись від виникнення зламів на модельованій поверхні. Формотворення складених гладких криволінійних поверхонь суттєво розширить бібліотеку дискретно представлених об'єктів.

Аналіз публікацій показав, що у всіх розглянутих роботах не було запропоновано алгоритмів для створення автоматизованої системи формотворення дискретних каркасів поверхонь, і не було створено такої системи.

У даній роботі пропонується розглянути на прикладах процес інтерактивного моделювання дискретного каркаса складеної гладкої поверхні за допомогою СГМ.

Формулювання цілей статті. Мета роботи – показати практичну реалізацію способу формотворення складених поверхонь великопрогонних покриттів на прямокутному опорному контурі.

Основна частина. Для практичної реалізації способу формотворення дискретних каркасів складених криволінійних поверхонь було розроблено алгоритми, і за допомогою об'єктно-орієнтованої мови програмування *Java* [13], реалізовано їх у комп'ютерній програмі *SurfaceUnion*. Ця програма дозволяє формувати дискретні каркаси складених поверхонь під дією вертикального рівномірно-кускового навантаження. Прямокутний в плані контур поверхні можна обмежувати кривими чи ламаними відрізками у вертикальних площинах.

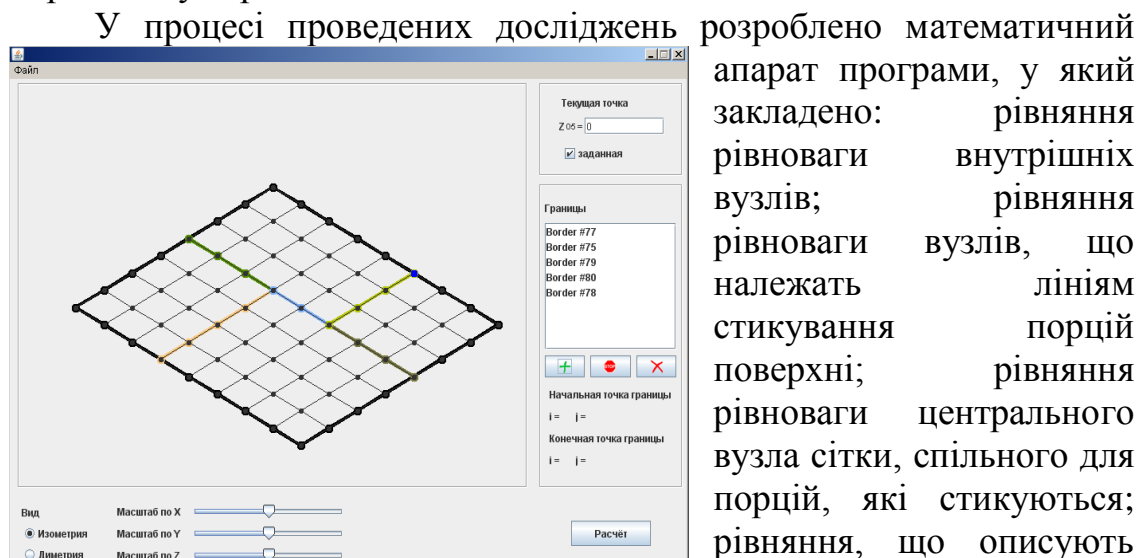


Рис.1. Інтерфейс програми *SurfaceUnion* та задані границі контуру складеної поверхні, що моделюється

Розглянемо детальніше процес моделювання дискретного каркаса складеної поверхні на прикладі поверхні, що формується з чотирьох порцій більш простих поверхонь. Користувач може наочно обрати зображення у вигляді аксонометричної або симетричної проекції. У робочому вікні програми (рис. 1), на прямокутному в плані контурі, задаються вихідні дані такі як: число кроків уздовж координатних осей Ox і Oy ; величина кроку сітки; координати контурних вузлів; задані координати внутрішніх вузлів. У наведеному прикладі маємо – число кроків вздовж Ox $n=7$, вздовж осі Oy $m=8$. Крок вузлів 1 м. Невелике число кроків обумовлено малою потужністю комп'ютера, на якому було проведено розрахунки. Довільно, на розсуд користувача, призначаються границі порцій поверхні (рис.1).

Призначається кількість порцій простих поверхонь, з яких моделюється дискретний каркас складеної поверхні. Якщо поверхня складається з чотирьох порцій, маємо чотири вільні параметри (чотири координати внутрішніх вузлів сітки).

Цими параметрами виступатимуть, наприклад, аплікати z внутрішніх вузлів, які можна призначити всередині порцій чи на лініях стикування. Курсором, у інтерактивному режимі, обирається поточний вузол і у вікні значень записується апліката z цього вузла (рис.2).

