

Міністерство освіти і науки України
Українська асоціація з прикладної геометрії
Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького
Мелітопольська школа прикладної геометрії



**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
МОДЕЛЮВАННЯ**
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 13

Наукове фахове видання

Мелітополь – 2018 р.

УДК [51+514+721+004.92]–047.58(062.552)

ББК 22.1я5

С 91

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: Серія КВ № 21030-10830Р від 29.09.2014 р.
Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук (наказ Міністерства освіти і науки України № 241 від 09.03.2016)

Рекомендовано до друку та поширення через мережу Інтернет
Вченою радою МДПУ імені Б. Хмельницького,
протокол № 7 від 04 грудня 2018 р.

Редакційна колегія: Найдиш А.В. (гол. редактор),
Верещага В.М. (заступник гол. редактора), Спирінцев Д.В.
(відповідальний секретар), Холодняк Ю.В. (технічний редактор),
Бадаєв Ю.І., Балюба І.Г., Борисенко В.Д., Ванін В.В.,
Гнатушенко В.В., Єремєєв В.С., Ковальов С.М., Ковальов Ю.М.,
Корчинський В.М., Куценко Л.М., Мартин Є.В., Пилипака С.Ф.,
Підгорний О.Л., Плоский В.О., Подкоритов А.М., Сазонов К.О.,
Сергейчук О.В., Тулученко Г.Я.

С 91 Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького; гол. ред. кол. А.В. Найдиш. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2018.– Вип. 13. – 201 с.

Збірник містить статті за результатами досліджень з теорії та практики моделювання, розглядаються актуальні наукові та прикладні проблеми геометричного моделювання, методика постановки та проведення наукових та дослідницьких експериментів, результати наукових досліджень, питання підготовки фахівців та науковців.

Випуск призначений для науковців, викладачів, аспірантів і студентів.

УДК [51+514+721+004.92]–047.58(062.552)

ББК 22.1я5

© МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2018.

ISSN 2313-125X

УДК 514.18 + 621.869

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПІДВІСКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ У ПРОГРАМІ AUTODESK INVENTOR

Архіпов О.В., к.т.н.,
Масляєв К.В.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(Україна)*

В роботі наведені результати розробки та впровадження методу моделювання підвіски легкового автомобіля із наперед обраними параметрами для проведення комп'ютерних експериментів та визначення плавності руху автомобіля.

За існуючими рекомендаціями авторами прийняті вихідні параметри перспективного автомобіля, а також розроблено оригінальний дизайн кузова автомобіля типу «універсал». У програмі Autodesk Fusion 360 побудована комп'ютерна модель кузова, яка була імпортована у середовище Autodesk Inventor. Значна увага приділена обранню типу передньої та задньої підвіски перспективного автомобіля. Це пов'язано з тим, що від конструкції підвіски в значній мірі залежить поведінка автомобіля на дорозі, можливість досягнення високих швидкостей і безпека при здійсненні маневрів. Зроблений розрахунок основних характеристик підвіски автомобіля (жорсткості, статичного прогину, коефіцієнту демпфірування).

Тривимірне моделювання підвіски виконано у програмі Autodesk Inventor із урахуванням геометричних параметрів автомобіля, а аналіз функціонування обраної конструкції проведено у середовищі динамічного моделювання цієї ж програми.

Комп'ютерна модель підвіски, що побудована засобами Autodesk Inventor, є параметричною та дає змогу швидко та досить суттєво змінювати геометрію окремих деталей, жорсткість підвіски, коефіцієнт демпфірування підвіски, жорсткість коліс, коефіцієнт демпфірування коліс, оцінювати всі параметри роботи підвіски.

Створена модель може бути використана для розрахунків на міцність та витривалість. За результатами роботи побудовані та проаналізовані графічні залежності, які описують навантаження на елементи підвіски та плавність руху автомобіля.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, підвіска автомобіля, дизайн автомобіля, динамічний аналіз, плавність руху, Autodesk Inventor.

Постановка проблеми. Класичні методи розрахунку підвіски автомобіля тягнуть за собою великі затрати часу та фінансових ресурсів. Також класичні підходи до її моделювання потребують виготовлення прототипів та значних витрат на проведення випробувань на полігонах або в лабораторіях. Однак, з розвитком сучасних комп'ютерних технологій, при розробці нових агрегатів і механізмів автомобіля з'являється можливість автоматизації тяжких математичних розрахунків. Застосування програми Autodesk Inventor дозволяє суттєво спростити та пришвидшити аналіз обраної конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Програма Autodesk Inventor успішно використовується для параметричного моделювання деталей та вузлів автомобіля [1] та динамічного (кінематичного) аналізу роботи дорожніх машин [2, 3]. Але спроба комп'ютерного моделювання роботи підвіски легкового автомобіля проводилася лише у середовищі програми SolidWorks [4] та мала ряд недоліків.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є розробка у середовищі програми Autodesk Inventor комп'ютерної моделі підвіски перспективного легкового автомобіля та проведення дослідження впливу її геометричних, жорсткісних та демпфуючих параметрів на плавність руху автомобіля.

Основна частина. Основні характеристики перспективного автомобіля та попередні параметри його підвіски приймалися з рекомендацій по проектуванню [5]. У якості передньої підвіски була обрана підвіска Мак-Ферсона. Це пояснюється тим, що автомобіль має передній привід, та поперечне розташування двигуна. Саме даний тип підвіски займає невеликий об'єм і створює зручності при поперечному розміщенні силового агрегату [6]. У якості задньої підвіски обрана підвіска на повздовжніх важелях. Така підвіска виходить простою та компактною і, крім того, ефективно сприймає бічні зусилля. Також зберігається внутрішній простір багажника.

Кузов автомобіля відтворений поверхнями у пакеті Autodesk Fusion 360 (рис. 1). Моделі деталей підвіски будувалася у програмі Autodesk Inventor. Для спрощення, навантаження на передню та задню осі були зосереджені у двох паралелепіпедах масою 929 та 980 кг відповідно, які знаходяться по краях жорсткої рами та відповідають розрахунковій масі автомобіля з пасажиром та багажем (рис. 2).

Наступним етапом стало створення в середовищі складання програми Autodesk Inventor моделі підвіски за допомогою залежностей "суміщення", "дотик" та "кут". В процесі моделювання підвіски також робилися деякі спрощення: не враховувались пружні деформації деталей та люфти між ними; не враховувалась робота сайлентблоків (діагностування підвіски проводиться тільки при повній справності цих елементів). Такі спрощення не повинні мати

значного впливу на результати моделювання.

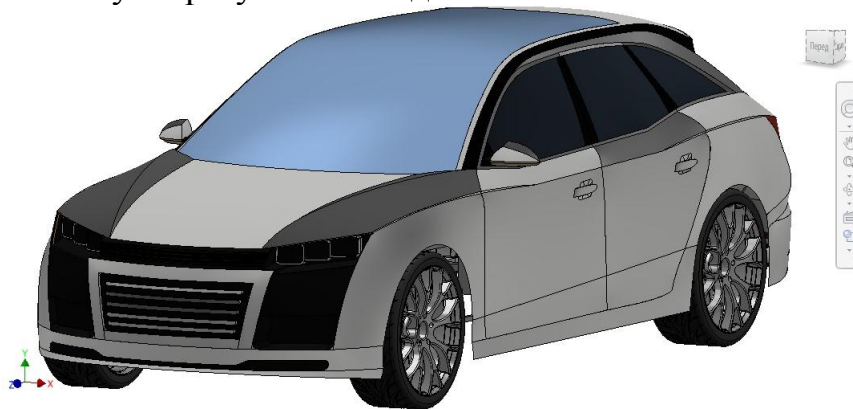


Рис. 1. Модель кузова перспективного автомобіля

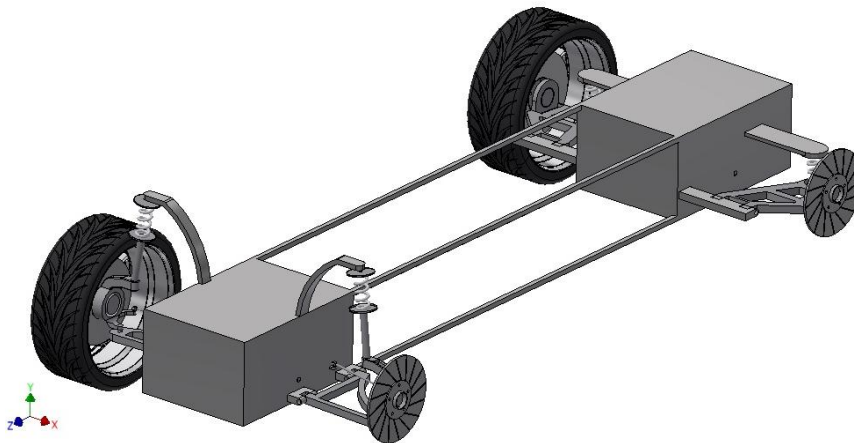


Рис. 2. Загальний вигляд моделі підвіски автомобіля

Після переходу у середовище динамічне моделювання, за умов коректного накладання залежностей складання, автоматично утворюються правильні з'єднання та групи елементів. З'єднання, крім зварювальних, визначають ступені свободи окремих деталей. Додавання з'єднань потрібно починати зі стандартних [7]. Дуже важливо при моделюванні правильно задавати локальні системи координат та забезпечувати відповідність напрямків обертання [2].

При комп'ютерному моделюванні, на стійки передньої підвіски накладалось циліндричне з'єднання з заданими границями руху. Наступним кроком було додавання "3D контакту" (рис. 3) на всі колеса. Він не дає автомобілю "провалитися" під профіль дороги та дозволяє врахувати параметри колеса: жорсткість, демпфірування, коефіцієнт тертя (рис. 4). Далі на передню та задню підвіску були додані силові з'єднання – "пружина/амортизатор/домкрат" (рис. 5). Для передньої (рис. 6) та задньої (рис. 7) підвісок були завдані розраховані параметри. До передніх коліс був прикладений розрахований крутний момент (рис. 8).

Метою створення тривимірної моделі підвіски було проведення дослідів для полегшення проектування автомобілів.

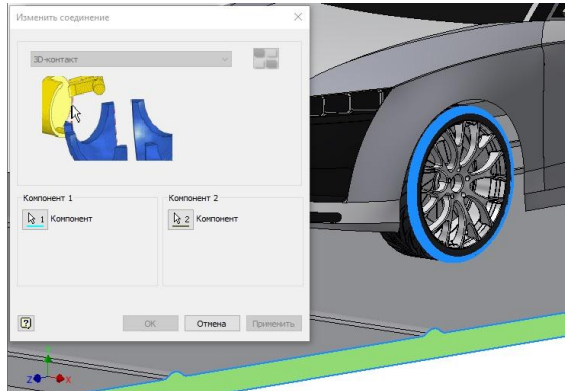


Рис. 3. Накладення 3D контакту

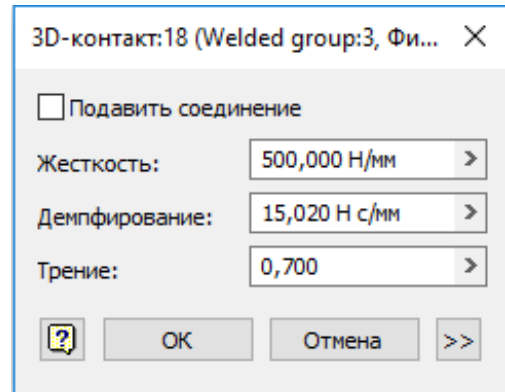


Рис. 4. Параметры 3D контакту

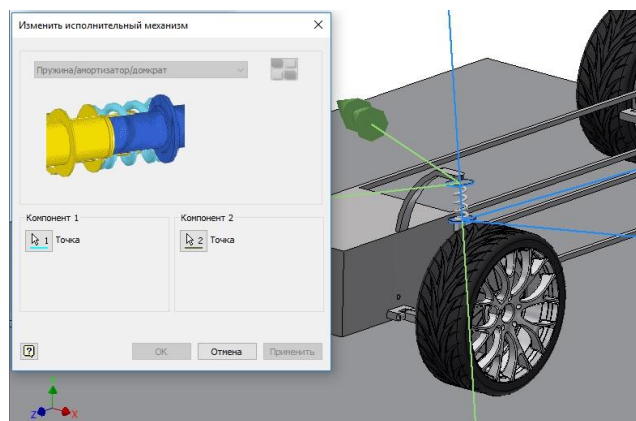


Рис. 5. Завдання силового з'єднання "пружина/амортизатор/домкрат"

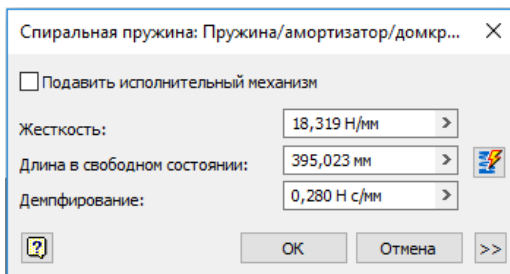


Рис. 6. Параметры з'єднання "пружина/амортизатор/домкрат" передньої підвіски

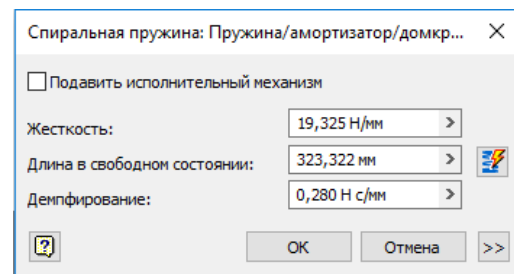


Рис. 7. Параметры з'єднання "пружина/амортизатор/домкрат" задньої підвіски

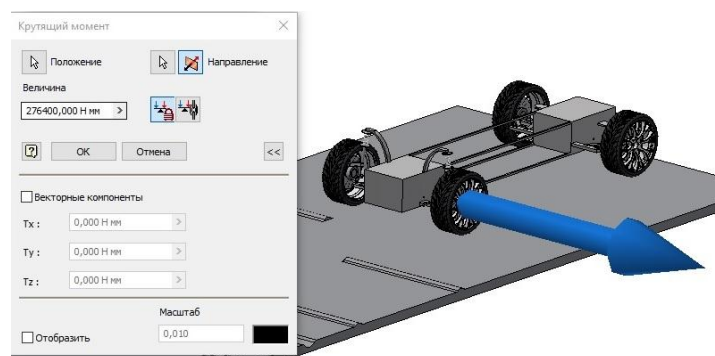


Рис. 8. Завдання крутного моменту

На основі побудованої моделі підвіски проводилося динамічне моделювання за заданими стандартними умовами [8]. Для його здійснення в середовищі програми Autodesk Inventor була побудована тривимірна модель дороги з виступами та западинами висотою/глибиною в діапазоні 15 – 35 мм, при застосуванні якої у подальшому відтворювався рух автомобіля. За допомогою пристрою графічного виводу був отриманий графік зміни довжини переднього і заднього пружних елементів підвіски (рис. 9), який відповідає висоті нерівностей дороги 25 мм. З графіків зміни довжини пружин видно, що підвіска працює в заданих режимах та без пробоїв. Також отримано графік навантажень елементів передньої і задньої підвіски (рис. 10). Передаточне відношення задньої підвіски сприяє зниженню навантаження на елементи її механізму [6]. Знак "мінус" на графіку вказує на напрямок дії сили.

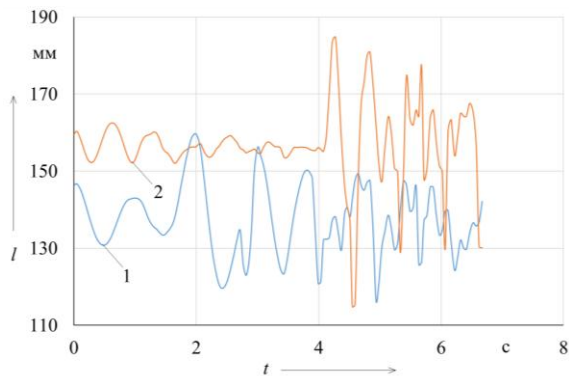


Рис. 9. Графік зміни довжини переднього (1) і заднього (2) пружних елементів

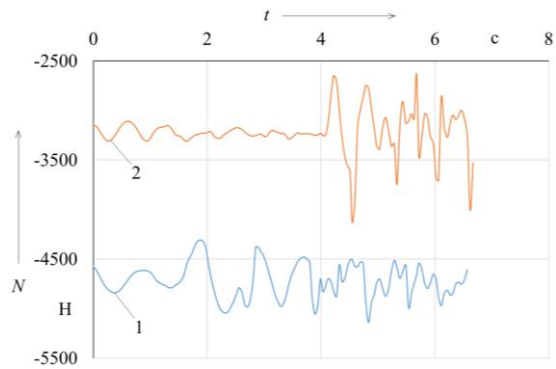


Рис. 10. Графік навантажень елементів передньої (1) і задньої (2) підвіски

На рис. 11, 12 зображені графіки вертикальних переміщень та вертикальних прискорень кузова автомобіля. З графіку переміщень кузова видно, що коливання кузова відбуваються з невеликою амплітудою та з комфортною для пасажирів частотою.

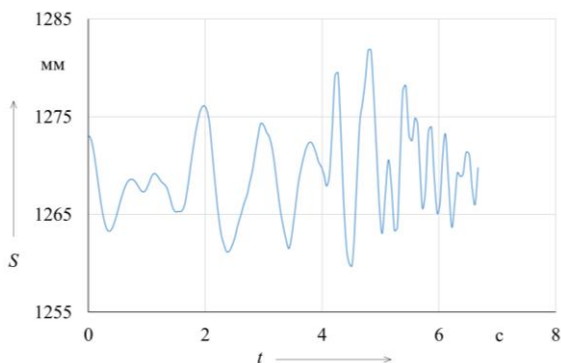


Рис. 11. Графік вертикальних переміщень кузова

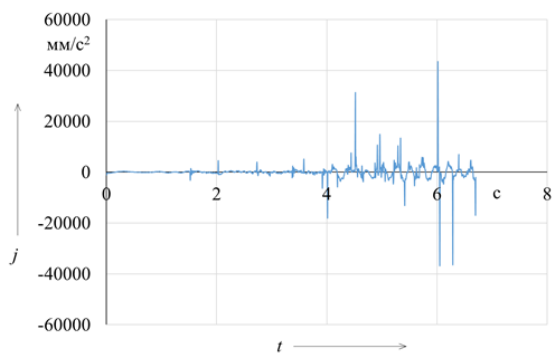


Рис. 12. Графік вертикальних прискорень кузова

При коливаннях кузова з частотами, близькими до 1 Гц, вертикальні прискорення не повинні перевищувати $0,8 - 1 \text{ м/с}^2$ [9]. Однак, на графіку (рис.12) присутні прискорення великої амплітуди та частоти. Це пов'язано з тим, що на власні низькочастотні коливання кузова автомобіля накладаються високочастотні коливання коліс.

Вертикальні коливання коліс викликають високочастотні прискорення кузова, проте вони не впливають суттєво на плавність руху автомобіля. Пасажири сприймають дані прискорення краще, ніж низькочастотні, а головне, їх легко позбутися завдяки використанню сидінь звичайної конструкції.

Висновки. Завдяки програмному пакету Autodesk Inventor, ми маємо змогу проводити кінематичний та динамічний аналіз підвіски легкового автомобіля, а також отримувати наглядну візуалізацію результатів досліджень та всі потрібні для оцінки роботи механізму графічні залежності (навантаження на елементи підвіски, вертикальні переміщення кузова, вертикальні прискорення кузова та ін.). Отримані залежності можна використовувати для розрахунку елементів підвіски автомобіля на міцність та довговічність.

Література

1. Архіпов О.В. Параметричне комп'ютерне моделювання в дизайні автомобільних вузлів та агрегатів / О.В. Архіпов, К.В. Масляєв, Д.О. Ланцов // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Прикладна геометрія та інженерна графіка". – Вип. 94. – К.: КНУБА, 2018. – С. 3–7.
2. Черніков О.В. Особливості комп'ютерного моделювання екскаватора "Menzi Muck M545" для досліджень його руху та стійкості при заданих умовах / О.В. Черніков, Є.Ю. Скларов, І.О. Швейкін // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – Вип. 8. – Т. 1. – С. 46–54. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/V8T1.html> (28/09/2018).
3. Черников А.В. Исследование динамики торможения колесного трактора при помощи современных технологий компьютерного моделирования / А.В. Черников, М.П. Холодов // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць. – Мелітополь: Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2017. – Вип. 8. – С. 154–158.
4. Волков В.П. Моделирование работы подвески легкового автомобиля с использованием пакета SolidWorks / В.П. Волков, В.Н. Павленко // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Луганск: СХУ ім. В. Даля, 2012. – Вип. 9 (189), Ч. 1. – С. 121–130.
5. Алекса Н.Н. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Автотранспортные средства» / Н.Н. Алекса, А.С. Федосов – Харьков: ХАДИ, 1990. – 32 с.

6. Иванов А.М. Основы конструкции современного автомобиля / А.М. Иванов, А.Н. Солнцев, В.В. Гаевский, П.Н. Клюкин, В.И. Осипов, А.И. Попов. – Изд-во «За рулём», 2012. – 336 с.
7. Динамическое моделирование в Autodesk Inventor. – URL: [http://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2016/RUS/\(10/11/2017\)](http://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2016/RUS/(10/11/2017)).
8. Кушвид Р.П. Испытания автомобиля: учебник / Р.П. Кушвид – М.: МГИУ, 2011. – 351 с.
9. Богомоллов В.А. Моделирование систем управления в Simulink: учеб. пособ. / В.А. Богомоллов, А.Г. Гурко, В.И. Клименко и др. – Харьков: ХНАДУ, 2018 – 220 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ В ПРОГРАММЕ AUTODESK INVENTOR

Архипов А.В., Масляев К.В.

В работе приведены результаты разработки и внедрения метода моделирования подвески легкового автомобиля с заранее выбранными параметрами для проведения компьютерных экспериментов и определения плавности движения автомобиля.

По существующим рекомендациям авторами приняты выходные параметры перспективного автомобиля, а также разработан оригинальный дизайн кузова автомобиля типа «универсал». В программе Autodesk Fusion 360 построена компьютерная модель кузова, которая была импортирована в среду Autodesk Inventor. Значительное внимание уделено избранию типа передней и задней подвески перспективного автомобиля. Это связано с тем, что от конструкции подвески в значительной степени зависит поведение автомобиля на дороге, возможность достижения высоких скоростей и безопасность при совершении маневров. Произведен расчет основных характеристик подвески автомобиля (жесткости, статического прогиба, коэффициента демпфирования).

Трехмерное моделирование подвески выполнено в программе Autodesk Inventor с учетом геометрических параметров автомобиля, а анализ функционирования выбранной конструкции проведен в среде динамического моделирования этой же программы.

Компьютерная модель подвески, построенная средствами Autodesk Inventor, является параметрической и позволяет быстро и достаточно существенно изменять геометрию отдельных деталей, жесткость подвески, коэффициент демпфирования подвески, жесткость колес, коэффициент демпфирования колес, оценивать все параметры работы подвески.

Созданная модель может быть использована для расчетов на прочность и выносливость. По результатам работы построены и

проанализированы графические зависимости, описывающие нагрузки на элементы подвески и плавность движения автомобиля.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, подвеска автомобиля, дизайн автомобиля, динамический анализ, плавность движения, Autodesk Inventor.

MODELING THE WORK OF A SUSPENSION OF A PASSENGER CAR ON A COMPUTER PROGRAM AUTODESK INVENTOR

Arkhipov A., Masliaiev K.

The paper presents the results of the development and implementation of the method for modeling a car suspension with pre-selected parameters for computer experiments and determining the move of the car.

According to the existing recommendations, the authors adopted the output parameters of the car, and also developed the original design of the body of a "station wagon" type. Autodesk Fusion 360 builds a computer model of the body that was imported into Autodesk Inventor. Considerable attention is paid to the type of front and rear suspension of a car. This is due to the fact that the behavior of the car on the road, the possibility of achieving high speeds and safety when making maneuvers largely depend on the design of the suspension. The calculation of the main characteristics of the vehicle suspension (stiffness, static deflection, damping coefficient) was made.

Three-dimensional modeling of the suspension was made in the Autodesk Inventor program taking into account the geometric parameters of the vehicle, and the analysis of the functioning of the selected structure was carried out in the dynamic simulation environment of the same program.

The computer model of the suspension, built by Autodesk Inventor, is parametric and allows you to quickly and fairly significantly change the geometry of individual parts, suspension stiffness, suspension damping coefficient, wheel stiffness, wheel damping coefficient, to evaluate all parameters of the suspension.

The created model can be used for calculations of strength and endurance. According to the results of work, graphical dependences were built and analyzed, describing the load on the suspension elements and the smoothness of the vehicle movement.

Keywords: computer simulation, car suspension, car design, dynamic analysis, smoothness of movement, Autodesk Inventor.

УДК 514.18

ЗАСТОСУВАННЯ НАТУРАЛЬНОЇ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ ДО АПРОКСИМАЦІЇ ДИСКРЕТНО ПОДАНОЇ КРИВОЇ

Борисенко В.Д., д.т.н.

Миколаївський національний університет імені В. О. Сухомлинського,
Устенко І.В., к.т.н.,

Устенко А.С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала
Макарова (Миколаїв, Україна)

Робота присвячена розробці нового підходу до апроксимації кривої, поданої сукупністю дискретних точок. Аналітичний опис шуканої кривої реалізується із застосуванням натуральної параметризації та лінійного закону розподілу кривини від довжини власної дуги. Для побудови апроксимаційної залежності ординат заданих дискретних точок від їх абсцис необхідно знайти величини п'ятьох параметрів. До цих параметрів відносяться два невідомі коефіцієнти лінійного закону розподілу кривини, довжина дуги, кути нахилу дотичної в початковій та кінцевій точках шуканої кривої. Початкові значення кутів нахилу дотичних визначаються на підставі осереднених величин похідних, які розраховуються по трьох точках методом скінчених різниць, довжина дуги приймається рівною довжині дуги ламаної. Застосування положень диференціальної геометрії до кутів нахилу дотичних дозволяє знайти залежність одного коефіцієнта лінійного закону розподілу кривини від решти параметрів. Розраховується апроксимаційна крива першого наближення і визначаються довжини дуг для точок, які відповідають абсцисам точок вихідних даних. По визначених довжинах дуг інтегруванням знаходяться ординати проміжно отриманих точок і розраховуються квадрати їх відхилень від заданих дискретних точок. Числовим методом мінімізації функції багатьох змінних знаходяться величини всіх невідомих параметрів. За цільову функцію в цьому обчислювальному процесі приймається сума квадратів відхилень між проміжними та заданими дискретними точками. Розроблений метод призначений для аналітичного подання кривих, якими подаються опукла та увігнута ділянки профілів лопаток осьових компресорів, координати яких задаються у табличній формі.

Ключові слова: апроксимація, натуральна параметризація, лінійний закон розподілу кривини, метод найменших квадратів.

Постановка проблеми. Традиційним методом формування

профілів лопаток осьових компресорів є розподіл вздовж скелетної (середньої) лінії експериментально відпрацьованого аеродинамічного профілю. Як правило, ці профілі задаються в табличній формі, тобто у вигляді дискретної, не дуже поширеної сукупності точок. Впровадження у виробництво сучасного технологічного устаткування висуває певні вимоги до якості подання профілів лопаток осьових компресорів. По-перше, це відноситься до кількості точок, їх має бути значно більше. По друге, необхідно підвищити точність подання точок, наведених у таблицях. За прийнятим у компресорній справі підходом координати точок задаються у відносному вигляді, з трьома знаками після коми. Абсциси точок профілю варіюються у межах від нуля до одиниці, а ординати точок приймаються у відсотках від максимальної товщини профілю. У багатьох практичних застосуваннях проєктантам компресорів треба мати аналітичні залежності ординат точок від їх абсцис.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній літературі можна знайти достатньо різноманітних методів, присвячених розв'язанню питання апроксимації даних [1, 2]. При цьому застосовуються явні, неявні, параметричні форми подання кривих. У роботі [1] наведені універсальні алгоритми і програмні модулі, які дозволяють як інтерполювати дані, так і апроксимувати їх. Однією з перших публікацій, в якій закладені основи прикладної дискретної геометрії, слід вважати роботу [3]. Але в цій роботі лівова увага приділена розв'язанню задачі загушення точок дискретно поданої кривої. Питанню застосування натуральної параметризації до моделювання кривих ліній і поверхонь присвячена робота [4]. Метою цієї роботи була розробка методів моделювання кривих, які мали задовольняти певним умовам, наприклад, проходити через задані точки площини чи простору та мати в них наперед визначені кути нахилу дотичних. Отже, запропоновані в роботі [4] методи побудови кривих можна, в певній мірі, віднести до так званих конструкційних, не пов'язаних ні з інтерполяцією, ні з апроксимацією.

Формулювання цілей статті. Метою цієї статті є розробка методу апроксимації кривих, заданих сукупністю точок, із застосуванням натуральної параметризації та лінійного закону розподілу кривини від довжини власної дуги стосовно профілів лопаток осьових компресорів.

Основна частина. Розв'яжемо задачу апроксимації обводів профілів лопаток осьових компресорів, базуючись на ідеях роботи [4]. Тобто, будемо подавати обводи спинки і коритця профілю кривими, які описуються у натуральній параметризації. Для числового рішення поставленої задачі необхідно задатися певним

законом розподілу кривини від довжини дуги. Приймаючи до уваги те, що компресорні профілі мають слабовигнуті обводи, прийmemo, що їх кривина підпорядковується лінійному закону розподілу:

$$k(s) = as + b, \quad (1)$$

де a і b – невідомі коефіцієнти, які підлягають визначенню в процесі розв’язання поставленої задачі; s – криволінійна координата.

З диференціальної геометрії відомо, що кривина кривої k визначається наступною залежністю:

$$k(s) = d\varphi/ds,$$

де φ – кут нахилу дотичної.

Вирази для визначення кута нахилу дотичної та координат точок кривої в залежності від довжини її дуги мають вигляд:

$$\varphi(s) = \varphi(0) + \int_0^s k(s) ds; \quad (2)$$

$$x(s) = x(0) + \int_0^s \cos \varphi(s) ds; \quad y(s) = y(0) + \int_0^s \sin \varphi(s) ds, \quad (3)$$

де $\varphi(0)$, $x(0)$, $y(0)$ – кут нахилу дотичної та координати початкової точки модельованої кривої.

Для побудови апроксимаційної кривої необхідно мати значення п’ятьох параметрів: невідомі коефіцієнти лінійного закону розподілу кривини a і b , довжину дуги S , кут нахилу дотичної в початковій точці, який позначимо як φ_1 , та значення ординати початкової точки y_1 кривої.

Пошук цих параметрів будемо виконувати числовим методом мінімізації суми квадратів відхилень проміжно отриманих точок апроксимаційної кривої, абсциси яких збігаються з абсцисами вихідних точок.

Значення невідомих параметрів першого наближення визначаються наступним чином. Кут φ_1 приймається рівним арктангенсу, аргумент якого є середнім значенням похідних, що знаходяться методом скінчених різниць для другої та третьої заданих точок. При цьому прирости ординат і абсцис беруться по відношенню до першої точки. Довжина кривої S першого наближення приймається рівною довжині ламаної лінії, розрахованій по координатам вихідних точок.

Оскільки значення параметрів a і b навіть у першому наближенні важко оцінити, то введемо до розгляду кут наприкінці кривої, який позначимо як φ_2 і визначимо його так, як це було зроблено при знаходженні кута φ_1 . Але при цьому приймаються до

розгляду остання та дві передостанні вихідні точки.

Оцінивши кут φ_2 , можна після інтегрування виразу (2), виконаного з урахуванням закону розподілу кривини (1), знайти залежність коефіцієнта a від решти параметрів закону розподілу кривини:

$$a = \frac{2}{S} \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{S} - b \right).$$

Далі розраховуємо апроксимаційну криву першого наближення і визначаємо довжини дуг для точок, які відповідають абсцисам точок вихідних даних. Для цього скористаємося підпрограмою *zeroin*, наведеною в роботі [5]. Ця підпрограма призначена для знаходження дійсного нуля функції. У нашому випадку цією функцією виступає різниця значень абсцис вихідних точок і точок, отриманих при побудові апроксимаційної кривої з проміжними значеннями параметрів, які впливають на її форму. У першу чергу це відноситься до коефіцієнтів a і b та довжини дуги S закону розподілу кривини.

Знайшовши довжини дуг, які відповідають вихідним точкам із заданими абсцисами, визначаємо ординати нових точок. Розраховуємо суму квадратів відхилень ординат нових точок від вихідних. Тобто діємо так, як це притаманно традиційному методу найменших квадратів. Безпосередньо для рішення оптимізаційної задачі застосовано алгоритм, запропонований в роботі [6].

На рис. 1 наведені проміжні результати пошуку параметрів апроксимаційної кривої. Світлі кола відповідають вихідним точкам, які прийняті довільно, але вони в якійсь мірі нагадують криволінійний обвід профілю лопатки. Зазначимо, що вихідні точки взяті з деяким розкидом від реального обводу профілю. Це зроблено з метою більш яскравої демонстрації запропонованого методу апроксимації кривих із застосуванням їх натуральної параметризації та лінійного закону розподілу кривини.

Маленькі зачернені кола на цьому рисунку відповідають положенням проміжних точок, які вони займають в процесі знаходження оптимальних параметрів шуканої апроксимаційної кривої. Як впливає з розгляду цього рисунку, проміжні точки чітко рухаються по вертикальним прямим, побудованим зі значеннями абсцис заданих вихідних точок.

Остаточна отримана апроксимаційна крива показана на рис. 2. На ньому також світлі кола відповідають вихідним даним. Зачернені кола меншого радіуса є візуалізацією результатів рішення взятої за мету апроксимаційної задачі. Крива, яка з'єднує зачернені кола, побудована із застосуванням знайдених параметрів лінійного закону

розподілу кривини від довжини дуги. Дані, необхідні для побудови цієї кривої, визначалися числовим інтегруванням виразів (3) з поступовим збільшенням верхнього ліміту інтегрування від 0 до S .

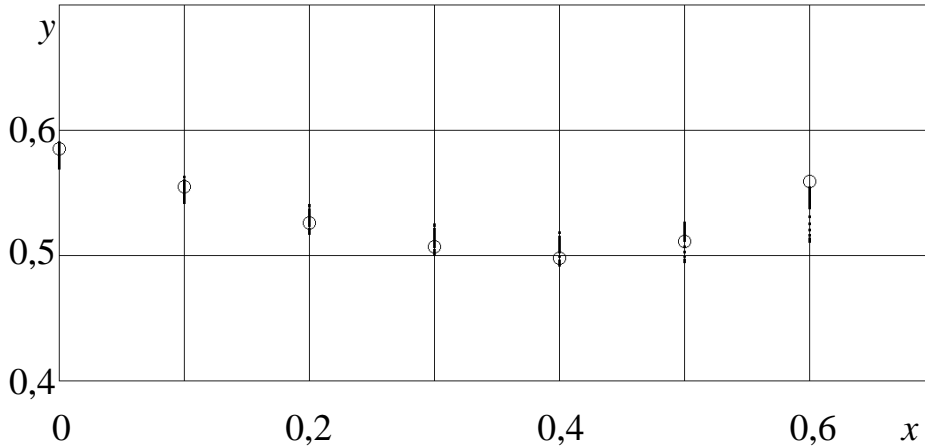


Рис. 1. Візуалізація процесу пошуку параметрів апроксимаційної кривої

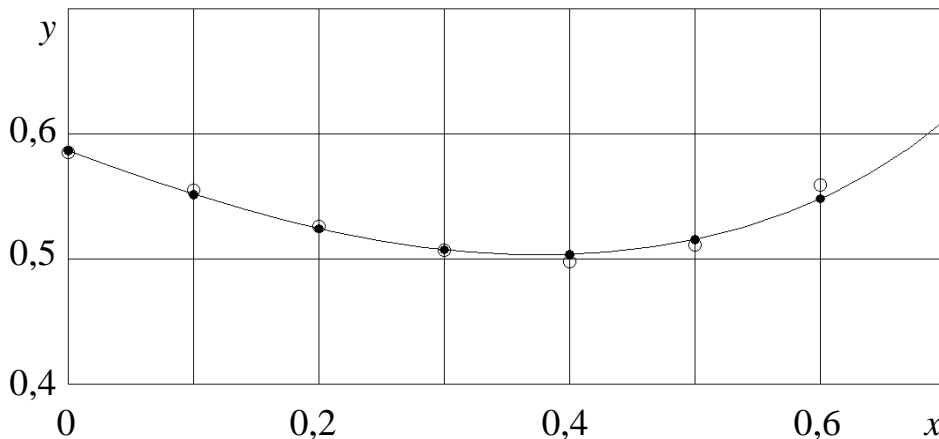


Рис. 2. Апроксимаційна крива та вихідні точки

Щодо розподілу кута нахилу дотичної до апроксимаційної кривої можна відмітити, що інтеграл (2) береться аналітично і результат цього інтегрування має вигляд:

$$\varphi(s) = \varphi_1 + \frac{as^2}{2} + bs.$$

На підставі запропонованого методу апроксимації дискретно поданих кривих розроблено програмний код у середовищі Fortran PowerStation.

Висновки. Запропонований метод дозволяє апроксимувати дискретно подані криві із застосуванням натуральної параметризації

та лінійного закону розподілу кривини від довжини дуги. Метод може бути застосований при удосконаленні геометричних характеристик обводів профілів лопаток осьових компресорів. Подальші дослідження з цього питання мають бути орієнтовані на розробку заходів, спрямованих на використання квадратичних залежностей розподілу кривини.

Література

1. Василенко В.А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы. / В.А. Василенко. – Новосибирск: Наука, 1983. – 214 с.
2. Лоран П.Ж. Аппроксимация и оптимизация / П.Ж. Лоран. – М.: Мир, 1975. – 496 с.
3. Основи прикладної дискретної геометрії: Навчальний посібник / В.М. Найдиш, В.М. Верещага, А.В. Найдиш, В.М. Малкіна. – Мелітополь: ТДАТУ, 2007. – 194 с.
4. Борисенко В.Д. Геометричне моделювання кривих ліній і поверхонь у натуральній параметризації / В.Д. Борисенко, С.А. Устенко, І.В. Устенко. – Миколаїв: МНУ, 2018. – 220 с.
5. Форсайт Дж. Машинные методы математических вычислений / Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулер. – М.: Мир, 1980. – 279 с.
6. Hooke R. Direct search solution of numerical and statistical problems. / R. Hooke, T.A. Jeeves // *Journal of the Association for Computing Machinery (ACM)*. 1961. – Vol. 8, No 2. – 212–229.

ПРИМЕНЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕННОЙ КРИВОЙ

Борисенко В.Д., Устенко І.В., Устенко А.С.

Работа посвящена разработке нового подхода к аппроксимации кривой, представленной совокупностью дискретных точек. Аналитическое описание искомой кривой реализуется с применением натуральной параметризации и линейного закона распределения кривизны от длины собственной дуги. Для построения аппроксимирующей зависимости ординат заданных дискретных точек от их абсцисс необходимо найти

величины пяти параметров. К этим параметрам относятся два неизвестных коэффициента линейного закона распределения кривизны, длина дуги, углы наклона касательной в начальной и конечной точках искомой кривой. Начальные значения углов наклона касательных определяются на основании усредненных величин производных, которые рассчитываются по трем точкам методом конечных разностей, а длина дуги принимается равной длине дуги ломаной. Применение положений дифференциальной геометрии к углам наклона касательных позволяет найти зависимость одного коэффициента линейного закона распределения кривизны от остальных параметров. Рассчитывается аппроксимирующая кривая первого приближения и определяются длины дуг для точек, соответствующих абсциссам точек исходных данных. По определенным длинам дуг интегрированием находятся ординаты промежуточно полученных точек и рассчитываются квадраты их отклонений от заданных точек. Численным методом минимизации функции многих переменных находятся величины всех неизвестных параметров. За целевую функцию в этом вычислительном процессе принимается сумма квадратов отклонений между промежуточными и заданными дискретными точками. Разработанный метод предназначен для аналитического представления кривых, которыми описываются выпуклый и вогнутый участки профилей лопаток осевых компрессоров, координаты которых задаются в табличной форме.

Ключевые слова: аппроксимация, естественная параметризация, линейный закон распределения кривизны, метод наименьших квадратов.

APPLICATION OF NATURAL PARAMETRIZATION FOR APPROXIMATION OF A DISCRETE REPRESENTED CURVE

Borisenko V., Ustenko I., Ustenko A.

The work is devoted to the development of a new approach to the approximation of the curve presented by a set of discrete points. The

analytical description of the desired curve is realized with the use of natural parameterization and the linear law of the distribution of curvature from the length of its own arc. To construct the approximation dependence of the ordinates of the given discrete points from their abscissa, one must find the values of the five parameters. These parameters include two unknown coefficients of the linear law of the distribution of the curvature, the length of the arc, the angles of inclination of the tangent at the initial and the final points of the desired curve. The initial values of the tilt angles are determined on the basis of the averaged values of the derivatives, which are calculated on three points by the method of finite differences, and the length of the arc is assumed to be equal to the length of the arc of the broken. The application of the positions of differential geometry to the tilt angles allows us to find the dependence of one coefficient of the linear law of the distribution of curvature on the remaining parameters. An approximation curve for the first approximation is calculated and the lengths of arcs for the points corresponding to the abscissas of the points of the initial data are determined. By the definite lengths of the arcs, numerical integration contains the ordinates of the intermediate points obtained and calculate the squares of their deviations from the given points. Numerical method of minimizing the function of many variables are the values of all unknown parameters. The target function in this computational process is the sum of squares of deviations between intermediate and given discrete points. The developed method is intended for the analytical representation of the curves, which are presented curved sections of the profiles blades of axial compressors, whose coordinates are given in tabular form.

Keywords: approximation, natural parameterization, linear law of curvature distribution, least squares method.

УДК 514.18

**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ
ГЕОМЕТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ
ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ДИСКРЕТНИХ КАРКАСІВ ПОВЕРХОНЬ**

Ботвіновська С.І., к.т.н.

*Київський національний університет будівництва і архітектури
(Україна)*

Розвиток архітектури останніх десятиліть показав, що одним з факторів впізнаваності та прийняття архітектурного об'єкту суспільством є його форма, яка повинна відповідати економічним, ергономічним, геометричним, статичним, композиційним та іншим критеріям. Проведений аналіз робіт з формоутворення поверхонь в архітектурі та дизайні показав, що саме задачі архітектурного формоутворення і формоутворення дизайн-об'єктів тісно пов'язані з питаннями їх геометричного моделювання.

Можливість варіювання форми поверхні допоможе дизайнерам та архітекторам знайти естетичний вигляд об'єкта без втрати його функціонального призначення. При моделюванні кривих ліній та поверхонь у задачах прикладної геометрії дуже часто використовуються геометричні перетворення.

У представлений роботі розглядаються теоретичні питання можливого використання деяких геометричних перетворень у процесі моделювання дискретних каркасів поверхонь у дизайні. Аналізуються теоретичні можливості усунення недоліків параболічної інтерполяції. Представлено властивості проєктивного перетворення на прикладі перспективного перетворення площин у просторі та афінного перетворення при дискретному моделюванні поверхонь. Кожне з цих перетворень має свої особливості. Так, наприклад, при проєктивному перетворенні – проєкціювальні площини та прямі можуть переходити у площини або прямі загального положення, при афінному перетворенні рівноважної сітки, сітка залишається рівноважною. Метою роботи є аналіз властивостей перспективного перетворення для подальшого його використання при дискретному моделюванні криволінійних поверхонь у дизайн-проєктах.

Ключові слова: геометричне моделювання, геометричні перетворення, проєктивне перетворення, афінне перетворення.

Постановка проблеми. Сучасний стан розвитку технічної естетики, на фоні активного використання криволінійних об'єктів складної форми в архітектурі та дизайн-проектів потребує подальшого удосконалення наявних методів геометричного моделювання. Можливості геометричного моделювання дискретних каркасів поверхонь різноманітних архітектурних форм майже необмежені, але потребують додаткових досліджень. Аналіз геометричних задач, які зумовлені побудовою геометричних моделей пов'язано з можливістю використання тих або інших вихідних даних та врахуванням різноманітних властивостей об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Геометричні перетворення використовуються дуже часто при моделюванні кривих ліній та поверхонь у задачах прикладної геометрії. Найміцнішим апаратом для розв'язання багатьох задач прикладного характеру при моделюванні криволінійних об'єктів складної форми є біраціональні (кремонові) перетворення [1-3]. Неодноразово доведено, що геометричне моделювання технічних об'єктів бажано виконувати на основі біраціональних перетворень, які дозволяють отримувати криві із заданими параметрами та властивостями [4]. Серед таких перетворень, найпростішими вважаються, з точки зору їх завдання, біраціональні перетворення з пучками кривих другого порядку [3], які дозволяють отримати технічні криві різних форм та з різними характеристиками.