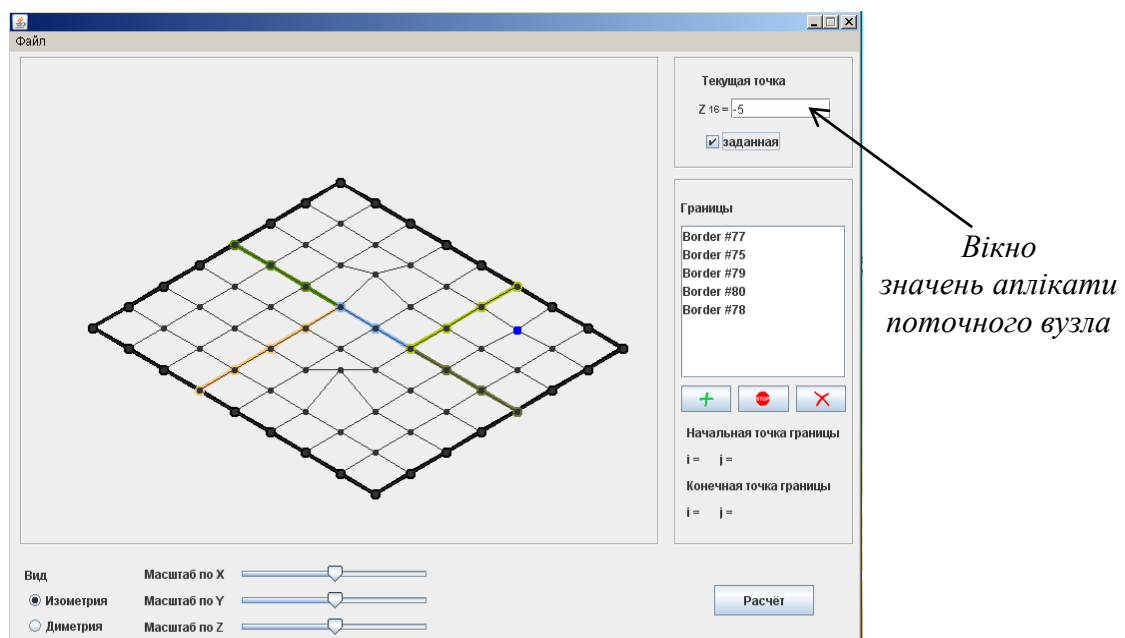


Рис.2. Контур поверхні із заданими вузлами

Після натискання кнопки «Розрахунок» автоматично складається система рівнянь рівноваги для кожного внутрішнього вузла сітки. Для вузлів, які належать границям порцій і вузлів, що

належать точкам стикування порцій, рівняння рівноваги замінюються рівняннями, що описують умови гладкого стикування порцій [3].

Після проведених розрахунків у робочому вікні програми з'являється наочне зображення складеної поверхні (рис. 3), а у окремому файлі виводяться значення всіх координат вузлів дискретного каркаса змодельованої поверхні.

Файл з координатами (аплікатами) всіх внутрішніх вузлів сітки можна зберегти у форматі xls (табл.1).

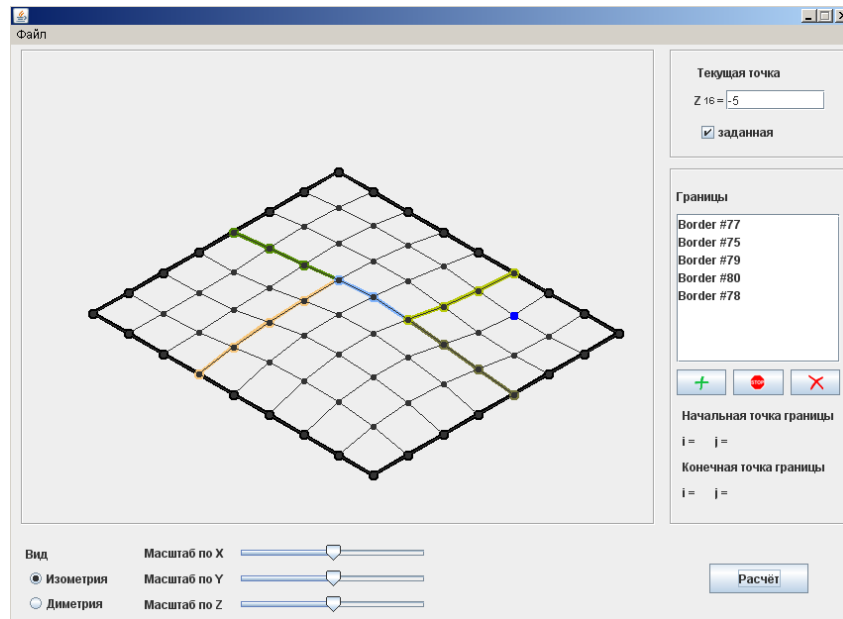


Рис. 3. Наочне зображення складеної поверхні

Таблиця 1

Значення аплікат вузлів дискретного каркаса
модельованої поверхні, z [м]