Створювати геометричні моделі об'єктів, що зазнали деформаційних змін із можливістю зорового відстеження цих процесів дозволяють політочкові перетворення [5]. Іноземними авторами подібні питання розглядаються у роботі [10] для конструювання поверхонь архітектурних оболонок. Вважається, що саме геометрія визначає вибір геометричної форми поверхні, а інновації сприяють появі нових геометричних форм. Показано, що в архітектурному дизайні найчастіше використовується Евклідова геометрія, а проективна геометрія та перспектива набули значення у готичний період розвитку епохи Відродження і характеризують сучасну архітектуру криволінійних поверхонь [10].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є аналіз властивостей перспективного перетворення для подальшого його використання при дискретному моделюванні криволінійних поверхонь в дизайні статико-геометричним методом.

Основна частина. Одним з найпоширеніших способів утворення кривих ліній та поверхонь є отримання нової кривої або поверхні шляхом перетворення вже відомих геометричних образів [1, 9]. Статико-геометричний метод може бути наочним узагальнюючим методом для розв'язання більшості задач формування дискретних

каркасів поверхонь. Дискретний каркас будь-якої поверхні може бути представлений як такий, що сформований цим методом [9].

Основою узагальнення статико-геометричного методу формування дискретних образів у тривимірному точковому просторі може бути заміна одних параметрів дискретної сітки певними функціями від інших. При цьому, в основі заміни координат вузлів дискретної сітки функціями лежать геометричні перетворення різної природи (алгебраїчні і трансцендентні перетворення, активне перетворення координат). Кожне з цих перетворень має особливості, які можна використати при наданні образу, що формується, певних властивостей геометричного, естетичного або іншого характеру.

Розглянемо можливість використання проєктивного перетворення на прикладі перспективного та афінного перетворення в дискретному геометричному моделюванні поверхонь дизайну.

Проєктивні перетворення є підгрупою біраціональних перетворень в якій зберігається рівність порядків поверхонь-образів та поверхонь-прообразів [1, 3]. Проєктивні перетворення розглядаються у проєктивному просторі, який утворюється при доповненні евклідового простору невласними елементами. Такий підхід дозволяє не розрізняти поняття власних і невласних елементів. Група проєктивних перетворень як підгрупа біраціональних перетворень у декартовій системі координат визначається дрібно-лінійними функціями, які мають вигляд многочленів першого ступеня [4, 9]:

$$\begin{aligned} x' &= \frac{a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z + a_{14}}{a_{41}x + a_{42}y + a_{43}z + a_{44}}; & y' &= \frac{a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z + a_{24}}{a_{41}x + a_{42}y + a_{43}z + a_{44}}; \\ z' &= \frac{a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z + a_{34}}{a_{41}x + a_{42}y + a_{43}z + a_{44}}, \end{aligned} \quad (1)$$

де a_{ij} – коефіцієнти перетворення.

Точкам площини $a_{41}x + a_{42}y + a_{43}z + a_{44} = 0$ відповідають невласні точки тривимірному простору. Оскільки формули (1) є лінійними, то пряма перетворюється на пряму, а площина на площину. Взагалі, порядок і клас кривої або поверхні є інваріантами проєктивного простору [9]. Особливим випадком проєктивного перетворення є перетворення перспективне, у тому випадку, якщо всі прямі, які проходять через відповідні точки простору перетинаються у спільному центрі проєкціювання.

Перспективну відповідність між точками тривимірному простору можна задати центром перетворення, площиною подвійних точок і парою відповідних точок на одному промені [9].

Проективні перетворення та їх властивості достатньо детально описано у будь-якому підручнику з проективної геометрії [4, 9].

Важливою властивістю перспективного перетворення є те, що воно дозволяє перетворювати перетинні прямі (або площини) на паралельні прямі (або площини), невласні точки кривих (або поверхонь) можна перетворити на власні або навпаки.

Розглянемо синтетичне уявлення перспективного перетворення у тривимірному точковому просторі двох перетинних площин на дві паралельні площини.

На рис. 1 представлено апарат перспективного перетворення, який задано: центром S і площиною Γ подвійних точок. Задано дві площини Σ і Δ загального положення, які перетинаються по прямій $a // \Gamma$. Необхідно задати пару відповідних точок A і A'_∞ так, щоб площини Σ і Δ перетворились на паралельні. Для спрощення рис. 1 площини Γ, Σ і Δ задано фронтально-проекціювальними. Лінія a , перетину площин Σ і Δ , після перетворення повинна стати невласною прямою a'_∞ , тоді довільна точка A на прямій a повинна перетворитись на невласну точку A'_∞ на промені SA . Пара відповідних точок A і A'_∞ доповнює задання перспективного перетворення.

Для побудови довільної точки M' (образу), що відповідає довільній точці M (прообразу), необхідно провести пряму AM до перетину у точці $K \equiv K'$ з площиною Γ подвійних точок. Далі, необхідно побудувати пряму $d' // SA'$, відповідну прямій AM , і на ній знайти точку M' як точку перетину прямої d' з променем SM . Оскільки пряма a перетворюється на невласну пряму a'_∞ , то перетворені площини Σ' і Δ' стануть паралельними (рис. 1).

Описана властивість доводить, що використання проективного перетворення дозволить при формуванні дискретних каркасів поверхонь враховувати умови дотику поверхонь до заданих проекціювальних прямих, циліндричних поверхонь тощо.

Афінні перетворення є підгрупою проективних перетворень, які достатньо детально вивчені та описані у літературі [1, 4, 9]. Афінні перетворення відрізняються від проективних тим, що до інваріантів проективних перетворень додається інваріант, за яким невласні елементи простору перетворюються на власні. У цьому випадку зберігається просте відношення трьох точок прямої або паралельність (лінійних підпросторів) прямих або площин [1]. Афінні перетворення аналогічно описуються лінійними функціями:

$$x' = a_1x + a_2y + a_3; y' = b_1x + b_2y + b_3; z' = c_1x + c_2y + c_3. \quad (2)$$

де a_i, b_i, c_i – коефіцієнти афінного перетворення, якщо $a_1 b_2 - a_2 b_1 \neq 0$ [9].

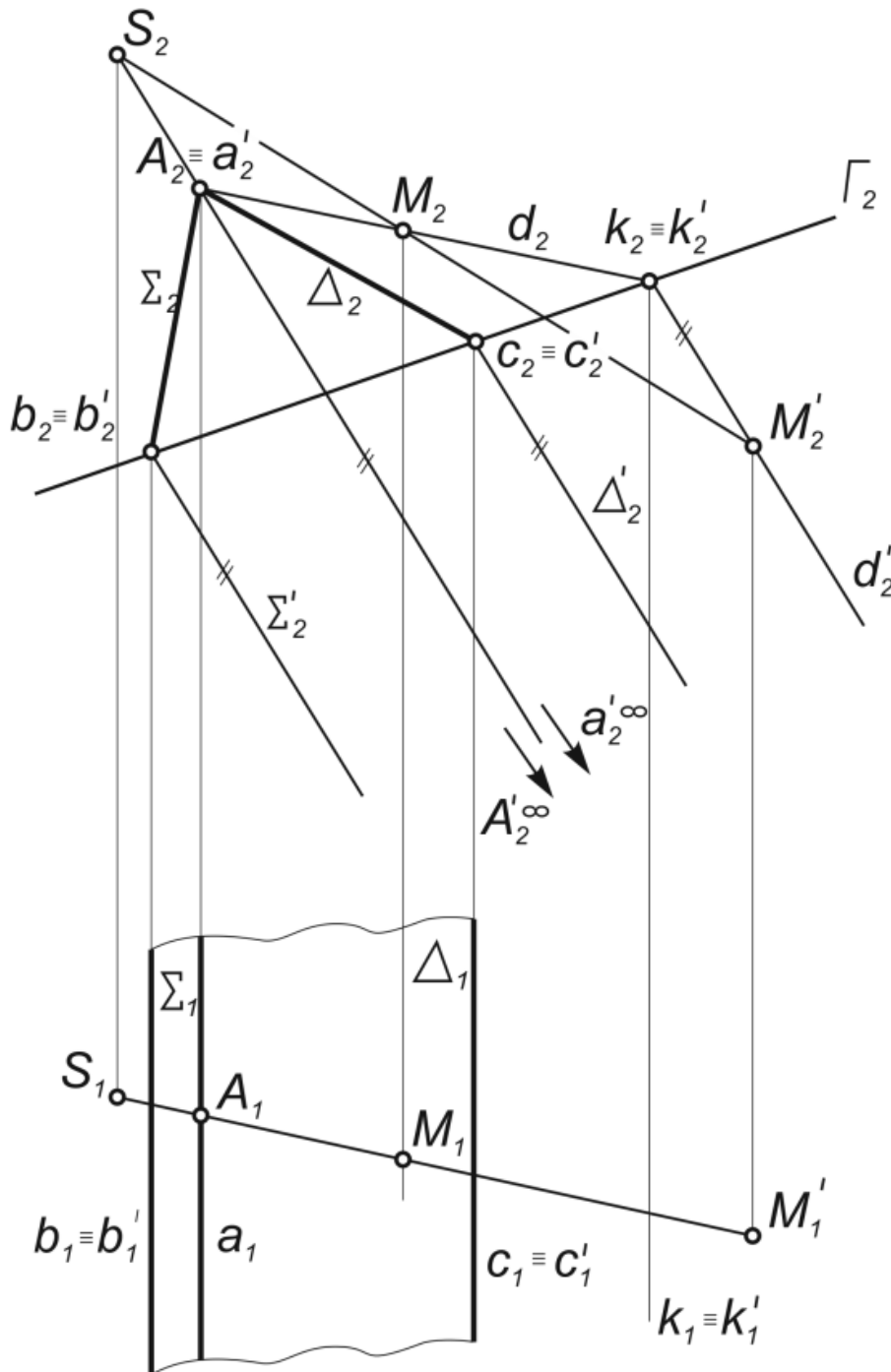


Рис. 1 Приклад перспективного перетворення площин у просторі

В окремому випадку афінні перетворення у тривимірному просторі задаються формулами:

$$x' = k_1 x, \quad y' = k_2 y, \quad z' = k_3 z, \quad (3)$$

де k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти афінного перетворення. З точки зору формування дискретних каркасів кривих ліній або поверхонь важливою є така властивість: при афінному перетворенні врівноваженої дискретної сітки, що формується за статико-геометричним методом, не порушується рівновага цієї сітки [7].

Доведення цієї властивості зводиться до того, що замкнений багатокутник зусиль Варіньйона перетворюється на подібний йому замкнений багатокутник. Іншою важливою властивістю є те, що об'єм який обмежено певними поверхнями при афінному перетворенні з заданими коефіцієнтами, перетворюється на об'єм з тими самими коефіцієнтами перетворення. Ця властивість дозволяє варіювати форму поверхні при сталому обмеженому об'ємі. Найпростіший приклад доведення цієї властивості представлений нижче.

Приклад (рис. 2). Дискретний каркас поверхні на квадратному плані 6×6 клітин, з одиничним кроком сформовано статико-геометричним методом. Задано аплікату центрального вузла A сітки ($z_A = 6$ лін. од.) та опорний контур у вигляді ламаної лінії з чотирьох відрізків у площинах ($y = \pm 3$ лін. од.) та двох півкіл: $x^2 + y^2 = R^2$, $x = \pm 3$ лін. од., радіусом $R = 3$ лін. од.

Для визначення аплікат вузлів дискретної сітки за СГМ складено скорочену систему рівнянь рівноваги вузлів сітки для $1/4$ частини, з урахуванням симетрії вихідних даних:

$$\begin{aligned}
 2z_{10} + 2z_{01} - 4z_{00} + kP &= 0; & z_{01} + z_{10} + z_{21} + z_{12} - 4z_{11} + kP &= 0; \\
 z_{00} + 2z_{11} + z_{20} - 4z_{10} + kP &= 0; & z_{11} + z_{20} + z_{31} + z_{22} - 4z_{21} + kP &= 0; \\
 z_{10} + 2z_{21} + z_{30} - 4z_{20} + kP &= 0; & z_{01} + 2z_{11} + z_{03} - 4z_{02} + kP &= 0; \\
 z_{02} + z_{00} + 2z_{11} - 4z_{01} + kP &= 0; & z_{02} + z_{11} + z_{22} + z_{13} - 4z_{12} + kP &= 0; \\
 & & z_{12} + z_{21} + z_{32} + z_{23} - 4z_{22} + kP &= 0;
 \end{aligned}$$

Визначені аплікати наведено у таблиці 1. Сірим кольором в таблиці 1 виділені аплікати опорного контуру та центрального заданого вузла A .

Таблиця 1

$j = 3$	3,0000	2,0000	1,0000	0,0000
$j = 2$	4,5722	4,1339	3,2813	2,2361
$j = 1$	5,6384	5,2995	4,3729	2,8284
$j = 0$	6,0000	5,6703	4,6996	3,0000
	$i = 0$	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$

Зовнішній вигляд дискретно визначеної поверхні по результатам таблиці 1 представлено на рис. 2, а.

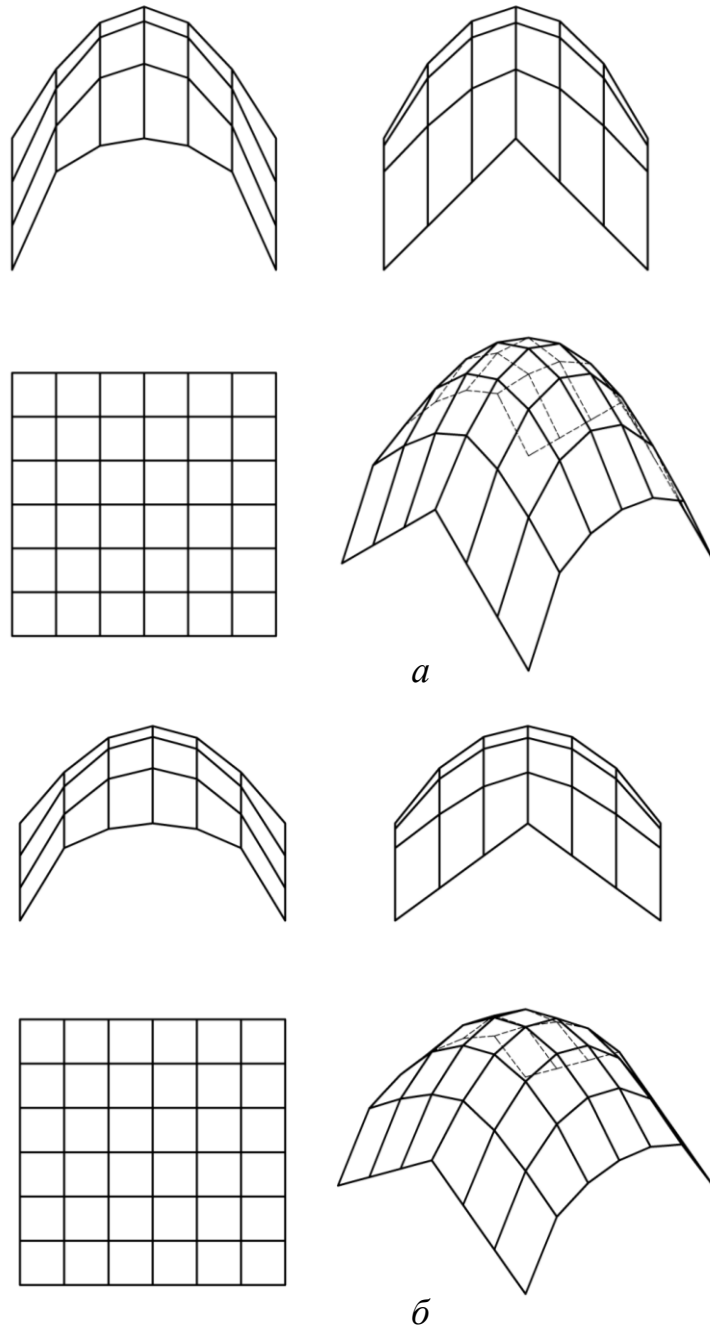


Рис. 2. Приклад використання афінного перетворення каркаса дискретно представленої поверхні

За формулою, наведеною у роботі [7] підраховуємо об'єм, що перекривається дискретно визначеною поверхнею:

$$V = \frac{h^2}{4} \left[z_{00} + z_{m,0} + z_{0,n} + z_{m,n} + 2 \sum_{i=1}^{m-1} (z_{i,0} + z_{i,n}) + 2 \sum_{j=1}^{n-1} (z_{0,j} + z_{m,j}) + 4 \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^{n-1} z_{i,j} \right]$$

$V = 136.64$ куб. од.

Перетворимо сітку у напрямку осі Oz так, щоб об'єм перекритий поверхнею дорівнював $V' = 100.000$ куб. од.

Для цього визначаємо коефіцієнт афінного перетворення:
 $k_z = \frac{V'}{V} = \frac{100.00}{136.64} = 0.7318$. Далі, визначаємо аплікати вузлів нової дискретної сітки, яка перекриває новий об'єм V' , множенням аплікати вихідної сітки на коефіцієнт k_z , за формулами (3).

Оскільки афінне перетворення сітки відбувається вздовж осі Oz коефіцієнти k_x , k_y приймаємо рівними одиниці. Аплікати нової перетвореної дискретно представлені поверхні занесено в таблицю 2.

За цими координатами будуюмо дискретний каркас нової поверхні (рис. 2, б), яка перекриває заданий об'єм V' .

Таблиця 2

$j = 3$	2,1960	1,4640	0,7318	0,0000
$j = 2$	3,3462	3,0254	2,4014	1,6368
$j = 1$	4,1265	3,8784	3,2003	2,0704
$j = 0$	4,3920	4,1498	3,4394	2,1960
	$i = 0$	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$

Висновки. Аналіз існуючих джерел показав, що способи конструювання криволінійних поверхонь ґрунтуються на властивостях кремонових перетворень простору. Найчастіше мова йде про узагальнення на тривимірний простір способів конструювання одновимірних об'єктів. У більшості джерел мова йде про поверхні, які задано аналітичними рівняннями. Більш складною задачею є моделювання поверхонь різноманітних об'єктів за наперед заданими властивостями та на довільних опорних контурах. У таких випадках необхідно використовувати методи дискретної геометрії.

Усунути недоліки параболічної інтерполяції можна за рахунок використання проєктивного перетворення, яке дозволяє привести у відповідність параболі або еліптичному параболоїду, які мають невласну точку, відповідні образи, всі точки яких є власними.

Подальші дослідження будуть спрямовано на моделювання криволінійних поверхонь у дизайн-проектах, які відповідають наперед заданим умовам, з використанням узагальненого статико-геометричного методу та перспективного перетворення.

Література

1. Иванов Г.С. Бирациональные преобразования в моделировании поверхностей: монография. / Г.С. Иванов. – М.: МАИ, 1984. – 44с.
2. Боровиков И.Ф. Геометрические преобразования в инженерной геометрии / И.Ф. Боровиков, Г.С. Иванов // Наука и Образование

- МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Электрон. Журн., 2015. – № 05. – С. 334-347.
3. Боровиков И.Ф. Использование бирациональных преобразований с пучками самосоответственных коник в геометрическом моделировании кривых и поверхностей / И.Ф. Боровиков, Д.В. Бескровный, О.А. Яковчук // Альманах современной науки и образования. – Тамбов: Грамота, 2016. – № 10 (112). – С. 10-12. ISSN 1993-5552. URL: <https://research-journal.org/wp-content/uploads/2011/10/6-5-48.pdf#page=114> (дата обращения 18.11.2018).
 4. Скидан І. А. Узагальнена модель Мебіусових перетворень / І. А. Скидан, О. Г. Гайдар // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий наук.-техн. збірник. – Київ: КНУБА, 1999. – Вип. 66. – С. 39–43.
 5. Сидоренко Ю.В. Система моделювання геометричних об'єктів за допомогою політочкових перетворень / Ю.В. Сидоренко // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий наук.-техн. збірник. – Київ: КНУБА, 2014. – № 92. – С. 118-124.
 6. Ботвіновська С.І. Геометричне моделювання поверхонь СГМ за допомогою перетворення інверсії / С.І. Ботвіновська, С.М. Ковальов, А.В. Золотова // зб. наук. праці МДПУ ім. Б. Хмельницького. – Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2016. – Вип. 5. – С. 47–57.
 7. Ботвіновська С.І. Обчислення об'єму, що перекривається дискретно поданою поверхнею (ДПП), на плані з регулярною триангуляційною сіткою / С.І. Ботвіновська, О.В. Мостовенко // Сучасні проблеми архітектури та містобудування : наук. технічний збірник. – Київ: КНУБА, 2018. – № 50. – С.20–25.
 8. Ботвіновська С.І. Теоретичні основи формоутворення в дискретному моделюванні об'єктів архітектури та дизайну. дис. ...доктора техн. наук. 05.01.01. / С.І. Ботвіновська – Київ.: КНУБА, 2018. – 527с.
 9. Глаголев Н.А. Проективная геометрия: учеб. пособ. для гос. ун-тов. / Н.А. Глаголев – М.: Наука, 1961. – 512 с.
 10. T. Bellone, F. Fiermonte, L. Mussio The common evolution of geometry and architecture from a geodetic point of view. / The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-5/W1, 2017. Geomatics

and Restoration: Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, 22–24 May 2017, Florence, Italy. p.p.623-630. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-623-2017>, 2017 (дата звернення 19.11.2018).

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИСКРЕТНЫХ КАРКАСОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ботвиновская С.И.

Развитие архитектуры в последнее время показало, что одним из факторов восприятия и узнаваемости архитектурного объекта есть его форма, которая должна соответствовать экономическим, эргономическим, геометрическим, статическим, композиционным и другим критериям. Анализ работ, в которых описаны процессы формообразование поверхностей в архитектуре и дизайне, показал, что именно задачи формообразования архитектурных дизайн-проектов тесно связаны с вопросами геометрического моделирования криволинейных поверхностей.

Возможность управления формой таких поверхностей поможет дизайнерам и архитекторам в наглядном поиске эстетического вида объекта без потери его функционального назначения. При моделировании кривых линий и поверхностей в задачах прикладной геометрии очень часто используются геометрические преобразования.

В данной работе рассматриваются теоретические вопросы возможного использования геометрических преобразований в процессе моделирования дискретных каркасов поверхностей в дизайне. Анализируются теоретические возможности устранения недостатков параболической интерполяции. Проанализированы свойства проективного преобразования на примере перспективного преобразования плоскости в пространстве и аффинного преобразования при моделировании дискретных каркасов поверхностей. Каждое из этих преобразований имеет свои особенности. Так, например, при проективном преобразовании – проецирующие плоскости и прямые могут преобразовываться в плоскости или прямые общего положения, при аффинном преобразовании равновесие дискретной сетки сохраняется. Целью работы является анализ свойств перспективного преобразования для дальнейшего его использования в процессе дискретного моделирования криволинейных поверхностей в дизайн-проектах.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, геометрические преобразования, проективное преобразование, аффинное преобразование.

ANALYSIS OF THE USE OF GEOMETRIC TRANSFORMATIONS IN MODELING DISCRETE FRAMEWORK OF SURFACES

Botvinovska S.

The architecture development in recent decades has shown that one of the factors of recognition and acceptance of an architectural object by a society is its form, which has to comply with economic, ergonomic, geometric, static, compositional, and other criteria. The undertaken analysis of some works on surfaces shaping in architecture and designing has shown that the tasks of architectural shaping and design-objects shaping are indeed closely related to the issues of their geometric modeling.

The possibility of varying the shape of the surface can help designers and architects find that aesthetic look of the object and not to lose its functional purpose. Geometrical transformations are very often used for the design of the crooked lines and surfaces in the tasks of the applied geometry

In this paper the theoretical issues of the possible use of geometric transformations in the process of modeling discrete frameworks of surfaces in the design. The theoretical possibilities of eliminating the deficiencies of parabolic interpolation are analyzed. The properties of the projective transformation are analyzed by the example of a perspective transformation of a plane in space and affine transformation when modeling discrete framework of surfaces. Each of these transformations has its own features. For example, under projective transformation, the projection planes and straight lines can transform into planes or lines of general positions, under the affine transformation of the equilibrium grid, the grid remains in equilibrium.

The aim of work is an analysis of properties of perspective transformation for his further using for his further use in the process of discrete design of curvilinear surfaces in the design-projects.

Keywords: geometric modeling, transformations geometric, projective transformation, affine transformation.

УДК 514.18

ДИСКРЕТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБРАЗІВ СУПЕРПОЗИЦІЯМИ ТОЧКОВИХ МНОЖИН ТРАНСЦЕНДЕНТНИХ ФУНКЦІЙ

Воронцов О.В., к.т.н.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія
Кондратюка (Україна)

У статті пропонується застосування у поєднанні з класичним методом скінчених різниць геометричного апарату суперпозицій, що дозволяє істотно підвищити ефективність і розширити можливості процесу дискретного моделювання геометричних образів. Зокрема дослідити можливість використання у якості інтерполянтів не тільки параболічних, а й трансцендентних функціональних залежностей. На основі геометричного апарату суперпозицій одержані обчислювальні шаблони для дискретного формування геометричних образів числовими послідовностями трансцендентних функціональних залежностей, що розширює можливості дискретного геометричного моделювання. Звичайні способи інтерполяції не дозволяють застосовувати трансцендентні функції як інтерполянт тому, що при підстановці в них значень вихідних умов отримуємо систему трансцендентних рівнянь, яку не вдається розв'язати у загальному випадку.

Розроблений спосіб дозволяє проводити трансцендентні криві через задані точки, що у більшості випадків є неможливим при застосуванні звичайних методів інтерполяції.

Результати даної роботи можуть бути основою подальших досліджень дискретного формування геометричних образів одновимірними числовими послідовностями не тільки параболічних, гіперболічних, а й інших елементарних функціональних залежностей, а також можуть бути використані для подальших досліджень суцільної двовимірної інтерполяції геометричних образів складовими каркаса яких будуть дискретні аналоги трансцендентних функцій.

Ключові слова: дискретне моделювання, геометричні образи, метод скінчених різниць, статико-геометричний метод, геометричний апарат суперпозицій, трансцендентні функції.

Постановка проблеми. Синусоїдальна зміна довільної

величини називається гармонійним коливанням. Прикладами можуть бути будь-які коливальні процеси [1]. Коливання широко розповсюджені в природі і техніці. В багатьох випадках вони грають негативну роль. Коливання моста, які виникають внаслідок поштовхів, що передаються йому колесами потягу при проходженні через стики рейок, коливання (вібрації) корпусу корабля, визвані обертанням гребного гвинта, вібрації крил літака – все це процеси, які можуть привести до катастрофічних наслідків. В подібних випадках усувають причини виникнення коливань, або протидіють тому, щоб коливання досягли небезпечних розмірів.

Разом з тим, коливання є основою різних галузей техніки. Так, наприклад, вся радіотехніка заснована на коливальних процесах.

Тому дискретні аналоги синусоїдальних кривих є цікавими для досліджень вищеперерахованих процесів.

У процесі створення методик дискретного моделювання геометричних образів можуть бути використані чисельний метод скінчених різниць, статико-геометричний метод, математичний апарат числових послідовностей, що мають свої переваги і недоліки відносно розв'язання конкретних практичних завдань. Застосування геометричного апарату суперпозицій у поєднанні з вище переліченими методами дозволяє істотно підвищити ефективність і розширити можливості процесу дискретного моделювання геометричних образів ГО. Зокрема дослідити можливість використання у якості інтерполянтів не тільки параболічних функцій, а й інших елементарних функціональних залежностей.

Дослідження можливостей геометричного апарату суперпозицій щодо формування дискретно визначених ГО сприятиме подальшому розвитку і удосконаленню математичних моделей у процесі конструювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [2-9] автора даної статті досліджено аспекти використання для дискретного геометричного моделювання, наряду із параболічними функціями, інших елементарних функціональних залежностей. Одержано обчислювальні шаблони для формування ГО дискретними аналогами показникових та гіперболічних функцій.

Формулювання цілей статті. Метою даної статті є розширення можливостей використання класичного методу скінчених різниць і статико-геометричного методу для дискретного моделювання геометричних образів за рахунок використання у якості інтерполянтів трансцендентних функцій.

Основна частина. Для наочності скінчені різниці часто представляють у вигляді «обчислювальних шаблонів» або

«різницевих операторів» [5]. Такі обчислювальні шаблони, наприклад, для центральних різниць мають вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta y_i &= \textcircled{1} - \textcircled{-1}, \\ \Delta^2 y_i &= \textcircled{1} - \textcircled{-2} + \textcircled{1}, \\ \Delta^3 y_i &= \textcircled{1} - \textcircled{-3} + \textcircled{3} - \textcircled{-1}. \end{aligned}$$

Розглянемо числову послідовність, що є дискретним аналогом синусоїди (1):

$$y_i = \sin i. \quad (1)$$

У роботі [2] було доведено властивість згідно якої координати будь-якої точки одновимірної множини точок є суперпозицією (2) координат трьох довільних точок цієї множини.

$$\begin{aligned} x_0 &= k_1 x_1 + k_2 x_2 + k_3 x_3; \\ y_0 &= k_1 y_1 + k_2 y_2 + k_3 y_3, \end{aligned} \quad (2)$$

де: $k_3 = 1 - k_1 - k_2$.

Та виведені формули (3) для обчислення величин коефіцієнтів суперпозиції k_1, k_2 :

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{(x_0 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_0 - y_3)}{(x_1 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_3)}, \\ k_2 &= \frac{(x_1 - x_3)(y_0 - y_3) - (x_0 - x_3)(y_1 - y_3)}{(x_1 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_3)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Розглянемо можливість утворення обчислювального шаблону для дискретного визначення числової послідовності (1) подібного до шаблонів, які можна утворити для поліноміальних кривих.

Складемо систему рівнянь для визначення ординат вузлових точок послідовності (1) за аналогією із рівняннями (2):

$$\begin{cases} y_i - y_{i+2} = k_1(y_{i-1} - y_{i+2}) + k_2(y_{i+1} - y_{i+2}) \\ y_{i+1} - y_{i+3} = k_1(y_i - y_{i+3}) + k_2(y_{i+2} - y_{i+3}). \end{cases} \quad (4)$$

Із (4) знаходимо [10] вирази для обчислення величин коефіцієнтів суперпозиції подібні формулам (3):

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{(y_i - y_{i+2})(y_{i+2} - y_{i+3}) - (y_{i+1} - y_{i+2})(y_{i+1} - y_{i+3})}{(y_{i-1} - y_{i+2})(y_{i+2} - y_{i+3}) - (y_{i+1} - y_{i+2})(y_i - y_{i+3})}, \\ k_2 &= \frac{(y_{i-1} - y_{i+2})(y_{i+1} - y_{i+3}) - (y_i - y_{i+2})(y_i - y_{i+3})}{(y_{i-1} - y_{i+2})(y_{i+2} - y_{i+3}) - (y_{i+1} - y_{i+2})(y_i - y_{i+3})}. \end{aligned} \quad (5)$$

Значення ординат суміжних точок візьмемо для вихідних даних

$$\begin{aligned} 1. \quad y_{i-1} &= 0,9092974268, \quad y_i = 0,1411200081, \\ y_{i+1} &= -0,7568024953; \quad y_{i+2} = -0,9589242747. \end{aligned}$$

Величини коефіцієнтів суперпозиції для обчислення ординати шуканої точки за даними ординатами трьох суміжних точок визначимо із формул (4):

$$k_1 = 4,806295219952881 \cdot 10^{-1} ; k_2 = 1 ;$$

$$2. y_{i-1} = -0,7568024953 , y_i = -0,9589242747 ,$$

$$y_{i+1} = -0,2794154982 ; y_{i+2} = 0,6569865987 .$$

Величини коефіцієнтів суперпозиції обчислені за формулами (3.38):

$$k_1 = 4,806295219952881 \cdot 10^{-1} ; k_2 = 1 .$$

Як видно із двох вищенаведених прикладів, коефіцієнти суперпозиції трьох суміжних із шуканою точок будуть однаковими тому, як і для поліноміальних кривих може бути утворений обчислювальний шаблон для дискретного моделювання одновимірних геометричних образів шляхом інтерполяції заданих вузлових точок синусоїдальними функціями у вигляді:

$$1 = 0,4806295219952881 - 1 - 0,4806295219952881$$

Для числової послідовності

$$y_i = \text{sh } i$$

обчислювальний шаблон матиме такий же вигляд, як і для числової послідовності $y_i = \text{ch } i$ [9]:

$$1 = 0,244728471055 - 1 - 0,244728471055$$

Обчислювальний шаблон для числової послідовності

$$y_i = \text{th } i$$

матиме вигляд:

$$1 = 0,016 - 7,38 - 6,396$$

Обчислювальний шаблон для числової послідовності

$$y_i = \frac{1}{\text{sh } i}$$

матиме вигляд:

$$1 = 0,042 - 3,25 - 2,292$$

Обчислювальний шаблон для числової послідовності

$$y_i = \frac{1}{\text{ch } i}$$

матиме такий же вигляд:

$$1 = 0,042 - 3,25 - 2,292$$

Висновки. На основі геометричного апарату суперпозицій одержані обчислювальні шаблони для дискретного формування ГО числовими послідовностями трансцендентних функціональних залежностей, що розширює можливості дискретного геометричного моделювання.

Розроблений спосіб дозволяє проводити трансцендентні криві через задані точки, що у більшості випадків є неможливим при застосуванні звичайних методів інтерполяції.

Результати даної роботи можуть бути основою подальших досліджень суцільної двовимірної інтерполяції ГО складовими каркаса яких будуть дискретні аналоги трансцендентних функцій.

Література

1. Воронцов О.В. Рекурентні формули синусоїди у формуванні одновимірних геометричних образів / О.В. Воронцов, Л.О. Тулупова // Сучасні проблеми моделювання. Збірник наукових праць Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького. – Мелітополь: МДПУ, 2015. – Випуск 4. – С. 26 – 30.
2. Воронцов О.В. Дискретное моделирование кривых поверхностей суперпозициями двумерных точечных множеств / О.В. Воронцов, Л.О. Тулупова // Сборник статей по материалам XL международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике». – Новосибирск, 2014. – №11 (36). – С. 7 – 16.
3. Воронцов О.В. Определение дискретных аналогов гиперболических функциональных зависимостей суперпозициями одномерных точечных множеств. [Электронный ресурс] / О.В. Воронцов // Universsum. Сер.: Технические науки: электрон. научн. журн., 2015. – № 6(18). – Режим доступа: URL: <http://7universsum.com/ru/tech/archive/item/1135>.
4. Воронцов О.В. Дискретна інтерполяція суперпозиціями одновимірних точкових множин показникових функцій. // Прикладна геометрія та інженерна графіка.: зб. наук. праць – Вип. 94. – К.: КНУБА, 2018. – С. 296-300.
5. Vorontsov, O.V., Tulupova L.O. (2015). Superpositions of one-dimensional numerical sequences of hyperbolical functions in creation of geometrical images. Canadian Journal of Education and Engineering, Volume III (12), 74 – 80.
6. Vorontsov, O.V., Tulupova L.O. (2015). Recurrence formulae of a catenary in creation of geometric images. Oxford Journal of Scientific research, Volume IV (9), 134 – 140.

7. Vorontsov, O.V. (2014). Superposition point set of n -dimensional numerical sequence in discrete geometric modeling. British Journal of science, Education and culture. Volume I (6), 137 – 144.
8. Vorontsov, O.V., Tulupova L.O., Vorontsova, I.V. (2018). Parabolic discrete interpolation by superpositions of one-dimensional point sets. Journal of Engineering Education, Volume 107 (2), 134 – 140.
9. Vorontsov, O.V., Tulupova L.O., Vorontsova, I.V. (2018). Discrete modeling of building structures geometric images. International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.2), 727-731.

ДИСКРЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ СУПЕРПОЗИЦИЯМИ ТОЧЕЧНЫХ МНОЖЕСТВ ТРАНСЦЕНДЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ

Воронцов О.В.

В статье предлагается применение в сочетании с классическим методом конечных разностей геометрического аппарата суперпозиций, что позволяет существенно повысить эффективность и расширить возможности процесса дискретного моделирования геометрических образов. В частности исследовать возможность использования в качестве интерполлянтов не только параболических, но и трансцендентных функциональных зависимостей. На основе геометрического аппарата суперпозиций получены вычислительные шаблоны для дискретного формирования геометрических образов (ГО) числовыми последовательностями трансцендентных функциональных зависимостей, что расширяет возможности дискретного геометрического моделирования. Обычные способы интерполяции не позволяют применять трансцендентные функции как интерполлянт, так как при подстановке в них значений исходных условий получим систему трансцендентных уравнений, которую не удастся решить в общем случае.

Разработанный способ позволяет проводить трансцендентные кривые через заданные точки, что в большинстве случаев невозможно при применении обычных способов интерполяции.

Результаты данной работы могут быть основой дальнейших исследований дискретного формирования геометрических образов одномерными числовыми последовательностями не только параболических, трансцендентных, но и других элементарных функциональных зависимостей, а также могут быть использованы для дальнейших исследований сплошной двумерной интерполяции ГО

составляющими каркаса которых будут дискретные аналоги трансцендентных функций.

Ключевые слова: дискретное моделирование, геометрические образы, метод конечных разностей, статико-геометрический метод, геометрический аппарат суперпозиций, трансцендентные функции.

DISCRETE MODELLING OF GEOMETRIC IMAGES BY SUPERPOSITIONS OF POINT SETS OF TRANSCEDENTAL FUNCTIONS

Vorontsov O.

In this article it was proposed to use a geometric apparatus of superpositions together with a classical method of finite differences. This can significantly improve the efficiency and enhance the ability of a discrete modeling process of geometric images. In particular, it also allows examining a possibility of using not only parabolic functional dependencies, but transcendental ones as interpolants. On the basis of the geometrical apparatus of superpositions computational templates were obtained. These templates can be used for discrete formatting geometric images by numerical sequences of transcendental functional dependencies. It extends capabilities of discrete geometric modeling.

Conventional methods of interpolation don't allow using of transcendental functions as interpolants, since if we substitute values of initial conditions into them; we obtain a system of transcendental equations, which cannot be solved in a general case.

The developed method allows conducting transcendental curves through predetermined points, which isn't possible in most cases by conventional interpolation methods.

The results of this work can be a basis for further studies of discrete forming of geometrical images by one-dimensional numerical sequences as parabolic and transcendental functional dependencies as other elementary ones. They can also be used for further studies of continuous two-dimensional interpolation. Components of the frame of this interpolation will be discrete analogs of transcendental functions.

Keywords: discrete modeling, geometric images, method of finite differences, static-geometric method, geometrical apparatus of superpositions, transcendental functions.

УДК 514.18

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА ПОВЕРХНОСТЕЙ, ЗАДАННЫХ МАССИВОМ ТОЧЕК

Гавриленко Е.А., к.т.н.,

Холодняк Ю.В., к.т.н.,

Пахаренко В.О., д.т.н.,

Подкорытов А.Н., д.т.н.

Мелитопольская школа прикладной геометрии,

Таврический государственный агротехнологический университет

(Мелитополь, Украина)

Целью статьи является разработка технологии проектирования компьютерных моделей поверхностей, заданных массивом точек, и программ их обработки на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Основное требование к поверхностям изделий, взаимодействующих со средой, – обеспечение заданного характера их обтекания. Функциональные качества поверхности обеспечиваются ее геометрическими характеристиками. Ламинарный характер обтекания поверхностей можно обеспечить за счет монотонного изменения значений кривизны, кручения, радиусов соприкасающихся сфер вдоль линий, входящих в определитель поверхности. Исходными данными для формирования линейных элементов каркаса поверхности является исходный точечный ряд и геометрические свойства кривой. Разработаны методы формирования плоских и пространственных кривых с закономерным изменением характеристик на основе произвольного точечного ряда. На каждом участке, ограниченном последовательными точками, определяется область, внутри которой расположены все кривые линии, отвечающие условиям задачи. Полученная кривая, представленная новым точечным рядом, состоящим из сколь угодно большого числа точек, считается сформированной в случае, когда область ее возможного расположения не превышает заданной величины. Практическое применение предложенной технологии продемонстрировано на примере проектирования поверхностей межлопаточного канала рабочего колеса турбокомпрессора и рабочей поверхности дисковой фрезы для рыхления почвы. Разработанная технология проектирования поверхностей сложных технических изделий включает в себя создание геометрических моделей поверхностей и управляющих программ для их обработки на станках с ЧПУ.

Ключевые слова: динамическая поверхность, каркас поверхности, линейный элемент модели, дискретно представленная

кривая, закономерное изменение дифференциально-геометрических характеристик.

Постановка проблемы. Геометрическое моделирование дискретно представленной поверхности (ДПП) может осуществляться путем организации, на основе исходного множества точек, каркаса, состоящего из дискретно представленных кривых (ДПК). Далее поверхность моделируется путем формирования одномерных обводов, образующих ее каркас. При этом на формируемые одномерные обводы могут накладываться различные дополнительные условия. Такими условиями могут быть отсутствие осцилляций, фиксированные характеристики и порядок гладкости формируемых обводов, другие требования. В случае моделирования динамической поверхности важным требованием является монотонный характер изменения значений кривизны вдоль линий каркаса [2].

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] проведен анализ существующих методов дискретного геометрического моделирования и определены пути их дальнейшего развития. Предложены основные подходы к решению задачи формирования ДПП. Среди последних отметим моделирование ДПП как однопараметрического множества кривых линий, на основе методов одномерной интерполяции.

В работе [3] предложен метод дискретного геометрического моделирования плоских обводов второго порядка гладкости с монотонным изменением кривизны. Метод позволяет определить всю область возможного решения и с учетом дополнительных условий выбрать оптимальное решение.

Формулировка целей статьи. Целью данной работы является разработка технологии проектирования компьютерных моделей поверхностей, заданных массивом точек.

Основная часть. Разработанная технология формирования компьютерной модели поверхности включает следующие этапы.

1. Из исходного массива точек выделяются точечные ряды, представляющие плоские или пространственные кривые линии – линейные элементы каркаса поверхности. Полученные ДПК разбиваются на участки, на основе которых возможно сформировать монотонные кривые.

2. С помощью программного обеспечения, разработанного в системе компьютерной алгебры Maple, на основе исходных ДПК формируются точечные ряды, состоящие из сколь угодно большого числа узлов, которые возможно интерполировать кривыми с заданными свойствами.

3. В системе трехмерного параметрического моделирования

SolidWorks на основе полученных ДПК формируются обводы, состоящие из участков непрерывных кривых с заданными характеристиками. Обводы используются в качестве линейных элементов каркаса поверхности.

Практическое применение разработанной технологии показано на примере проектирования поверхностей межлопаточного канала рабочего колеса турбокомпрессора.

Межлопаточный канал рабочего колеса турбокомпрессора ограничен поверхностями ступицы, крышки и соседних лопаток.

Исходными данными для моделирования рабочей поверхности лопатки является упорядоченный массив точек, принадлежащих семейству горизонтальных плоскостей. На основе исходного точечного массива формируется семейство плоских ДПК (рис. 1). В результате сгущений исходных ДПК получены точечные ряды, определяющие кривые с монотонным изменением радиусов кривизны. Максимальная абсолютная погрешность формирования монотонных кривых составляет 10^{-4} .

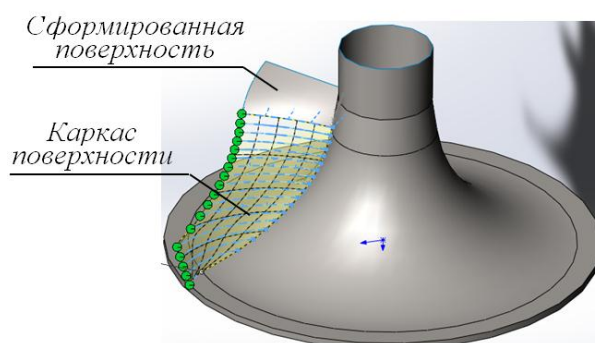


Рис. 1. Формирование каркаса поверхности лопатки

Направляющие линии каркаса сформированы на основе точечных рядов, расположенных на ступице и кромке лопатки. На основе исходного точечного ряда сформированы пространственные ДПК правого хода, вдоль которых радиусы соприкасающихся сфер и окружностей монотонно возрастают.

Полученные ДПК интерполированы В-сплайном в пакете трехмерного параметрического моделирования SolidWorks. После этого с помощью стандартных функций сформирована модель рабочей поверхности лопатки. На основе полученной модели с помощью функций САМ-пакетов создается управляющая программа для станков с ЧПУ.

Выводы. В результате проведенных исследований разработана технология проектирования сложных поверхностей технических изделий. Технология включает в себя создание геометрических моделей поверхностей и управляющих программ для их обработки на станках с ЧПУ.

Из исходного массива точек выделяются подмножества – точечные ряды, на основе которых формируются линейные элементы каркаса поверхности. Компьютерная модель поверхности создается на основе дискретного линейчатого каркаса, представленного семействами образующих и направляющих кривых линий. Управляющая программа создается в автоматизированном режиме с использованием САМ-пакетов на основе трехмерной компьютерной модели, сформированной в пакете трехмерного моделирования SolidWorks.

Литература

1. Найдиш В.М. Дискретна інтерполяція. [для студентів вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації] / В.М. Найдиш. – Мелітополь: Люкс, 2008. – 250 с.
2. Осипов В.А. Машинные методы проектирования непрерывно-каркасных поверхностей / В.А. Осипов. – М.: Машиностроение, 1979. – 248 с.
3. Холодняк Ю.В. Формування ділянки дискретно представленої кривої із монотонною зміною кривини / Ю.В. Холодняк // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Мелітополь, 2013. – Вип. 4, т. 57. – С. 211-216.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КАРКАСУ ПОВЕРХОНЬ, ЯКІ ЗАДАНІ МАСИВОМ ТОЧОК

Гавриленко Є.А., Холодняк Ю.В., Пахаренко В.А., Подкорытов А.Н.

Метою статті є розробка технології проектування комп'ютерних моделей поверхонь, заданих масивом точок, та програм їх обробки на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Основна вимога до поверхонь виробів, які взаємодіють із середовищем, - забезпечення заданого характеру їх обтікання. Функціональні якості поверхні забезпечуються її геометричними характеристиками. Ламінарний характер обтікання поверхонь можна забезпечити за рахунок монотонної зміни значень кривини, скруту, радіусів стичних сфер уздовж ліній, що входять у визначник поверхні. Вихідними даними для формування лінійних елементів каркасу поверхні є вихідний точковий ряд і геометричні властивості кривої. Розроблено методи формування плоских і просторових кривих із закономірною зміною характеристик на основі довільного точкового ряду. На кожній ділянці, обмеженій послідовними точками, визначається область, усередині якої розташовані всі криві лінії, що відповідають умовам задачі. Отримана крива, яка представлена новим точковим рядом, що складається з будь-якої кількості точок, вважається сформованою, якщо область її

можливого розташування не перевищує заданої величини. Практичне застосування запропонованої технології продемонстровано на прикладі проектування поверхонь міжлопаткового каналу робочого колеса турбокомпресора та робочої поверхні дискової фрези для розпушування ґрунту. Розроблена технологія проектування поверхонь складних технічних виробів включає створення геометричних моделей поверхонь та керуючих програм для їх обробки на верстатах з ЧПУ.

Ключові слова: динамічна поверхня; каркас поверхні; лінійний елемент моделі; дискретно представлена крива; закономірна зміна диференціально-геометричних характеристик.

MODELING THE ELEMENTS OF SURFACE FRAME WHICH ARE ASSIGNED BY ARRAY OF POINTS

Gavrilenko Eu., Kholodnyak Yu., Pakharenko V., Podkorytov A.

The purpose of the research is the development of technology of design of computer models of surfaces defined by points array, and programs of their processing on the machines with computer numerical control (CNC). The main requirement to the surface of products which interact with the environment, is to ensure a given character of their flow. Functional quality of the surface is ensure by its geometric characteristics. Laminar nature of flow of surfaces can be provided by monotonous change of curvature values, torsion, radiuses of adjoining spheres along the curves that are part of the determinant of the surface. The initial points set and geometrical characteristics of the curve are the initial data for the formation of linear elements of carcass of surface. The methods of formation of plane and spatial curves with regular change of characteristics on the basis of an arbitrary points set is developed. At each site, which is bounded by successive points the area within which are all the curves corresponding to the conditions of the problem is determined. The resulting curve, which is represented by a new point series consisting of an arbitrarily large number of points, it is considered formed when the area of its possible location is less than a predetermined value. Practical application of the proposed technology is demonstrated by the example of designing of surfaces inter scapular channel of impeller of the turbocharger and the working surface of the disk cutter for loosening the soil. The developed technology for the design of surfaces of complex technical products includes the creation of geometric models of surfaces and control programs for their processing on CNC machines.

Keywords: dynamic surface; carcass of surface; linear element of model; discretely represented curve; regular change of curvature and torsion.

УДК 514.18

МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДІЄНТА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТУПЕНЯ ЧОРНОТИ ПОВЕРХНІ В МОДУЛІ

Гумен О.М., д.т.н.,
Лебедева О.О.

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)*

Зроблено огляд сучасного стану та основних напрямків досліджень щодо моделювання розподілу температурних полів у виробничому приміщенні. З метою підвищення енергозбереження і заощадження паливних ресурсів дослідження теплових процесів потребують подальшого розвитку. Актуальність такого завдання як економія енергетичних ресурсів на виробництві робить зрозумілим необхідність продовження досліджень у цьому напрямку із залученням геометричних прийомів і новітніх інформаційних технологій для створення комп'ютерних образних моделей температурного поля приміщення.

Встановлено, що на температурне поле приміщення значно впливає чорнота поверхонь виробничого модулю. Ступінь чорноти матеріалів залежить від ряду факторів, а саме: шорсткості, способу обробки поверхні, температури, довжини хвилі, покриття. Створення коректної моделі потребує врахування їх усіх причому в динаміці технологічного процесу.

Для проведення детального дослідження ступеня чорноти в імпровізованому модулі виробничого приміщення був розроблений спеціальний експериментальний стенд. Аналізуючи результати проведених у ході експерименту вимірювань, відзначаємо, що при підвищенні температури, а також при тривалому знаходженні зразків при підвищеній температурі ступінь чорноти зразків збільшується в зв'язку з процесами окислення на їх поверхні, що не враховується в зазначених у довідниковій літературі даних.

Отримані значення були використані при моделюванні зміни температурного градієнта, створенні образної моделі температурного поля для доповнення аналізу застосування різних матеріалів, порівняння їх характеристик для вибору матеріалу з необхідним ступенем чорноти поверхні. Такий підхід до моделювання теплових процесів забезпечує підвищення ефективності дослідження різноманітних технологічних процесів у складних багатопараметричних динамічних системах.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, чорнота поверхні, температурне поле, тепловий процес.

Постановка проблеми. В останні роки світові тенденції спрямовані на підвищення енергозбереження і раціонального використання природних ресурсів призвели до сплеску досліджень теплових процесів. Функціонування сучасних виробничих комплексів характеризується постійним зростанням споживання електроенергії, тому не дивують поява програм, спрямованих на заощадження енергії, підвищені вимоги до забезпечення економічності та екологічності роботи в цілому. В таких умовах загострюються проблеми раціонального використання енергетичних і матеріальних ресурсів, вирішення яких покликане підвищити економічність та екологічність роботи підприємства шляхом впровадження низки енергозберігаючих заходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи останні публікації з наукового напрямку, який стосується досліджень температурного простору промислових будівель [1-3], приходимо до висновку, що при розгляді теплових процесів у приміщенні не достатньо залучаються можливості інформаційних графічних технологій. У той час як сучасні прийоми проведення досліджень, використовуючи повною мірою геометричний апарат візуалізації та методику аналізу та обробки отриманих даних [4], дозволять значно ефективніше здійснювати контроль параметрів температурного простору промислових будівель різного призначення.

Формулювання цілей статті. Метою даної публікації є на прикладі дослідження зміни температурного градієнта в залежності від ступеня чорноти поверхні розглянути питання, які потрібно розв'язати в теоретичному та практичному плані для вдосконалення підходів до створення моделей температурних полів у виробничому приміщенні.

Основна частина. Для вимірювання ступеня чорноти поверхонь твердих тіл застосовуються методи, засновані на порівнянні величини вимірюваної оптичним пірометром потужності променистого потоку нагрітих тіл з певним ступенем чорноти поверхні з потужністю променистого потоку тіла з невідомим ступенем чорноти, яку потрібно визначити, а також на порівнянні температури випромінюючих поверхонь твердого тіла з певним ступенем чорноти з температурою випромінюючої поверхні тіла з невідомим ступенем чорноти.

Ступінь чорноти матеріалів залежить від таких факторів, як шорсткість і спосіб обробки поверхні, температура, довжина хвилі,

покриття. Тому дослідження ступеня чорноти поверхні проводилися експериментально в лабораторних умовах.

Аналізуючи результати проведених вимірювань, можна відзначити, що при підвищенні температури, а також при тривалому знаходженні зразків при підвищеній температурі ступінь чорноти зразків збільшується в зв'язку з процесами окислення на їх поверхні.

Розрахунки фактично проводилися з урахуванням залежності Q від трьох параметрів: стаціонарної температури T_s , ступеню чорноти поверхні ε і коефіцієнта променевого теплообміну α , причому враховувалася залежність $\alpha(T_s)$, відображена на рис.1.

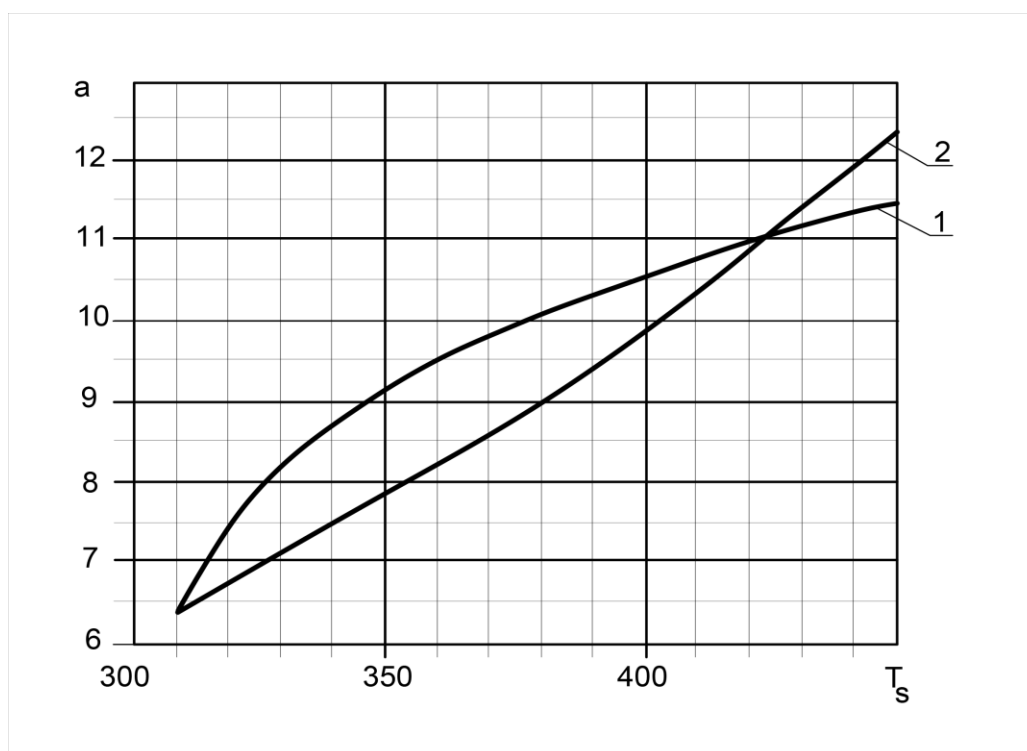


Рис. 1. Залежність коефіцієнта конвективного теплообміну (крива 1) і коефіцієнта променевого теплообміну для абсолютно чорної поверхні (крива 2) від температури T_s

У стаціонарному тепловому режимі питома теплова потужність, а точніше поверхнева щільність потужності, що розсіюється конвекцією і випромінюванням у зовнішнє середовище, Q , Вт/м² визначається за відомими значеннями T_s і α [3].

Значення поверхневої щільності потужності, що розсіюється конвекцією і випромінюванням в зовнішнє середовище, Q в залежності від температурного рівня і ступеня чорноти поверхні представлені на рис.2.

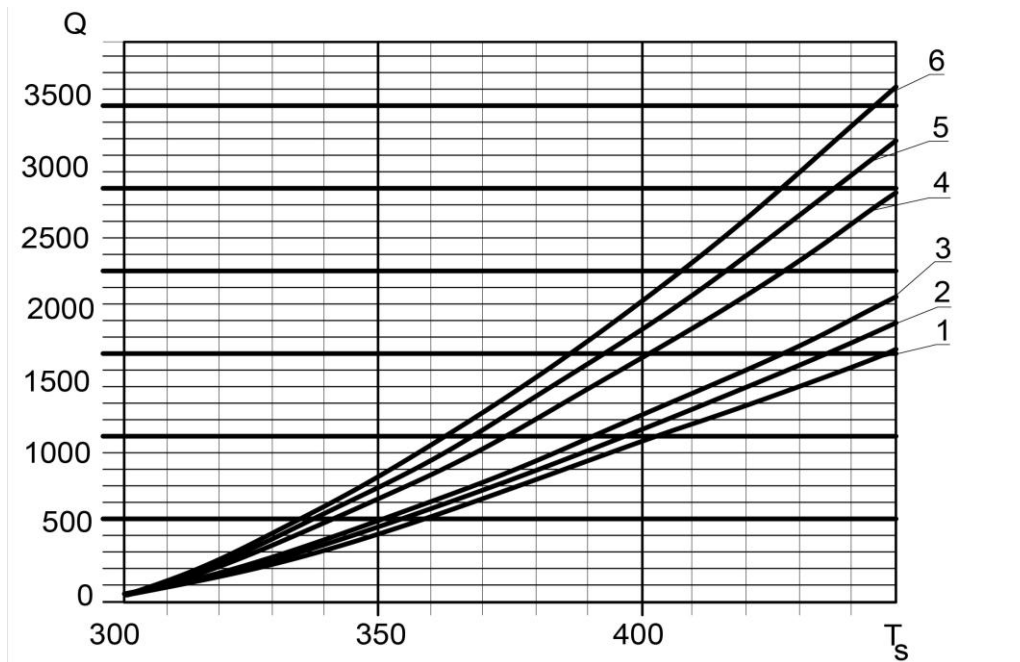


Рис. 2. Залежність поверхневої щільності потужності від температури поверхні: 1 – при $\varepsilon=0,01$; 2 – при $\varepsilon=0,1$; 3 – при $\varepsilon=0,2$; 4 – при $\varepsilon=0,6$; 5 – при $\varepsilon=0,8$; 6 – при $\varepsilon=1$

Висновки. Отримані експериментальні дані були використані при моделюванні зміни температурного градієнта і створенні образної моделі температурного поля для доповнення аналізу застосування матеріалів з різним ступенем чорноти поверхні. Такий підхід до моделювання теплових процесів забезпечує підвищення ефективності дослідження різноманітних технологічних процесів у складних багатопараметричних динамічних системах.

Література

1. Гумен О.М. Інформаційні графічні засоби подання простору температурного поля промислових будівель / О.М.Гумен, Є.В.Мартин, Н.А.Сподинюк, С.Є.Лясковська // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ, 2017. – Вип.3(62). – Т.2. – С. 269-273.
2. Gumen O. Research of thermal processes in industrial premises with energy-saving technologies of heating / O. Gumen, N. Spodyniuk, M. Ulewicz, Ye. Martyn // Diagnostyka. – № 18(2), 2017. – P.43-49.
3. Лепеш Г.В. Разработка экспериментально-методического обеспечения для исследования физических характеристик радиационных электронагревателей / Г.В. Лепеш, Г.С. Сухов, Л.В. Карп, М.Ю. Шмелёв // Техничко-технологические проблемы сервиса, 2007. – №1(1). – С. 22-33.

4. Гумен О.М. Візуальне програмування задач механіки із залученням геометричних засобів САД-систем / О.М. Гумен, С.Є. Ляковська, Є.В. Мартин // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип.4. – Т.55. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – С. 68-75.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ПОВЕРХНОСТИ В МОДУЛЕ

Гумен Е.Н., Лебедева О.А.

Сделан обзор современного состояния и основных направлений исследований по моделированию распределения температурных полей в производственном помещении. С целью повышения энергосбережения и экономии топливных ресурсов исследования тепловых процессов требуют дальнейшего развития. Актуальность такой задачи как экономия энергетических ресурсов на производстве делает понятной необходимость продолжения исследований в этом направлении с привлечением геометрических приемов и новейших информационных технологий для создания компьютерных образных моделей температурного поля помещения.

Установлено, что на температурное поле помещения значительно влияет чернота поверхностей производственного модуля. Степень черноты материалов зависит от ряда факторов, а именно: шероховатости, способа обработки поверхности, температуры, длины волны, покрытия. Создание корректной модели требует учета их всех причем в динамике технологического процесса.

Для проведения детального исследования степени черноты в импровизированном модуле производственного помещения был разработан специальный экспериментальный стенд. Анализируя результаты проведенных в ходе эксперимента измерений, отмечаем, что при повышении температуры, а также при длительном нахождении образцов при повышенной температуре степень черноты образцов увеличивается в связи с процессами окисления на их поверхности, что не учитывается в указанных в справочной литературе данных.

Полученные значения были использованы при моделировании изменения температурного градиента, создании образной модели температурного поля для дополнения анализа применения различных материалов, сравнение их характеристик для выбора материала с необходимой степенью черноты поверхности. Такой подход к моделированию тепловых процессов обеспечивает повышение

эффективности исследования различных технологических процессов в сложных многопараметрических динамических системах.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, чернота поверхности, температурное поле, тепловой процесс.

MODELING OF TEMPERATURE GRADIENT CHANGE IN DEPENDENCE OF THE SURFACE EMISSIVITY IN THE MODULE

Gumen O., Lebedieva O.

An overview of the current state and main directions of research on the modeling of the temperature fields distribution in the production premises is made. In order to increase energy and fuel resource saving research on thermal processes needs further development. The actuality of such a task as saving energy resources in the work makes it clear the need to continue research in this direction with the involvement of geometric techniques and the latest information technology to create computer models of the temperature field of the premises.

It was established that the surface emissivity of the production module significantly affects the room temperature. The emissivity of materials depends on a number of factors, namely: roughness, surface treatment method, temperature, wavelength, coating. Creating the correct model requires taking into account all of them in the dynamics of the technological process.

For a detailed study of the emissivity in the improvised module of the production premises a special experimental stand was developed. Analyzing the results of the measurements carried out during the experiment, we note that with increasing temperature, as well as with the long finding of samples at elevated temperature, the emissivity of the samples increases due to the oxidation processes on their surface, which is not taken into account in the data specified in the reference literature.

The obtained values were used in modeling of temperature gradient change, creation of a model of the temperature field to supplement the analysis of the use of different materials, comparing their characteristics to select the material with the required degree of the surface emissivity. Such an approach to the modeling of thermal processes provides an increase in the efficiency of research of various technological processes in complex multiparameter dynamic systems.

Key words: computer modeling, surface emissivity, temperature field, thermal process.

УДК 514.18

ФОРМУВАННЯ БАГАТОЛАНКОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ У НЕВАГОМОСТІ ПІД ВПЛИВОМ ІМПУЛЬСІВ НА КІНЦЕВІ ТОЧКИ ЇЇ ЛАНОК

Запольський Л.Л., к.т.н.

*Український науково-дослідний інститут цивільного захисту
(м. Київ, Україна),*

Адашевська І.Ю., к.т.н.

*Національний технічний університет «ХПІ»
(м. Харків, Україна)*

Наведено геометричну модель нового способу розкриття в умовах невагомості багатоланкової стержневої конструкції, елементи якої з'єднані подібно багатоланковому маятнику. Розкриття ланок конструкції відбувається завдяки впливу імпульсів піротехнічних реактивних двигунів на їх кінцеві точки. На орбіту комплекти стержнів доставляються у складеному вигляді (касети), після чого необхідно виконати операцію її розкриття для надання робочої форми всій просторовій стержневій конструкції. Розрахунок стержневих конструкцій такого класу пропонується здійснювати на основі Лагранжевої динаміки багатоланкових маятників як консервативної системи. Це дозволить одержати геометричні моделі послідовних фаз розкриття стержневих конструкцій з врахуванням динамічних властивостей. Застосування таких моделей на етапі проектування при подальших дослідженнях допоможе розрахувати параметри функціонування конструкції в цілому.

На актуальність обраної теми вказує необхідність вибору та дослідження можливого рушія процесу розкриття стержневої конструкції маятникового типу. Пропонується використати імпульсні піротехнічні реактивні двигуни, встановлені на кінцевих точках ланок стержневої конструкції. Вони набагато легші і дешевші порівняно, наприклад, з електродвигунами або пружинними пристроями. Особливо це важливо, коли на орбіті процес розкриття конструкції планується здійснити лише один раз. Найчастіше саме одноразово використовуються на орбіті рушії процесу розкриття стержневих конструкцій. Опис динаміки одержаного інерційного розкриття багатоланкової стержневої конструкції виконано за допомогою рівняння Лагранжа другого роду.

Результати призначено для використання при проектуванні систем розкриття великогабаритних конструкцій в умовах невагомості, наприклад, силових каркасів для сонячних дзеркал чи

космічних антен.

Ключові слова: стержнева конструкція, процес розкриття у космосі, багатоланкова стержнева конструкція, рівняння Лагранжа другого роду

Постановка проблеми. Розвиток космічних технологій у провідних країнах світу потребує спорудження великогабаритних конструкцій як силових каркасів космічних антен, дзеркал та інших орбітальних інфраструктур [1]. При цьому на підготовлені стержневі конструкції закріплюються відбивальні поверхні, виготовлені, або з відбиваючого світло полотна – для космічних дзеркал, або з металевих дротів (сіткоплатна) – для космічних антен. Ці об'єкти є унікальними за земними масштабами. Створення великогабаритних конструкцій, що трансформуються у космосі, пов'язано з рішенням ряду проблем техніки і механіки, обумовлених унікальністю об'єктів. В результаті виникає питання про адаптування до невагомості процесу коливання багатоланкового маятника як основи геометричної моделі розкриття багатоланкової стержневої конструкції орбітального об'єкта. Відповідь на нього можна знайти шляхом застосування рівнянь Лагранжа другого роду для механічних систем у невагомості. Все це вказує на актуальність теми досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2] розглядається методика моделювання динамічного процесу розкриття стержневого каркасу космічного базування рефлектора антени. В роботі [3] описано математичні моделі механізмів розкриття, тросової синхронізації, гальмування й фіксації панелей. Але в таких моделях механізмів розкриття не використовується інерційний спосіб трансформування великогабаритних сонячних батарей, а перевага віддається тросовій синхронізації, що складно реалізується для великогабаритних конструкцій. Увагу привертає спосіб забезпечення необхідного кінцевого розташування ланок маятника обмеженим моментом, прикладеним до першої ланки. У роботі [4] побудовано закон керування багатоланковим маятником на площині в околиці заданого положення рівноваги у формі зворотного зв'язку. Але такі роботи орієнтовані переважно на керуванням рівновагою оберненого маятника на візку у полі земного тяжіння. На практиці більш вживаними є каркасні тросові системи розкриття. У роботах [5, 6] наведені математичні моделі процесу розкриття багатоланкової каркасної конструкції сонячної батареї із тросовою системою синхронізації. Але застосування тросової системи розкриття на практиці обмежено розмірами конструкції та необхідністю синхронізувати дію електродвигунів, що є самостійною задачею при великій кількості ланок. Тому доцільним буде розробити інерційну

систему розгортання стержневих конструкцій з використанням нестандартних рушіїв розкриття.

Формулювання цілей статті. Продемонструвати інерційну систему розгортання конкретних стержневих конструкцій, де ініціювання їх розкриття у просторі здійснюється імпульсами піротехнічних реактивних двигунів, які впливають на вузлові елементи конструкції.

Основна частина. Вважатимемо, що циліндричні шарніри у вузлах стержневих конструкцій забезпечують їх розкриття лише у межах абстрактної площини, яка проходить через нерухому точку конструкції. Кожний імпульсний піротехнічний реактивний двигун повинен забезпечити розраховану для нього величину імпульсу. Крім того, реактивні двигуни повинні закріплюватися так, щоб дія була спрямована по нормалі до відповідної ланки.

В статтях [7, 8] наведено розрахунки розкриття чотириланкової стержневої конструкції, алгоритмами яких скористаємося в даній роботі. Наведемо тестові приклади геометричного моделювання розкриття чотириланкових каркасів шляхом розв'язання системи рівнянь Лагранжа другого роду. Як перспективний варіант, розглянемо стержневу конструкцію, складену з шести чотириланкових конструкцій зі спільним вузлом кріплення, кути між якими 60 градусів. Вважається, що розкриття стержневої конструкції здійснюють на близько розташованих паралельних площинах і не перешкоджають взаємним переміщенням.

Після виконання програми одержимо послідовність кадрів анімаційних зображень залежно від часу розкриття конструкції. За допомогою комп'ютерної анімації можна визначити моменти часу, коли виникне необхідне розташування стержневих конструкцій. Одночасно видаються наближені значення кутів, утворених ланками з певним обранням напрямком, які будуть використані для формування «стоп-коду» розкриття. Приклади ілюстровано аксонометричними зображеннями одержаних кінцевих фаз ланок стержневої конструкції. Анімаційні фільми процесів розкриття є на сайті [9].

Приклад 1. Довжини ланок: $\mathbf{L}=\{4, 4, 4, 4.5\}$. Імпульси величинами $\mathbf{U}'=\{0, 1, -1, 1\}$ забезпечують реактивні двигуни, які розташовані на другому, третьому та четвертому вантажах.

На рис. 1 наведено стержневу конструкцію після розкриття шести стержневих конструкцій в момент часу $t=2.65$. Значення координат вектора «стоп-коду» визначатимуть числа: $\mathbf{U}_{\text{STOP}}=\{0.2312, -0.9965, 2.115, 1.023\}$ (тут і далі всі значення в умовних величинах).

Приклад 2. Довжини ланок: $\mathbf{L}=\{4.3, 5, 3.5, 6\}$. Імпульси $\mathbf{U}'=\{1, 0, 0, 0.5\}$ забезпечують реактивні двигуни, розташовані на першому та четвертому вантажах.

На рис. 2 наведено стан стержневої конструкції після розкриття шести стержневих конструкцій в момент часу $t=1.76$. Значення координат вектора «стоп-коду»: $U_{\text{STOP}}=\{3.074, -2.276, 1.5, -0.6652\}$.

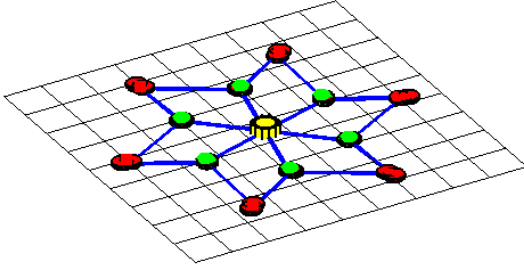


Рис. 1. Стержнева конструкція прикладу 1 в момент часу $t=2,65$

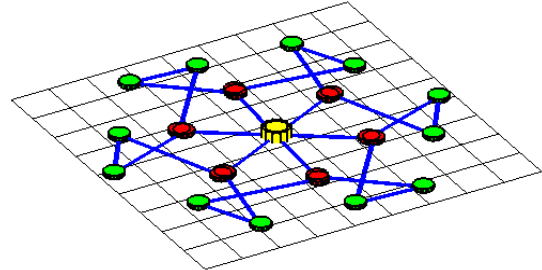


Рис. 2. Стержнева конструкція прикладу 2 в момент часу $t=1,76$

Приклад 3. Довжини ланок стержневої конструкції $L=\{1, 3, 3, 5.4\}$. Початкові швидкості $U'=\{0, 5, 0, 0\}$ забезпечує реактивний двигун, розташований тільки на другому вантажі.

На рис. 3 наведено стержневу конструкцію після розкриття шести стержневих конструкцій в момент часу $t=1.03$. Значення координат вектора «стоп-коду»: $U_{\text{STOP}}=\{5.19, 0.2166, -1.132, 1.539\}$.

Зазначимо, що процес розкриття багатоланкової стержневої конструкції у невагомості є аналогом процесу коливання багатоланкового маятника у полі земного тяжіння. Їх математичні моделі відрізнятимуться, по суті, значеннями константи g (прискоренням вільного падіння):

$g \approx 0$ у першому випадку, і $g \approx 9.81$ у другому. Тоді застосувавши розроблений алгоритм моделювання коливання багатоланкового маятника в полі тяжіння (при $g \approx 9.81$) і перевіривши на адекватність одержані тестові результати, можна використовувати цей алгоритм і для розрахунку розкриття стержневих конструкцій у невагомості (при $g \approx 0$). Причому, у адекватності коливань дозволяє переконатися зоровий аналізатор людини при аналізі комп'ютерної моделі процесу коливань.

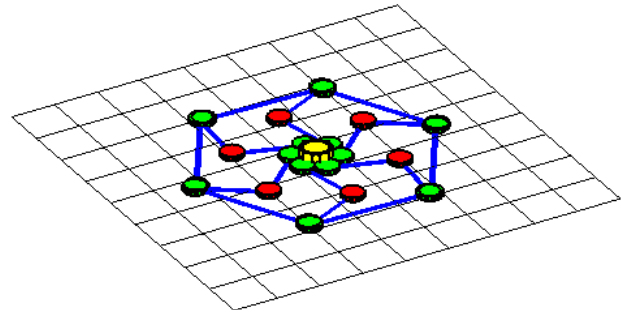


Рис. 4. Стержнева конструкція прикладу 3 в момент часу $t=1.03$

Висновки. В роботі розглянуто інерційну систему розгортання конкретних стержневих конструкцій, де ініціювання їх розкриття у просторі здійснюється імпульсами піротехнічних реактивних

двигунів, які впливають на вузлові елементи конструкції. За допомогою комп'ютерної анімації було прогнозовано у часі взаємне розташування ланок стержневих конструкцій.

Література

1. Алпатов А.П. Космические платформы для орбитальных промышленных комплексов: проблемы и перспективы [Текст] / А.П. Алпатов, В.П. Горбулин // Вісник НАН України, № 12, 2013. – С. 26–38
2. Гутовский И. Е., Моделирование динамики раскрытия ферменного каркаса трансформируемого рефлектора антенны космического базирования методом конечных элементов [Текст] / И.Е. Гутовский, А.В. Золин, С.В. Курков, В.А. Пантелеев, В.А. Хлебников // Современное машиностроение. Наука и образование. – № 2, 2012. – С. 276–285.
3. Бакулин Д. В. Моделирование процесса раскрытия солнечных батарей [Текст] / Д.В. Бакулин, С.В. Борзых, Н.С. Ососов, Ю. Н. Щиблев // Матем. моделирование. – Том 16, № 6, 2004. – С. 88–92.
4. Анохин Н. В. Приведение многосвязного стержневої конструкції в положение равновесия с помощью одного управляющего момента [Текст] / Н. В. Анохин // Изв. РАН. Теория и системы управления. – № 5, 2013. – С. 44–53.
5. Deployable Perimeter Truss with Blade Reel Deployment Mechanism. NASA's Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California. Tuesday, 01 March 2016. Режим доступа: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/techbriefs/mechanics-and-machinery/24098>.
6. Бушуев А. Ю. Математическое моделирование процесса раскрытия солнечной батареи большой площади [Текст] / А.Ю. Бушуев, Б.А. Фарафонов // Математическое моделирование и численные методы. – № 2, 2014. – С. 101–114.
7. Kutsenko L. Geometrical modeling of the inertial unfolding of a multi-link pendulum in weightlessness / L. Kutsenko, O. Shoman, O. Semkiv, L. Zapolsky, I. Adashevskaya, V. Danylenko, V. Semenova-Kulish, D. Borodin, J. Legeta // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/7 (90), 2017 – 42–50 pp.
8. Куценко Л.М. Ілюстрації до геометричного моделювання інерційного розкриття багатоланкового стержневої конструкції у невагомості [Електронний ресурс] / Л.М. Куценко, М.М. Пікрасов, Л.Л. Запольський // Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/4868>.
9. Куценко Л.М. Ілюстрації до геометричного моделювання коливань багатоланкових стержневих конструкцій в невагомості під впливом

імпульсів на прикінцеві точки ланок. [Електронний ресурс] / Л.М. Куценко, М.М. Пікрасов, Л.Л. Запольський // Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6335>.

ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОЗВЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ В НЕВЕСОМОСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИМПУЛЬСОВ НА КОНЕЧНЫЕ ТОЧКИ ЕЕ ЗВЕНЬЕВ

Запольский Л.Л. , Адашевська И.Ю.

Приведена геометрическая модель нового способа раскрытия в условиях невесомости многозвенной стержневой конструкции, элементы которой соединены подобно многозвенному маятнику. Раскрытие звеньев конструкции происходит благодаря влиянию импульсов пиротехнических реактивных двигателей на их конечные точки. На орбиту комплекты стержней доставляются в составленном виде (кассеты), после чего необходимо выполнить операцию ее раскрытия для предоставления рабочей формы всей пространственной стержневой конструкции. Расчет стержневых конструкций такого класса предлагается осуществлять на основе Лагранжевой динамики многозвенных маятников как консервативной системы. Это позволит получить геометрические модели последовательных фаз раскрытия стержневых конструкций с учетом динамических свойств. Применение таких моделей на этапе проектирования при дальнейших исследованиях поможет рассчитать параметры функционирования конструкции в целом. На актуальность избранной темы указывает необходимость выбора и исследование возможного движителя процесса раскрытия стержневой конструкции маятникового типа. Предлагается использовать импульсные пиротехнические реактивные двигатели, установленные на конечных точках звеньев стержневой конструкции. Они более легкие и более дешевые по сравнению, например, с электродвигателями или пружинными устройствами. Особенно это важно, когда на орбите процесс раскрытия конструкции планируется осуществить лишь один раз. Чаще всего именно однократно используются на орбите движители раскрытия стержневых конструкций. Расчет динамики инерционного раскрытия многозвенной стержневая конструкция выполнен при помощи уравнений Лагранжа второго рода.

Результаты предназначены для использования при проектировании систем раскрытия крупногабаритных конструкций в условиях невесомости, например, силовых каркасов для солнечных зеркал или космических антенн.

Ключевые слова: стержневая конструкция, процесс раскрытия в космосе, многозвенная стержневая конструкция, уравнение Лагранжа второго рода.

FORMATION OF A MULTIPLE STRUCTURE IN WEIGHTLESSNESS UNDER THE INFLUENCE OF PULSES FOR THE FINAL POINTS OF ITS LINKS

Zapolsky L., Adashevskaya I.

A geometric model of a new method of opening in the conditions of weightlessness of a multi-link rod structure, the elements of which are connected like a multi-link pendulum, is given. The opening of the links of the structure is due to the influence of the pulses of pyrotechnic jet engines on their end points. The sets of rods are delivered into orbit in a compiled form (cassettes), after which it is necessary to perform the operation of its opening to provide the working form of the entire spatial core structure. The calculation of core structures of this class is proposed to be carried out on the basis of the Lagrangian dynamics of the multi-link pendulums as a conservative system. This will allow to obtain geometric models of successive phases of the disclosure of core structures with regard to dynamic properties. The use of such models at the design stage for further research will help to calculate the parameters of the functioning of the structure as a whole. The relevance of the chosen topic indicates the need to select and study a possible driver for the disclosure of the core design of the pendulum type. It is proposed to use pulsed pyrotechnic jet engines installed on the end points of the links of the core structure. They are lighter and cheaper in comparison with, for example, electric motors or spring devices. This is especially important when the process of disclosing a structure is planned to be carried out only once in orbit. Most often, it is the disposable thrusters of core structures that are once used in orbit. The calculation of the dynamics of the obtained inertial disclosure of the multi-link bar structure was carried out using the Lagrange equations of the second kind.

The results are intended for use in designing systems for the deployment of large-sized structures in zero gravity, for example, power frames for solar mirrors or space antennas.

Keywords: core structure, process of opening in space, multi-link bar structure, Lagrange equation of the second kind.

УДК 514.18:004

УДОСКОНАЛЕННЯ ПОБУДОВИ КРЕСЛЕНИКІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ В ПАКЕТІ AUTODESK INVENTOR

Іванов Є.М., к.т.н.,

Омельченко В.В.,

Гнатюк А.А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

Робота присвячена опису вдосконаленого методу побудови кресленика циліндричної зубчастої передачі. В роботі показано, що майстер проектування пакету Autodesk Inventor дозволяє створювати параметричні 3D-моделі елементів циліндричної зубчастої передачі. Але при побудові кресленика 3D-моделі циліндричної зубчастої передачі не враховується ряд умовностей при зображенні циліндричних зубчастих колеса, шестерні і зубців в зачепленні, передбачених діючим стандартом.

В роботі показано переваги вдосконаленого методу, який полегшує побудова кресленика циліндричної зубчастої передачі в пакеті Autodesk Inventor, використовуючи параметричні 3D-моделі складальних одиниць «циліндричне зубчасте колесо і циліндрична зубчаста шестерня в параметричних оболонках».

Складальні одиниці розроблялися зі збігом ідентифікаторів змінних при побудові 3D-моделей «оболонка циліндричної шестерні і циліндричного колеса» використовуючи довідкові дані (основні геометричні параметри циліндричної зубчастої передачі), як вихідні параметри для можливості збереження та використання при параметризації.

При створенні кресленика циліндричної зубчастої передачі використовується складальна одиниця «циліндрична зубчаста передача» та розроблений алгоритм подання геометричної інформації її елементів з довільними вихідними параметрами для полегшення побудови креслеників в пакеті Autodesk Inventor у відповідності з діючим стандартом.

Запропонований вдосконалений метод виконання креслеників циліндричних зубчастих передач з довільними вихідними параметрами в пакеті Autodesk Inventor може бути застосований на виробництві для оптимізації розробки конструкторської документації у відповідності з діючим стандартом.

Ключові слова: параметрична оболонка, циліндричне зубчасте колесо, циліндрична зубчаста передача, Autodesk Inventor.

Постановка проблеми. Майстер проектування пакету Autodesk Inventor дозволяє розробляти параметричну 3D-модель циліндричної зубчастої передачі. Але при побудові кресленика 3D-моделі циліндричної зубчастої передачі не враховуються вимоги діючого стандарту [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно діючого стандарту, циліндричні зубчасті передачі [1] викреслюють спрощено: зубчасті колеса в зачепленні викреслюють умовно; зображуючи зубчасті колеса в зачепленні у розрізі, зубці завжди показують не розсіченими та без штрихування; на головному зображенні зуб ведучого колеса в зачепленні показують перед зубом веденого колеса.

Формулювання цілей статті. Використовуючи набір інструментів середовища автоматизованого проектування розробити методику удосконалення побудови робочих креслеників 3D-моделей циліндричних зубчастих передач (рис. 1, а) згідно діючого стандарту.

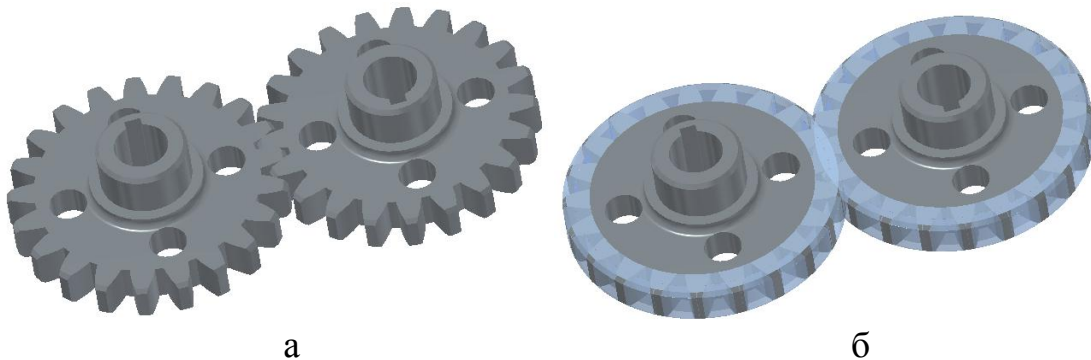


Рис. 1. а - 3D-модель циліндричної зубчастої передачі;
б - складальна одиниця «циліндрична зубчаста передача»

Основна частина. Використовуючи розроблені 3D-моделі складальних одиниць елементів циліндричної зубчастої передачі в параметричних оболонках (рис. 2) [2] при побудові 3D-моделі циліндричної зубчастої передачі було адаптовано алгоритм [3] для удосконалення виконання робочих креслеників параметричних 3D-моделей циліндричних зубчастих передач у відповідності з вимогами діючого стандарту.

Складальні одиниці (рис. 1, б) розроблялись зі збігом ідентифікаторів змінних при побудові 3D-моделей «циліндрична оболонка» [2] та з використанням довідкових даних (рис. 2, а, б) (основних геометричних параметрів елементів циліндричної зубчастої передачі), як вихідних параметрів.

Для створення видів циліндричної зубчастої передачі у файлі кресленика послідовно виконуємо на фронтальному виді два місцевих розрізу за ескізами:

відповідності до стандарту (рис. 4, а). Остаточню фрагмент кресленника циліндричної зубчастої передачі з властивостями областей у відповідності з діючим стандартом наведено на рисунку 4, б.

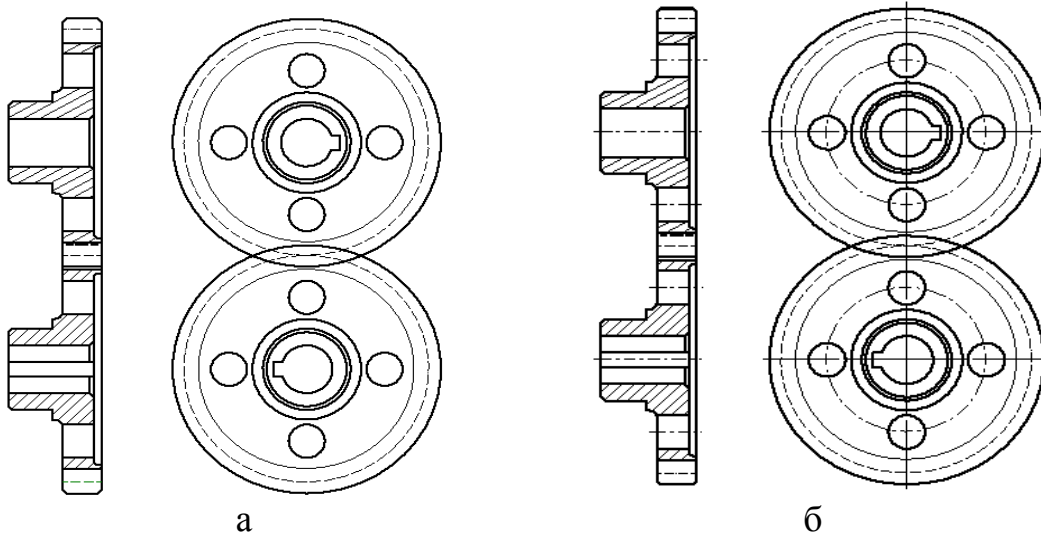


Рис. 4. а - зміна властивостей областей циліндричної зубчастої передачі;
б - фрагмент кресленника циліндричної зубчастої передачі

Висновки. Запропонований в роботі алгоритм значно полегшує побудову креслеників циліндричних зубчастих передач в пакеті Autodesk Inventor у відповідності з діючим стандартом та може бути застосовано в машинобудуванні для оптимізації розробки конструкторської документації на стадії проектування.

Література

1. Єдина система конструкторської документації. Основні положення. Довідник: – Укр. та рос. мовами / За заг. ред. В.Л. Іванова. – Львів: НТЦ “Леонорм-стандарт”, 2001. – 272с. – (Серія “Нормативна база підприємства”).
2. Іванов Є.М. АП №68329, Україна. Подання складових елементів передач у середовищі автоматизованого проектування / Є.М. Іванов. – 2016.
3. Іванов Є.М. АП №80325, Україна. Розробка алгоритму подання геометричної інформації рухомих рознімних з'єднань для побудови креслеників при автоматизованому проектуванні / Є.М. Іванов. – 2018.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ В ПАКЕТЕ AUTODESK INVENTOR

Иванов Е.М., Омельченко В.В., Гнатюк А.А.