$n \backslash m$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	-9,00	-12,00	-11,00	-9,00	-6,00	-5,00	-3,00	0,00
2	0,00	-12,00	-14,00	-10,00	-4,00	0,00	1,00	0,00	0,00
3	0,00	-10,00	-9,00	3,00	46,00	21,00	22,00	15,00	0,00
4	0,00	-7,00	-2,00	17,00	37,00	45,00	43,00	30	0,00
5	0,00	-5,00	0,00	20,00	41,00	50,00	47,00	32,00	0,00
6	0,00	-4,00	0,00	14,00	30,00	35,00	34,00	23,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

При зміні одного чи декількох вільних параметрів (рис. 4) і натисканні кнопки «Розрахунок», аплікати z всіх внутрішніх вузлів поверхні автоматично перераховуються і, будується дискретний

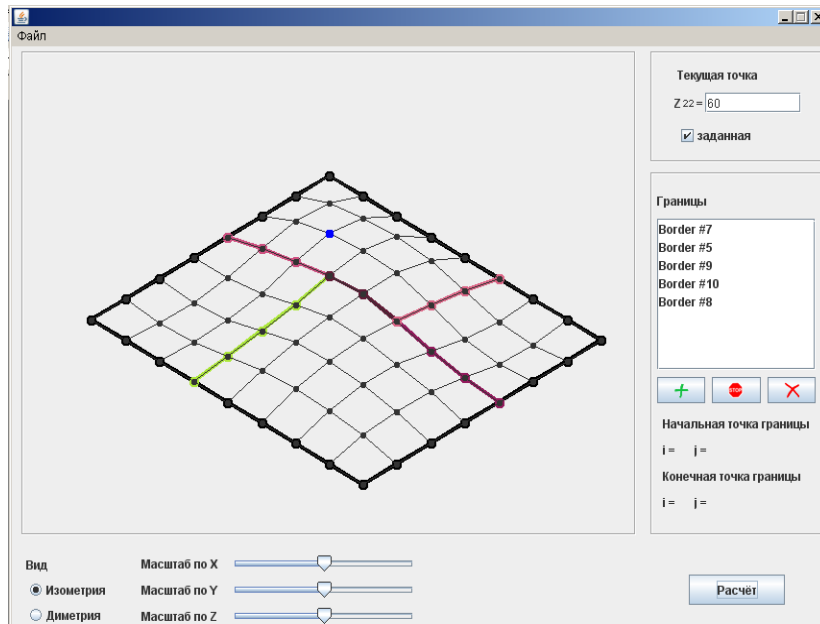


Рис. 5. Зображення складеної поверхні після перерахунку

Розроблені алгоритми формотворення дискретних каркасів складених поверхонь, реалізовані у роботі програми *SurfaceUnion*, дозволяють в автоматичному режимі розраховувати аплікати вузлів дискретного аналога гладкої поверхні, яка складена із різного числа порцій поверхонь параболічного типу. На заданому вихідному контурі, шляхом зміни аплікат внутрішніх вузлів є можливість у варіюванні форми дискретного каркаса криволінійної гладкої поверхні.

Висновки. Створене програмне забезпечення дозволяє моделювати, на основі використання СГМ, дискретні каркаси складених криволінійних поверхонь під дією рівномірно-кускового формоутворюючого навантаження в інтерактивному режимі. Автоматизовано процес пошуку оптимальної форми покриттів будинків і споруд. У результаті такого підходу отримано можливість моделювання гладкої поверхні, на якій під дією зовнішнього вертикального навантаження виникають зусилля розтягнення або стиску, і не виникають значні згинаючі моменти. Інформація, а саме аплікати вузлів дискретної сітки, отримані в цифровому вигляді, що дозволяє полегшити розрахунки покриттів на міцність при архітектурному проектуванні великопрогонних покриттів.

Література

1. Ковалёв С.Н. Формирование дискретных моделей поверхностей пространственных архитектурных конструкций : дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.01. Москва : МАИ, 1986. 348 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Москва: Физматгиз, 1977. 832 с.