Работа посвящена описанию усовершенствованного метода построения чертежа цилиндрической зубчатой передачи. В работе показано, что мастер проектирования пакета Autodesk Inventor позволяет создавать параметрические 3D-модели элементов цилиндрической зубчатой передачи. Но при построении чертежа 3D-модели цилиндрической зубчатой передачи не учитывается ряд условностей при изображении цилиндрических зубчатых колеса, шестерни и зубьев в зацеплении, предусмотренных действующим стандартом.

В работе показано преимущества усовершенствованного метода, который облегчает построение чертежа цилиндрической зубчатой передачи в пакете Autodesk Inventor, используя параметрические 3D-модели сборочных единиц «цилиндрическое зубчатое колесо и шестерня в параметрических оболочках».

Сборочные единицы разрабатывались с совпадением идентификаторов переменных при построении 3D-моделей «оболочка цилиндрической шестерни и цилиндрического колеса» используя справочные данные (основные геометрические параметры цилиндрической зубчатой передачи), как исходные параметры для возможности сохранения и использования при параметризации.

При создании чертежа цилиндрической зубчатой передачи используется сборочная единица «цилиндрическая зубчатая передача» и разработанный алгоритм представления геометрической информации ее элементов с произвольными исходными параметрами для облегчения построения чертежей в пакете Autodesk Inventor в соответствии с действующим стандартом.

Предложенный метод выполнения чертежей цилиндрических зубчатых передач с различными исходными параметрами в пакете Autodesk Inventor может быть применен на производстве для оптимизации разработки конструкторской документации.

Ключевые слова: параметрическая оболочка, цилиндрическое зубчатое колесо, цилиндрическая зубчатая передача, Autodesk Inventor.

IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION OF DRAWINGS OF CYLINDRICAL GEARS IN AUTODESK INVENTOR PACKAGE

Ivanov E., Omelchenko V., Gnatyuk A.

The work is devoted to the description of the improved method of drawing a cylindrical gear drive. The paper shows that the Autodesk Inventor package design wizard allows you to create parametric 3D models of cylindrical gear elements. But when drawing a 3D model of a cylindrical gear drive, the conventional image of gears and teeth in engagement is not taken into account: the teeth always show not dissected and without hatching; in the images perpendicular to the axes of the gears in engagement, the cuts are not used.

The paper shows the advantages of the improved method, which facilitates the creation of the drawing of cylindrical gear in the package Autodesk Inventor, a parametric 3D model of Assembly units "of the cylindrical wheel and a cylindrical gear in parametric shells".

Assembly units were developed with matching of variable identifiers in the construction of 3D-models "cylindrical gear shell and cylindrical wheel" using reference data (basic geometric parameters of the cylindrical gear), as the initial parameters for the possibility of preservation and use in parametrization.

When creating a drawing of a cylindrical gear drive, the Assembly unit "cylindrical gear" is used and an algorithm for representing the geometric information of its elements with arbitrary initial parameters is developed to facilitate the construction of drawings in the Autodesk Inventor package in accordance with the current standard.

The proposed algorithm for drawings of cylindrical gears with different initial parameters in the Autodesk Inventor package can be used in production to optimize the development of project documentation and be used in the development of algorithms for other gears.

Key words: parametric shell, cylindrical gear, gearing, Autodesk Inventor.

УДК 006: 69: 004.048

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОБРОБКИ ДАНИХ З ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Ісаєнко Д.В., к.н.держ.упр.

Конфедерація будівельників України (м. Київ, Україна)

В статті вирішуються питання виявлення і вилучення невизначеності, що пов'язана з наявністю надлишкової інформації. Такий тип невизначеності може спричиняти неузгодженість чи конфлікти правил для визначення параметрів нормування. Проблема виникає при трансформації організаційно-технічної системи технічного регулювання в будівництві, що пов'язана зі змінами в системах нормування та стандартизації. Матеріалом дослідження є інформація, що міститься в нормативній документації, згідно з якою здійснюється технічне регулювання архітектурно-будівельної галузі України. Основна мета роботи полягає в розробці алгоритму обробки такої інформації системою підтримки прийняття рішень з технічного регулювання в будівництві, що здатна функціонувати в умовах невизначеності. Особлива увага приділяється невизначеності, що спричинена існуванням різних вказівок або декількох способів визначення одного параметра технічного регулювання більш, ніж в одному нормативному документі. Автоматичне виявлення і вилучення невизначеності суттєво спрощує розробку проектної документації та експертних оцінок технічного стану унікальних об'єктів. Проте автоматизація процесу обробки даних потребує відповідного представлення, систематизації і структурування текстової інформації. Цю задачу пропонується розв'язувати методами нечіткої математики. Застосування моделей і методів нечіткої математики при формалізації норм і правил технічного регулювання спрямоване на реалізацію та впровадження штучного інтелекту в системи нормування та стандартизації. Практична цінність роботи полягає в наданні науково обґрунтованої підтримки прийняття рішень при законодавчому регулюванні діяльності в будівельній галузі в умовах трансформацій, що спрямовані на вдосконалення містобудівної діяльності. Проте, використання алгоритму надає можливість суттєво підвищити швидкість і надійність роботи інших систем документообігу в подібних умовах.

Ключові слова: будівництво, конфлікт правил, організаційно-технічна система, параметри технічного регулювання.

Постановка проблеми. Однією з найбільш гострих проблем технічного регулювання у будівництві та архітектурі є наявність конфліктів у вказівках і правилах для визначення розрахункових параметрів. Така проблема виникає при трансформації організаційно-технічної системи технічного регулювання, що пов'язана зі змінами в системах нормування, стандартизації і регулювання дозвільно-погоджувальних процедур у будівництві відповідно до світових стандартів [1, 2].

Накопиченню проблем, сприяє [3]:

- зростання попиту на унікальні будівлі і споруди;
- зміна бази сировини для будівельних матеріалів;
- зміна вимог до формування життєвого середовища;
- розвиток технологій проектування та будівництва;
- внесення змін до деяких законодавчих актів.

При цьому, може виникати невизначеність різного характеру, що призводить до необхідності створення додаткових нормативних документів. Накопичення документів, що розробляються для роз'яснення порядку дій в різних умовах, ускладнює автоматизацію процесу технічного регулювання в цілому і може призвести до конфліктів правил, згідно з якими формується вектор параметрів регулювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений в [4] аналітичний огляд світового досвіду технічного регулювання в будівництві показав, що будівельна діяльність характеризується невизначеністю та ризиками різного характеру. Причини виникнення та математичні моделі і методи, на основі яких розробляються алгоритми роботи систем підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності можуть бути різними і залежать від характеру невизначеності [5]. При цьому, однією з найбільш ефективних математичних теорій, що спрямовані на обробку текстової інформації та моделювання процесів різного характеру в нечітких умовах і умовах невизначеності різного характеру, є теорія нечітких множин.

Моделі і методи нечіткої математики, що застосовуються в інтелектуальних системах різного призначення, досліджені в [6 – 8].

В [9] запропоновано модель інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень з технічного регулювання в будівництві, що призначена для підвищення надійності та швидкості процедури узгодження будівельних норм і стандартів будівельної галузі. Проте в [9] основна увага приділялась розв'язанню задачі пошуку і співставлення правил з тотожними умовами і різними висновками

Формування цілей статті. Основною метою даної роботи є розробка алгоритму обробки даних для інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень з технічного регулювання в будівництві,

що здатна функціонувати в умовах невизначеності, що пов'язана з існуванням надлишкової інформації.

Основна частина. Розробка алгоритму обробки даних для інтелектуальної системи, що здатна виявляти конфліктні норми і правила при формуванні проектної документації, супроводі будівництва та експлуатації об'єктів, в першу чергу потребує формалізації, систематизації і структурування документації.

Для вирішення задачі адекватного представлення текстової інформації кожен елемент множини документів, що призначені для технічного регулювання певного напрямку діяльності будівельної галузі, формалізується в вигляді вектора:

$$\{A\}^T = \{A_j\} = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}. \quad (1)$$

Кожна координата A_j ($j=1, \dots, n$) вектора $\{A\}$ в n -вимірному просторі нормативних документів відповідає одному документу; T – операція транспонування.

Потім, із множини формалізованих документів відбирається множина конфліктних норм і правил, які підлягають обробці.

Для реалізації процедури відбору множини неузгоджених або конфліктних норм і правил системою, що описана в [9], параметри регулювання задаються у вигляді вектора $\{B\}$, кожен елемент якого відповідає одному параметру:

$$\{B\}^T = \{B_i\} = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}, \quad (2)$$

де m – кількість параметрів; $i=1, \dots, m$.

Для реалізації алгоритмів пошуку надлишкової інформації, що проявляються в наявності різних вказівок до визначення параметрів регулювання, дані (1), (2) структуруються в таблиці 1.

Таблиця 1

Відповідність параметрів технічного регулювання нормативним документам

D	A_1	A_1	...	A_n
B_1	$B_1 \vee 0$	$B_1 \vee 0$...	$B_1 \vee 0$
B_2	$B_2 \vee 0$	$B_2 \vee 0$...	$B_2 \vee 0$
...
B_m	$B_m \vee 0$	$B_m \vee 0$...	$B_m \vee 0$

В кожному рядку таблиці 1 міститься один параметр B_i певного напрямку, а кожен стовпець A_j відповідає нормативному документу, що включає набір параметрів B_i ; символ « \vee » означає операцію диз'юнкції – «або».

Інформація систематизується на основі пріоритетності PA_j правила чи методики визначення параметру B_i в документах A_j [10]:

$$PA_{i,1} < \dots < PA_{i,a-1} < PA_{i,a}, \text{ або } PA_{i,1} > PA_{i,2} > \dots > PA_{i,a}. \quad (3)$$

Якщо, при цьому, документи мають однаковий пріоритет, то до ранжування залучають експертів.

Інформацію, що міститься в таблиці 1 можна відобразити матрицею (K), кожний елемент якої знаходиться згідно з:

$$K_{i,j} = \begin{cases} 1 \rightarrow D_{i,j} = B_j \\ 0 \rightarrow D_{i,j} = 0 \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n). \quad (4)$$

Якщо нормативна база, що відповідає за технічне регулювання, є досконалою, то для (K):

$$K = \begin{pmatrix} K_{1,1} & \dots & K_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{m,1} & \dots & K_{m,n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \vee 0 & \dots & 1 \vee 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 \vee 0 & \dots & 1 \vee 0 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

мають виконуватися умови:

1. Сума елементів кожного рядка (K) не перевищує 1:

$$a = \sum_{j=1}^n K_{i,j} \leq 1, \quad (i = 1, 2, \dots, m). \quad (6)$$

2. Сума елементів кожного стовпця (K) не перевищує кількості параметрів технічного регулювання m :

$$b = \sum_{i=1}^m K_{i,j} \leq m, \quad (j = 1, 2, \dots, n). \quad (7)$$

3. Сума усіх елементів (K) не перевищує кількості параметрів технічного регулювання m :

$$c = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n K_{i,j} \leq m. \quad (8)$$

Якщо хоч одна з умов (6) – (8) не виконується, то множина нормативних документів містить конфлікти, які можуть призвести до проблем і помилок при вирішенні задач технічного та юридичного характеру.

Одним із основним індикаторів невизначеності, що пов'язана з існуванням надлишкової інформації, є порушення умови (6). Саме ця умова вказує на наявність декількох незалежних способів призначення або розрахунку параметра технічного регулювання, що визначаються більш, ніж одним нормативним документом.

Автоматичне виявлення та узгодження конфліктної інформації інтелектуальною системою підтримки прийняття рішень з технічного регулювання передбачає реалізацію алгоритму:

1. Встановити пріоритетність документів A_j , згідно з якими знаходиться параметр B_i .

2. Відобразити пріоритетності параметрів у вигляді залежності:

$$B_i = f(B_1, B_2, \dots, B_{j-1}, B_j, B_{j+1}, \dots, B_r), \quad (j \neq i; j = 1, 2, \dots, r_{i,j}).$$

3. Залучити експертів до ранжування документів, що мають однаковий пріоритет.

4. Структурувати дані у вигляді таблиці 2, яка містить приклад відображення пріоритетності ранжування документів (PD), що визначена в п. 1 за правилом (3). Стрілками показано послідовність визначення параметрів технічного регулювання і конфлікт правил, що виявляється при визначенні параметра B_5 .

5. Вирішити конфлікт шляхом зміни чи узгодження процедури визначення конфліктного параметра. При вирішенні конфлікту для визначення параметра вибирається найбільш пріоритетний документ.

Таблиця 2

Приклад таблиці відображення пріоритетності ранжування

PD	A_1	A_2	A_3
B_1	$B_1 = \text{const}_1$	0	0
B_2	$B_2 = f(B_1)$	0	0
B_3	0	0	$B_3 = f(B_1, B_2, B_4)$
B_4	0	$B_4 = \text{const}_4$	0
B_5	$B_5 = \text{const}_5$	0	$B_5 = f(B_1, B_2, B_3, B_4)$ → Конфлікт!

На даному етапі досліджень рішення щодо зміни, чи узгодження процедури визначення конфліктного параметра (п. 5) лишається за експертами, проте узагальнений експертний досвід вирішення конфліктів накопичується в базі знань системи, що описана в [9].

В подальшому узагальнений формалізований експертний досвід може бути використаним при навчанні штучних нейронних мереж, які виконують роль експертів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень.

Висновки:

1. Використання моделей і методів нечіткої математики при формалізації документів надає можливість удосконалити роботу організаційно-технічної системи технічного регулювання за рахунок автоматизації процесів нормування та стандартизації.

2. Запропонована матрична структура даних значно спрощує процедури виявлення невизначеності, що спричинена наявністю надлишкової інформації в системі документообігу.

3. Виявлення та узгодження конфліктів в системі технічного регулювання передбачає ранжування текстових документів. Саме тому, подальші дослідження планується присвятити аналізу алгоритмів пошуку і сортування текстової інформації.

Література

1. Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the

- marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC (Text with EEA relevance) // [Електронний ресурс] Official Journal of the European Union – 2011. – 4.4.2011 – С. 5-43.
2. Непомнящий О.М. Регулювання дозвільно-погоджувальних процедур у будівництві відповідно до світових стандартів / О.М. Непомнящий, Д.В. Ісаєнко // Публічне урядування: збірник – К., 2016. – №1(2). – С. 49-60.
 3. Ісаєнко Д.В. Законодавче регулювання діяльності в будівельній галузі. Особливості світового досвіду та Європейського підходу для визначення пріоритетів при формуванні життєвого середовища / Д.В. Ісаєнко // Будівельне виробництво. – К.: НДІБВ, 2017. – № 63/2/2017. – С. 11-15.
 4. Техническое регулирование в строительстве. Аналитический обзор мирового опыта: Snip Innovative Technologies / [рук. Серых А.]. – Чикаго: SNIP, 2010. – 889 с.
 5. Terenchuk S. Application of fuzzy mathematics methods to processing geometric parameters of degradation of building structures / S. Terenchuk, V. Yeremenko, S. Kartavykh, O. Nasikovskiy // [Електронний ресурс] Eureka: physics and engineering. – Таллін, 2018. – no. 1. – С. 56-62. DOI: 10.21303/24614262.2018.00468554
 6. Zaitseva E. Importance analysis based on logical differential calculus and binary decision diagram / E. Zaitseva, V. Levashenko, J. Kostolny // [Електронний ресурс] Reliability engineering and system safety. – Elsevier, 2015. – Vol. 138. – С. 135-144.
 7. Hammah R. Fuzzy cluster algorithm for the automatic identification of joint sets / R. Hammah, J. Curran // [Електронний ресурс] International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 2010. Vol. 35, Issue 7. – С. 889-905.
 8. Terenchuk S. Implementation of Intelligent Information Technology for the Assessment of Technology for Condition of Building Structures in the Process of Diagnosis / S. Terenchuk, V. Yeremenko, T. Sorotuyk // [Електронний ресурс] Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 2010. –Vol. 5/3(83). – С. 30-39.
 9. Ісаєнко Д. В. Формування нечіткої бази знань системи підтримки прийняття рішень з технічного регулювання в будівництві / Д.В. Ісаєнко, В.О. Плоский, С.А. Теренчук // Управління розвитком складних систем. – К.: КНУБА, 2018. – Вип. 35. – С. 168-174.
 10. Skochko V. Determination of support reactions of rod constructions obtained by morphogenesis / V. Skochko // [Електронний ресурс] USEFUL online journal, 2018. – Vol. 2, no. 3, С. 29-42. DOI: <https://doi.org/10.32557/useful-2-3-2018-0005>.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Исаенко Д.В.

В статье решаются вопросы выявления и разрешения неопределенности, связанной с наличием избыточной информации. Неопределенность такого типа может вызвать несогласованность и конфликты в системе норм и правил, которые используются для определения параметров нормирования. Проблемы, возникающие из-за трансформации организационно-технической системы технического регулирования в строительстве, связаны с изменениями в системах нормирования и стандартизации. Материалом исследования является информация, содержащаяся в документации, согласно которой осуществляется техническое регулирование архитектурно-строительной отрасли Украины. Основная цель работы заключается в разработке алгоритма обработки этой информации системой поддержки принятия решений по техническому регулированию в строительстве, которая способна функционировать в условиях неопределенности. Особое внимание уделяется неопределенности, возникающей вследствие существования различных нормативных документов или нескольких способов определения одного параметра более чем в одном нормативном документе. Автоматическое выявление и разрешение такой неопределенности существенно упрощает разработку проектной документации и экспертных оценок технического состояния уникальных объектов. Однако автоматизация процесса обработки данных требует соответствующего представления, систематизации и структурирования текстовой информации. Эту задачу предлагается решать методами нечеткой математики. Применение моделей и методов нечеткой математики к задаче формализации норм и правил технического регулирования направлено на реализацию и внедрение искусственного интеллекта в системы нормирования и стандартизации. Практическая ценность исследования заключается в предоставлении надежной поддержки принятия решений при законодательном регулировании деятельности в строительной отрасли в условиях трансформаций, направленных на совершенствование градостроительной деятельности. Однако, использование алгоритма позволяет существенно повысить скорость и надежность работы других систем документооборота в подобных условиях.

Ключевые слова: строительство, конфликт правил, организационно-техническая система, параметры технического регулирования.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM OF DATA PROCESSING WITH TECHNICAL REGULATION IN CONSTRUCTION UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Isaienko D.

The article addresses the issues of identifying and removing uncertainty associated with the presence of redundant information. Uncertainty of this type can cause inconsistencies and conflicts in the system of rules and regulations, which are used to determine the parameters of regulation. The problems arising from the transformation of the organizational-technical system of technical regulation in construction are associated with changes in the systems of valuation and standardization. The research material is the regulatory documentation, according to which the technical regulation of the construction industry of Ukraine is carried out. The main objective of the work is to develop an algorithm for processing data by an intelligent decision-making support system for technical regulation in construction, which is able to function in conditions of uncertainty. Particular attention is paid to the uncertainty caused by the existence of various instructions or several ways of determining one technical regulation parameter in more than one regulatory document. Automatic detection and removal of such uncertainty greatly simplifies the development of project documentation and expert assessments of the technical condition of unique objects. However, the automation of data processing requires the proper presentation, systematization and structuring of textual information. This problem is proposed to be solved by methods of fuzzy mathematics. The use of models and methods of fuzzy mathematics in the formalization of the norms and rules of technical regulation is aimed at the implementation and introduction of artificial intelligence in the systems of rationing and standardization. The practical value of the work is to provide scientifically-based decision-making support in the legislative regulation of activities in the construction industry in the context of transformations aimed at improving urban planning. However, the use of the algorithm can significantly increase the speed and reliability of other workflow systems in similar conditions.

Keywords: construction, conflict of rules, organizational and technical system, parameters of technical regulation.

УДК 515.2+563.3

ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ТОЧЕК НА ПЛОСКОСТИ С УЧЁТОМ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ ЗАДАННЫХ ТОЧЕК

Ковалёв С.Н., д.т.н.,

Мостовенко Ал-др В., к.т.н.

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры
(Украина)*

Некоторые задачи интерполяции точек требуют учёт влияния параметров заданных точек на параметры точки, которую определяют. В частности, во многих задачах это влияние связано с расстояниями текущей точки интерполяции от заданных точек. Причём, это влияние должно быть тем больше, чем ближе заданная точка находится к текущей. На точку, бесконечно близкую к заданной точке эта заданная точка должна оказывать максимальное влияние, а при бесконечно большом расстоянии между заданной и текущей точкой это влияние должно быть равно нулю.

Исходя из этой логики, влияние заданной точки на ординату текущей точки должно быть обратно пропорциональным расстоянию между ними. Однако, параметр влияния расстояния между точкой пространства и источником энергии для точки, бесконечно близко расположенной к заданной, будет определяться делением ординаты заданной точки на бесконечно малую величину, что равносильно делению на ноль. Поэтому влияние ординаты заданной точки на бесконечно близкую текущую точку примем как конечную величину, которую будем считать максимальной, а влияние бесконечно удалённой точки на текущую примем равным нулю.

Такую зависимость можно геометрически реализовать на основе центрального проецирования. В работе графически представлена зависимость между параметром влияния ординаты заданной точки на текущую и функцией от расстояния между ними.

Примером такой практической задачи может быть: определение температуры в заданном месте температурного поля, которое образовано несколькими источниками нагрева или определение освещенности в заданной точке пространства при нескольких источниках света и т.д.

В работе предложен способ учета влияния источников энергии на потенциал физического поля в любой точке двумерного пространства.

Ключевые слова: интерполяция, энергия, плоскость, физическое поле, заданная точка, текущая точка, расстояние, влияние, потенциал энергии, источник энергии.

Постановка проблемы. В практике использования различных физических полей встречаются задачи геометрического моделирования такого поля при заданных точечных источниках излучения энергии, например моделирование распределения температуры в пространстве помещения при точечных источниках нагрева [1], [2]; определение освещенности в конкретной точке помещения при нескольких точечных источниках света и др. [1], [2].

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1] и [2] изучалась проблема определения потенциала энергии в точках двумерного и трехмерного пространства при заданных источниках энергии. Известны работы определения потенциала освещенности, звуковой и тепловой энергии.

В известной литературе отсутствуют работы, связанные с влиянием степени удаленности источника энергии от заданной точки физического поля.

Формулирование целей статьи. Предложить геометрическую модель определения потенциалов энергии физического поля в зависимости от расстояния от точки физического поля до источников энергии.

Основная часть. Условие: заданы координаты конечного числа точек на плоскости. Построить линию, которая проходит через заданные точки так, чтобы на ординату текущей точки этой линии оказывали влияние ординаты заданных точек. Причём, это влияние, параметр которого обозначен буквой t , должно быть тем больше, чем ближе (по оси Ox) заданная точка находится к текущей. На точку, бесконечно близкую к заданной точке эта заданная точка должна оказывать максимальное влияние, а при бесконечно большом расстоянии между заданной и текущей точкой это влияние должно быть равно нулю.

Исходя из этой логики, влияние заданной точки на ординату текущей точки должно быть обратно пропорциональным расстоянию между ними. Однако, параметр t для точки, бесконечно близко расположенной к заданной, будет определяться делением ординаты заданной точки на бесконечно малую величину, что равносильно делению на ноль. Поэтому влияние ординаты заданной точки на бесконечно близкую текущую точку примем как конечную величину, которую будем считать максимальной, а влияние бесконечно удалённой точки на текущую примем равным нулю.

Такую зависимость можно геометрически реализовать на основе центрального проецирования.

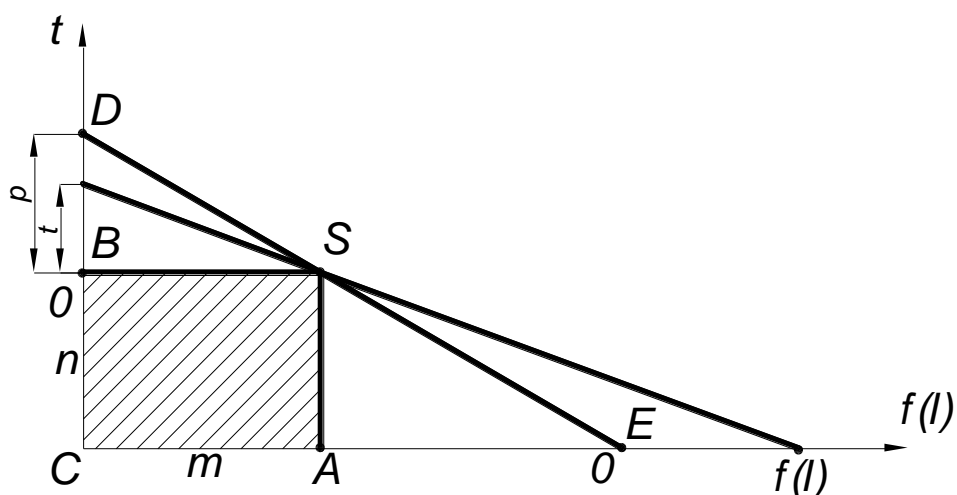


Рис. 1

На рис. 1 графически задана зависимость между параметром t влияния ординаты заданной точки на текущую и функцией от расстояния между ними. Задан центр перспективного соответствия S между величинами функции указанного расстояния и параметром t влияния. Тогда точка B , в которой $t=0$, соответствует бесконечно большой величине $f(l)$, является началом отсчета параметра t , а величина BD соответствует максимальному влиянию заданной точки на ординату бесконечно близкой к ней текущей точки. Точка E является началом отсчета функции $f(l)$ и определяется как точка пересечения прямой SD с осью $f(l)$.

Тогда параметр t определяется по формуле:

$$t = \frac{S \cdot p}{S + p \cdot f(l)}, \quad (1)$$

где S – площадь прямоугольника $BCAS$;

p – параметр максимального влияния соответствующих точек.

Из формулы (1) видно, что на величину t оказывает влияние не только величина $f(l)$, но и заданная величина p , и положение центра S . Варьирование этих параметров позволяет определить множество зависимостей между величинами t и l .

Рассмотрим возможность использования схемы, показанной на рис. 1 для построения линии, учитывающей влияние ординат заданных точек на ординату текущей точки.

Примем $m=n=1$; $p=1$. Заданы три исходные точки: $A(x_A=0; y_A=4)$, $B(x_B=3; y_B=3)$, $C(x_C=6; y_C=5)$.

Уравнение линии, проходящей через три заданные точки, имеет вид:

$$y = k_1 \cdot t_A y_A + k_2 \cdot t_B y_B + k_3 \cdot t_C y_C, \quad (2)$$

где t_A, t_B, t_C – параметры влияния соответственных заданных точек на ординату текущей точки;
 y_A, y_B, y_C – ординаты заданных точек;
 k_1, k_2, k_3 – коэффициенты, обеспечивающие прохождение линии через заданные точки.

Формула (1) для данного примера принимает вид:

$$t = \frac{1}{1 + f(l)}. \quad (3)$$

В данном примере примем: $f(l)=l$.

Для определения коэффициентов k_1, k_2, k_3 запишем уравнение (2) соответственно для точек A, B, C :

Для точки A : ($x_A=0$; $y_A=4$)

$$l_A=0; l_B=3; l_C=6; t_A=1; t_B=0.25; t_C=0.1429$$

$$4k_1 + 0.75k_2 + 0.7145k_3 - 4 = 0. \quad (4)$$

Для точки B : ($x_B=3$; $y_B=3$)

$$l_A=3; l_B=0; l_C=3; t_A=0.25; t_B=1; t_C=0.25$$

$$k_1 + 3k_2 + 1.25k_3 - 3 = 0. \quad (5)$$

Для точки C : ($x_C=6$; $y_C=5$)

$$l_A=6; l_B=3; l_C=0; t_A=0.1429; t_B=0.25; t_C=1$$

$$0.5716k_1 + 0.75k_2 + 5k_3 - 5 = 0. \quad (6)$$

При совместном решении уравнений (4), (5) и (6) определяем коэффициенты k_1, k_2, k_3 :

$$k_1 = 0,7752;$$

$$k_2 = 0,3860; \quad (7)$$

$$k_3 = 0,8535.$$

С учетом (7) уравнение (2) принимает вид:

$$y = 3.1008t_A + 1.158t_B + 4.2675t_C. \quad (8)$$

При подстановке в (8) значений

$$t_A = \frac{1}{1 + |x - x_A|};$$

$$t_B = \frac{1}{1 + |x - x_B|};$$

$$t_C = \frac{1}{1 + |x - x_C|}.$$

получим уравнение искомой линии:

$$y = \frac{3.1008}{1 + |x - x_A|} + \frac{1.1580}{1 + |x - x_B|} + \frac{4.2675}{1 + |x - x_C|}, \quad (9)$$

которая показана на рис. 2.

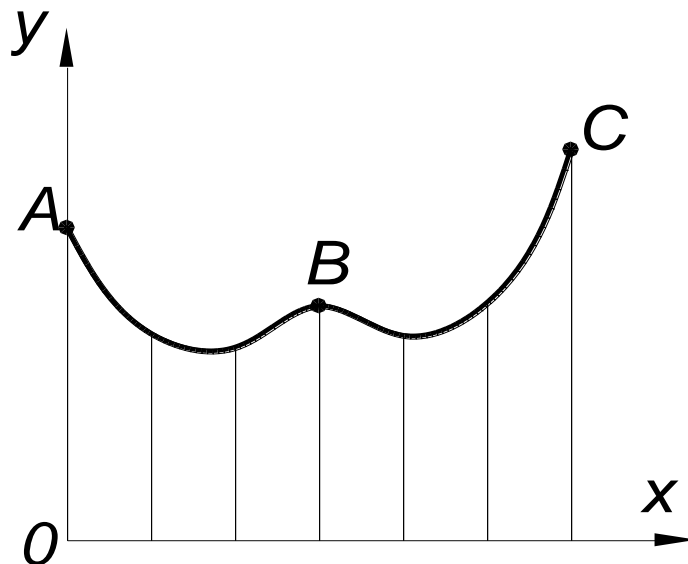


Рис.2

Выводы. Описанный способ учёта влияния источников энергии на потенциал физического поля в любой точке двумерного пространства позволяет учитывать влияние расстояния от источников энергии до произвольной точки физического поля. Это влияние в виде коэффициента t может моделироваться различными функциями $t=f(l)$ в зависимости от характера физического поля.

Перспективным представляется обобщение описанного способа на трёхмерное и четырёхмерное пространство.

Литература

1. Сергейчук О.В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків. дис... д. техн. наук: 05.01.01 / Сергейчук О.В. – К.: КНУБА, 2008. – 425с.

2. Скочко В.І. Спеціальні геометричні моделі процесів, що розвиваються в суцільному середовищі. дис...к. техн. наук: 02.01.01 / Скочко В.І. – К.: КНУБА, 2012. – 269с.

ІНТЕРПОЛЯЦІЯ ТОЧОК НА ПЛОЩИНІ З УРАХУВАННЯМ КОЕФІЦІЄНТІВ ВПЛИВУ ЗАДАНИХ ТОЧОК

Ковальов С.М., Мостовенко О.В.

Деякі задачі інтерполяції точок вимагають врахування впливу параметрів заданих точок на параметри точки, яку визначають. Зокрема, у багатьох задачах цей вплив пов'язано з відстанями поточної точки інтерполяції від заданих точок. Причому, цей вплив має бути тим більше, чим ближче задана точка знаходиться до поточної. На точку, нескінченно близьку до заданої точки ця задана точка повинна надавати максимальний вплив, а при нескінченно великій відстані між заданою і поточною точкою цей вплив має дорівнювати нулю.

Виходячи з цієї логіки, вплив заданої точки на ординату поточної точки повинен бути обернено пропорційним відстані між ними. Однак, параметр впливу для точки, нескінченно близько розташованої до заданої, буде визначатися діленням ординати заданої точки на нескінченно малу величину, що рівносильно поділу на нуль. Тому вплив ординати заданої точки на нескінченно близьку поточну точку приймемо як кінцеву величину, яку будемо вважати максимальною, а вплив нескінченно віддаленої точки на поточну приймемо рівним нулю.

Таку залежність можна геометрично реалізувати на основі центрального проєкціювання.

Прикладом такої практичної задачі може бути: визначення температури в заданому місці температурного поля, яке утворено декількома джерелами нагріву або визначення освітленості в заданій точці простору при декількох джерелах світла і т.д.

В роботі запропонований спосіб обліку впливу джерел енергії на потенціал фізичного поля в будь-якій точці двовимірного простору.

Ключові слова: інтерполяція, енергія, площину, фізичне поле, задана точка, поточна точка, відстань, вплив, потенціал енергії, джерело енергії.

INTERPOLATION OF A POINT ON THE PLANE WITH ACCOUNTING OF THE POINTS OF INFLUENCE OF POINTS

Kovalov S., Mostovenko A.

Some tasks of interpolation of points require taking into account the influence of the parameters of the given points on the parameters of the point, which is determined. In particular, in many problems this influence is connected with the distances of the current interpolation point from the given points. Moreover, this influence should be greater, the closer the given point is to the current one. At a point infinitely close to a given point, this given point should have the maximum effect, and for an infinitely large distance between the given point and the current point, this effect should be zero.

Based on this logic, the influence of a given point on the ordinate of the current point should be inversely proportional to the distance between them. However, the parameter t for a point infinitely closely located to a given one will be determined by dividing the ordinate of a given point by an infinitely small value, which is equivalent to dividing by zero. Therefore, the influence of the ordinate of a given point on the infinitely close current point will be taken as a finite quantity, which we will consider maximum, and the influence of the infinitely distant point on the current one will be taken equal to zero.

Such dependence can be realized geometrically on the basis of central projection. The work graphically presents the relationship between the influence of the ordinate of a given point on the current and the function of the distance between them.

An example of such a practical task can be: determining the temperature at a given place of the temperature field, which is formed by several heat sources or determining the illumination at a given point in space with several light sources, etc.

The paper proposes a method for accounting for the influence of energy sources on the potential of a physical field at any point in two-dimensional space.

Keywords: interpolation, energy, plane, physical field, given point, current point, distance, influence, energy potential, energy source.

УДК 514.74

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІТОЧКОВИХ ТРИВИМІРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ТРИКУТНИКІВ

Колот О.Л. аспірант*,

Бадаєв Ю.І., д.т.н.

*Державний університет інфраструктури та технологій
(м. Київ, Україна)*

Політочкові перетворення застосовуються в проектуванні геометричних об'єктів складної форми в машинобудуванні. Розширення можливостей політочкових перетворень є важливою проблемою в теперішній час.

У попередніх публікаціях [1-4] розглядаються методи політочкових перетворень на основі оптимізації деформації відстаней площин до заданої множини точок, але при цьому не розглядається можливість поширити цей метод на перетворення точково-заданих поверхонь, що звужує його застосування в проектуванні складних геометричних об'єктів.

Запропонований метод відрізняється від звичайних політочкових відображень тим, що в якості прообраза можна задавати не площини в неявному вигляді, а множину трикутників в тривимірному просторі і отримувати перетворений об'єкт у вигляді множини перетворених трикутників.

Такий підхід забезпечує можливість множину трикутників триангульованої поверхні перетворювати в іншу множину трикутників, що дає нову перетворену поверхню. При цьому нова перетворена поверхня змінює своє положення і конфігурацію відповідно до зміни політочкового базису.

Практична цінність запропонованого метода заключається в тому, що дає змогу моделювати різні поверхні із заданою конфігурацією відповідно до заданої конфігурації нового політочкового базису.

Переваги методу також заключаються в простоті методу а також в легкості комп'ютерної реалізації у вигляді програми, яка автоматизує процес проектування поверхонь в машинобудуванні.

Ключові слова: дискретно задана поверхня, трикутник в тривимірному просторі, політочкові відображення площин.

* Науковий керівник – д.т.н., проф. Бадаєв Ю.І.

Постановка проблеми. Політочкові перетворення застосовуються в проектуванні геометричних об'єктів складної форми в машинобудуванні. Розширення можливостей політочкових перетворень є важливою проблемою в теперішній час.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх публікаціях [1-4] розглядаються методи політочкових перетворень на основі оптимізації деформації відстаней площин до заданої множини точок, але при цьому не розглядається можливість поширити цей метод на перетворення точково-заданих поверхонь, що змушує його застосування в проектуванні складних геометричних об'єктів.

Формулювання цілей статті. Метою статті є застосування тривимірних трикутників в методі політочкових відображень для геометричного моделювання складних об'єктів.

Основна частина. В роботі [1] наведено метод політочкових відображень площин, який заключається в наступному.

Нехай в тривимірному просторі задано :

- точки первинного точкового базису $T_{pi}(x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}), i=1, 2, 3, \dots, M$,
- точки вторинного точкового базису $T_{vi}(x_{vi}, y_{vi}, z_{vi}), i=1, 2, 3, \dots, M$,
- площина-прообраз, яка задана коефіцієнтами $a_{proob}, b_{proob}, c_{proob}, d_{proob}$, що визначають площину в неявному вигляді:

$$a_{proob}x + b_{proob}y + c_{proob}z + d_{proob} = 0. \quad (1)$$

Всі точки первинного точкового базису мають відстані до площини-прообразу у вигляді:

$$\beta_i = a_{proob}x_{pi} + b_{proob}y_{pi} + c_{proob}z_{pi} + d_{proob} \neq 0, i = 1, 2, 3, \dots, M. \quad (2)$$

При відображенні площина-прообраз перетвориться в площину-образ у вигляді:

$$a_{ob}x + b_{ob}y + c_{ob}z + d_{ob} = 0. \quad (3)$$

Площина-образ буде мати наступні відстані від точок вторинного точкового базису у вигляді:

$$\gamma_i = a_{ob}x_{vi} + b_{ob}y_{vi} + c_{ob}z_{vi} + d_{ob} \neq 0. \quad (4)$$

При відображенні перетворені відстані будуть дорівнювати:

$$\gamma_i = \omega_i \beta_i, \quad (5)$$

де ω_i - поки невизначений коефіцієнт.

Звідси

$$\omega_i = \frac{\gamma_i}{\beta_i}. \quad (6)$$

Визначимо наступний функціонал

$$S = \sum_{i=1}^M (\omega_i - 1)^2 \Rightarrow \min, \quad (7)$$

що буде означати, що відношення нових координат γ_i до первинних

координат β_i будуть прагнути до 1.0.

Продиференціюємо (7) по $a_{ob}, b_{ob}, c_{ob}, d_{ob}$:

$$\frac{\delta S}{\delta a_{ob}} = \sum_{i=1}^M 2(\omega_i - 1) \frac{x_{obi}}{\beta_i}; \quad (8)$$

$$\frac{\delta S}{\delta b_{ob}} = \sum_{i=1}^M 2(\omega_i - 1) \frac{y_{obi}}{\beta_i}; \quad (9)$$

$$\frac{\delta S}{\delta c_{ob}} = \sum_{i=1}^M 2(\omega_i - 1) \frac{z_{obi}}{\beta_i}; \quad (10)$$

$$\frac{\delta S}{\delta d_{ob}} = \sum_{i=1}^M 2(\omega_i - 1) \frac{1}{\beta_i}. \quad (11)$$

Підставимо (6),(2) і (4) в (8-11). Отримаємо систему із 4-х лінійних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} A1 a_{ob} + B1 b_{ob} + C1 c_{ob} + D1 d_{ob} &= E1, \\ A2 a_{ob} + B2 b_{ob} + C2 c_{ob} + D2 d_{ob} &= E2, \\ A3 a_{ob} + B3 b_{ob} + C3 c_{ob} + D3 d_{ob} &= E3, \\ A4 a_{ob} + B4 b_{ob} + C4 c_{ob} + D4 d_{ob} &= E4, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

де

$$\left. \begin{aligned} A1 &= \sum_{i=1}^M \frac{x_{vi}^2}{\beta_i^2}, B1 = \sum_{i=1}^M \frac{y_{vi} x_{vi}}{\beta_i^2}, C1 = \sum_{i=1}^M \frac{z_{vi} x_{vi}}{\beta_i^2}, D1 = \sum_{i=1}^M \frac{x_{vi}}{\beta_i^2}, E1 = \sum_{i=1}^M \frac{x_{vi}}{\beta_i}, \\ A2 &= \sum_{i=1}^M \frac{x_{vi} y_{vi}}{\beta_i^2}, B2 = \sum_{i=1}^M \frac{y_{vi}^2}{\beta_i^2}, C2 = \sum_{i=1}^M \frac{z_{vi} y_{vi}}{\beta_i^2}, D2 = \sum_{i=1}^M \frac{y_{vi}}{\beta_i^2}, E2 = \sum_{i=1}^M \frac{y_{vi}}{\beta_i}, \\ A3 &= \sum_{i=1}^M \frac{x_{vi} z_{vi}}{\beta_i^2}, B3 = \sum_{i=1}^M \frac{y_{vi} z_{vi}}{\beta_i^2}, C3 = \sum_{i=1}^M \frac{z_{vi}^2}{\beta_i^2}, D3 = \sum_{i=1}^M \frac{z_{vi}}{\beta_i^2}, E3 = \sum_{i=1}^M \frac{z_{vi}}{\beta_i}, \\ A4 &= \sum_{i=1}^M \frac{x_{vi}}{\beta_i^2}, B4 = \sum_{i=1}^M \frac{y_{vi}}{\beta_i^2}, C4 = \sum_{i=1}^M \frac{z_{vi}}{\beta_i^2}, D4 = \sum_{i=1}^M \frac{1}{\beta_i^2}, E4 = \sum_{i=1}^M \frac{1}{\beta_i}, \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Розв'язання системи (12) дасть нові коефіцієнти $a_{ob}, b_{ob}, c_{ob}, d_{ob}$ площини-образу після перетворення площини-прообразу.

Будемо розв'язувати задачу в наступній послідовності:

1. Задаємо трикутник –прообраз ABC в тривимірному просторі $A_{pr}(x_{Apr}, y_{Apr}, z_{Apr}), B_{pr}(x_{Bpr}, y_{Bpr}, z_{Bpr}), C_{pr}(x_{Cpr}, y_{Cpr}, z_{Cpr})$.

Розраховуємо коефіцієнти площини-прообразу.

Коефіцієнти $a_{proob}, b_{proob}, c_{proob}$ розраховуємо за допомогою векторного помноження:

$$\begin{bmatrix} a_{proof} & b_{proof} & c_{proof} \\ (x_{Bpr} - x_{Apr}) & (y_{Bpr} - y_{Apr}) & (z_{Bpr} - z_{Apr}) \\ (x_{Cpr} - x_{Apr}) & (y_{Cpr} - y_{Apr}) & (z_{Cpr} - z_{Apr}) \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Коефіцієнт d_{proof} буде дорівнювати:

$$d_{proof} = -(a_{proof}x_{Apr} + b_{proof}y_{Apr} + c_{proof}z_{Apr}). \quad (15)$$

Таким чином ми визначили первинну площину-прообраз (1).

2. Задамо первинний і вторинний точкові базиси T_{pi} $(x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}), i=1,2,3,\dots,M$, T_{vi} $(x_{vi}, y_{vi}, z_{vi}), i=1,2,3,\dots,M$. Кількість точок первинного і вторинного базисів обов'язково однакові.

3. Виконаємо політочне перетворення площини-прообразу (1) на основі застосування формул (2),(4),(5-12).

В результаті отримаємо перетворену площину-образ (3).

4. Задамо координати x_i , y_i трьох перетворених точок трикутника. Координату z_i отримаємо із рівняння (3) перетвореної площини:

$$z_i = -\frac{a_{ob}x_i + b_{ob}y_i + d_{ob}}{c_{ob}}. \quad (16)$$

На рис. 1 показано трьохточкове перетворення трикутника. На рис. 2,3,4 показані два тестових приклада перетворення сфери на основі восьмиточкових перетворень.

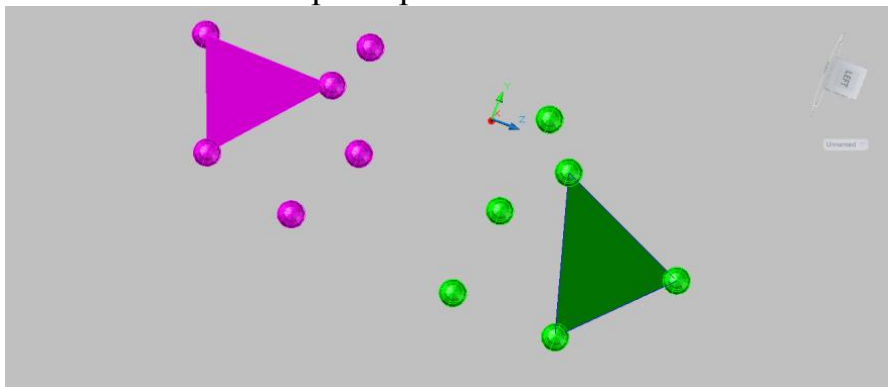


Рис. 1 Трьохточкове перетворення трикутника.

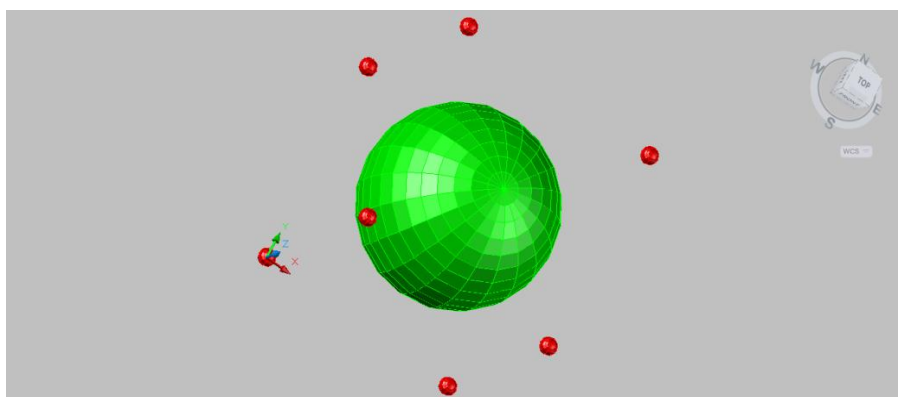


Рис. 2 Прообраз-сфера у восьмиточковому первинному базисі.

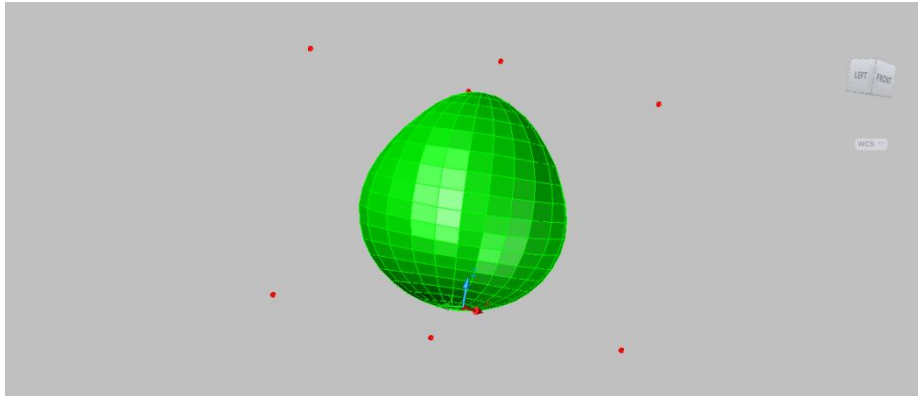


Рис. 3 Тест 1. Перетворена сфера у восьмиточковому вторинному базисі.

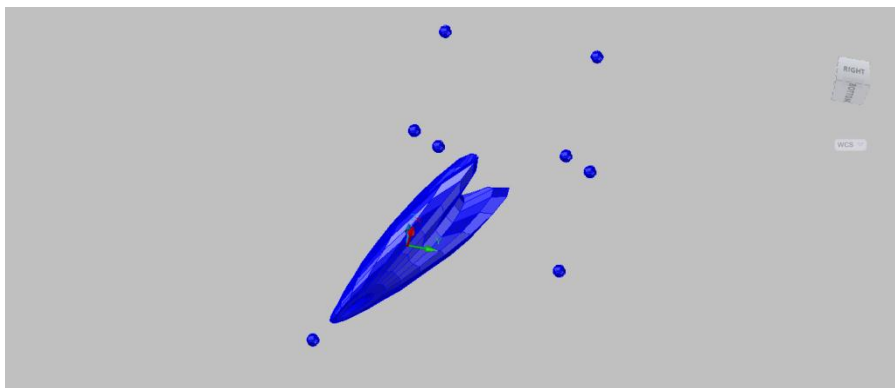


Рис. 4 Тест 2. Перетворена сфера у восьмиточковому вторинному базисі.

Висновки. В роботі було запропоновано метод політочкових тривимірних відображень трикутників в геометричному моделюванні складних об'єктів, який відрізняється від звичайних політочкових відображень тим, що в якості прообраза можна задавати не площини в неявному вигляді, а множину трикутників в тривимірному просторі і отримувати перетворений об'єкт у вигляді множини перетворених трикутників. Практична цінність запропонованого метода заключається в тому, що дає змогу моделювати різні поверхні із заданою конфігурацією відповідно до заданої конфігурації нового політочкового базису.

Література

1. Бадаєв Ю.И. Поликоординатный метод в прикладной геометрии и компьютерной графике. – [Монография]./ Ю.И. Бадаєв. – К.: Просвіта, 2006. – 173 с.
2. Бадаєв Ю.І. Визначення коефіцієнтів перетвореної прямої при політочкових перетвореннях / Ю.І. Бадаєв, Ю.В. Сидоренко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К: КДТУБА, 2001. – Вип.68. – С.45-47.
3. Бадаєв Ю.І. Політканинні перетворення в точковому визначенні /

Ю.И. Бадаев, Ю.В. Сидоренко // Труды Таврической государственной агротехнической академии. – Мелитополь: ТГАТА, 1998. – Вып.4: Прикладная геометрия и инженерная графика. – Т.8. – С.21–23.

4. Бадаев Ю.И. Деформаційне конструювання об'єктів водного транспорту за допомогою політочкових перетворень / Ю.И. Бадаев, Ю.В. Сидоренко // Водний транспорт: Збірник наукових праць, – К.: КДАВТ, 2000. – С.140–143.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТОЧЕЧНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ТРЕУГОЛЬНИКОВ

Колот А.Л., Бадаев Ю.И.

Политочечные преобразования применяются в машиностроении при проектировании геометрических объектов сложной формы. Расширение возможностей политочечных преобразований в настоящее время является важной проблемой.

В предыдущих публикациях [1-4] рассматриваются методы политочечных преобразований на основе оптимизации деформации расстояний плоскостей к заданному множеству точек, но при этом не рассматривается возможность распространить этот метод на преобразования точно-заданных поверхностей, что сужает его применение в проектировании сложных геометрических объектов.

Предложенный метод отличается от обычных политочечных отражений тем, что в качестве прообраза можно задавать не плоскости в неявном виде, а множество треугольников в трехмерном пространстве и получать преобразованный объект в виде множества преобразованных треугольников.

Такой подход дает возможность множество треугольников триангулированной поверхности превращать в другое множество треугольников, дает новую преобразованную поверхность. При этом новая преобразованная поверхность меняет свое положение и конфигурацию в соответствии с изменением политочечного базиса.

Практическая ценность предложенного метода заключается в том, что он позволяет моделировать различные поверхности с заданной конфигурацией в соответствии с заданной конфигурацией нового политочечного базиса.

Преимущества метода также заключаются в простоте метода а также в легкости компьютерной реализации в виде программы, которая автоматизирует процесс проектирования поверхностей в машиностроении.

Ключевые слова: дискретно заданная поверхность, треугольник

в трехмерном пространстве, политочечное отображение плоскостей.

GEOMETRIC MODELING OF COMPOSITE OBJECTS ON THE BASIS OF POLYPOINTS THREE-DIMENSIONAL TRANSFORMATIONS OF TRIANGLES

Kolot O., Badayev Y.

The paper proposes a method of three-dimensional mappings of triangles in geometric modeling of complex objects.

Counterform transformations are used in the design of geometric objects of complex form in mechanical engineering.

Expansion of the possibilities of political transformations is an important problem at the present time.

In previous publications [1-4] we consider methods of field transformations based on the optimization of deformation of distances of planes to a given set of points, but this does not consider the possibility of extending this method to the transformation of point-defined surfaces, which narrows its application in the design of complex geometric objects

The proposed method differs from the usual field-mapping mappings by the fact that it is possible to specify not an implicit plane, but a set of triangles in a three-dimensional space as a prototype, and to obtain a transformed object in the form of a set of transformed triangles.

This approach ensures that the plural of triangles of a triangulated surface can be transformed into another set of triangles, which gives the new converted surface.

The practical value of the proposed method lies in the fact that it allows to simulate different surfaces with a given configuration in accordance with the given configuration of a new polyhedic basis.

The advantages of the method also consist in the simplicity of the method as well as in the ease of computer implementation in the form of a program that automates the process of a three-dimensional space and receive a transformed object in the form of a set of transformed triangles.

Keywords: discretely defined surface, triangle in three-dimensional space, polypoints mapping of planes.

УДК 514.18

НЕРУХОМИЙ І РУХОМИЙ АКСОЇДИ СУПРОВІДНОГО ТРИГРАННИКА ФРЕНЕ ПЛОСКОЇ НАПРЯМНОЇ КРИВОЇ

Кресан Т.А., к.т.н.,

ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут» (Україна)

Пилипака С.Ф., д.т.н.,

Кремець Я.С., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування
України (м. Київ, Україна)*

Рух супровідного тригранника Френе по напрямній кривій можна розглядати, як рух твердого тіла, закономірність якого визначено диференціальними характеристиками кривої. Оскільки тригранник рухається вздовж кривої, то його переміщення можна розглядати, як суму двох складових рухів: поступального вздовж орта дотичної і обертального навколо миттєвої осі обертання. Ці два рухи можна звести до гвинтового руху навколо миттєвої осі обертання і ковзання. Однопараметрична множина таких осей по відношенню до нерухомої системи координат утворює нерухомий аксоїд, а по відношенню до системи рухомого тригранника – рухомий.

В статті розглянуто побудову рухомого і нерухомого аксоїдів для випадку, коли напрямною лінією тригранника є плоска крива. В такому випадку ковзання відсутнє. Миттєва вісь обертання тригранника паралельна орту бінормалі і перетинає орт головної нормалі на певній відстані від бінормалі. Ця відстань чисельно рівна радіусу кривини кривої в поточній точці розташування тригранника. При русі тригранника по кривій із змінною кривиною миттєва вісь обертання рухається вздовж орта головної нормалі, залишаючись паралельною орту бінормалі. Множина положень осі миттєвого обертання в системі тригранника утворює рухомий аксоїд, яким є площина. Нерухомим аксоїдом є циліндр, поперечним перерізом якого є еволюта плоскої напрямної кривої. Показано, що рухомий аксоїд є розгорткою нерухомого. Нерухомий аксоїд є полярним торсом напрямної кривої. Сформульовано відповідне твердження.

Розглянуто конкретні приклади, коли за вихідну напрямну криву взято евольвенту кола і коло. Для кола кривина є стала, отже вісь миттєвого обертання в триграннику не рухається. Рухомий аксоїд вироджується в пряму лінію. Полярний торс для кола теж вироджується в пряму лінію, яка проходить через його центр. Перекочуванням рухомого аксоїда по нерухомому можна відтворити напрямну криву. Для кола це буде обертання прямої лінії (рухомого

аксоїда) навколо іншої прямої (нерухомого аксоїда). Відстань між ними дорівнює радіусу кривини, тобто радіусу кола. Точка на рухомому аксоїді при його обертанні навколо нерухомого опише коло.

Ключові слова: супровідний тригранник Френе, напрямна крива, нерухомий аксоїд, рухомий аксоїд.

Постановка проблеми. Нерухомий і рухомий аксоїди є важливими характеристиками кінематики твердого тіла, які дозволяють відтворити його рух обкочуванням рухомого аксоїда по нерухомому із ковзанням вздовж спільної прямої дотику в загальному випадку. Створення геометричних моделей на основі кінематики поверхонь є не тільки засобом конструювання геометричних образів, а і основою їх відтворення. В статті розглянуто частковий випадок для плоскої напрямної кривої, коли ковзання аксоїдів відсутнє.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При розгляді деяких задач механіки рух твердого тіла розглядається по відношенню до рухомої системи координат, яка збігається із супровідним тригранником траєкторії однієї із точок тіла [1]. Наприклад, в праці [2] наведено приклад із застосуванням тригранника Френе при розгляді руху літака в його системі. Для прикладної геометрії дослідження кінематики твердого тіла є цікавим для конструювання кінематичних поверхонь. До них відносяться ротативні поверхні, при утворенні яких беруть участь аксоїди, що обкочуються один по другому без ковзання [3], та спіроїдальні, де ковзання аксоїдів присутнє [4]. Дослідження ротативних і спіроїдальних поверхонь розглянуто в праці [5].

Формулювання цілей статті. Розробити спосіб побудови нерухомого і рухомого аксоїдів тригранника Френе напрямної плоскої кривої.

Основна частина. При русі супровідного тригранника Френе по просторовій напрямній кривій він здійснює певний рух, який можна розкласти на два складових рухи: поступальний в напрямі орта дотичної $\bar{\tau}$ із швидкістю V і обертальний навколо миттєвої осі обертання $\bar{\omega}$ з кутовою швидкістю ω (рис. 1,а). Миттєвою віссю обертання тригранника є вектор Дарбу $\bar{\omega}$ [1], який розташований в спрямній площині тригранника і складає кут φ із ортом $\bar{\tau}$.

Напрямок і величина вектора Дарбу залежить від значень кривини k і скруту σ кривої в точці A розташування тригранника, причому його проекція на орт $\bar{\tau}$ чисельно рівна скрутові σ , а на орт бінормалі \bar{b} - кривині k . Звідси можна знайти модуль вектора $\bar{\omega}$, тобто чисельне значення кутової швидкості ω :

$$|\bar{\omega}| = \omega = \sqrt{k^2 + \sigma^2}. \quad (1)$$

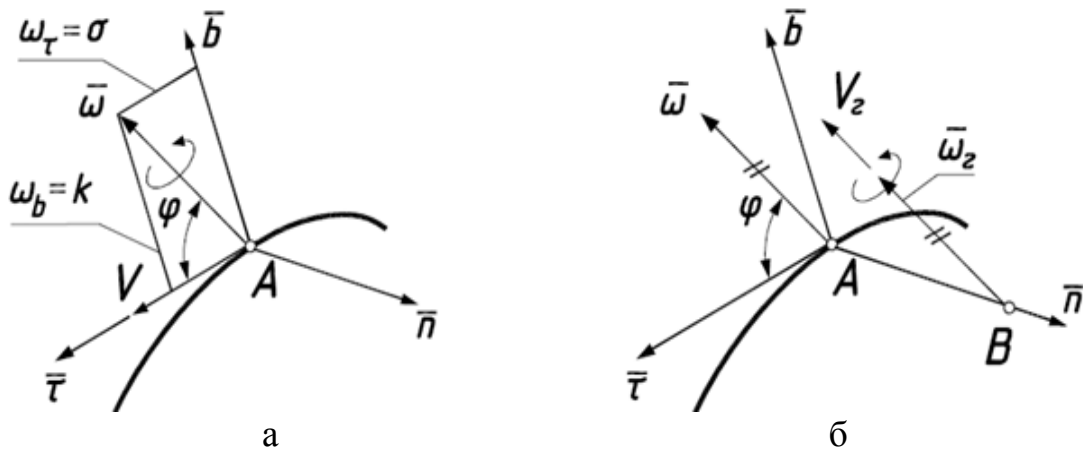


Рис. 1. Варіанти розкладання поступального і обертального рухів тригранника Френе просторової кривої:

- а) обертальний рух навколо вектора Дарбу і поступальний вздовж орта дотичної;
- б) обертальний рух навколо миттєвої осі обертання і ковзання і поступальний вздовж неї

Обертальний і поступальний рухи тригранника можна замінити одним гвинтовим рухом. Він буде обертатися навколо нової осі з тією ж кутовою швидкістю ω і ковзати вздовж неї із новою швидкістю V_2 :

$$V_2 = V\sigma / \sqrt{k^2 + \sigma^2}. \quad (2)$$

Нова вісь називається миттєвою віссю обертання і ковзання $\bar{\omega}_2$ (рис. 2,б). Вона паралельна вектору Дарбу і зміщена вздовж головної нормалі \bar{n} тригранника на відстань [6]:

$$AB = \frac{k}{k^2 + \sigma^2}. \quad (3)$$

Для плоскої кривої скрут $\sigma=0$, отже $\varphi=90^\circ$. Це означає, що миттєва вісь обертання $\bar{\omega}$ збігається із бінормаллю \bar{b} . При переході до нової осі ми отримуємо чисте обертання без ковзання, оскільки поступальна швидкість ковзання згідно (2) дорівнюватиме нулю (рис. 2,а). Відстань розташування нової миттєвої осі обертання згідно (3) буде визначатися радіусом кривини ρ кривої в поточній точці (рис. 2,а):

$$AB = \rho = 1/k. \quad (4)$$

Побудуємо декілька положень осі миттєвого обертання тригранника, сукупність яких утворює циліндричну поверхню – нерухомий аксоїд.

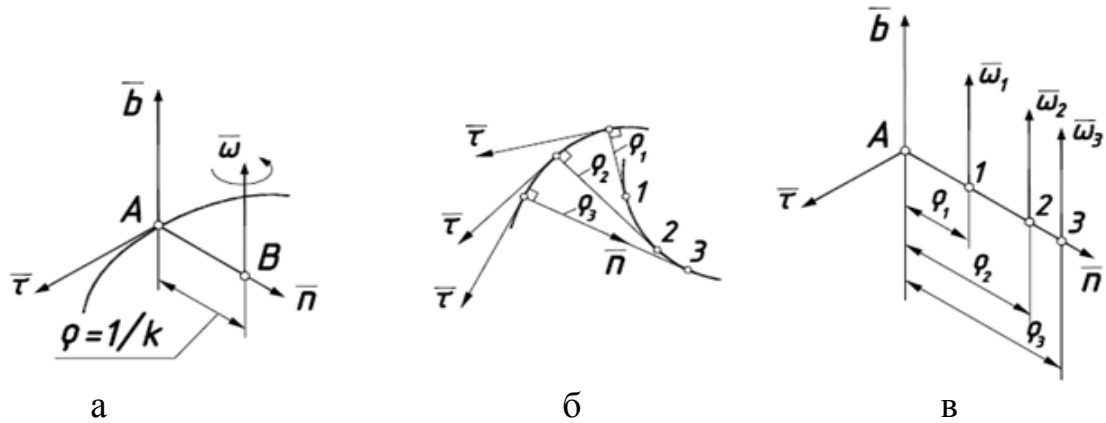


Рис. 2. До побудови рухомого і нерухомого аксоїда тригранника плоскої напрямної кривої:

- розташування в системі тригранника миттєвої осі обертання $\bar{\omega}$;
- окремі положення миттєвої осі обертання тригранника при його русі по кривій, які належать нерухомому аксоїду;
- три окремі положення миттєвої осі обертання тригранника в його системі, які належать рухомому аксоїду

На рис. 2,б показано криву у її площині таким чином, що бінормаль тригранника і миттєва вісь його обертання проєкціюються в точку. Цифрами 1, 2, 3 позначено окремі положення миттєвої осі обертання тригранника при його русі по кривій. Множина таких осей утворить циліндричну поверхню – нерухомий аксоїд. Ортогональним перерізом такого циліндра є крива – геометричне місце центрів кривини напрямної кривої, тобто еволюта. Таким чином, нерухомим аксоїдом тригранника плоскої кривої є еволютний циліндр.

На рис. 2,в ці ж самі миттєві осі обертання тригранника зображені у його системі. Їх множина утворює рухомий аксоїд. Приріст відстані ρ вздовж головної нормалі тригранника дорівнює приросту відповідних дуг еволюти в силу її властивостей, тобто довжини дуг між точками 1, 2, 3 рівні відповідним відрізнякам головної нормалі. Таким чином, рухомим аксоїдом тригранника є площина – розгортка нерухомого аксоїда. Сам нерухомий аксоїд є обвідною поверхнею однопараметричної множини нормальних площин напрямної кривої, тобто є для неї полярним торсом. Звідси сформулюємо наступне..

Твердження. При русі супровідного тригранника Френе по плоскій напрямній кривій його нерухомим аксоїдом є полярний торс кривої, а рухомим – розгортка полярного торса.

Якщо розгортку (рухомий аксоїд) із тригранником Френе (рис. 2,в) сумістить із полярним торсом, яким є еволютний циліндр так, щоб відповідні прямолінійні твірні, тобто осі, збігалися, то при

обкочуванні розгортки по полярному торсі вершина тригранника відтворить вихідну криву.

Для прикладу за напрямну криву ми взяли евольвенту кола. Її еволютним циліндром (нерухомим аксоїдом) є коловий циліндр. На рис. 3 показано два положення тригранника при його русі по напрямній кривій. Рухомий аксоїд (фрагмент площини - розгортки нерухомого аксоїда, тобто циліндра) обкочується по циліндру без ковзання, віддаляючись при цьому від його осі. Вершина тригранника описує при цьому вихідну криву. Якщо взяти в нормальній площині тригранника, тобто на рухомому аксоїді іншу точку, відмінну від його вершини, то її траєкторією теж буде евольвента кола того ж самого радіуса, але зі зміщенням по довжині дуги.

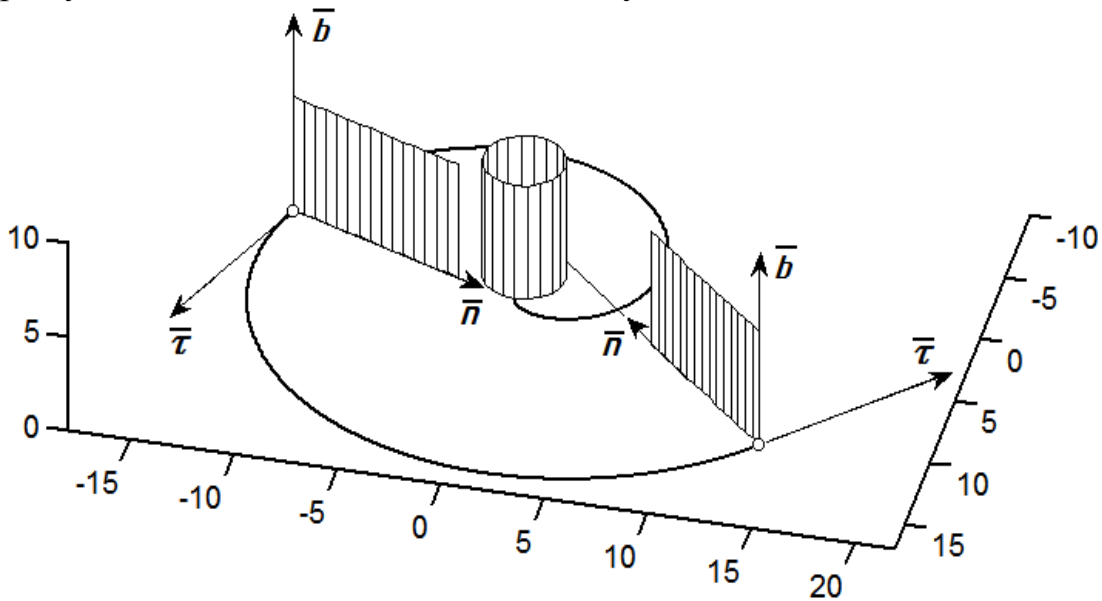


Рис. 3. Обкочування рухомого аксоїда по нерухомому на прикладі плоскої напрямної кривої – евольвенти кола

Оскільки твірні обох аксоїдів мають вертикальний напрям, то задачу можна звести до плоскої: перекочування прямої по кривій. Пряма і крива в такому випадку називаються рухомою і нерухомою центроїдами. Таке перекочування показано на рис. 4. Відтворити рух плоскої фігури у площині можна перекочуванням її рухомої центроїди по нерухомій.

Якщо у площині рухомого аксоїда помістити будь-яку криву, то при його перекочуванні по нерухомому аксоїді буде утворена ротативна поверхня. Якщо замість кривої взяти пряму лінію, то утвориться розгортна поверхня.

Візьмемо за вихідну напрямну криву коло. Оскільки для нього $\rho = const$, то нерухомий і рухомий аксоїди вироджуються в пряму лінію.

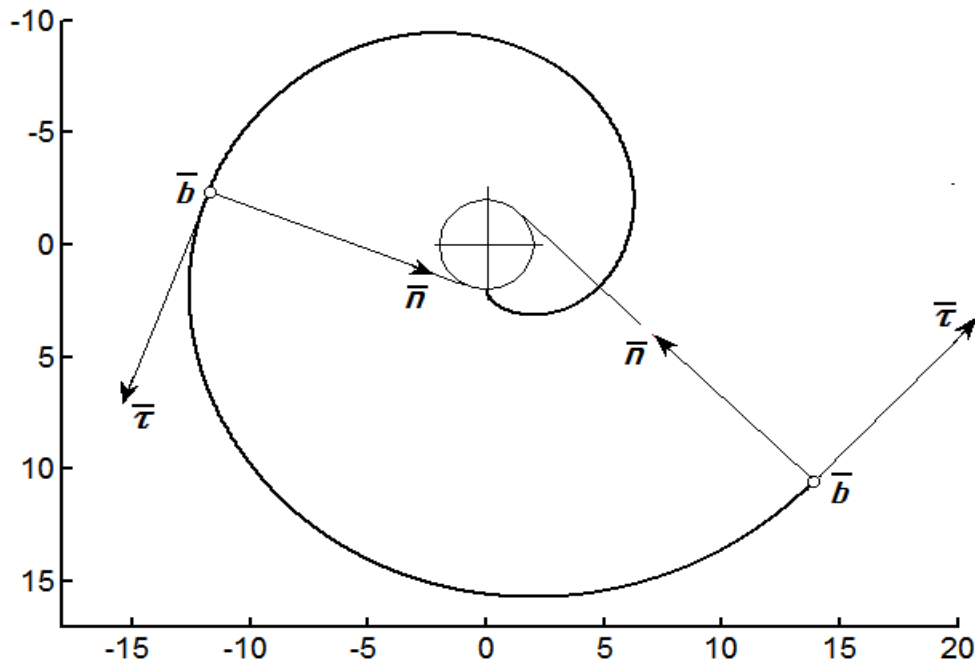


Рис. 4. Утворення кривої шляхом перекочування прямої (ортогонального перерізу рухомого аксоїда) по колу (ортогональному перерізу нерухомого аксоїда)

Обкочування рухомого аксоїда по нерухомому перетворюється в обертання площини (рухомого аксоїда) навколо прямої (нерухомого аксоїда). Точка в площині рухомого аксоїда на відстані радіуса ρ від осі обертання опише коло, тобто відтворить вихідну криву. Якщо в площині взяти пряму лінію, то утвореною ротативною поверхнею буде циліндр або конус.

Висновки. Для окремого випадку руху тригранника Френе, коли напрямною лінією є плоска крива, нерухомим аксоїдом є полярний торс кривої, а рухомим – його розгортка. Обкочуванням розгортки по полярному торсу можна відтворити вихідну криву. Цією кривою буде траєкторія точки, розташованої в площині розгортки. Якщо в площині помістити криву або пряму лінію, то траєкторією буде ротативна поверхня (криволінійна або розгортна).

Література

1. Лойцянский Л.Г. Курс теоретической механики / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье . В двух томах – Т. 1: Статика и кинематика. – 8-е изд. – М.: Наука, 1982. – 352 с.
2. Лурье А.И. Аналитическая механика / А.И. Лурье. – М.: ФМ, 1961. – 823 с.
3. Ядгаров Д.Я. Применение дифференциальных уравнений к конструированию ротативных поверхностей с аксоидами торс-торс / Д.Я. Ядгаров, И.Х. Шоломов // Исслед. в области теории

- дифференциальных уравнений и теории приближений. – Ташкент, 1982. – С. 96 – 100.
4. Кирилов С.В. Параметрические уравнения некоторых спироидальных поверхностей / С.В. Кирилов // Кибернетика графики и прикладная геометрия поверхностей: Труды МАИ. – Вып. 296. – М.: МАИ, 1972. – С. 81 – 85.
 5. Кривошапко С.Н. Исследование и визуализация ротативных и спироидальных поверхностей / С.Н. Кривошапко, С.Л. Шамбина // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип. 4. Прикл. геометрія та інж. графіка. – Том 49. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С. 33 – 41.
 6. Панчук К.Л. Элементы кинематической геометрии кривой линии / К.Л. Панчук // Омский научный вестник. – Омск: ОГТУ, 2005. – № 2 (31). – С. 68 – 69.

НЕПОДВИЖНЫЙ И ПОДВИЖНЫЙ АКСОИДЫ СОПРОВОЖДАЮЩЕГО ТРЁХГРАННИКА ФРЕНЕ ПЛОСКОЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ КРИВОЙ

Кресан Т.А., Пилипака С.Ф., Кремец Я.С.

Движение сопровождающего трехгранника Френе по направляющей кривой можно рассматривать, как движение твердого тела, закономерность которого определено дифференциальными характеристиками кривой. Поскольку трехгранник движется вдоль кривой, то его перемещение можно рассматривать, как сумму двух составляющих движений: поступательного вдоль орта касательной и вращательного вокруг мгновенной оси вращения. Эти два движения можно свести к винтовому движению вокруг мгновенной оси вращения и скольжения. Однопараметрическое множество таких осей по отношению к неподвижной системе координат образует неподвижный аксоид, а по отношению к системе подвижного трехгранника – подвижный.

В статье рассмотрено построение подвижного и неподвижного аксоидов для случая, когда направляющей кривой трехгранника является плоская кривая. В таком случае скольжение отсутствует. Мгновенная ось вращения трехгранника параллельна орту бинормали и пересекает орт главной нормали на определенном расстоянии от бинормали. Это расстояние численно равно радиусу кривизны кривой в текущей точке расположения трехгранника. При движении трехгранника по кривой с переменной кривизной

мгновенная ось вращения движется вдоль орта главной нормали, оставаясь параллельной орту бинормали. Множество положений оси мгновенного вращения в системе трехгранника образует подвижный аксоид, которым является плоскость. Неподвижным аксоидом является цилиндр, поперечным сечением которого является эволюта плоской направляющей кривой. Показано, что подвижный аксоид является разверткой неподвижного. Неподвижный аксоид является полярным торсом направляющей кривой. Сформулировано соответствующее утверждение.

Рассмотрено конкретные примеры, когда за исходную направляющую кривую взято эвольвенту окружности и окружность. Для окружности кривизна является постоянной, поэтому ось мгновенного вращения в трехграннике не движется. Подвижный аксоид вырождается в прямую линию. Полярный торс для окружности тоже вырождается в прямую линию, которая проходит через его центр. Перекачиванием подвижного аксоида по неподвижному можно воссоздать направляющую кривую. Для окружности это будет вращение прямой линии (подвижного аксоида) вокруг другой прямой (неподвижного аксоида). Расстояние между ними равно радиусу кривизны, то есть радиусу окружности. Точка на подвижном аксоиде при его вращении вокруг неподвижного опишет окружность.

Ключевые слова: сопровождающий трёхгранник Френе, направляющая кривая, неподвижный и аксоид, подвижный аксоид.

IMMOVABLE AND MOVABLE AXOID OF ACCOMPANYING TREE-EDGE OF FRENET OF FLAT SENDING CURVE

Kresan T., Pylypaka S., Kremetz Ya.

The movement of the accompanying three-edge of Frenet along the guide curve can be considered as a solid body motion, the regularity of which is determined by the differential characteristics of the curve. Since the three-edge moves along the curve, its movement can be considered as the sum of two constituent motions: translational along the ort of the tangent and rotational around the instantaneous axis of rotation. These two movements can be reduced to the screw motion around the instantaneous axis of rotation and sliding. The one-parameter plural of such axes forms

an immovable axoid with respect to the fixed coordinate system, and a movable axoid with respect to the moving three-edge system.

The article describes the construction of movable and immovable axoids for the case when the guide curve of the trihedron is a flat curve. In this case, there is no slip. The instantaneous axis of rotation of the trihedron is parallel to the ort of the binormal and intersects the ort of the principal normal at a certain distance from the binormal. This distance is numerically equal to the radius of curvature of the curve at the current point of the trihedron. When the trihedron moves along the curve with a variable curvature, the instantaneous axis of rotation moves along the ort of the principal normal, while remaining parallel to the ort of the binormal. The plural of positions of the instantaneous rotation axis in the trihedron system forms a movable axoid, which is the plane. The immovable axoid is a cylinder, the cross section of which is an evolute of a flat guide curve. It is shown that the movable axoid is an involute of the immovable. The immovable axoid is the polar torso of the guide curve. The corresponding statement is formulated.

Specific examples are considered when the circle and evolvent of the circle are taken for the initial sending curve. For a circle, the curvature is constant, so the axis of instantaneous rotation in the trihedron does not move. Movable axoid degenerates into a straight line. The polar torso for a circle also degenerates into a straight line that passes through its center. By pumping the movable axoid on the immovable one, it is possible to recreate a guide curve. For a circle, this will be the rotation of a straight line (movable axoid) around another straight line (immovable axoid). The distance between them is equal to the radius of curvature, that is, the radius of the circle. The point on the movable axoid when it rotates around the immovable one will describe the circle.

Keywords: the accompanying three-edge of Frenet, the sending curve, immovable axoid, movable axoid.

УДК 515.2

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗКРИТТЯ У НЕВАГОМОСТІ КАРКАСУ ПАРАБОЛІЧНОЇ АНТЕНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧОТИРИЛАНКОВОЇ СТЕРЖНЕВОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Куценко Л.М., д.т.н.

*Національний університет цивільного захисту України
(м. Харків, Україна),*

Запольський Л.Л., к.т.н.

*Український науково-дослідний інститут цивільного захисту
(м. Київ, Україна)*

Запропоновано геометричну модель розкриття в умовах невагомості каркасу параболічної антени з використанням стержневої конструкції, подібної чотирьохланковому маятнику. Переміщення ланок конструкції відбуваються завдяки дії імпульсів піротехнічних двигунів на кінцеві точки ланок. Опис руху одержаного інерційного розкриття стержневої конструкції виконано за допомогою рівняння Лагранжа другого роду, і, зважаючи на умови невагомості, побудованого з використанням лише кінетичної енергії системи. Актуальність теми визначається необхідністю удосконалення та дослідження нових технологічних схем розкриття каркасів космічних інфраструктур. У тому числі каркасів параболічних антен, елементами яких є сім'я однакових співфокусних парабол, одержаних обертанням з певним кутовим кроком навколо спільної осі. Крім того, цікавими мають бути нові технології виконання монтажних робіт на орбіті з використанням конструкцій механічних захватів (типу «руки робота»), розташованих зовні космічних апаратів. Визначено параметри та початкові умови запуску руху чотириланкової стержневої конструкції з метою одержання необхідного розташування ланок. Показано, що для впровадження варіантів інерційного розкриття необхідно застосувати комплект уніфікованих піротехнічних пристроїв, величини імпульсів яких визначаються координатами вектора $U'=\{0.1, 1.9, 1.3, 2.5\}$ умовних одиниць. Є можливість побудувати графіки зміни у часі функцій значень кутів як узагальнених координат, а також перших та других похідних цих функцій. В результаті можливо надати оцінки силовим характеристикам системи в момент гальмування (зупинки) процесу розкриття. Результати призначено для геометричного моделювання варіантів розкриття чотириланкових стержневих конструкцій в умовах

невагомості. Наприклад, каркасів для орбітальних інфраструктур, а також механічних маніпуляторів для захвату космічних об'єктів.

Ключові слова: чотириланкова стержнева конструкція, розкриття у невагомості, рівняння Лагранжа другого роду.

Постановка проблеми. У більшості випадків рефлекторні антени космічного базування складаються з жорсткого каркасу, який після доставки на орбіту необхідно трансформувати і тим самим надати йому розраховану форму конструкції. Компоненти великогабаритних космічних стержневих конструкцій доставляються на орбіту у згорнутому вигляді [1]. При реалізації розкриття чотириланкової стержневої конструкції у невагомості виникає проблема вибору способів активації її руху. В якості засобів ініціювання розкриття пропонується використовувати імпульсні реактивні двигуни (типу піропатронів [2]), встановлених на кінцевих точках ланок стержневої конструкції. Адже піротехнічні пристрої набагато легші і дешевші порівняно з засобами ініціювання розкриття конструкції, такими, як електродвигуни або пружинні пристрої з термопам'яттю [3]. Це вказує на доцільність дослідження моделі розкриття каркасу параболічної антени в умовах невагомості з використанням стержневих конструкцій з імпульсними двигунами на кінцевих точках їх ланок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На практиці застосовують каркасні тросові системи розкриття, де за допомогою електродвигунів та тросів здійснюється синхронізація зміни величин кутів між суміжними ланками [4, 5]. Але застосування тросової системи розкриття на практиці обмежено розмірами конструкції та необхідністю синхронізувати дію електродвигунів, що є самостійною задачею при великій кількості ланок. Робота [6] присвячена методу розрахунку розкриття великогабаритних конструкцій з використанням програмних комплексів MSC Software. В роботі [7] наведено приклад розрахунку розкриття за допомогою комплексу автоматизованого динамічного аналізу багатокомпонентних механічних систем EULER. Але зазначені програмні продукти не розраховані без відповідних надбудов на реалізацію інерційного способу розкриття багатоланкових конструкцій. В роботах [8-13] наведено результати, одержані попередньо на тему даної роботи.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розробка геометричної моделі процесу розкриття в умовах невагомості каркасу параболічної антени за допомогою стержневих конструкцій, аналогічних чотириланковому маятнику. Для ініціювання руху конструкції необхідно змодельовати дію імпульсних піротехнічних

реактивних двигунів, встановлених на кінцевих точках ланок конструкції.

Основна частина. Оберемо уявну площину з декартовими координатами Oxy , на якій в умовах невагомості має переміщуватися чотириланкова стержнева конструкція. Вона складатиметься з чотирьох невагомих нерозтяжних стержнів довжин L_1, L_2, L_3 і L_4 , шарнірно з'єднаних між собою вузловими циліндричними шарнірами з масами m_1, m_2, m_3 і m_4 . Рух без тертя у циліндричних шарнірах забезпечує переміщення вантажів лише у межах обраної уявної площини. Тобто циліндричні шарніри у вузлах конструкції забезпечують її розкриття лише у межах абстрактної площини, яка проходить через нерухому точку конструкції.

Початок першої ланки стержневої конструкції збігається з початком координат O . У якості напрямку відліку оберемо вісь Oy . Узагальненими координатами вважатимемо кути $u_1(t), u_2(t), u_3(t)$ і $u_4(t)$, утворені на площині відповідними ланками з напрямком відліку (рис. 1).

Запуск руху стержневої конструкції у невагомості здійснюється шляхом вибору величин імпульсів, наданих кожному з кутів відхилень. Наприклад, $U' = \{u_1'(0), u_2'(0), u_3'(0), u_4'(0)\}$ означає, що i -тому вантажу масою m_i надано імпульс величиною $m_i u_i'(0)$, ($i=1...4$). Тобто кутам розкриття $u_i(t)$ надано початкові швидкості $u_i'(0)$, ($i=1...4$). З врахуванням наданої реактивними двигунами миттєвих швидкостей $u_1'(0), u_2'(0), u_3'(0)$ і $u_4'(0)$, стержнева конструкція далі має розкриватися за інерцією. Кожний піротехнічний двигун (типу піропатрона) повинен забезпечити розраховану величину імпульсу. Реактивні двигуни повинні закріплюватися так, щоб їх дії були спрямовані по нормалі до відповідної ланки в площині розкриття.

Для опису руху чотириланкової стержневої конструкції складемо та розв'яжемо систему рівнянь Лагранжа другого роду. За допомогою узагальнених координат обчислюємо координати вузлових точок:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= L_1 \sin(u_1(t)); & y_1(t) &= L_1 \cos(u_1(t)); \\ x_2(t) &= x_1(t) + L_2 \sin(u_2(t)); & y_2(t) &= y_1(t) + L_2 \cos(u_2(t)); \\ x_3(t) &= x_2(t) + L_3 \sin(u_3(t)); & y_3(t) &= y_2(t) + L_3 \cos(u_3(t)); \\ x_4(t) &= x_3(t) + L_4 \sin(u_4(t)); & y_4(t) &= y_3(t) + L_4 \cos(u_4(t)). \end{aligned} \quad (1)$$

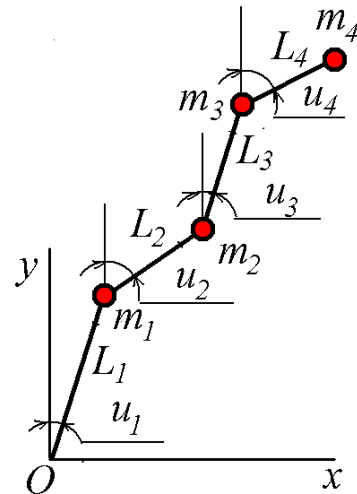


Рис. 1. Схема чотириланкової стержневої конструкції

За умови відсутності дисипативних сил і з врахуванням «нульової» потенціальної енергії опис розкриття стержневої конструкції на уявній площині виконаємо на основі лагранжіана:

$$L = 0,5 \left[m_1 (x_1'^2 + y_1'^2) + m_2 (x_2'^2 + y_2'^2) + m_3 (x_3'^2 + y_3'^2) + m_4 (x_4'^2 + y_4'^2) \right]. \quad (2)$$

Опис руху чотириланкової стержневої конструкції одержимо у вигляді системи з чотирьох диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду відносно функцій $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ і $u_4(t)$ (з причини громіздкості тут не наведено). При розв'язанні системи рівнянь слід враховувати координати таких векторів: довжин ланок стержневої конструкції: $\mathbf{L} = \{L_1, L_2, L_3, L_4\}$; значень мас вантажів (шарнірів): $\mathbf{m} = \{m_1, m_2, m_3, m_4\}$; значень початкових кутів відхилень: $\mathbf{U} = \{u_1(0), u_2(0), u_3(0), u_4(0)\}$, а також значень початкових швидкостей, наданих кутам відхилень $\mathbf{U}' = \{u_1'(0), u_2'(0), u_3'(0), u_4'(0)\}$. Всі значення параметрів в умовних величинах.

З врахуванням відповідних початкових умов систему рівнянь Лагранжа другого роду розв'язано методом Рунге-Кутти в середовищі математичного пакету *maple*, і одержані наближені розв'язки позначено символами $U_1(t)$, $U_2(t)$, $U_3(t)$ і $U_4(t)$. В обраний на площині системі координат Oxy з використанням одержаних розв'язків визначаємо координати вузлових точок в момент часу t . Для цього використовуємо вирази (1) для обчислення координат вузлів стержневої конструкції за допомогою узагальнених координат, замінивши там малі літери u на великі U .

Враховуючи обчислені координати вузлів стержневої конструкції як функції в часі, побудуємо кадри комп'ютерної анімації процесу розкриття. В результаті спостереження за процесом розкриття обираємо момент часу $t = t_0$ зупинки розкриття та визначаємо параметри стоп-коду $\mathbf{U}_{\text{STOP}} = \{u_1(t_0), u_2(t_0), u_3(t_0), u_4(t_0)\}$.

У визначений за допомогою комп'ютерної анімації час t_0 розкриття необхідно зупинити. Враховано, що багатоланкову стержневу конструкцію на орбіту доставляють у складеному вигляді (наочно це нагадує побутовий метр у складеному стані). Вектор значень початкових кутів відхилень матиме координати $\mathbf{U} = \{\pi/2, -\pi/2, \pi/2, -\pi/2\}$.

Для формування каркасу квазіпараболоїда (названо для коректності) обрано однакові довжини ланок $\mathbf{L} = \{3, 3, 3, 3\}$ і маси вантажів $\mathbf{m} = \{1, 1, 1, 1\}$. На кінцеві точки ланок механізмів передбачено впливати піротехнічними пристроями, величини імпульсів яких визначаються координатами вектора $\mathbf{U}' = \{0.1, 1.9, 1.3, 2.5\}$. Значення всіх параметрів в умовних величинах.

Час інтегрування системи рівнянь $T = 1.55$. На рис. 2 наведено кадри схеми формування квазіпараболи, наближену чотириланковими

стержневими конструкціями. Координатами вектора «стоп-коду» будуть $U_{\text{STOP}} = \{0.1642, 0.7710, 1.006, 1.435\}$. На сайті [14] наведено анімаційні зображення, які підтверджують одержані результати.