3. Золотова А.В. Дискретна кускова інтерполяція точок при формуванні поверхонь в архітектурі: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. Київ, 2015. 148 с.
4. Ковальов С.Н., Золотова А.В. Дискретна двовимірна інтерполяція з першим порядком гладкості стикування порцій. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Київ, 2011. Вип.87. С. 164-170.
5. Воронцов О.В. Конструирование сетчатых каркасов в задачах отведения поверхностных вод : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01. Київ, 1992. 16 с.
6. Даниловская Н.А. Дискретное моделирование поверхностей сводов-оболочек : дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. Киев, 1986. 163 с. ил.
7. Ковтун О.М. Конструювання дискретних точкових каркасів квазіканалових поверхонь за наперед заданими умовами : дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. Київ, 2003. 160 с.
8. Логачев М.Я. Управление формой поверхностей оболочек, формируемых под действием нормального нагружения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01. Київ, 1995. 18 с.
9. Ботвіновська С.І. Моделювання дискретного аналога єдиної гладкої плоскої кривої лінії. *Містобудування та територіальне планування*. Київ, 2019. Вип. 70. С. 86 – 99.
10. Ботвіновська С.І., Золотова А.В. Моделювання дискретних аналогів єдиних гладких криволінійних поверхонь. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ, 2019. Вип. 54. С. 13–33.
11. Ковальов С.М., Ботвіновська С.І. Керування формою дискретно представлених поверхонь за рахунок варіювання параметрів зовнішнього формоутворюючого навантаження. *Журнал «Проблеми інформаційних технологій»*. Херсон: ХНТУ. грудень 2017. № #01(022). С. 63 – 69.
12. Ковальов С.М., Вязанкін В.О. Двовимірна суцільна дискретна інтерполяція на правильній сітці із заданим контуром. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Київ, 2003. Вип. 73. С. 40 – 45.
13. Эккель Б. Философия Java. Библиотека программиста. СПб.: Питер, 2009. 640 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СОСТАВНЫХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЗАДАЧАХ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Ботвиновская С.И., Золотова А.В.

В работе представлено практическое применение статико-геометрического метода формообразования составных криволинейных поверхностей для проектирования покрытий в архитектуре. Рассмотрен процесс автоматизированного формирования криволинейной составной поверхности из нескольких порций простых поверхностей, гладко стыкующихся между собой. Результаты исследований реализованы в программе SurfaceUnion, позволяющей моделировать дискретные каркасы составных криволинейных поверхностей. Для формирования подобных дискретных каркасов поверхностей применяется статико-геометрический метод. Каркас формируется под действием вертикальной равномерно-кусочной формообразующей нагрузки, приложенной к каждому узлу сетки.

Пользователь представляет себе форму будущей поверхности и самостоятельно задает исходные данные. Среди них: шаг сетки и число шагов вдоль координатных осей; координаты контурных узлов сети; отдельные координаты внутренних узлов сети. После выполнения параметрического анализа, пользователь начинает формировать границы порций поверхностей, задавая число порций. Обязательным условием является то, что число порций поверхностей должно быть равно числу заданных координат внутренних узлов.

Система уравнений равновесия, которая используется в процессе моделирования СГМ, составляется автоматически для всех внутренних узлов сети. Обязательно учитываются условия гладкой стыковки порций поверхностей. Для узлов на границе порций уравнения равновесия заменяются уравнениями, описывающими условия гладкой стыковки. После выполненных расчетов, на экране система автоматически формирует дискретный каркас гладкой составной криволинейной поверхности. В отдельном файле прописываются координаты всех узлов дискретного каркаса.

Ключевые слова: составная поверхность, дискретный каркас, гладкая стыковка, статико-геометрический метод, формообразующая нагрузка.

AUTOMATION OF THE FORMATION PROCESS OF COMPOSITE CURVED SURFACES IN ARCHITECTURAL DESIGN PROBLEMS

Botvinovska Svitlana, Zolotova Alla

The paper presents the practical application of the static-geometric method of forming composite curved surfaces for the design of coatings in architecture. The process of automated formation of a curved surface, consisting of several portions smoothly joined together, is considered.

The results of the studies are implemented in the SurfaceUnion program, which allows simulating discrete frames of composite curved surfaces. Static-geometric method is used to form similar discrete frames of surfaces. The frame is formed by a vertical uniform-piece forming load applied to each mesh node.

You imagine the shape of the future surface and define the original data yourself. These include: grid spacing and the number of steps along the coordinate axes; coordinates of nodes contour's; separate coordinates of internal nodes. After the parametric analysis is performed, the user of the system starts to form the boundaries of portions of surfaces by specifying the number of portions. The prerequisite is that the number of portions of surfaces must be equal to the number of specified coordinates of internal nodes. The conditions of smooth docking of portions of surfaces must be taken into account. For nodes at the portion boundary, the equilibrium equations are replaced by equations describing smooth docking conditions.

After the performed calculations, the system automatically forms a discrete frame of a smooth composite curved surface on the screen. The model file specifies the coordinates of all nodes of the discrete frame.

The created software allows to model discrete frames of composite curved surfaces and to search for optimal shape of coatings of buildings and structures in interactive mode.

Keywords: composite surface, discrete frame, smooth joining, shape-forming load, static-geometric method.