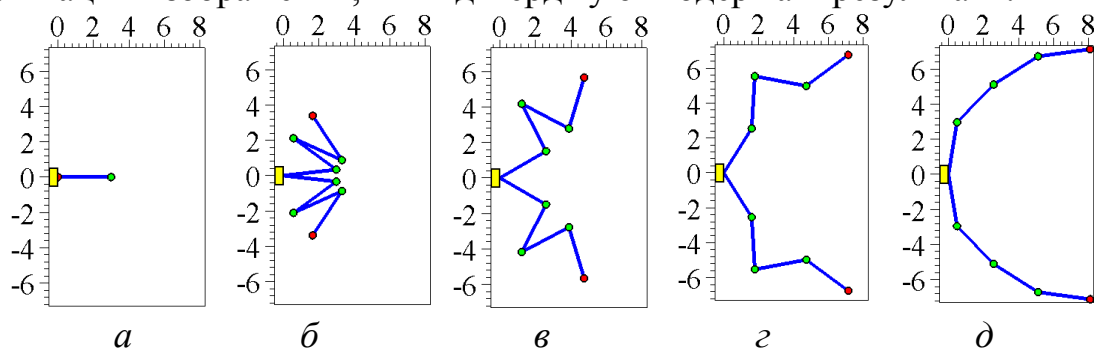


Рис. 2. Кадри процесу розкриття схеми квазіпараболи:
 $a - t=0$; $б - t=0.5$; $в - t=1$; $г - t=1.2$; $д - t=1.55$

На рис. 3 зображено форму каркасу квазіпараболоїда, одержану обертанням навколо осі Ox квазіпараболи з рис. 2, e .

До переваг піротехнічних пристроїв, на яких базується запропонована схема розкриття багатоланкової стержневої конструкції, слід віднести: малу вагу і дешевизну; можливість налаштування на розраховану величину імпульсу; стійкість до перевантажень в процесі доставки на орбіту; не потребують розконсервування та тестування перед запуском розкриття конструкції; можливість активізації дії дистанційно за допомогою радіосигналів або рентгенівського випромінювання.

Висновки. Взаємне розташування елементів чотириланкових стержневих конструкцій, які наближають квазіпараболу та квазіпараболоїд, доцільно визначати за допомогою комп'ютерної анімації. Аналіз кадрів анімацій дозволяє обрати необхідний момент часу фіксації (зупинки) розкриття, коли виникне необхідне для використання (у даному випадку - у вигляді квазіпараболи) взаємне розташування ланок стержневих конструкцій.

Література

1. Алпатов А.П. Динаміка перспективних космічних апаратів / А.П. Алпатов // Вісник НАН України, 2013. – № 7. – С. 6–13
2. Буянова Л.В. Методика проєктирования пиротехнических устройств систем отделения / Л.В. Буянова., Е.И. Журавлёв //

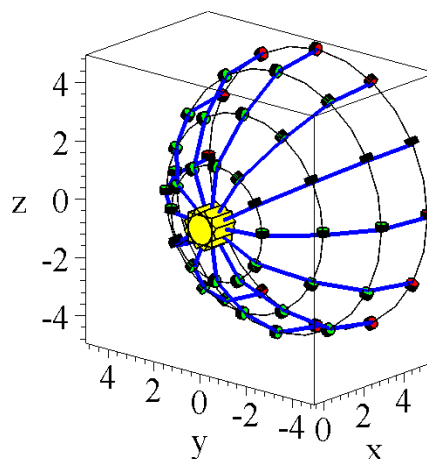


Рис. 3. Конструкція, яка наближає форму квазіпараболоїда

- Инженерный вестник, 2015. – № 07. – С. 56–62.
3. Особенности расчета раскрытия крупногабаритных трансформируемых конструкций различных конфигураций // В.Н. Зимин, А.В. Крылов, В.Е. Мешковский, А.Н. Сдобников, Ф.Р. Файзуллин, С.А. Чурилин // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – № 10. – С. 179–191. doi: <https://doi.org/10.7463/1014.0728802>.
 4. Deployable Perimeter Truss with Blade Reel Deployment Mechanism. URL: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/techbriefs/mechanics-and-machinery/24098>.
 5. Бушуев А. Ю. Математическое моделирование процесса раскрытия солнечной батареи большой площади / А.Ю. Бушуев, Б.А. Фарафонов // Математическое моделирование и численные методы, 2014. – № 2. – С. 101–114.
 6. Щесняк С. Проектирование и расчет крупногабаритных раскрывающихся конструкций с помощью программных комплексов MSC.Software / С.Щесняк, А.Романов // CADmaster, 2009. – № 2-3. – С. 28–36.
 7. Бойков В.Г. Программный комплекс автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем EULER / В.Г. Бойков // САПР и графика, 2009. – № 9. – С. 17–20.
 8. Куценко Л.М. Геометричне моделювання розгортання у невагомості багатоланкової конструкції з інерційним розкриттям / Л.М. Куценко, Л.Л. Запольський // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон, 2017. – Т.2, № 3 (62). – С. 284–291.
 9. Geometrical modeling of the inertial unfolding of a multi-link pendulum in weightlessness / L. Kutsenko, O. Shoman, O. Semkiv, L. Zapolsky, I. Adashevskaya, V. Danylenko et. al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. – Vol. 6, Issue 7 (90). – P. 42–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114269>.
 10. Куценко Л.М. Ілюстрації до геометричного моделювання інерційного розкриття багатоланкового маятника у невагомості. / Л.М. Куценко, М.М. Пікрасов, Л.Л. Запольський. – URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/4868>.
 11. Geometrical modeling of the shape of a multilink rod structure in weightlessness under the influence of pulses on the end points of its links / Kutsenko L., Semkiv O., Zapolskiy L., Shoman O., Ismailova N., Vasyliiev S. et. al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2018. – Vol. 2, Issue 7 (92). – P. 44–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126693>.
 12. Куценко Л.М. Ілюстрації до статті геометричне моделювання процесу розкриття стержневих конструкцій у невагомості. /

- Л.М. Куценко, М.М. Пікрасов, Л.Л. Запольський. – URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6335>.
13. Куценко Л.М. Геометричне моделювання розкриття у невагомості деяких просторових стержневих конструкцій. / Л.М. Куценко, М.М. Пікрасов, Л.Л. Запольський. – URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7051>.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСКРЫТИЯ В НЕВЕСОМОСТИ КАРКАСА ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ ПРИ ПОМОЩИ ЧЕТЫРЕХЗВЕННОЙ СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ

Куценко Л.Н., Запольский Л.Л.

Предложено геометрическую модель раскрытия в условиях невесомости каркаса параболической антенны с использованием стержневой конструкции, подобной четырехзвенному маятнику. Перемещение звеньев конструкции происходит благодаря действию импульсов пиротехнических двигателей на конечные точки звеньев. Описание движения полученного инерционного раскрытия стержневой конструкции выполнено с помощью уравнения Лагранжа второго рода, и, учитывая условия невесомости, построенного с использованием только кинетической энергии системы. Актуальность темы определяется необходимостью усовершенствования и исследования новых технологических схем раскрытия каркасов космических инфраструктур. В том числе каркасов параболических антенн, элементами которых являются семейство одинаковых софокусных парабол, полученных вращением с определенным угловым шагом вокруг общей оси. Кроме того, интересными должны быть новые технологии выполнения монтажных работ на орбите с использованием конструкций механических захватов (типа «руки работа»), расположенных снаружи космических аппаратов. Определены параметры и начальные условия запуска движения четырехзвенной стержневой конструкции с целью получения необходимого расположения звеньев. Показано, что для внедрений вариантов инерционного раскрытия необходимо применить комплект унифицированных пиротехнических устройств, величины импульсов которых определяются координатами вектора $U = \{0.1, 1.9, 1.3, 2.5\}$ условных единиц. Возможны построения графиков изменения во времени функций значений углов как обобщенных координат, а также первых и вторых производных этих функций. В результате можно получить оценки силовым характеристикам системы в момент торможения (остановки) процесса раскрытия. Результаты предназначено для геометрического моделирования вариантов раскрытия

четырёхзвенных стержневых конструкций в условиях невесомости. Например, каркасов для орбитальных инфраструктур, а также механических манипуляторов для захвата космических объектов.

Ключевые слова: четырёхзвенная стержневая конструкция, раскрытие в невесомости, уравнения Лагранжа второго рода.

GEOMETRICAL MODELING OF THE UNFOLDING OF SPATIAL ROD STRUCTURES, SIMILAR TO THE FOUR-LINK PENDULUM, IN WEIGHTLESSNESS

Kutsenko L., Zapolskiy L.

A geometrical model of opening in the zero gravity framework of a parabolic antenna with the use of a rod structure similar to a four-link pendulum is proposed. The movement of the links of the structure occurs due to the action of the pulses of pyrotechnic engines on the end points of the links. The description of the motion of the obtained inertial disclosure of the core structure was carried out using the Lagrange equation of the second kind, and, taking into account the conditions of weightlessness, constructed using only the kinetic energy of the system. The relevance of the topic is determined by the need to improve and research new technological schemes for disclosing the frameworks of space infrastructures. Including frames of parabolic antennas, elements of which are a family of identical confocal parabolas, obtained by rotation with a certain angular step around a common axis. In addition, interesting should be new technologies to perform installation work in orbit using the structures of mechanical grips (such as "hands work"), located outside the spacecraft. The parameters and initial conditions for launching the motion of a four-bar core structure are determined in order to obtain the necessary arrangement of links. It is shown that for implementations of variants of inertial opening it is necessary to apply a set of unified pyrotechnic devices, the magnitudes of which pulses are determined by the coordinates of the vector $U = \{0.1, 1.9, 1.3, 2.5\}$ conventional units. It is possible to construct graphs of the time variation of the functions of the angles as generalized coordinates, as well as the first and second derivatives of these functions. As a result, you can get an estimate of the power characteristics of the system at the time of braking (stopping) the process of disclosure. The results are intended for geometric modeling of variants for the disclosure of four-bar core structures in zero gravity. For example, frames for orbital infrastructures, as well as mechanical manipulators for capturing space objects.

Keywords: four-bar core construction, opening in weightlessness, Lagrange equations of the second kind.

УДК 514.18

БН-ІНТЕРПОЛЯЦІЯ ЧОТИРЬОХ ТОЧОК У ПЛОЩИНІ

Лисенко К.Ю., аспірант* ,

Верещага В.М., д.т.н.,

Найдиш А.В., д.т.н.

*Мелітопольська школа прикладної геометрії,**Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана**Хмельницького (Україна)*

У роботі надається узагальнена техніка алгебраїчного утворення характеристичних функцій для Б-фігур, надається спосіб розрахунку БН-координат для інтерполянта, що інтерполює заздалегідь визначені полюси інтерполяції. Розроблено алгебраїчну техніку формування Б-функцій для чотирьох точок, у загальному вигляді, тобто для усіх можливих варіантів значень параметрів від 0 до 1 для двох точок, що знаходяться всередині відрізка. У рамках точкового БН-числення досить часто застосовують функції-параметри, які названі авторами Б-функції, що, при визначених наперед значеннях параметрів, дорівнюють одиниці або нулю Б-функції, є параметрами Б-кривих, які подані у точковій формі, і використовуються у створенні моделей процесів або ситуацій. Застосування запропонованої техніки алгебраїчного формування Б-функцій дозволить створити клас Б-кривих, на основі яких буде виконуватися моделювання багатofакторних процесів. Наведена узагальнена техніка алгебраїчного формування характеристичних функцій та розрахунок БН-координат для чотирьох точок у площині, дає можливість безпомилкового і швидкого знаходження інтерполянта у точковій формі. Це значно прискорює створення моделей для систем з використанням методу композиційного геометричного моделювання багатofакторних систем. Методи алгебраїчного знаходження інтерполянта, у більшості своїй, потребують розв'язання систем лінійних рівнянь, збільшення розмірів яких підвищує похибку розрахунків. БН-інтерполяція позбавлена цієї вади. Однак, знаходження БН-інтерполянта, степінь якого більша за 3, викликає певні труднощі. Запропонована у цій статті узагальнена техніка алгебраїчного утворення характеристичних функцій значно спрощує знаходження БН-інтерполянта степеня >3 .

Ключові слова: Б-криві, Б-функції, БН-інтерполяція,

* Науковий керівник – д.т.н., проф.. Верещага В.М.

БН-координати, Б-фігури, техніка формування, точкове числення Балюби-Найдиша (БН-числення).

Постановка проблеми. Відомі методи алгебраїчного знаходження інтерполянта [1-4], у більшості своїй, потребують розв'язання систем лінійних рівнянь, збільшення розмірів яких підвищує похибку розрахунків. БН-інтерполяція позбавлена цієї вади. Однак, знаходження БН-інтерполянта, степінь якого ≥ 3 , викликає певні труднощі. Запропонована у цій статті узагальнена техніка алгебраїчного утворення характеристичних функцій значно спрощує знаходження БН-інтерполянта степеня >3 .

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [5, 6] були намагання створити алгебраїчну техніку утворення характеристичних функцій, але, на наш погляд, вони виявилися не досить вдалим для практичної реалізації через їх складну алгоритмізацію.

Формулювання цілей статті. Метою даної статті є розробити узагальнену, у найбільшій мірі, техніку алгебраїчного формування характеристичних функцій, які дозволять розрахувати БН-координати для Б-кривої, що геометрично інтерполюють чотири точки, які знаходяться у площині.

Основна частина.

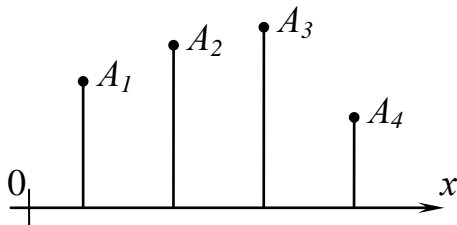


Рис. 1. Вихідні точки

Нехай у площині задано чотири точки A_i ; $i = \overline{1,4}$ (рис. 1), для яких необхідно утворити чотири характеристичні функції.

Геометрична БН-матриця параметрична, що відповідає цим вимогам, матиме наступний вигляд:

$$A_{\Pi} = \left(\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{pmatrix} \right) = \left(\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right). \quad (1)$$

1) Сформулюємо першу характеристичну функцію p_1 .

Виходячи з (1) елемент p_{14} , що є першим множником характеристичної функції p_1 , матиме вигляд:

$$p_{14}(t) = \lambda_{14}(t_4 - t), \quad (2)$$

де λ_{14} – довільне дійсне число (ваговий коефіцієнт); t_4 – параметр четвертої точки A_4 , що визначає її положення уздовж числової прямої Ox ; t – поточний параметр.

Другий множник p_{13} характеристичної функції p_1 матиме

вигляд:

$$p_{13}(t) = \lambda_{13}\lambda_{14}(t_4 - t)(t_3 - t), \quad (3)$$

де λ_{13} – довільне дійсне число (ваговий коефіцієнт); t_3 – параметр точки A_3 , що визначає її положення уздовж числової прямої Ox .

Третій множник p_{12} для p_1 буде мати вигляд:

$$p_{12}(t) = \lambda_{12}\lambda_{13}\lambda_{14}(t_4 - t)(t_3 - t)(t_2 - t), \quad (4)$$

де λ_{12} – довільне дійсне число; t_2 – параметр точки A_2 .

І насамкінець, сформуємо першу характеристичну функцію p_1 :

$$p_1(t) = f_{11}(t) \cdot p_{12}(t).$$

Враховуючи вимогу (1), запишемо:

$$1 = f_{11}(t) \cdot p_{12}(t) \rightarrow f_{11}(t) = \frac{1}{p_{12}(t)} = \frac{1}{\lambda_{12}\lambda_{13}\lambda_{14}(t_4 - t)(t_3 - t)(t_2 - t)} = \alpha_{11}. \quad (5)$$

Тоді запишемо:

$$p_{11}(t) = \alpha_{11}\lambda_{12}\lambda_{13}\lambda_{14}(t_4 - t)(t_3 - t)(t_2 - t) = p_1. \quad (6)$$

Як бачимо, останній множник $p_{11} = p_1$ дорівнює шуканій характеристичній функції p_1 .

2) Сформулюємо другу характеристичну функцію (ХФ) p_2 , враховуючи геометричну БН-матрицю параметричну (1).

Перший множник p_{24} для ХФ p_2 буде мати наступний вигляд:

$$p_{24}(t) = \lambda_{24}(t_4 - t), \quad (7)$$

де λ_{24} – довільне дійсне число (ваговий коефіцієнт).

Другий множник p_{23} для ХФ p_2 матиме вигляд:

$$p_{23}(t) = \lambda_{23}\lambda_{24}(t_4 - t)(t_3 - t), \quad (8)$$

де λ_{23} – довільне дійсне число (ваговий коефіцієнт).

Третій множник $p_{21}(t)$ для ХФ p_2 буде таким:

$$p_{21}(t) = \lambda_{21}\lambda_{23}\lambda_{24}(t_4 - t)(t_3 - t)(t_2 - t), \quad (9)$$

де λ_{21} – довільне дійсне число, що $\lambda_{21} \neq 0$.

Четвертий множник p_{22} буде дорівнювати самій ХФ p_2 .
Запишемо його:

$$p_{22}(t) = f_{22}(t) \cdot p_{21}(t) \rightarrow 1 = f_{22}(t) \cdot p_{21}(t); \rightarrow$$

$$f_{22}(t) = \frac{1}{p_{21}(t)} = \frac{1}{\lambda_{21}\lambda_{23}\lambda_{24}(t_4 - t)(t_3 - t)(t_2 - t)} = \alpha_{22} \quad (10)$$

$p_{22}(t) = \alpha_{22}\lambda_{21}\lambda_{23}\lambda_{24}(t_4 - t)(t_3 - t)(t_2 - t) = p_2$ – друга ХФ.

За аналогією до записів p_1 та p_2 запишемо ХФ p_3 та p_4 :

$$\left. \begin{aligned} 3.1. \quad p_{31}(t) &= \lambda_{31}(t_1 - t); \\ 3.2. \quad p_{32}(t) &= p_{31}(t) \cdot \lambda_{32}(t_2 - t) = \lambda_{32}\lambda_{31}(t_1 - t)(t_2 - t); \\ 3.3. \quad p_{34}(t) &= p_{32}(t)\lambda_{34}(t_4 - t) = \lambda_{34}\lambda_{32}\lambda_{31}(t_1 - t)(t_2 - t)(t_4 - t); \end{aligned} \right\} (11)$$

$$3.4. p_{33}(t) = f_{33}(t) \cdot p_{34}(t) \rightarrow f_{33}(t) = \frac{1}{\lambda_{34}\lambda_{32}\lambda_{31}(t_1-t)(t_2-t)(t_4-t)} = \alpha_{33}, \quad (12)$$

тоді $p_{33}(t) = \alpha_{33}\lambda_{34}\lambda_{32}\lambda_{31}(t_1-t)(t_2-t)(t_4-t) = p_3$ – третя ХФ.

$$\left. \begin{aligned} 4.1. p_{41}(t) &= \lambda_{41}(t_1-t); \\ 4.2. p_{42}(t) &= p_{41}(t) \cdot \lambda_{42}(t_2-t) = \lambda_{42}\lambda_{41}(t_1-t)(t_2-t); \\ 4.3. p_{43}(t) &= p_{42}(t)\lambda_{43}(t_3-t) = \lambda_{43}\lambda_{42}\lambda_{41}(t_1-t)(t_2-t)(t_3-t); \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$4.4. p_{44}(t) = f_{44}(t) \cdot p_{43}(t) \rightarrow f_{44}(t) = \frac{1}{\lambda_{43}\lambda_{42}\lambda_{41}(t_1-t)(t_2-t)(t_3-t)} = \alpha_{44}, \quad (14)$$

тоді $p_{44}(t) = \alpha_{44}\lambda_{43}\lambda_{42}\lambda_{41}(t_1-t)(t_2-t)(t_3-t) = p_4$ – четверта ХФ.

Знайдемо суму σ усіх елементів параметричної БН-матриці (1):

$$\sigma = \sum_{i=j=1}^{i=j=4} p_{ij}. \quad (15)$$

Знайдені ХФ p_1, p_2, p_3, p_4 поділимо на σ , дістанемо БН-координати p_{iB} для вихідної геометричної схеми (рис. 1):

$$p_{1B} = \frac{p_1}{\sigma}; p_{2B} = \frac{p_2}{\sigma}; p_{3B} = \frac{p_3}{\sigma}; p_{4B} = \frac{p_4}{\sigma}. \quad (16)$$

Враховуючи (16) точкове рівняння, що інтерполює вихідні точки A_1, A_2, A_3, A_4 , матиме вигляд:

$$M = \sum_{i=1}^4 A_i \cdot p_{iB}. \quad (17)$$

Висновки. Наведено узагальнена техніка алгебраїчного формування характеристичних функцій та розрахунків БН-координат для чотирьох точок у площині, що дає можливість безпомилкового і швидкого знаходження інтерполянта у точковій формі. Це значно прискорює створення моделей для систем з використанням методу композиційного геометричного моделювання багатofакторних систем.

Література

1. Завьялов Ю.С. Методы сплайн – функций / Ю.С. Завьялов, Б.И. Квасов, В.Л. Мирошниченко – М.: Наука, 1980. – 352с.
2. Ибрагимов И.И. Методы интерполирования функций и некоторые их применения / И.И. Ибрагимов – М.: Наука, 1971. – 520 с.
3. Найдиш В.М. Дискретна інтерполяція [Текст] / В.М. Найдиш – Мелітополь: ВДП «Люкс», 2007. – 250 с.
4. Ковальов С.М. Дискретна двовимірна інтерполяція з першим порядком гладкості стикування порцій / С.М. Ковальов, А.В. Золотова // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2011. – Вип.87. – С.164-170.

5. Адоньев Є.О. Розробка узагальненої техніки алгебраїчного формування Б-функцій для трьох точок / Є.О. Адоньев, В.М. Верещага, К.Ю. Лисенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016 р. – №50 (1222).
6. Адоньев Є.О. Розробка узагальненої техніки алгебраїчного формування Б-функцій для чотирьох точок / Є.О. Адоньев, В.М. Верещага, К.Ю. Лисенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017р. – №16(1238).

БН-ИТЕРПОЛЯЦИЯ ЧЕТЫРЕХ ТОЧЕК В ПЛОСКОСТИ

Лысенко К.Ю., Верещага В.М., Найдыш А.В.

В работе предоставляется обобщенная техника алгебраического образования характеристических функций для Б-фигур, предоставляется способ расчета БН-координат для интерполянта, что интерполирует заранее определенные полюса интерполяции. Разработана алгебраическая техника формирования Б-функций для четырех точек, в общем виде, то есть для всех возможных вариантов значений параметров от 0 до 1 для двух точек, находящихся внутри отрезка. В рамках точечного БН-исчисления достаточно часто применяют функции-параметры, которые названы авторами Б-функции, при определенных заранее значениях параметров, равны единице или нулю Б-функции, являются параметрами Б-кривых, представленных в точечной форме, и используются в создании моделей процессов или ситуаций. Применение предлагаемой техники алгебраического формирования Б-функций позволит создать класс Б-кривых, на основе которых будет выполняться моделирование многофакторных процессов. Приведена обобщенная техника алгебраического формирования характеристических функций и расчет БН-координат для четырех точек в плоскости, дает возможность безошибочного и быстрого нахождения интерполянта в точечной форме. Это значительно ускоряет создание моделей для систем с использованием метода композиционного геометрического моделирования многофакторных систем. Методы алгебраической нахождения интерполянта, в большинстве своем, требующих решения систем линейных уравнений, увеличение размеров которых повышает погрешность расчетов. БН-

интерполяция лишена этого недостатка. Однако, нахождение БН-интерполянта, степень которого больше 3, вызывает определенные трудности. Предложенная в данной статье обобщена техника алгебраического образования характеристических функций значительно упрощает нахождение БН-интерполянта степени > 3 .

Ключевые слова: Б-кривые, Б-функции, БН интерполяция, БН координаты, Б-фигуры, техника формирования, точечное исчисление Балюбы-Найдыша (БН-исчисление).

BN-INTERPOLATION OF THE FOUR POINTS IN THE PLANE

Lysenko K., Vereshchaga V., Naidysh A.

In this paper a generalized technique of algebraic formation of characteristic functions for B-figures is provided, and a method for calculating BN coordinates for an interpolator interpolating predetermined poles of interpolation is provided. An algebraic technique for the formation of B-functions for four points, in the general form, that is, for all possible variants of the values of parameters from 0 to 1 for two points located inside the segment, has been developed. In the framework of the point BN-calculus, the functions-parameters that are called by the authors of the B-function are often used, which, with predetermined values of parameters, equal to or equal to zero B-functions, are parameters of the B curves, which are presented in the point form, and are used in created models of processes or situations. Application of the proposed technique of algebraic formation of B-functions will allow to create a class of B-curves, on the basis of which simulation of multifactorial processes will be performed. The generalized technique of algebraic formation of characteristic functions and the calculation of BN coordinates for four points in the plane are given, and it is possible to find the interpolator in a point form without fault and quickly. This greatly accelerates the creation of models for systems using the method of composite geometric modeling of multi-factor systems. Methods of algebraic finding of an interpolant, for the most part, require the solution of systems of linear equations, increasing the size of which increases the error of calculations. The BN interpolation is devoid of this defect. However, finding a BN-interpolant, the degree of which is greater than 3, causes some difficulties. The generalized technique of algebraic formation of characteristic functions proposed in this article greatly simplifies the finding of a BN-interpolant of degree > 3 .

Key words: B-curves, B-functions, BN-interpolation, BN-coordinates, B-shapes, technique of formation, point calculation Balyuba-Naidysh (BN-calculus).

УДК 65.01+004

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИХ КЛАСТЕРІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВІМ-ТЕХНОЛОГІЙ

Микитась М.В., к.е.н.,

Єременко Б.М., к.т.н.,

Чуприна Х.М, к.т.н.

*Київський національний університет будівництва і архітектури
(Україна)*

Архітектурно-будівельні кластери являють собою великі за кількістю елементів і складні за характером зв'язків системи. Проведення реальних експериментів з такими системами є економічно недоцільним і обмежується проблемами, що пов'язані з унікальністю кожного кластера. В таких випадках машинне моделювання є одним із основних інструментів дослідження, аналізу та проектування систем. Інформаційний підхід до формування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів із застосовуванням ВІМ-технології відкриває нові можливості вирішення задачі виявлення економічного потенціалу кластерних структур на основі обчислювальних експериментів з моделями. Наукова новизна роботи полягає у дослідженні можливостей застосування інформаційного моделювання до прогнозування показників діяльності об'єкта в різних умовах на моделі, які заміняють натурні експерименти. В результаті досліджень розроблено схему процесу формування кластерів, згідно з якою виконується цілеспрямований синтез моделей архітектурно-будівельних кластерів. Після чого проводиться оцінка показників моделі в різних умовах і, на основі аналізу обчислювальних експериментів, формується оптимальна за критерієм енергоефективності структура кластера. При цьому, інтеграція ВІМ-технології в процес інформаційно-аналітичного супроводу проектів надає змогу реалізовувати обчислювальні експерименти з моделями об'єкта в середовищі будівельного кластера з урахуванням стохастичних змін середовища на різних стадіях життєвого циклу. Таким чином, практична значимість інформаційного моделювання полягає в економії бюджету будівельного проекту за рахунок зменшення помилок і змін в проекті на всіх стадіях та скорочення часу на зміни в проекті та адаптацію об'єкта до непередбачуваних змін середовища.

Ключові слова: енергоефективний архітектурно-будівельний

кластер, енергоресурсозбереження, інформаційна модель будівлі.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день, впровадження заходів енергозбереження, ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива є основними пріоритетами будь-якої держави [1]. Необхідність кластеризації будівельного сектора економіки обґрунтовується дослідженнями системних властивостей кластерів, які надають змогу суттєво підвищити конкурентоспроможність будівельних підприємств-учасників кластеру, при реалізації вдалої стратегії розвитку кластерної структури. Згідно зі статтею 1 п.7 закону України Про енергетичну ефективність будівель від 22.06.2017р., метою створення енергоефективного архітектурно-будівельного кластеру є підвищення рівня енергетичної ефективності будівель, що зменшить споживання енергоресурсів на стадії експлуатації. Проте, реалізація такої мети передбачає розробку і впровадження в дію оптимальної стратегії формування і розвитку будівельної кластерної структури. Стратегія розвитку кластера також розробляється з урахуванням цілей, що спрямовані на досягнення кінцевого результату. Виходячи з цього, для отримання оптимальної структури кластеру, ще на етапі проектування, необхідно робити прогнозування різних показників діяльності всіх структурних одиниць та функціональних зв'язків кластеру.

Проте, виникають різні проблеми при розробці засобів прогнозування результатів діяльності складних систем, які здатні:

- надати науково-обґрунтовану підтримку прийняття рішень щодо вибору структури кластера, яка найкраще підходить до виконання функцій, що спрямовані на досягнення заданої мети;
- вчасно адаптувати стратегію підприємств-учасників кластеризації до швидких стохастичних змін життєвого середовища на будь-якому етапі життєвого циклу проекту.

Ще більше проблем виникає при проектування таких складних систем, як енергоефективні архітектурно-будівельні кластери.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують різні підходи до розробки зазначених систем, проте більшість із них працюють при жорстких обмеженнях і мають трудомісткі алгоритми пошуку оптимальних рішень [2, 3].

В роботах [4, 5] використовується підхід до управління проектами, що ґрунтується на аналізі системи ключових показників, яка являє собою ієрархічну структуру показників діяльності підприємства для:

- моделювання та розподілу ресурсів;

- контролю використання ресурсів;
- характеристики стану середовища;
- урахування впливу галузевої діяльності;
- забезпечення адекватності моделей, методів і засобів, які використовуються для удосконалення систем підтримки прийняття рішень на різних етапах і рівнях оптимізації кластерних структур;
- оцінки наслідків допустимих альтернатив на різних рівнях моделювання;
- оцінки ступеню досягнення стратегічних цілей.

В [3, 6] досліджуються питання ефективності інформаційного моделювання, проте перехід до проектування з подальшою реалізацією будівельних проектів із застосуванням інформаційної моделі будівлі (Building Information Model – BIM) в секторі цивільного будівництва України здійснюється досить повільно і лише окремими підприємствами-новаторами.

В [7] інформаційне моделювання розглядається не тільки як інструмент проектувальників, конструкторів та інженерів, а і як ефективний інструмент управління будівельними проектами, але лишаються невирішеними питання, що пов'язані з проектами, які не мають достатньо аналогів.

В [2] описано алгоритм адаптивного управління зі зворотним зв'язком, реалізація якого не потребує аналізу діяльності об'єктів-аналогів, але в цій роботі не досліджуються питання формування структури кластерів.

Формування цілей статті. Метою статті є розробка концептуального підходу до формування структури енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів (ЕАБК) на основі аналізу результатів обчислювальних експериментів з інформаційною моделлю об'єкта кластеризації.

Для досягнення мети сформовані такі задачі:

- розробити схему процесу формування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів;
- показати перспективу впровадження BIM-технології в процес інформаційно-аналітичного супроводу проектів в середовищі будівельного кластеру на різних стадіях життєвого циклу.

Основна частина. На рис. 1 показано схему процесу формування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів, згідно з якою розробляється алгоритм синтезу моделей ЕАКБ.

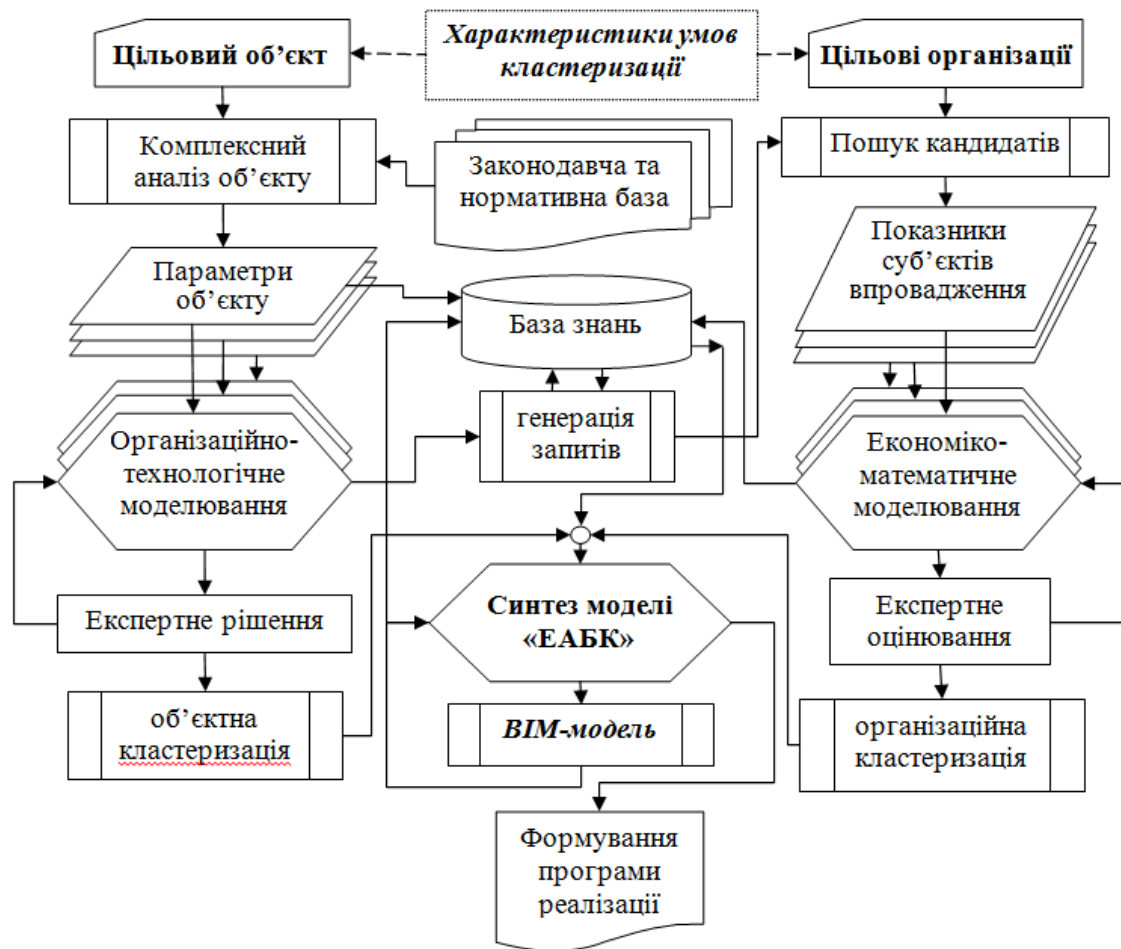


Рис. 1. Схема процесу формування енергоефективного архітектурно-будівельного кластера

Синтез моделей ЕАБК і рішення щодо організаційної кластеризації в роботі пропонується здійснювати на основі аналізу та експертного оцінювання результатів обчислювальних експериментів з моделями енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів. Проте, перехід до проектування з подальшою реалізацією будівельних проектів із застосуванням ВІМ-технологій в секторі цивільного будівництва України здійснюється надто повільно і лише окремими підприємствами-новаторами. Серед основних причин повільного просування інноваційних технологій є відсутність попиту на ВІМ з боку замовника та інертність нормативної бази. До того ж інформаційні джерела, що поширені в вітчизняній літературі для навчання інструментарію ВІМ-комплексів, орієнтовані на інженерів-будівельників високої кваліфікації. Іншою перешкодою впровадженню ВІМ-технологій в проектні компанії є неготовність самих підприємств до значних початкових витрат.

На рис. 2 показано очікуваний ефект, якого може досягти компанія на різних стадіях життєвого циклу проекту при застосуванні BIM-технології.



Рис.2. Концептуальна модель формування енергоефективного архітектурно-будівельного кластеру

Дослідження очікуваного економічного ефекту від впровадження BIM-технології в процес інформаційно-аналітичного супроводу енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів показав, що економія бюджету та скорочення часу виконання робіт гарантована на всіх стадіях життєвого циклу, але найбільший ефект спостерігається на стадії експлуатації за рахунок впровадження різних заходів енергоресурсозбереження. Саме тому, роботи, що спрямовані на дослідження перспектив впровадження інформаційного моделювання енергоефективного архітектурно-будівельного кластера є актуальними, своєчасними і доцільними.

Висновки.

1) Для забезпечення інформаційно-аналітичного супроводу проектів створення енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів розроблено схему процесу, згідно з якою планується

проводити дослідження, аналіз та проектування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів із застосуванням BIM-технології.

2) Впровадження BIM-технології в процес інформаційно-аналітичного супроводу проектів в середовищі будівельного кластеру надає можливість реалізувати багатоваріантне моделювання різних сценаріїв розвитку кластера із застосовувати BIM-технології. Прогнозування на основі обчислювальних експериментів з моделями цілеспрямовано синтезованих кластерів відкриває нові горизонти економії енергоресурсів та дозволить зменшити ризики прийняття невірних рішень в стохастичних умовах за рахунок підвищення надійності та швидкості прогнозування.

Література

1. Ісаєнко Д.В. Законодавче регулювання діяльності в будівельній галузі. Особливості світового досвіду та Європейського підходу для визначення пріоритетів при формуванні життєвого середовища / Д.В. Ісаєнко // Будівельне виробництво. – К.: НДІБВ, 2017. – № 63/2/2017. – С. 11-15.
2. Mykytas M. Models, methods and tools of optimizing costs for development of Clusterized organizational structures in construction industry / M. Mykytas, S. Terenchuk, N. Zhuravska // International Journal of Engineering & Technology, 2018. – Vol. 7 (3.2). – P. 250–254.
3. Барабаш М. Використання методів інтеграції для створення узагальненої інформаційної моделі будівельного об'єкта / М. Барабаш, К. Київська // Управління розвитком складних систем, 2016. – № 25. – С. 114-120.
4. Krüger A., Kolbe T., 2012. Building analysis for urban energy planning using key indicators on virtual 3D city models the energy atlas of Berlin. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 39(B2). – P. 145-150.
5. Che Ibrahim, C. K. I., Costello, S. B., & Wilkinson, S., 2015. Key indicators influencing the management of team integration in construction projects. International Journal of Managing Projects in Business, 8(2), 300-323.
6. Grilo A. Jardim-Goncalves R.: Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. Automation in Construction 19, 2010. – P. 522-530.
7. Eastman C. et al. Building Information Modeling handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors, John Wiley & Sons, 2011. – 611 p.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ

Микитась М.В., Еременко Б.М., Чуприна К.Н.

Архитектурно-строительные кластеры представляют собой большие по количеству элементов и сложные по характеру связей системы. Проведение реальных экспериментов с такими системами экономически нецелесообразно и ограничивается проблемами, связанными с уникальностью каждого кластера. В таких случаях машинное моделирование является одним из основных инструментов исследования, анализа и проектирования сложных систем. Информационный подход к формированию энергоэффективных архитектурно-строительных кластеров с применением BIM-технологии открывает новые возможности выявления экономического потенциала кластерных структур на основе вычислительных экспериментов с моделями. Научная новизна работы заключается в применении информационного моделирования к прогнозированию показателей деятельности объекта на моделях, которые целенаправленно синтезируются для заданных условий. Такое моделирование заменяет натурные эксперименты. В статье показана схема процесса формирования кластеров, согласно которой разрабатывается алгоритм целенаправленного синтеза моделей архитектурно-строительных кластеров. После чего проводится оценка показателей модели в различных условиях и на основе анализа вычислительных экспериментов, формируется оптимальная по критерию энергоэффективности структура кластера. При этом, интеграция BIM-технологии в процесс информационно-аналитического сопровождения проектов дает возможность реализовывать вычислительные эксперименты с моделями объекта кластеризации с учетом стохастических изменений среды на разных стадиях жизненного цикла. Таким образом, практическая значимость информационного моделирования заключается в экономии бюджета строительного проекта за счет уменьшения ошибок и изменений в проекте на всех стадиях и сокращение времени на адаптацию объекта к непредсказуемым изменениям среды.

Ключевые слова: информационная модель здания, энергоресурсосбережение, энергоэффективный архитектурно-строительный кластер.

CONCEPTUAL APPROACH TO FORMING ENERGY EFFICIENT ARCHITECTURAL CONSTRUCTION CLUSTERS WITH BIM-TECHNOLOGY APPLICATION

Mykytas M., Yeremenko B., Chupryna K.

Architectural-building clusters are large in terms of the number of elements and complicated by the nature of the system relationships. Conducting real experiments with such systems is economically inappropriate and limited by problems associated with the uniqueness of each cluster. In such cases, machine simulation is one of the main tools for research, analysis and design. Information approach to the formation of energy-efficient architectural and construction clusters with the use of BIM-technology opens up new possibilities for solving the problem of identifying the economic potential of cluster structures on the basis of computational experiments with models. The scientific novelty of the work is to study the possibilities of using information modeling to predict the performance of an object in different conditions on models that replace natural ones. As a result of the research, a scheme of the process for the formation of clusters has been developed, according to which the synthesis of models of energy-efficient architectural building clusters is carried out and an estimation of energy efficiency parameters of the clusterization object in different conditions is carried out. At the same time, the integration of BIM-technology into the process of informational and analytical support of projects allows to carry out computational experiments with models in the environment of a construction cluster taking into account stochastic changes of the environment at different stages of the life cycle. Thus, the practical significance of information modeling is to save on the budget of a construction project by reducing errors and changes in the project at all stages, reducing the time to adapt to unpredictable changes due to multivariate modeling of project development scenarios.

Keywords: energy-efficient architectural and construction cluster, energy saving, informational model of the building.

УДК 514.182.7: 519.651

НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВАРІАТИВНОГО ДИСКРЕТНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Найдиш А.В., д.т.н.,

Балюба І.Г., д.т.н.,

Верещага В.М., д.т.н.,

Спірінцев Д.В., к.т.н.

*Мелітопольська школа прикладної геометрії,
Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького (Україна)*

У роботі розглядаються основи понятійного апарату та головні науково-методологічні риси варіативного дискретного геометричного моделювання (ВДГМ), як окремого напрямку геометричного моделювання зі своїм теоретично-прикладним змістом.

Класичні методи моделювання, як правило, мають на меті отримання моделюючої функції, яка у свою чергу певним чином впливає на результат моделювання, накладаючи (нав'язуючи) на нього свої властивості та ускладнюючи отримання або уточнення кінцевого результату, тому то актуальним став напрямок дискретного геометричного моделювання (ДГМ), результат якого не обтяжується (спотворюються) властивостями моделюючої функції. Це обумовлює актуальність та активність наукових досліджень з напрямку ДГМ. Тому то, в рамках ДГМ, сформувались окремі наукові напрямки, які мають свої відмітні риси. І актуальним, на теперішній час, є означення кола можливостей, місця та специфіки кожного з них у науково-методологічному та прикладному плані.

Фундаментальною ідеєю досліджень з ДГМ вчених Мелітопольської школи прикладної геометрії є варіативність розв'язку: результат моделювання – це інтервал припустимих значень параметра, з якого і обирається розв'язок і тому цей напрямок ДГМ названо варіативним дискретним геометричним моделюванням (ВДГМ).

Метою статті є виклад, систематизація та уточнення основ понятійного апарату та головних науково-методологічних рис напрямку ВДГМ.

Розглядаються основоположні та концептуальні поняття ВДГМ як напрямку геометричного моделювання, що формують основні наукові риси напрямку ВДГМ.

На основі поняття дискретної геометричної моделі

розглядаються методологічні аспекти напряму ВДГМ.

Розглядаються основні фактори впливу на якість та повноту моделі та результати розв'язання задачі моделювання, вказуються відмінні риси моделей ВДГМ.

Ключові слова: варіативне дискретне геометричне моделювання (ВДГМ), геометричний образ (ГО), дискретна геометрична модель, дискретне геометричне моделювання (ДГМ), дискретно представлена крива (ДПК).

Постановка проблеми. Класичні методи моделювання, як правило, мають на меті отримання моделюючої функції, яка у свою чергу певним чином впливає на результат моделювання, накладаючи (нав'язуючи) на нього свої властивості та ускладнюючи отримання або уточнення кінцевого результату (наприклад, інтерполяційний поліном завжди вносить у розв'язок притаманну поліному осциляцію, яку необхідно відстежувати та виключати), тому то актуальним став напрямок дискретного геометричного моделювання (ДГМ), результат якого не обтяжується (спотворюються) властивостями або обмеженнями моделюючої функції.

Зважаючи на це, методи ДГМ дозволяють не тільки отримати розв'язок з заданою точністю, але й виконати додаткові (можливо неформалізовані) умови задачі і тому актуальним є подальший розвиток напрямку ДГМ.

Вище сказане обумовлює високу та плідну активність наукових досліджень з напряму ДГМ. Тому то, в рамках ДГМ, сформувались окремі наукові напрямки, які мають свої відмітні риси. І актуальним, на теперішній час, є означення кола можливостей, місця та специфіки кожного з них у науково-методологічному та прикладному плані.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Витоками ідей ДГМ можна вважати роботи Л. Ейлера, де оригінальні ідеї реалізовані в ефективних обчислювальних методах (метод знаходження дійсних коренів неперервної функції спирається і на дискретизацію, і на послідовні наближення; побудова “ламаної Ейлера” при графічному інтегруванні - основа методів чисельного і дискретного інтегрування та ін.). Першою значною науковою роботою в узагальненні та теоретичному обґрунтуванні ідей ДГМ став статико-геометричний метод проф. Ковальова С.М [1]. Метод отримав свій подальший розвиток і конкретизацію у численних дисертаціях, виконаних під керівництвом автора методу.

Важливе місце в теорії і практиці ДГМ займають дослідження С.М. Грибова. В роботах автора [2] та його послідовників і учнів, були запропоновані і розвинені ідеї формоутворення рівноланкових ДПК

на геометричних засадах і співвідношеннях, не пов'язаних з застосуванням чисельних методів. На жаль цей напрямок ДГМ поступово згорнувся, не набув належного розвитку і теоретичних узагальнень по встановленню зв'язку с певними математичними напрямками і положеннями, обмежившись розв'язанням прикладних задач формоутворення поверхонь в літакобудуванні.

Слід зазначити дослідження Пугачова Є.В. [3] в дискретній інтерполяції і апроксимації, зокрема, поблизу особливих точок, були запропоновані і розвинуті ним для багатовимірних образів.

Дослідження з ДГМ вчених Мелітопольської наукової школи прикладної геометрії спираються та розвивають власні оригінальні ідеї та охоплюють значний спектр задач моделювання (інтерполяції, апроксимації, диференціювання, інтегрування та ін.). Фундаментальною ідеєю цих досліджень [4] є *варіативність розв'язку*: результат моделювання - інтервал припустимих значень параметра, з якого і обирається розв'язок. Це і є характерною ознакою цих досліджень і тому цей напрямок ДГМ названо *варіативним дискретним геометричним моделюванням (ВДГМ)*. Підтвердженням вагомості та актуальності напряму ВДГМ є низка захищених дисертацій з цього напряму (3 докторських (Балюба І.Г., Верещага В.М., Найдіш А.В.) та 11 кандидатських дисертацій) та чисельні публікації у фахових виданнях (понад 300). Сучасні дослідження з цього напряму спрямовані на визначення та узагальнення науково-прикладних засад напряму ВДГМ.

Перші дослідження Мелітопольської школи прикладної геометрії з теорії та практики ДГМ розпочав у 80-х роках 20 століття Найдіш Володимир Михайлович - засновник Мелітопольської школи прикладної геометрії. Він був ідеологом та керівником цих досліджень, йому належить більшість плідних ідей, що були втілені у кандидатських та докторських дисертаціях. У його публікаціях [4, 7, 9, 10] систематично та поступово викладались результати проведених досліджень з теорії та практики ДГМ, розглядались шляхи та проблеми подальшого розвитку напрямку ДГМ (ВДГМ) [8]. Значну увагу він приділяв теоретичним дослідженням, зокрема, проблемам термінології та трактування основних понять [5]. На теперішній час наукова спільнота достатньо ознайомила з науково-прикладними аспектами напрямку ВДГМ, хоча дослідження з його вдосконалення та розвитку тривають [11], вдосконалюється понятійний апарат та термінологія, досліджуються нові методи моделювання.

Формування цілей статті. Метою статті є систематизація, уточнення та викладення основ понятійного апарату та головних науково-методологічних рис напрямку ВДГМ.

Основна частина. Наведемо базові визначення, основоположні та концептуальні поняття ВДГМ як напрямку геометричного моделювання, що формують основні *наукові риси* напрямку ВДГМ:

ВДГМ – це напрямок ДГМ, у якому результат моделювання обирається з інтервалу припустимих значень у відповідності з задачею.

Зміст ВДГМ – сукупність методів варіативного дискретного отримання розв’язку, що ґрунтуються на дискретному представленні геометричних образів і мають спільну теоретично-методологічну основу, яка включає аксіоми, термінологію, визначення ВДГМ; припущення та обмеження ВДГМ; формулювання та обґрунтування основних вимог ВДГМ; загальні положення та алгоритми розв’язання певного класу задач; якісні характеристики задач моделювання (збіжність обчислювального процесу, оцінки похибок моделювання, тощо) та ін..

Концептуальна основа ВДГМ - варіативність розв’язку, тобто вибір шуканого результату із множини припустимих.

Геометричною основа ВДГМ - побудова смуги припустимих значень.

Обчислювальною основа ВДГМ - розв’язання систем нерівностей.

Об’єкт дослідження ВДГМ - це дискретно представлений геометричний образ (ГО).

ГО – це множина точок, для якої властиві певні метричні, позиційні, дифференціально-геометричні властивості. Ця множина може бути зв’язною - неперервний ГО або дискретною.

Обов’язкова вимога ВДГМ: дискретна множина точок повинна бути упорядкованою.

Предмет дослідження ВДГМ - співвідношення між елементами дискретного подання ГО або його характеристиками, що визначаються вимогами задачі.

Головна риса ВДГМ (головна перевага) - цілеспрямований вибір розв’язку із області його припустимих значень (де виконуються умови моделювання), а не його детермінований розрахунок.

Дискретне диференціювання – це обчислювальний процес цілеспрямованого вибору значень похідних (із множини припустимих) у вузлах наявної ДПК, виходячи з вимог задач моделювання.

Дискретне інтегрування – це обчислювальний процес визначення (вибору із множини припустимих значень) координат точок первісної ДПК за заданими початковими або граничними умовами у наявному векторному полі, кожна точка якого сформована

під дією заданого або тільки представленого (у т.ч. і наявною ДПК) диференціального рівняння, а вектори поля є дотичними до первісної кривої у точках її ДПК.

Вимоги щодо методів ВДГМ:

- локальність розрахунків і на цій основі корекція результату моделювання;
- запобігання осциляції як самого ГО в процесі моделювання, так і його численних характеристик;
- простота та взаємоузгодженість обчислювальних алгоритмів.

Розглянемо **методологічні аспекти** напряму ВДГМ. Визначальним елементом у цьому питанні є поняття дискретної геометричної моделі.

Дискретна геометрична модель – це впорядкована дискретна сукупність точок геометричного образу та (або) значень деяких його характеристик, що представлена в певній системі координат та пов'язана з алгоритмом розв'язання певного класу задач. Визначальним фактором дискретної геометричної моделі є алгоритм розв'язання задач, оскільки він визначає змістовну частину моделі. Одна й та сама дискретна сукупність точок може бути пов'язана з різними алгоритмами, створюючи таким чином різні за змістом моделі (модель згущення; модель екстраполяції та ін.).

Для неперервних ГО дискретною сукупністю точок є дискретно представлена крива лінія (ДПК) або поверхня (ДПП). Ця сукупність може бути отримана експериментально або дискретизацією деякої неперервної кривої чи поверхні, що задані [5] графічно або аналітично. У випадку експериментального отримання ДПК (ДПП) (при дискретній реєстрації результатів) її неперервний вигляд невідомий, також невідомі і її характеристики (дотичні, кривини, кути нахилу, суміжності тощо). В цьому випадку маємо дискретні графіки самої ДПК (ДПП) та її дотичних, кривин, кутів нахилу і т. ін. Зазначимо, що дотична чи кривина задана у певному вузлі ДПК, стосується не цієї ДПК, а неперервної кривої, що може бути проведена через вузли ДПК.

У випадку отримання ДПК (ДПП) шляхом дискретизації із аналітичного завдання, як правило, можна побудувати як завгодно щільну множину точок, визначити необхідні характеристики ГО. Зазвичай, мета дискретизації – спрощення (зменшення обсягу) розрахунків при обов'язковому виконанні умов точності. Можливість такої дискретизації доведена теоремою Ремеза, згідно з якою довільна неперервна крива лінія (графічно) або функція $y = f(x)$ – (аналітично) може бути апроксимована з заданою точністю кусково-

лінійною функцією, де в нашому розумінні вузли – це ДПК, а ланки, що їх з'єднують, – це супровідна ламана лінія (СЛЛ) ДПК.

Нагадаємо, що при розв'язанні задач дискретного регресійного аналізу дискретна сукупність точок на площині являє собою не ДПК, а “хмару точок”. Кількість таких точок, як правило, значна. Застосовувані при цьому критерії наближення не вимагають суворої упорядкованості точок, достатньо їх перенумерувати.

Параметри, що фігурують у визначенні моделі, це позиційні, метричні чи диференціально-геометричні властивості ГО, а також характеристики того процесу чи явища, що моделюється даною моделлю (наприклад: витрати, температура, енергія тощо).

Моделі можуть бути узагальнюючі (для певного класу задач і явищ) та конкретизуючі – для розв'язання конкретної науково-прикладної задачі. Приклади узагальнюючих моделей: моделі інтерполяції, апроксимації, оптимізації тощо. Приклади конкретизуючих моделей: модель профілювання кулачка газорозподільного механізму, модель прогнозування погоди, як окремий випадок моделі екстраполяції і т. ін.

Зазначимо, що модель створюється не взагалі, а з орієнтацією на певний клас задач, який таким чином (безпосередньо або опосередковано) формує вимоги до моделі та реалізується в алгоритмічній частині визначника моделі. Повнота та якість виконання цих вимог визначає ступінь адекватності моделі щодо поставленої (розв'язуваної) задачі. Крім того, в процесі створення та конкретизації моделі можуть виникнути додаткові вимоги до неї з метою підвищення точності, виконання додаткових (неформальних) вимог або умови пов'язані з необхідністю подальшого використання моделі.

Одним з визначальних факторів задачі моделювання є коректність постановки задачі, як математична (геометрична) так і змістовна, що впливає із поставленої задачі і визначає узгодженість її параметрів і співвідношень між ними, області досліджуваного розв'язку, можливості досягнення бажаної точності і т. ін. Математична коректність визначається відсутністю протиріч в визначенні залежних та незалежних змінних, співвідношень між ними, відповідністю геометричних і обчислювальних характеристик моделі, а також їх загальною відповідністю щодо характеристик модельованого явища чи процесу.

Відомі на теперішній час [8, 9, 10, 11] моделі ВДГМ, повною мірою відповідають вище означеним властивостям і крім того мають характерні, притаманні лише ним, риси:

- забезпечують варіативність розв'язку, тобто його вибір із множини припустимих значень, що дозволяє включати до розгляду додаткові

- (і можливо неформальні) умови задачі;
- гарантують відсутність осциляції розв'язку, при цьому виконання цієї вимоги є утворюючим фактором моделі;
 - дозволяють локальний розв'язок та локальну корекцію розв'язку.

В прикладному плані методи ВДГМ розв'язують широкий спектр надзвичайно важливих практичних задач моделювання і, звичайно, повною мірою можуть розглядатися цілком самостійно, не пов'язуючи свої теоретичні засади і практичні засоби з проблематикою ВДГМ.

Висновки. У роботі розглядаються основи понятійного апарату та головні науково-методологічні риси варіативного дискретного геометричного моделювання (ВДГМ), як окремого напрямку геометричного моделювання, у якому результат моделювання обирається з інтервалу припустимих значень у відповідності з задачею. Цілеспрямований вибір розв'язку з діапазону можливих значень дає значні переваги в досягненні точності та адекватності моделювання та дозволяє урахувати додаткові умови задачі. У наступних публікаціях планується розглянути обчислювальні та прикладні особливості напряму ВДГМ.

Література

1. Ковальов С.Н. Формирование дискретных моделей поверхностей пространственных архитектурных конструкций: дис. ... докт. техн. Наук: 05.01.01 / Ковальов Сергей Николаевич. – Москва, 1986. – 348с.
2. Грибов С.Н. Дискретна геометрія інтерактивного конструювання кінематичних поверхонь на основі скінченних сум: дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01 / Грибов Сергей Николаевич. – Київ, 1994. – 302с.
3. Пугачов Є.В. Дискретне геометричне моделювання скалярних і векторних полів стосовно будівельної світлотехніки: дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01 / Пугачов Євген Валентинович. – Київ, 2001. – 353с.
4. Найдыш В.М. Направления развития теории дискретного геометрического моделирования / В.М.Найдыш // Материали Всеукраїнської науково-методическої конференції «Геометричне моделювання. Інженерна та комп'ютерна графіка». – Харків, 1993. – С. 7.
5. Найдыш В.М. Теоретические основы дискретного геометрического моделирования / В.М. Найдыш // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К, 1995. – Вып.58. – С.25-29.
6. Найдыш В.М. Перспективы развития геометрического

- моделирования / В.М.Найдыш // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К, 1996. – Вып.60. – С.15-19.
7. Найдыш В.М. Досвід та перспективи дискретного геометричного моделювання / В.М. Найдыш, А.В. Найдыш // Материалы украинно-российской научно-практической конференции «Современные проблемы геометрического моделирования». Спец. вып. – Харьков, 2005. – С.40-45.
 8. Найдыш В.М. Актуальные проблемы дискретного геометрического моделирования / В.М. Найдыш // Геометричне та комп'ютерне моделювання / Харківський держ. університет харч. та торгівлі. – Вип.13. – Харків, 2005. – С.7-16.
 9. Найдыш В.М. Розвиток Мелітопольської наукової школи з прикладної геометрії / В.М. Найдыш //Сб. тр. VII Международной научно-практической конференции «Современные проблемы геометрического моделирования». – Мелітополь, 2003. – С.3-8.
 10. Найдыш В.М. Дискретне геометричне моделювання: сутність, особливості, різновиди / В.М. Найдыш // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 24. – Мелітополь: ТДАТА, 2004. – С.100-105.
 11. Найдыш А.В. Варіативне дискретне геометричне моделювання / А.В. Найдыш, І.Г. Балюба, В.М. Верещага, Д.В. Спиринцев // Сучасні проблеми моделювання: наукове фахове видання. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2018. – Вип.11. - С. 108-114.

НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВАРИАТИВНОГО ДИСКРЕТНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Найдыш А.В., Балюба И.Г., Верещага В.М., Спиринцев Д.В.

В работе рассматриваются основы понятийного аппарата и главные научно-методологические черты вариативного дискретного геометрического моделирования (ВДГМ), как отдельного направления геометрического моделирования со своим теоретико-прикладным содержанием.

Классические методы моделирования, как правило, имеют целью получение моделирующей функции, которая в свою очередь определенным образом влияет на результат моделирования, накладывая (навязывая) на него свои свойства и усложняя получение или уточнение конечного результата, поэтому то актуальным стало

направление дискретного геометрического моделирования (ДГМ), результат которого неотягощается (искажаются) свойствами моделирующей функции. Это обуславливает актуальность и активность научных исследований направления ДГМ. Поэтому, в рамках ДГМ, сформировались отдельные научные направления, которые имеют свои отличительные черты. И актуальным, в настоящее время, является определение круга возможностей, места и специфики каждого из них в научно-методологическом и прикладном плане.

Фундаментальной идеей исследований по ДГМ ученых Мелитопольской школы прикладной геометрии является вариативность решения: результат моделирования - это интервал допустимых значений параметра, из которого и выбирается решение и поэтому это направление ДГМ названо вариативным дискретным геометрическим моделированием (ВДГМ).

Целью статьи является изложение, систематизация и уточнение основ понятийного аппарата и основных научно-методологических черт направления ВДГМ.

Рассматриваются основополагающие и концептуальные понятия ВДГМ как направления геометрического моделирования, формирующие основные научные черты направления ВДГМ.

На основе понятия дискретной геометрической модели рассматриваются методологические аспекты направления ВДГМ.

Рассматриваются основные факторы влияния на качество и полноту модели и результаты решения задачи моделирования, указываются отличительные черты моделей ВДГМ.

Ключевые слова: вариативное дискретное геометрическое моделирование (ВДГМ), геометрический образ (ГО), дискретная геометрическая модель, дискретное геометрическое моделирование (ГГС), дискретно представлена кривая (ДПК).

VARIATIVE DISCRETE GEOMETRICAL MODELING

Naidysh A., Balyuba I., Vereshchaga V., Spiritsev D.

The paper considers the foundations of the conceptual apparatus and the main scientific and methodological features of the variative discrete geometric modeling (VDGM) as a separate direction of geometric modeling with its theoretical and applied content.

Classical simulation methods tend to have a modeling function, which in turn in a certain way affects the result of simulation, imposing (impose) on it its properties and complicating the receipt or refinement of the final result, therefore the direction of discrete geometric modeling (DGM) whose result is not burdened (distorted) by the properties of the simulating function. This determines the relevance and activity of scientific research in the direction of the DGM. Therefore, within the framework of the DGM, separate scientific directions have been formed, which have their own distinctive features. And current, at present, is the definition of the range of opportunities, places and specifics of each of them in the scientific-methodological and applied plan.

The fundamental idea behind the research on the DGM of the Melitopol School of Applied Geometry is the variability of the solution: the result of simulation is the range of permissible values of the parameter from which the decision is chosen and therefore this direction of the DGM is called the variable discrete geometric modeling (VDGM).

The purpose of the article is the presentation, systematization and refinement of the basis of the conceptual apparatus and the main scientific and methodological features of the direction of the VDGM.

The basic and conceptual concepts of VDGM as the directions of geometric modeling, forming the basic scientific features of the direction of VDGM are considered.

On the basis of the concept of a discrete geometric model, the methodological aspects of the direction of the VDGM are considered.

The main factors influencing the quality and completeness of the model and the results of solving the modeling problem are considered, and the distinctive features of the VDGM models are indicated.

Key words: variative discrete geometric modeling (VDGM), geometric image (GI), discrete geometric model, discrete geometric modeling (DGM), discretely presented curve (DPC).

УДК 514.18

**КОНФОРМНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ РАСТРОВИХ НАПИСІВ НА
ПЛОСКІ КРИВОЛІНІЙНІ ОБЛАСТІ**

Пилипака С.Ф., д.т.н.,

Кремець Т.С., к.т.н.,

Несвідоміна О.В., аспірант*

*Національний університет біоресурсів і природокористування
України (м. Київ, Україна)*

Відомо багато способів нанесення графічних символів на криволінійні поверхні в залежності від вихідних умов. В цій статті вихідними умовами є растрове зображення абрєвіатури UCSM, яке потрібно відобразити на різноманітні плоскі криволінійні області з найменшими спотвореннями. За основу запропонованого способу прийнято конформне відображення, при якому залишаються однаковими величини кутів між відповідними лініями в образі і в прообразі. Здійснити таке конформне відображення можливо для двох сіток із квадратними комітками нескінченно малих розмірів, між якими встановлені відповідності.

Будь-який напис у растровому зображенні у jpg-форматі можна представити у вигляді квадратних коміток малих розмірів (пікселів), які мають відповідні кольори. Всі ці комітки організовані в двовимірну матрицю – прямокутник із квадратів. Криволінійну область, на яку потрібно нанести растрове зображення абрєвіатури UCSM, теж потрібно задати ізометричною сіткою - квадратами нескінченно малих розмірів. Тоді зчитуваний колір кожного пікселя растрового зображення переноситься на відповідну квадратну комітку ізометричної сітки.

Досліджено два підходи до масштабування растрового напису на криволінійну область. Перший, коли кількість пікселів растра по горизонталі вписуються в u -координатну лінію криволінійної області, а другий - коли кількість пікселів по вертикалі растра вписуються вже у v -координатну лінію криволінійної області. Також досліджено вплив на образ змінних параметрів u, v -координатних ліній ізометричних сіток. Розглянуто вплив повороту на прямий кут вихідного растрового напису на його образ. Показано, що в цьому випадку необхідно вписати кількість пікселів по горизонталі вже у v -координатну лінію криволінійної області.

Ключові слова: плоска ізометрична сітка, растрове зображення, колір пікселя, відображення, масштабування растра.

* Науковий керівник – д.т.н., проф. Пилипака С.Ф.

Постановка проблеми. ДП "Укрметртестстандарт", організація з оцінки відповідності, запроваджує власний **Знак відповідності продукції** [3]. Цей знак є оригінальною композицією з літер латинської абетки UCSM (рис.1) – абревіатура англomовної назви **Ukraine Centre of Standardization and Metrology** (в українській транслітерації – "УЦСМ"). Для споживача цей знак є гарантією, що продукція пройшла відповідний контроль та відповідає вимогам законодавства України. Виникла необхідність дослідити відображення цієї абревіатури на різних криволінійних плоских областях.



Рис.1. Растрові зображення «Знак відповідності продукції»

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формоутворення плоских ізометричних сіток за допомогою комплексної змінної показано в праці [2], а нанесення рисунків із ліній на такі сітки наведено в праці [1].

Формулювання цілей статті. Розкрити спосіб відображення растрових зображень на плоскі криволінійні області, які представляються ізометричними сітками. За допомогою розробленої комп'ютерної моделі в середовищі символічної алгебри Maple проаналізувати вплив параметрів ізометричної сітки на вигляд відображених растрових зображень.

Основна частина. Нехай маємо будь-яке растрове зображення у *jpg* -форматі (рис.2,а). Растрове зображення характеризується розміром растра – кількістю пікселів по ширині uN і висоті vN . Кожен піксель має колір та яскравість. Всі ці дані організовані в двовимірну матрицю $uN \times vN$. Початок відліку нумерації u, v -пікселя знаходиться в лівому верхньому кутку. Вправо нумеруються u - пікселі, а донизу - v -пікселі. Для прикладу, зображення на рис.2,а має 1929×1044 кількість пікселів, що є досить великим значенням для їх відображення на криволінійну сітку в системах комп'ютерної математики. Тому виникає необхідність його підготувати – обрізати (рис.2,б), масштабувати, повернути (рис.2,в) тощо. Такі перетворення з растром можна здійснити у середовищі символічної алгебри *Maple* за допомогою операторів потужної бібліотеки *ImageTools* [1].

Для ізометричних поверхонь у параметричному вигляді (1):

$$R(u, v) = R[x(u, v), y(u, v), z(u, v)], \quad (1)$$

коефіцієнти E, F, G її першої квадратичної форми (2):

$$ds^2 = E du^2 + 2F du dv + G dv^2, \quad (2)$$

які визначаються через частинні похідні (1):

$$E = \left(\frac{\partial}{\partial u} x(u, v) \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial u} y(u, v) \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial u} z(u, v) \right)^2, \quad (3)$$

$$F = \frac{\partial}{\partial u} x(u, v) \frac{\partial}{\partial v} x(u, v) + \frac{\partial}{\partial u} y(u, v) \frac{\partial}{\partial v} y(u, v) + \frac{\partial}{\partial u} z(u, v) \frac{\partial}{\partial v} z(u, v), \quad (4)$$

$$G = \left(\frac{\partial}{\partial v} x(u, v) \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial v} y(u, v) \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial v} z(u, v) \right)^2, \quad (5)$$

відповідають наступним вимогам:

- коефіцієнт $F = 0$ - сітка координатних ліній ортогональна;
- коефіцієнти E і G рівні між собою.

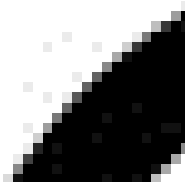
Оскільки $Q = E \equiv G$, то рівняння (2) є найпростішим:

$$ds^2 = Q (du^2 + dv^2), \quad (6)$$

де: $u \in [u_1..u_2]$, $v \in [v_1..v_2]$ – внутрішні координати поверхні.



а)



б)



в)

Рис.2. Характеристики растрового зображення та його перетворення

Сама ця властивість дозволяє формувати на поверхні (1) комірки із квадратів однакового чи різного розміру та забезпечити конформне відображення (із збереженням кутів) растрового зображення прямокутної форми на криволінійну область.

Формування криволінійних областей із квадратів здійснюється за допомогою розробленої нами бібліотеки функцій конструювання ізометричних сіток за різними вихідними умовами [2].

Спершу розглянемо найпростішу плоску ізометричну сітку, якою є декартова система координат з параметричним рівнянням виду:

$$\mathbf{R}(u, v) = \mathbf{R}[u, v, \mathbf{0}], \quad (1)$$

оскільки рівняння її першої квадратичної форми (2) є найпростішим:

$$ds^2 = du^2 + dv^2, \quad (2)$$

де $E = G = 1, F = 0$.

Для побудови комірок полігональної сітки із квадратів (рис.3,а) необхідно забезпечити однаковий приріст вздовж u і v -координат:

$$ud := \frac{u_2 - u_1}{u_N}, vd = ud, \quad (3)$$

або ж:

$$vd = \frac{v_2 - v_1}{v_N}, ud = vd, \quad (4)$$

де u_N, v_N – наперед задана кількість комірок вздовж u, v – координат.

Тому є два варіанти вписування растра в ізометричну сітку:

1) масштабуванням вздовж u –координатної лінії (рис.3,б):

$$u = u_1 + \frac{u_2 - u_1}{uN} i, v = v_1 + \frac{u_2 - u_1}{uN} j, \quad (5)$$

2) масштабуванням вздовж v –координатної лінії (рис.3,в):

$$v = v_1 + \frac{v_2 - v_1}{vN} j, u = u_1 + \frac{v_2 - v_1}{vN} i, \quad (6)$$

де $i = 0..uN, j = 0..vN$ – нумерація пікселів по горизонталі і вертикалі вихідного растрового напису.

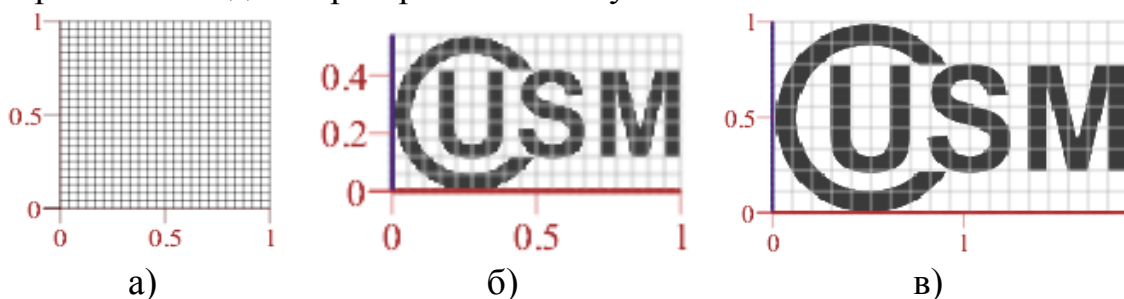


Рис.3. Масштабування растра на декартовій ізометричній сітці

Продемонструємо масштабування (9)-(12) растрового напису UCSM на прикладі полярної ізометричної сітки, параметричне рівняння якої має вигляд:

$$R = [e^u \cos(v), e^u \sin(v), 0]. \quad (7)$$

Можна бачити (рядок 1, табл.1), що для значень $u_1 = 0; u_2 = 1$ і $v_1 = 0; v_2 = \frac{\pi}{2}$ растровий напис не виходить за межі цих координат. Причому, поворот растрового напису UCSM на прямиий кут призвело до його вписування вздовж координатних ліній по колу, які обмежені значеннями параметрів $v_1 = 0$ і $v_2 = \frac{\pi}{2}$.

Аналогічні дослідження було проведено на інших ізометричних сітках. Наприклад, для ізометричної сітки виду:

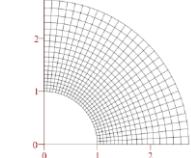
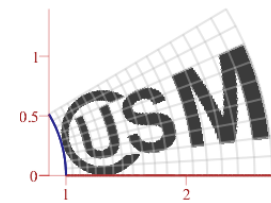
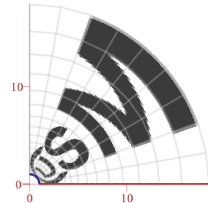
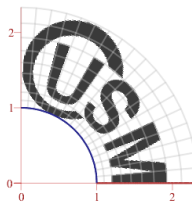
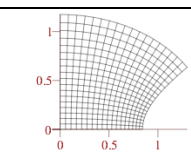
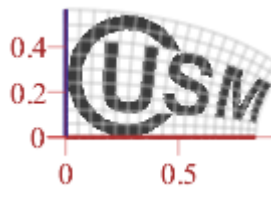
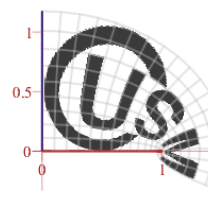
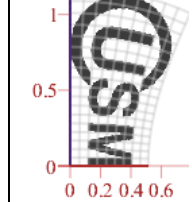
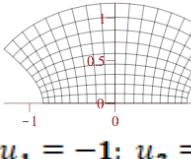
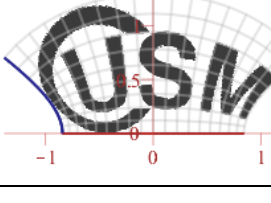
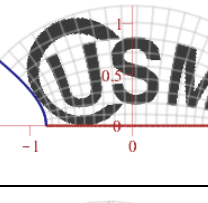
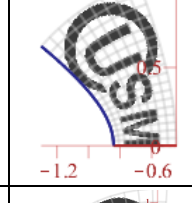
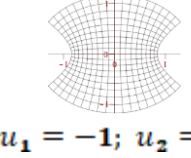
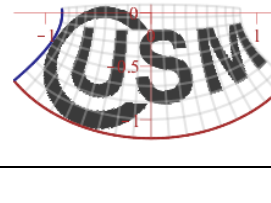
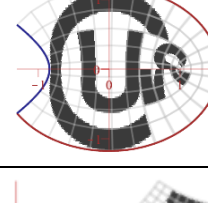
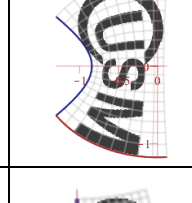
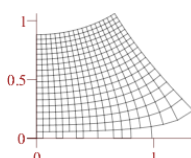
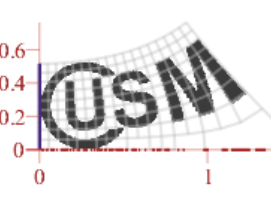
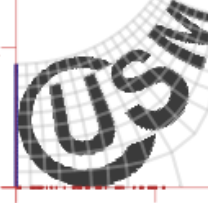
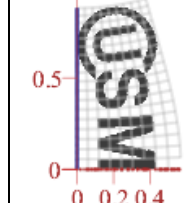
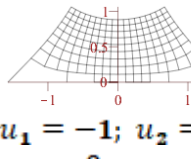
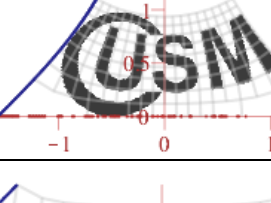
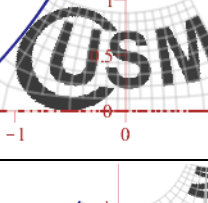
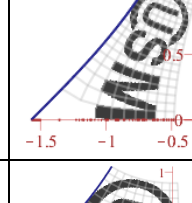
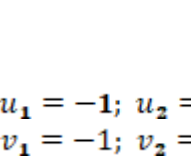
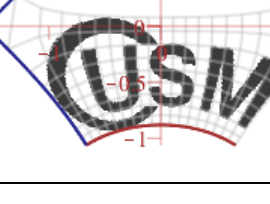
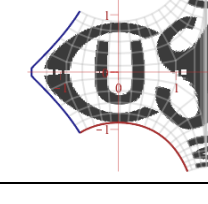
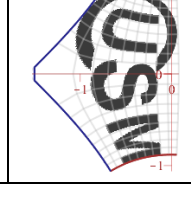
$$R = [\sin(u)\cosh(v), \cos(u)\sinh(v), 0], \quad (8)$$

яка має дві осі симетрії (рядки 2-4 табл.1), візуально можна оцінити деформування напису UCSM в різних її секторах.

Таким чином, задання значень параметрів u_1, u_2 і v_1, v_2 при виборі заданої частини ізометричної сітки, можуть привести до переродження напису до його непізнаваності (рядки 4 і 7 стовпчик 3).

Таблиця 1

Відображення растрового напису на ізометричні сітки

№	Сітка	u -масштаб	v -масштаб	v -масштаб 2
1	 $u_1 = 0; u_2 = 1$ $v_1 = 0; v_2 = \frac{\pi}{2}$			
2	 $u_1 = 0; u_2 = 1$ $v_1 = 0; v_2 = 1$			
3	 $u_1 = -1; u_2 = 1$ $v_1 = 0; v_2 = 1$			
4	 $u_1 = -1; u_2 = 1$ $v_1 = -1; v_2 = 1$			
5	 $u_1 = 0; u_2 = 1$ $v_1 = 0; v_2 = 1$			
6	 $u_1 = -1; u_2 = 1$ $v_1 = 0; v_2 = 1$			
7	 $u_1 = -1; u_2 = 1$ $v_1 = -1; v_2 = 1$			

Висновки. Запропоновано спосіб нанесення растрових написів на криволінійні області із збереженням конформності, який

автоматизує багатоваріантність отриманих образів. Роль експерта зводиться до вибору задовільного варіанта растрового напису.

Література

1. Кремець Т.С. Перетворення плоских зображень шляхом нанесення їх на різні ізометричні сітки [Текст] / Т.С. Кремець, В.М. Несвідомін, Т.С. Пилипака // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип. 4 «Прикладна геометрія та інженерна графіка». – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Т. 56. – С. 158-163.
2. Несвідоміна О.В. Побудова плоских ізометричних сіток за наперед заданими плоскими кривими [Текст] / О.В. Несвідоміна // Вісник Херсонського національного технічного університету – Херсон: ХНТУ, 2017. – Вип.3(620). – Т.2. – С. 196-199.
3. Сайт ДП "Укрметртестстандарт". [Електроний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://ukrcsm.kiev.ua/index.php/en/home-ua/ucsm-tm-ua>.

КОНФОРМНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ РАСТРОВЫХ НАДПИСЕЙ НА ПЛОСКИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ОБЛАСТИ

Пилипака С.Ф., Кремец Т.С., Несвидоміна О.В.

Известно много способов нанесения графических символов на криволинейные поверхности в зависимости от исходных условий. В этой статье исходными условиями является растровое изображение аббревиатуры UCSM, которое нужно отобразить на различные плоские криволинейные области с наименьшими искажениями. В основе предлагаемого способа принято конформное отображение, при котором остаются одинаковыми величины углов между соответствующими линиями в образе и в прообразе. Осуществить такое конформное отображение возможно для двух сеток с квадратными ячейками бесконечно малых размеров, между которыми установлены соответствия.

Любую надпись в растровом изображении в jpg-формате можно представить в виде квадратных ячеек малых размеров (пикселей), которые имеют соответствующие цвета. Все эти ячейки организованы в двумерную матрицу - прямоугольник из квадратов. Плоскую криволинейную область, на которую нужно нанести растровое изображение аббревиатуры UCSM, тоже нужно задать изометрической сеткой - квадратами бесконечно малых размеров. Тогда считываемый цвет каждого пикселя растрового изображения переносится на соответствующую квадратную ячейку изометрической сетки.

Исследовано два подхода к масштабированию растровой надписи на криволинейную область. Первый, когда количество

пикселей по горизонтали растра вписываются в u -координатную линию криволинейной области, а второй - когда количество пикселей по вертикали растра вписываются уже в v -координатную линию криволинейной области. Также исследовано влияние на образ переменных параметров u , v -координатных линий изометрических сетей. Рассмотрено влияние поворота на прямой угол исходного растровой надписи на его образ. Показано, что в этом случае необходимо вписать количество пикселей по горизонтали уже в v -координатную линию криволинейной области.

Ключевые слова: плоская изометрическая сетка, растровое изображение, цвет пикселя, отражение, масштабирование растра.

CONFORMED DISPLAY OF RASTER LETTERS ON FLAT CURVILINEAR REGIONS

Pylipaka S., Kremetz T., Nesvidomina A.

There are many ways of applying graphic symbols on curved surfaces, depending on the initial conditions. In this article, the condition is a bitmap of the abbreviation UCSM, which needs to be mapped onto various flat curvilinear regions with the least distortion. The basis of the proposed method adopted a conformal mapping, in which remain the same angle values between the corresponding lines in the image and in the prototype. It is possible to carry out such a conformal mapping for two grids with square cells of infinitely small sizes, between which correspondences are established.

Any inscription in the raster image in jpg-format can be represented in the form of square cells (pixels), which have corresponding colors. All these cells are organized into a two-dimensional matrix - a rectangle of squares. An isometric grid should also specify the flat curvilinear area to which the raster image of the abbreviation UCSM should be applied - squares of infinitely small sizes. Then the read color of each pixel of the bitmap is transferred to the corresponding square cell of the isometric grid.

Two approaches to scaling of a raster text on a curvilinear area are investigated. The first is when the number of pixels across the horizontal raster fit into the u -coordinate line of the curvilinear region, and the second - when the number of pixels along the vertical raster fit into the v -coordinate line of the curvilinear region. The effect on the image of the variable parameters u , v -coordinate lines of isometric networks was also investigated. The influence of rotation on the right angle of the original raster inscription on its image is considered. It is shown that in this case it is necessary to enter the number of pixels horizontally already in the v -coordinate line of the curvilinear region.

Keywords: flat isometric grid, raster image, pixel color, reflection.

УДК 514.18

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНІ ПІДГОРТАЧА ДЛЯ МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ НА ОСНОВІ МІНІМАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ

Пилипака С.Ф., д.т.н.,

Муквич М.М., к.т.н.*

Національний університет біоресурсів і природокористування
України (м. Київ, Україна)

Здійснено аналітичний опис поверхні підгортача для міжрядного обробітку ґрунту у вигляді відсіку мінімальної поверхні нульової середньої кривини. Використання мінімальної поверхні зумовлене припущенням, що при взаємодії ґрунту з мінімальною поверхнею підгортача зусилля стиску і розламування ґрунту рівні за величиною. Тому при взаємодії ґрунту із підгортачем, спроектованим на основі мінімальної поверхні, зменшується деформація ґрунту у рядках, що стимулює розвиток кореневої системи культурних рослин. Поверхня підгортача має криволінійне лезо, що забезпечує самоочищення і якісне знищення бур'янів при міжрядному обробітку ґрунту.

Аналітичний опис ізотропної лінії та мінімальної поверхні при проектуванні поверхні підгортача здійснено за допомогою функцій комплексної змінної. Для знаходження рівнянь ізотропної лінії використано параметричні рівняння уявної плоскої кривої, заданої функціями натурального параметра із сталою комплексною величиною кривини. Параметричні рівняння ізотропної лінії отримано із умови рівності нулю диференціала дуги просторової кривої за допомогою уявної частини функцій комплексної змінної. Використано параметричні рівняння мінімальної поверхні, знайдені у комплексному просторі з ізотропними лініями сітки переносу. Для аналітичного опису відсіку поверхні підгортача міжрядного обробітку ґрунту здійснено поворот мінімальної поверхні на кут, який визначає кут нахилу ріжучої кромки підгортача до горизонтальної площини. Запропонований аналітичний опис поверхні підгортача дозволяє змінювати його технологічні параметри.

Параметричні рівняння відсіку мінімальної поверхні підгортача знайдено у вигляді елементарних функцій, що дозволяє досліджувати геометричні властивості та диференціальні характеристики поверхні для оптимізації інженерних методів проектування робочих органів обробітку ґрунту.

* Науковий консультант – д.т.н., проф. Пилипака С.Ф.

Ключові слова: підгортач, ізотропна лінія, мінімальна поверхня, функції комплексної змінної, кривина плоскої кривої.

Постановка проблеми. Конструктивні методи геометричного моделювання поверхонь робочих органів для обробітку ґрунту досліджувалися багатьма фахівцями прикладної геометрії. Відомими є праці проф. В.С. Обухової [1, 2, 3], В.М. Найдиша [4, 5], В.І. Корабельського [6] та ін., у яких було визначено зв'язок між технологічними і геометричними параметрами конструювання ґрунтообробних робочих органів. У навчальному посібнику [7] розглянуто методику проектування поличних робочих органів на основі узагальненої лінійчатої моделі, яка дозволяє проектувати широкий спектр робочих органів від полиць плугів до культиваторних лап за допомогою розгортних та нерозгортних поверхонь.

У сучасних CAD-системах при проектуванні різноманітних поверхонь технічних форм та періодичних структур будівельних матеріалів започатковано використання геометричних моделей на основі мінімальних поверхонь. Використання мінімальної поверхні нульової середньої кривини при проектуванні підгортача для міжрядного обробітку ґрунту зумовлене припущенням, що при взаємодії ґрунту з поверхнею підгортача зусилля стиску і розламування ґрунту рівні за величиною. Тому при взаємодії ґрунту із мінімальною поверхнею підгортача зменшується деформація ґрунту у рядках, що стимулює розвиток кореневої системи культурних рослин. При цьому поверхня підгортача має криволінійне лезо, що забезпечує самоочищення і якісне знищення бур'янів при міжрядному обробітку ґрунту [7, с. 123].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомими є сучасні дослідження аналітичних характеристик мінімальних поверхонь з метою формалізації процесу виготовлення поверхонь технічних форм за допомогою роботизованих станків [8]. Але проектування поверхонь технічних форм на основі мінімальних поверхонь утруднене складністю їх аналітичного опису [9, с.154].

Задача знаходження параметричних рівнянь мінімальних поверхонь, починаючи з робіт С. Лі (S. Lie), реалізується за допомогою методів теорії функцій комплексної змінної. Аналітичний опис мінімальних поверхонь та приєднаних мінімальних поверхонь здійснюють у комплексному просторі з ізотропними лініями у ролі ліній сітки переносу.

Формулювання цілей статті. Знайти аналітичний опис поверхні підгортача для міжрядного обробітку ґрунту на основі відсіку мінімальної поверхні.

Основна частина. У роботі [10] авторів даної статті були знайдені параметричні рівняння уявної ізотропної лінії нульової довжини:

$$\begin{aligned}x(t) &= \frac{a \cos(at) \operatorname{sh}(bt) - b \operatorname{ch}(bt) \sin(at)}{a^2 + b^2}; \\y(t) &= \frac{a \operatorname{sh}(bt) \sin(at) + b \cos(at) \operatorname{ch}(bt)}{a^2 + b^2}; \\z(t) &= i \cdot \frac{\operatorname{ch}(bt)}{b},\end{aligned}\quad (1)$$

де $a \in R$, $b \in R$, i – уявна одиниця, t – довільний параметр.

Параметричні рівняння (1) ізотропної лінії було знайдено із умови рівності нулю диференціала дуги просторової кривої за допомогою уявних частин функцій комплексної змінної, які визначали уявну плоску криву, задану функціями натурального параметра s із сталою комплексною величиною кривини $k(s) = a + bi$.

Увівши у параметричних рівняннях ізотропної кривої (1) заміну $t = u + i \cdot v$, відокремивши дійсну та уявну частину для кожної з функцій (1), було отримано рівняння мінімальної поверхні [10]:

$$\begin{aligned}X(u, v) &= \frac{\operatorname{ch}(bu) \cdot \sin(au)}{a^2 + b^2} [-b \cos(bv) \operatorname{ch}(av) + a \sin(bv) \operatorname{sh}(av)] + \\&+ \frac{\operatorname{sh}(bu) \cdot \cos(au)}{a^2 + b^2} [a \cos(bv) \operatorname{ch}(av) + b \sin(bv) \operatorname{sh}(av)]; \\Y(u, v) &= \frac{\operatorname{ch}(bu) \cdot \cos(au)}{a^2 + b^2} [b \cos(bv) \operatorname{ch}(av) - a \sin(bv) \operatorname{sh}(av)] + \\&+ \frac{\operatorname{sh}(bu) \cdot \sin(au)}{a^2 + b^2} [a \cos(bv) \operatorname{ch}(av) + b \sin(bv) \operatorname{sh}(av)]; \\Z(u, v) &= -\frac{\sin(bv) \cdot \operatorname{sh}(bu)}{b}.\end{aligned}\quad (2)$$

При моделюванні поверхні підгортача здійснимо поворот мінімальної поверхні (2) відносно осей координат, помінявши місцями вирази параметричних рівнянь $Y(u, v)$ і $Z(u, v)$, та здійснимо поворот цієї поверхні у профільній площині проєкцій на кут α .

Аналітичний опис мінімальної поверхні підгортача для міжрядного обробітку ґрунту запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned}X^*(u; v) &= m \cdot [X(u, v) \cdot \cos \alpha + Y(u, v) \cdot \sin \alpha]; \\Y^*(u; v) &= m \cdot Z(u, v); \\Z^*(u; v) &= m \cdot [-X(u, v) \cdot \sin \alpha + Y(u, v) \cdot \cos \alpha],\end{aligned}\quad (3)$$

де α – кут нахилу ріжучої кромки підгортача до горизонтальної площини, m – коефіцієнт гомотетії мінімальної поверхні (2).

У рівняннях (3) вирази $X(u, v)$; $Y(u, v)$; $Z(u, v)$ визначаються із рівностей (2).

На рис.1 зображено поверхню підгортача для міжрядного обробітку ґрунту, побудовану за рівняннями (3) із врахуванням рівностей (2) при: $a = 0,8$; $b = 0,1$; $\alpha = \frac{\pi}{9}$; $m = 1000$; $u \in [0; \dots 0,6 \cdot \pi]$; $v \in [-1,6; \dots 1,6]$.

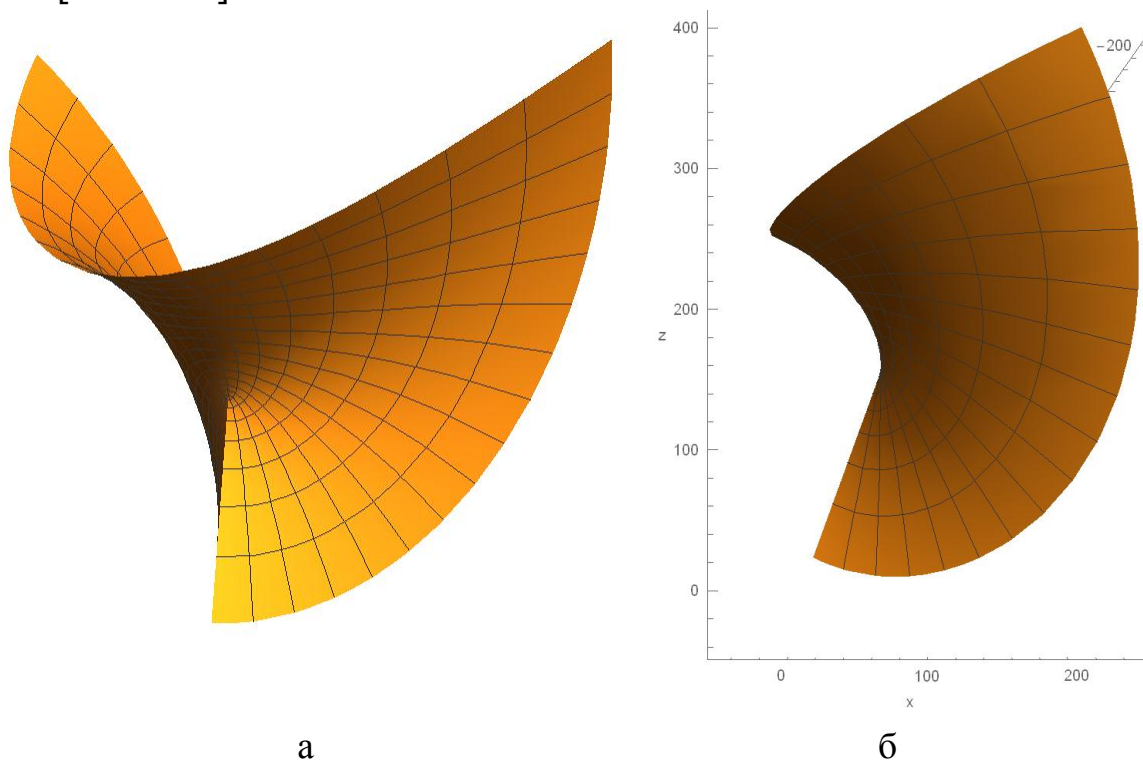


Рис. 1. Поверхня підгортача для міжрядного обробітку ґрунту, побудована на основі мінімальної поверхні (2):
а) аксонометрія мінімальної поверхні підгортача;
б) профільна проекція поверхні підгортача.

Орієнтовні технологічні параметри границі поверхні підгортача для міжрядного обробітку ґрунту: ширина захвату – 300 мм, кут між ріжучою кромкою підгортача і горизонтальною площиною $\alpha = \frac{\pi}{9}$, глибина обробітку – 100-160 мм.

Висновки. Знайдено параметричні рівняння мінімальної поверхні підгортача для міжрядного обробітку ґрунту у вигляді елементарних функцій, що дозволяє досліджувати геометричні властивості та диференціальні характеристики поверхні для оптимізації інженерних методів проектування робочих органів обробітку ґрунту. Запропонований аналітичний опис поверхні підгортача дозволяє змінювати його технологічні параметри.

Література

1. Обухова В.С. Существенные параметры развёртывающихся поверхностей лемешно-отвального типа / В.С. Обухова, В.Я. Булгаков // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К., 1974. – №18. – С.21-26.
2. Обухова В.С. К вопросу получения граничного контура отвальных поверхностей / В.С. Обухова, А.Л. Мартиросов // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К., 1977. – №23. – С.18-20.
3. Обухова В.С. Построение развёртки торса, заданного направляющими кривыми / В.С. Обухова, С.Ф. Пилипака // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К., 1988. – №45. – С.14-17.
4. Найдыш В.М. Конструирование поверхностей из многопараметрических множеств линий и поверхностей / В.М. Найдыш // Научные труды Украинской сельскохозяйственной академии. – К., 1980. – №234. – С.141-144.
5. Найдыш В.М. Развёртывающиеся линейчатые поверхности, заданные линией пространства параметров / В.М. Найдыш, И.Г. Балюба // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К., 1979. – №27. – С.89-90.
6. Корабельский В.И. К вопросу конструирования поверхностей типа отвалов с учётом некоторых технологических требований / В.И. Корабельский, А.В. Павлов // Вестник КПИ, Сер. хим. машиностроения и технологии. – К., 1971. – №8. – С.151-153.
7. Тищенко С.С. Машини для основного обробітку ґрунту. Теорія та проектування поверхонь ґрунтообробних робочих органів: навч. Посіб. / С.С. Тищенко, В.В. Карась. – Дніпро: ООО «Домінанта-прінт», 2017. – 204 с.
8. Hua, Hao. Wire cut of double-sided minimal surfaces [Text] / Hao Hua, Jia Tingli. // Visual Comput. – 2018. – Vol. 34, Issue 274 – P. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00371-018-1548-0>.
9. Гуляев В.И. Расчёт оболочек сложной формы / В.И. Гуляев, В.А. Баженов, Е.А. Гоцуляк, В.В. Гайдайчук. – К.: Будівельник, 1990. – 192 с.
10. Pylypa S., Mukvich M. Construction of minimal surfaces using flat curves with constant complex curvature. An international quarterly journal on motorization, vehicle operation, energy efficiency and mechanical engineering «ТЕКА. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture» / Polish Academy of Sciences, University of Engineering and Economics in Rzeszow, University of Life Sciences in Lublin. 2017. – Vol. 17. No 3. – P. 15 – 23.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОКУЧНИКА ДЛЯ МЕЖДУРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ С ПОМОЩЬЮ МИНИМАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Пилипака С.Ф., Муквич Н.Н.

Осуществлено аналитическое описание поверхности окучника для междурядной обработки почвы в виде отсека минимальной поверхности нулевой средней кривизны. Использование минимальной поверхности обусловлено предположением, что при взаимодействии почвы с минимальной поверхностью окучника усилия сжатия и разламывания почвы равны по величине. Поэтому при взаимодействии почвы с окучником, спроектированным с помощью минимальной поверхности, уменьшается деформация грунта в рядах, что стимулирует развитие корневой системы культурных растений. Поверхность окучника имеет криволинейное лезвие, обеспечивающее самоочищение и качественное уничтожение сорняков при междурядной обработке почвы.

Аналитическое описание изотропной линии и минимальной поверхности при проектировании поверхности окучника получено с помощью функций комплексной переменной. Для нахождения уравнений изотропной линии использованы параметрические уравнения мнимой плоской кривой, заданной функциями натурального параметра с постоянной комплексной величиной кривизны. Параметрические уравнения изотропной линии получены из условия равенства нулю дифференциала дуги пространственной кривой с помощью мнимой части функций комплексной переменной. Конструирование минимальной поверхности осуществлено в комплексном пространстве с изотропными линиями сетки переноса. Для проектирования отсека поверхности окучника междурядной обработки почвы использован поворот минимальной поверхности на угол, который определяет угол наклона режущей кромки окучника к горизонтальной плоскости. Аналитическое описание поверхности окучника позволяет изменять его технологические параметры.

Параметрические уравнения отсека минимальной поверхности окучника получены в виде элементарных функций, которые позволяют исследовать геометрические свойства и дифференциальные характеристики поверхности для оптимизации инженерных методов проектирования рабочих органов обработки почвы.

Ключевые слова: окучник, изотропная линия, минимальная поверхность, функции комплексной переменной, кривизна плоской кривой.

GEOMETRIC MODELING OF THE HILLER SURFACE FOR INTER-ROW TILLAGE BASED ON MINIMAL SURFACE

Pylypaka S., Mukvich M.

An analytical description of the hiller surface for inter-row tillage in the form of the minimal surface compartment of zero mean curvature is made. The use of the minimal surface is based on the assumption that when the soil interacts with the minimal surface of the hiller, the forces of compression and breaking of the soil are equal in value. Therefore, when the soil interacts with a hiller designed with a minimal surface, the soil deformation in rows decreases, which stimulates the development of the root system of cultivated plants. The surface of a hiller has a curvilinear blade, providing self-cleaning and high-quality destruction of weeds with inter-row tillage.

An analytical description of the isotropic line and the minimal surface for the design of the hiller surface using the functions of the complex variable is obtained. To find the equations of the isotropic line, parametric equations of an imaginary flat curve given by functions of a natural parameter with a constant complex value of curvature are used. The parametric equations of the isotropic line from the condition that the arc differential of a spatial curve is zero with the help of the imaginary part of the functions of a complex variable are obtained. The construction of the minimal surface is carried out in a complex space with isotropic lines of a transfer grid. For the design of the hiller surface compartment of inter-row tillage, a rotation of the minimal surface by an angle was used, which determines the angle of inclination of the hiller cutting edge to the horizontal plane. Analytical description of the hiller surface allows to change its technological parameters.

The parametric equations of the compartment of the minimal surface of the hiller in the form of elementary functions that allow one to study the geometric properties and the differential characteristics of the surface to optimize the engineering methods for designing the working bodies of tillage are obtained.

Key words: hiller, isotropic line, minimal surface, functions of a complex variable, curvature of a plane curve.

УДК 514.18

**МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНИХ ОБРАЗІВ ПРОСТОРОВИХ
КРИВИХ, ЗАДАНИХ ПЕРЕТИНОМ ДВОХ ПОВЕРХОНЬ**

Плоский В.О., д.т.н.,

Скочко В. І., к.т.н.*

*Київський національний університет будівництва і архітектури
(Україна)*

Побудова просторових кривих, що утворюються шляхом перетину двох поверхонь представляє собою досить складне і в той же час важливе завдання. Пошук нових способів його вирішення представляє великий інтерес, оскільки вони можуть бути застосовані при проектуванні окремих фрагментів поверхонь складних технічних форм, що працюють у складних умовах експлуатації, зокрема машин та механізмів.

Ця задача ускладнюється ще більше, якщо функції поверхонь, крива перетину яких досліджується, задані у неявній формі. В цьому випадку може виникнути не лише проблема візуалізації досліджуваної кривої, але й власне проблема побудови самих поверхонь.

В даній роботі пропонується підхід до побудови дискретних образів шуканих просторових кривих, що базується на використанні інтегральних рівнянь рівноваги вільних вузлів відповідних образів, доповнених спеціальними умовами (рівняннями й коефіцієнтами) до форми функцій Лагранжа. В такій постановці задача визначення положень вільних вузлів дискретного образу шуканої кривої представляє собою пошук оптимального положення цих вузлів при обов'язковій умові їх одночасної належності поверхням обох функцій, що перетинаються. Відтак, вирішення даної задачі може бути зведене до пошуку умовних екстремумів багатьох функцій, кожна з яких описуватиме стан статичної рівноваги вільних вузлів дискретного образу, як ідеалізованої математичної моделі сітчастої (або стрижневої) структури, що перебуває під дією функціональних навантажень векторного поля сил. Саме ж поле цих сил представлятиме собою суперпозицію градієнтних полів, функції скалярних потенціалів яких відповідатимуть функціям двох поверхонь, що перетинаючись утворюють шукану просторову криву.

Ключові слова: просторова крива, дискретний образ кривої.

* Науковий консультант – д.т.н., проф. Плоский В.О.

Постановка проблеми. Просторові криві в більшості випадків задаються у параметричній формі:

$$\begin{cases} x = f_1(t); \\ y = f_2(t); \\ z = f_3(t). \end{cases} \quad (1)$$

Така форма запису є найпростішою та майже не викликає ускладнень при побудові кривої та її подальшому дослідженні, оскільки координати не є функціонально залежними один від одного.

Якщо ж просторова крива задається, як лінія перетину двох довільних поверхонь Ω та Ξ , функції яких задані у неявній формі:

$$\begin{cases} \Omega = \zeta_1(x, y, z) = 0; \\ \Xi = \zeta_2(x, y, z) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

то задача її побудови (візуалізації) може виявитися досить складною, оскільки сама по собі задача візуалізації поверхонь неявних функцій часто стикається зі значними перешкодами, пов'язаними із неможливістю привести відповідні функції до явної форми або складнощами застосування методів згущення зони пошуку точок, що задовільняють відповідним функціям у області пошуку.

Відтак, доцільно обмежитися певною кількістю розрахункових точок, що належатимуть просторовій кривій лінії перетину поверхонь Ω та Ξ в досліджуваній області простору, задавши лише топологічні ознаки та координати опорних вузлів деякого дискретного образу, кількість вільних вузлів якого повинна відповідати кількості інцидентних точок на шуканій кривій. Визначення ж координат вільних вузлів даного образу й представляє собою основну проблему, що потребує вирішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В публікаціях [1] та [2] було представлено спосіб побудови та оптимізації дискретно представлених об'єктів на площині (кривих) та в просторі (поверхонь та об'єктів технічних форм). Основна ідея полягає у наступному. З точки зору теоретичної та будівельної механіки рівновага кожного i -го вільного вузла дискретного образу, якщо розглядати його як безмоментну сітчасту (або стрижневу) структуру можна описати наступним інтегральним рівнянням:

$$\sum_{j=1}^n \aleph_{i,j} \cdot \delta_{i,j}^2 - \varphi_i + G_i = 0, \quad (3)$$

де: φ_i – вузлові значення потенціалу формоутворюючих польових структур (або незалежних цільових функцій); G_i – деякі невизначені константи інтегрування; $\aleph_{i,j}$ – умовні параметри жорсткості стрижнів (ланок дискретного образу), що виражаються відношеннями

абсолютних величин поздовжніх зусиль у цих стрижнях $\bar{R}_{i,j}$ до їх довжин $\delta_{i,j}$:

$$\aleph_{i,j} = R_{i,j} / \delta_{i,j}. \quad (4)$$

Якщо ми виділимо w вільних вузлів досліджуваного образу, координати кожного i -го з яких в результаті формоутворення повинні задовільняти не одній, а одразу декільком функціям та/або встановленим диференціальним вимогам $\varphi_{i,h}$ так, що:

$$\varphi_{i,h} = \varsigma_{i,h}(x_i, y_i, z_i) = 0, (h = \overline{1, t_i}), \quad (5)$$

де h – порядковий номер умови та/або функції $\varphi_{i,h}$, якій мають задовільняти координати i -го вільного вузла з множини вузлів w , вибраних для уточнення їхнього положення, а t_i – кількість накладених функцій та/або умов для i -го вузла; то для того, щоб отримати можливість впливати на положення вільних вузлів, необхідно вдатися до принципів знаходження умовних екстремумів з використанням невизначених коефіцієнтів Лагранжа $\lambda_{i,h}$ [3]. Після введення відповідних коефіцієнтів, функцій та умов до рівняння (3), яке й будемо розглядати в якості функції Лагранжа \aleph_i , запишемо його в більш узагальненій модифікованій формі:

$$\aleph_i = \sum_{j=1}^n \aleph_{i,j} \cdot \delta_{i,j}^2 \pm \sum_{h=1}^{t_i} \lambda_{i,h} \cdot \varphi_{i,h} + G_i', \quad (6)$$

де G_i' – сумарна невизначена константа інтегрування усіх функцій $\varphi_{i,h}$.

Визначаючи екстремуми функцій (6) в кожному i -му з w обраних вузлів сітчастої структури для кожної i -ї точки дискретного образу, отримаємо наступні рівняння:

$$\partial \aleph_i / \partial \lambda_{i,h} = 0, (h = \overline{1, t_i}), \quad (7)$$

$$\partial \aleph_i / \partial s_i = 0, (s_i = x_i, y_i, z_i). \quad (8)$$

Звідки маємо:

$$\sum_{j=1}^n (s_j - s_i) \cdot \aleph_{i,j} + \wp_{s_i} = 0, (i = \overline{1, w}; s_i = x_i, y_i, z_i), \quad (9)$$

$$\text{де: } \wp_{s_i} = \sum_{h=1}^{t_i} \lambda_{i,h} \cdot \wp_{s_i,h} = \sum_{h=1}^{t_i} \lambda_{i,h} \cdot \partial \varphi_{i,h} / \partial s_i, (i = \overline{1, w}; s_i = x_i, y_i, z_i), \quad (10)$$

$$\varphi_{i,h} = \varsigma_{i,h}(x_i, y_i, z_i) = 0, (i = \overline{1, w}; h = \overline{1, t_i}). \quad (11)$$

Складаючи та розв'язуючи для усіх вільних вузлів рівняння типу (9) – (11) відносно координат цих вузлів і коефіцієнтів $\lambda_{i,h}$, одержимо шукану форму (положення вільних вузлів) дискретного образу.

Формулювання цілей статті. Адаптація вище наведеного способу побудови дискретних образів до задачі визначення координат

вузлів дискретно представлених просторових кривих, що задаються як лінії перетину двох поверхонь.

Основна частина. Розглянемо умови належності точок шуканої просторової кривої функціям двох поверхонь Ω та Ξ . Фактично, потрібно, щоб координати кожного вільного вузла кривої задовільняли рівнянням системи (2).

Розглядаючи систему (9) – (11) в контексті наявності двох функцій поверхонь Ω та Ξ , обом із яких має бути інцидентний кожен вузол із множини w вільних вузлів дискретного образу, легко дійти висновку, що ці функції мають представляти собою дві відповідні умови, що будуть входити до функції Лагранжа \mathfrak{R}_i . Остання матиме наступну форму для довільного i -го вільного вузла:

$$\mathfrak{R}_i = \sum_{j=1}^n \aleph_{i,j} \cdot \delta_{i,j}^2 + \lambda_{i,1} \cdot \varphi_{i,1} + \lambda_{i,2} \cdot \varphi_{i,2} + G_i', \quad (12)$$

де:

$$\varphi_{i,1} = \varsigma_1(x_i, y_i, z_i), \quad (13)$$

$$\varphi_{i,2} = \varsigma_2(x_i, y_i, z_i). \quad (14)$$

Після підстановки рівняння (12) до виразів (7) та (8) одержимо наступну систему рівнянь:

$$\sum_{j=1}^n (s_j - s_i) \cdot \aleph_{i,j} + \wp_{s_i} = 0, \quad (i = \overline{1, w}; s_i = x_i, y_i, z_i), \quad (15)$$

де:

$$\begin{aligned} \wp_{s_i} &= \lambda_{i,1} \cdot \mathfrak{F}_{s_{i,1}} + \lambda_{i,2} \cdot \mathfrak{F}_{s_{i,2}} = \lambda_{i,1} \cdot \partial \varphi_{i,1} / \partial s_i + \lambda_{i,2} \cdot \partial \varphi_{i,2} / \partial s_i = \\ &= \lambda_{i,1} \cdot \partial \varsigma_1(x_i, y_i, z_i) / \partial s_i + \lambda_{i,2} \cdot \partial \varsigma_2(x_i, y_i, z_i) / \partial s_i, \end{aligned} \quad (16)$$

$$(i = \overline{1, w}; s_i = x_i, y_i, z_i);$$

$$\varsigma_1(x_i, y_i, z_i) = 0, \quad (17)$$

$$\varsigma_2(x_i, y_i, z_i) = 0. \quad (18)$$

Складаючи систему рівнянь типу (15) – (18) для усіх w вільних вузлів дискретного образу, та розв'язуючи відносно невідомих координат, одержимо форму дискретно представленої кривої лінії перетину поверхонь Ω та Ξ .

Однак, результат розв'язання може бути досить непередбачуваним і розміщення вузлів може бути нерівномірним. В такому випадку, в межах досліджуваної області слід встановити однакові довжини ланок між вільними вузлами просторової кривої. Цього можна досягти, наприклад, шляхом введення додаткових умовних функцій до рівнянь типу (12), по аналогії до [2], однак замість функцій кіл, слід у просторовому випадку вводити функції сфер, яких повинно бути по дві (з центрами у суміжних $(i-1)$ -му та

($i+1$)-му вузлах) для кожного довільного i -го вузла (окрім першого й останнього):

$$f_{i-1}(x_i, y_i, z_i) = (x_{i-1} - x_i)^2 + (y_{i-1} - y_i)^2 + (z_{i-1} - z_i)^2 - R^2 = 0, \quad (19)$$

$$f_{i+1}(x_i, y_i, z_i) = (x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2 - R^2 = 0. \quad (20)$$

Тут R – обрана відстань між вільними вузлами, що відповідає радіусам сфер.

Після введення функцій (19) та (20) до функції Лагранжа \mathfrak{R}_i вона набуде наступної форми для усіх, крім першого і останнього, вільних вузлів:

$$\mathfrak{R}_i = \sum_{j=1}^n \aleph_{i,j} \cdot \delta_{i,j}^2 + \lambda_{i,1} \cdot \varphi_{i,1} + \lambda_{i,2} \cdot \varphi_{i,2} + \lambda_{i,3} \cdot f_{i-1} + \lambda_{i,4} \cdot f_{i+1} + G_i'. \quad (21)$$

Після диференціювання одержимо наступну систему рівнянь рівноваги вузлів:

$$\sum_{j=1}^n (s_j - s_i) \cdot \aleph_{i,j} + \wp_{s_i} = 0, \quad (i = \overline{1+1, w-1}; s_i = x_i, y_i, z_i), \quad (22)$$

де:

$$\begin{aligned} \wp_{s_i} &= \lambda_{i,1} \cdot \mathfrak{S}_{s_{i,1}} + \lambda_{i,2} \cdot \mathfrak{S}_{s_{i,2}} + \lambda_{i,3} \cdot \mathfrak{S}_{s_{i-1}} + \lambda_{i,4} \cdot \mathfrak{S}_{s_{i+1}} = \\ &= \lambda_{i,1} \cdot \partial \varphi_{i,1} / \partial s_i + \lambda_{i,2} \cdot \partial \varphi_{i,2} / \partial s_i + \lambda_{i,3} \cdot \partial f_{i-1} / \partial s_i + \lambda_{i,4} \cdot \partial f_{i+1} / \partial s_i = \\ &= \lambda_{i,1} \cdot \frac{\partial \varphi_{i,1}}{\partial s_i} + \lambda_{i,2} \cdot \frac{\partial \varphi_{i,2}}{\partial s_i} - 2 \cdot [\lambda_{i,3} \cdot (s_{i-1} - s_i) + \lambda_{i,4} \cdot (s_{i+1} - s_i)], \end{aligned} \quad (23)$$

$$(i = \overline{1+1, w-1}; s_i = x_i, y_i, z_i),$$

$$\zeta_1(x_i, y_i, z_i) = 0, \quad (24)$$

$$\zeta_2(x_i, y_i, z_i) = 0, \quad (25)$$

$$(x_{i-1} - x_i)^2 + (y_{i-1} - y_i)^2 + (z_{i-1} - z_i)^2 - R^2 = 0, \quad (26)$$

$$(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2 - R^2 = 0. \quad (27)$$

Для першого або останнього вузлів система рівноваги записуватиметься аналогічно, за виключенням відсутності відповідно членів $\lambda_{i,3}$ або $\lambda_{i,4}$ у виразі (23), а також з виключенням із системи рівнянь (26) або (27) відповідно.

Складаючи систему рівнянь типу (23) – (27) для усіх w вільних вузлів дискретного образу, та розв'язуючи відносно невідомих координат, одержимо форму дискретно представленної кривої лінії перетину поверхонь Ω та Ξ зі сталою заданою відстанню R між суміжними вільними вузлами.

Висновки. Продемонстрований підхід дозволяє досягти не лише сталих, але й довільних для кожної ланки відстаней між суміжними вузлами дискретного образу просторової кривої. В такому випадку необхідно встановлювати значення радіусів сфер різними для кожної

ланки. Окрім того, даний підхід дає змогу вводити й інші, додаткові, умови до характеру дискретизації досліджуваної просторової кривої.

Література

1. Скочко В.І. Практичні аспекти дослідження та корегування сітчастих структур, побудованих шляхом геометричного формоутворення / В.І. Скочко // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – К. : КНУБА, 2018. – Вип. 51. – С. 498-506.
2. Скочко В.І. Моделювання дискретних образів плоских кривих з ланками однакової довжини / В.І. Скочко // Сучасні проблеми моделювання. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Богдана Хмельницького, 2018. – Вип. 12. – С. 132-137.
3. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. Изд. перераб. / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев; под ред. Г. Гроше, и В. Циглера. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. – 976 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ОБРАЗОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КРИВЫХ, ЗАДАНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЕМ ДВУХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Плоский В.А., Скочко В.И.

Построение пространственных кривых, образующихся путем пересечения двух поверхностей, представляет собой достаточно сложную и в то же время важную задачу. Поиск новых способов ее решения представляет большой интерес, поскольку они могут быть применены при проектировании отдельных фрагментов поверхностей сложных технических форм, работающих в сложных условиях эксплуатации, в том числе машин и механизмов.

Эта задача осложняется еще больше, если функции поверхностей, кривая пересечения которых исследуется, заданные в неявной форме. В этом случае может возникнуть не только проблема визуализации исследуемой кривой, но и собственно проблема построения самих поверхностей.

В данной работе предлагается подход к построению дискретных образов искомых пространственных кривых, основанный на использовании интегральных уравнений равновесия свободных узлов соответствующих образов, дополненных специальными условиями (уравнениями и коэффициентами) к форме функций Лагранжа. В такой постановке задача определения положений свободных узлов дискретного образа искомой кривой представляет собой поиск оптимального положения этих узлов при обязательном условии их одновременной принадлежности поверхностям обеих функций, которые пересекаются. Следовательно, решение данной

задачи может быть сведено к поиску условных экстремумов многих функций, каждая из которых будет описывать состояние статического равновесия свободных узлов дискретного образа, как идеализированной математической модели сетчатой (или стержневой) структуры, находящейся под действием функциональных нагрузок векторного поля сил. Само же поле этих сил будет представлять собой суперпозицию градиентных полей, функции скалярных потенциалов которых будут соответствовать функциям двух поверхностей, которые, пересекаясь, образуют искомую пространственную кривую.

Ключевые слова: пространственная кривая, дискретный образ кривой.

MODELING OF DISCRETE IMAGES OF SPATIAL CURVES DEFINED BY THE INTERSECTION OF TWO SURFACES

Ploskyi V., Skochko V.

The constructing of spatial curves formed by the intersection of two surfaces is a rather complicated and at the same time an important task. The search for new ways to solve it has of great interest, since they can be applied in the designing of individual fragments of surfaces of complex technical forms operating in difficult conditions, including machines and mechanisms.

This task is further complicated if the functions of the surfaces whose intersection curve is investigated are given in an implicit form. In this case, there may be not only the problem of visualization of the curve under study, but also the actual problem of constructing the surfaces themselves.

This paper proposes an approach to constructing discrete images of the desired spatial curves, based on the use of integral equilibrium equations for free nodes of corresponding images, supplemented by special conditions (equations and coefficients) to the form of Lagrange functions. In this formulation, the problem of determining the positions of free nodes of a discrete image of the desired curve is the search for the optimal position of these nodes with the obligatory condition of their simultaneous belonging to the surfaces of both functions that intersect. Consequently, the solution of this problem can be reduced to the search for conditional extremes of many functions, each of which will describe the static equilibrium state of free nodes of a discrete image, as an idealized mathematical model of a network (or rod) structure under the action of functional loads of the force vector field. The field of these forces will be a superposition of gradient fields, the functions of the scalar potentials of which will correspond to the functions of the two surfaces, which, intersecting, form the desired spatial curve.

Key words: spatial curve, discrete curve image.

УДК 515.2

МОДЕДУВАННЯ СПРЯЖЕНИХ ЕВОЛЬВЕНТНИХ ПОВЕРХОНЬ, ЩО ВИКЛЮЧАЮТЬ ІНТЕРФЕРЕНЦІЮ

Подкоритов А.М., д.т.н.

*Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького,*

Ісмаїлова Н.П., д.т.н.,

Трушков Г.В.

Військова академія (м. Одеса, Україна)

Виробництво якісних, надійних і довговічних виробів в будь-якій галузі промисловості може бути досягнуто тільки за умови поєднання високої технологічної культури виробництва і високої культури проектування, що включає в себе і вибір відповідних матеріалів, і призначення режимів термообробки, і визначення оптимальних допусків і посадок, і якості обробки поверхонь, і не в останню чергу, оптимальне, з точки зору функціонального призначення виробів, поєднання їх форми і розмірів.

Особливе значення точності форми і розмірів приділяється при проектуванні спряжених деталей, особливо якщо форми цих деталей можуть бути отримані лише графічним шляхом. Вчені вже давно намагаються оптимізувати цей процес створенням універсальних графічних інструментів, до числа яких може бути віднесено і створення кінематичного гвинта, що являє собою по суті графічне зображення параметрів кінематичних пар, зміна одного з яких призводить до зміни інших, що відкриває можливість отримання форм деталей, з наперед заданими параметрами, зокрема деталей, спільна робота яких вільна від взаємного впровадження їх поверхонь один в одного, що узагальнено названа «інтерференцією» поверхонь, а в реальних конструкціях носить більш прозаїчну назву «підрізання» поверхонь одна одною. Велике значення при проектуванні спряжених поверхонь має точне відтворення їхньої форми як основи надійної роботи майбутніх реальних виробів, що ускладнюється необхідністю виконання досить численних геометричних побудов, виконання яких за допомогою звичайних креслярських інструментів неминуче супроводжується внесенням цілком об'єктивних похибок, уникнути яких можна, використовуючи сучасну електронно-обчислювальну техніку, що вимагає суттєвої творчої підготовчої роботи, чому і присвячена дана стаття. Де розглянуто моделювання спряжених евольвентна поверхонь по контактній поверхні зачеплення інструменту та деталі, що виключає інтерференцію.

Ключові слова – моделювання спряжених поверхонь, евольвентна поверхня, інтерференція, контактна поверхня зачеплення.

Постановка проблеми. Постійне зростання вимог до якості виробів, і створення нового виробничого устаткування є об'єктивними чинниками, стимулюючими вдосконалення методів виключення інтерференції спряжених евольвентних поверхонь виробів [4]. У даній статті розглядається графічний метод моделювання спряжених евольвентних поверхонь по контактній поверхні зачеплення ріжучого інструменту та деталі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Впровадження більш сучасної технології обробки виробів в гнучких автоматизованих виробництвах, на обробних модулях, у свою чергу, вимагає розробки ефективних методів геометричного і аналітичного моделювання спряжених евольвентних поверхонь, що виключають інтерференцію. Розширюючи можливості існуючої теорії діаграми просторового кінематичного параметричного гвинта і застосування його для формування складних криволінійних спряжених поверхонь [1], яка дає можливість визначення характеристики криволінійних поверхонь.

Формулювання цілей статті. Є визначення, виявлення інтерференції спряжених евольвентних поверхонь по контактній поверхні зачеплення ріжучого інструменту та деталі, розширити сферу застосування просторового параметричного кінематичного гвинта.

Основна частина. Найбільшого поширення в машинобудуванні були передачі, складені з таких коліс, які зберігають постійність кутових швидкостей навіть за наявності вагання міжосьової відстані, а їх виготовлення високотехнологічне. Інтерференція зубів буде відсутній, як що евольвентний профіль зуба одного зубчастого колеса спряжена тільки з евольвентним профілем зуба іншого колеса. Для цього необхідно, щоб радіус граничної точки був менше радіуса нижньої точки активного профілю.

Розглянемо зубчасту передачу, у якій забезпечується спряження зубів евольвентного профілю по довжині, де здійснюється по ідентичній кривій, розташованій у площині зачеплення й однакою по висоті зуба.

До недоліків відомих передач відноситься ті, що в таких передачах обмежений кінематичний кут зачеплення. Чим більше зубчасті колеса, тим менше кут зачеплення, що збільшує напругу в крайках зубів.

В основу графоаналітичного способу покладено наявність особливої точки на тій, що огинає, при цьому предметом пошуку була

гранична точка профілю, якою він має бути обмежений щоб уникнути явища інтерференції.

Аналіз існуючих графічних, графоаналітичних, аналітичних методів побудови складних спряжених поверхонь виробів із застосуванням комп'ютерних програм, що враховують інтерференцію, показав, що теорія спряжених поверхонь має два важливих застосування:

1. профілювання ріжучого інструменту;
2. проектування оброблюваних ним виробів.

Існуючі методи не завжди задовольняють необхідній точності виготовлення виробів. У основу графічного методу покладена наявність особливої точки на тій, що огинає, при цьому предметом пошуку було визначення її передбачуваного положення на профілі при якому відсутня інтерференція.

Профіль вихідної поверхні при обробці обкатувальним інструментом спряжений з центроїдою C (рис.1). Розглянемо положення направляючого вектора дотичної до профілю руху траєкторії інструменту.

Хай профіль буде заданий кривою K і центроїдою C . Довжина дуги на центроїді C від початкової точки (точки відповідні початку відносного руху) до точки N залежні від параметрів руху. Точка M деяка точка профілю. Якщо розглядати будь-яку точку профілю як положення точки M в деякий момент часу, то вся крива K є траєкторією точки M .

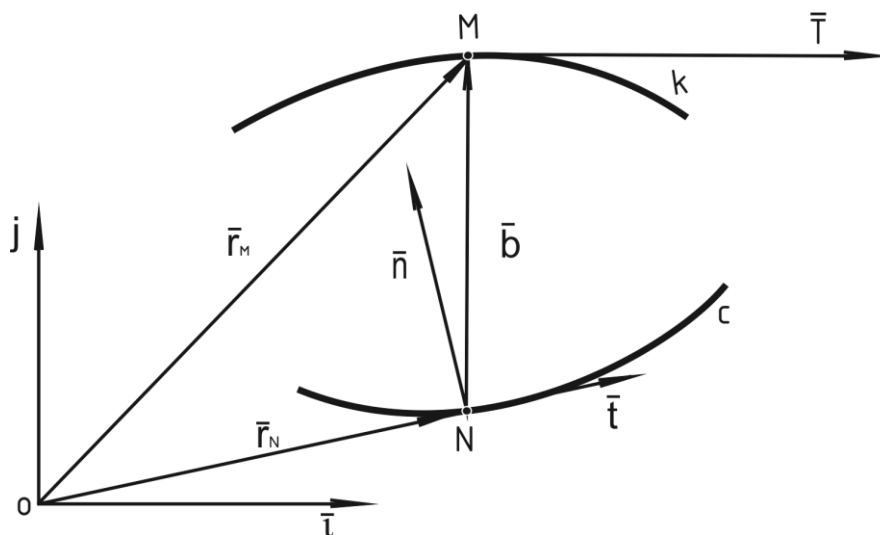


Рис. 1

Введемо дві системи координат: нерухому, задану одиничними векторами \bar{i} і \bar{j} , і рухливу, задану одиничним вектором \bar{t} дотичним до центроїди C і одиничним вектором \bar{n} нормалі (якщо ввести в розгляд

вектор $\bar{b} = \bar{t} \cdot \bar{n}$, то набір векторів $\bar{b}, \bar{t}, \bar{n}$ задає природний трикутник. Точка M відносно нерухомої системи координат знаходиться в складному русі, який є сумою відносного і переносного рухів. Як відомо з курсу теоретичної механіки, абсолютною швидкістю точки M є похідна її радіусу – вектора за часом і направлена по дотичній до траєкторії точки M , тобто по дотичній до кривої K .

C – центроїда – це крива по якій рухається інструмент в процесі обкатки, в окремому випадку це буде коло (рис. 1).

При русі точки N кінець радіусу і вектора точки M описує профіль зуба. При зміні часу точка N переміщатиметься по кривій C , внаслідок цього довжина дуги C даною кривою від початкової точки (точка C , відповідна початку відліку часу) до точки N залежатиме від часу. Це і є закон руху точки N по центроїді C .

Радіус початкової окружності не є величиною заданою, і може бути змінними в деяких межах. Цим іноді вдається скористатися з метою видалення граничних точок із профілю зо всіма бо на як можна більша відстань від близької точки кривій (тобто такої точки, нормаль у якій проходить через центр початкової окружності). Нижче буде не визначення границь можливої зміни величини R (радіус початкової окружності), засноване на використанні результатів графоаналітичного методу.

Якщо r_i – радіус дуги окружності, що описує частина профілю, m_i – відстань від центру центроїди до центру даної дуги, то

$$R_i \leq \sqrt{0,5r_i^2 + m_i^2}.$$

Даною нерівністю встановлюється верхня границя зміни R_i . Підраховуючи верхню границю R_i для кожного i одержимо ряд чисел. Із цього ряду вибираємо найменше R_m і ухвалюємо Rm . Таким вибором забезпечується відсутність граничних точок на всіх ділянках профілю.

Однак зменшувати значення радіуса нижче деякого цілком певного числа для даних Rm не можна.

Критерієм для визначення цього числа є умова перетинання нормалей до профілю центроїди. Покажемо визначення цього числа R_p графічним методом (рис.2).

Нехай R_d – радіус деталі, M – крайня точка профілю, O_1 – центр початкової окружності, O_2 – центр окружності профілю. Проводимо пряму (M) , потім з точки O_1 опускаємо перпендикулярна (M) . Точка $K(MO_2) \cap O_1K, O_1K \perp MO_2$. Величина $R_p = O_1R$.

Величина R може бути визначена аналітично з використанням двох способів підрахунку площі трикутника:

$$S_{\Delta O_1 M O_2} = \frac{R_p \cdot r}{2} = \frac{R_d \cdot m \cdot \sin \alpha}{2}, \quad (1)$$

по теоремі косинусів:

$$r^2 = R_d^2 + m^2 - 2R_d r \cos \alpha,$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \frac{\sqrt{4R_d^2 m^2 - (R_d^2 + m^2 - r^2)^2}}{2R_d^2 m},$$

$$3(22) \Rightarrow R_p = \frac{R_d m}{r} \sin \alpha = \frac{\sqrt{4R_d^2 m^2 - (R_d^2 + m^2 - r^2)^2}}{2r}.$$

У такий спосіб R повинен задовольняти нерівності:

$$R = \sin \frac{\sqrt{4R_d^2 m_i^2 - (R_d^2 + m_i^2 - r^2)^2}}{2r} \leq R \leq \sqrt{0,5r_i^2 + m_i^2} = R_m, \quad (2)$$

де R_m - це найменша величина із усіх підраховуваних по формулі R_m , а R_p - найбільша з усіх підраховуваних з формули:

$$R_{pi} = \frac{\sqrt{4R_d^2 R - (R_d^2 + m_i^2 - r^2)^2}}{2r_i}.$$

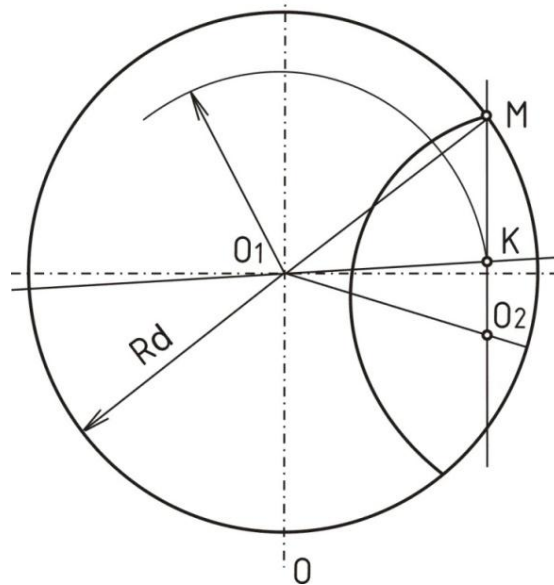


Рис.2

Якщо такої величини R задовольняючої нерівності (2) не існує, то профіль не може бути оброблений без підрізання. При графічній реалізації необхідно обрати R меншим, чому найменша відстань від центру початкової окружності до точки перетинання нормалей, але більшим або рівним найбільшій відстані від центру початкової окружності до нормалей, обмірюваному по перпендикуляру до них.

При аналітичній реалізації R повинне бути менше величини $\frac{x_k^2 + y_k^2}{2y_k}$, і більше величини, яка визначається в такий спосіб: Нехай рівняння профілю в системі xu маємо вигляду $xx(t)$, $y = x$ координати точки

$O_1: (0_1 0)$. Тоді відстань від точки $O_1: (0_1 0)$ до нормалі визначився по формулі:

$$R_p = \frac{|-Ry - x'_t x|}{\sqrt{(x'_t)^2 + (y'_t)^2}}, \quad (3)$$

де x, y – координати точки, у якій проведена нормаль до профілю, x, y'_t – значення перших виробничих по параметру t у цієї ж точки.

Розраховуючи (3) через певний інтервал знайдемо ряд значень R_{p_i} , з них вибираємо найбільше. Потім шукаємо R задовольняюче нерівності $R_p \leq RR_m$. Якщо такого не існує, тобто $R_p > R_m$, те такий профіль не може бути оброблений без підрізання.

Для вирішення поставленого завдання наочно використовує графічний спосіб з використанням нормалей для визначення інтерференції спряжених криволінійних поверхонь (рис.3). Дослідження криволінійного профілю однозначної кривизни показало, що, при заданому радіусі R циліндра обкатки і радіусі r деталі, можна виділити зону розташування криволінійного профілю, для якого можна отримати спряжений з ним профіль інструменту.

Ця зона обмежена прямою лінією l , дотичній до окружності радіусу r і іншому колу радіусу m з центром O_1 , причому $m = R - r$ (рис. 3). Для прямої l і дуги окружності радіусу m можна отримати відповідно спряжений профіль інструменту.

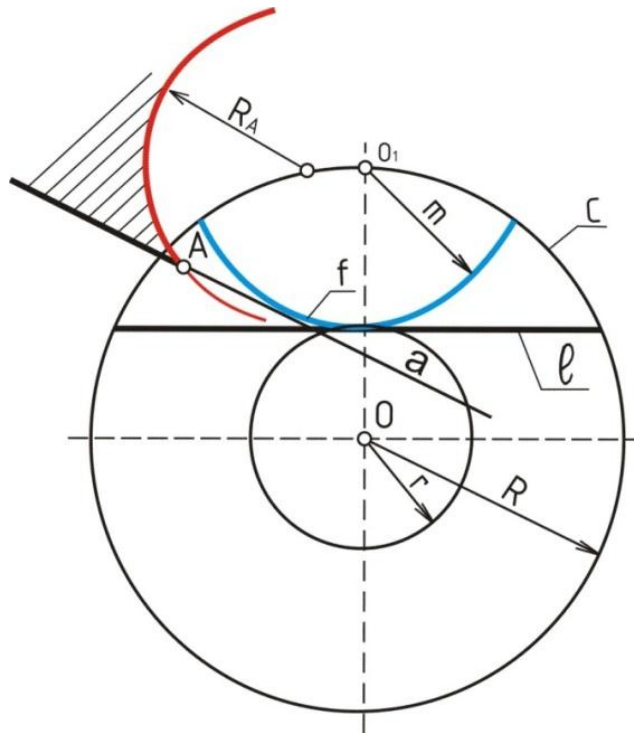


Рис. 3. Визначення зони спряжених криволінійних поверхонь

Розглянемо, яким має бути радіус кривизни складного профілю виробу, розташованого в зоні $l - f$, в довільній точці A , щоб їй відповідала єдина спряжена точка профілю інструменту.

Виконаємо наступну побудову. Проведемо через точку A пряму a , дотичну до окружності радіусу m . Побудуємо також окружності з радіусом рівним R_A , що проходить через точку A , центр якої належить центроїді C за умови, що пряма l є дотичною до цієї окружності.

Проаналізуємо, які лінії, що проходять через точку A можуть брати участь в профілюванні при виконанні умови, то в цьому випадку нормалі до профілю не повинні перетинатися між собою усередині центроїди. Це можуть бути або пряма a , або крива лінія, розташована правіше прямої a . З іншого боку, це може бути або дуга окружності радіусу R_A , або інша крива лінія, розташована лівіше за цю дугу.

Іншими словами, пряма лінія a і дуга окружності радіусу R_A визначають інтервал зміни радіусу кривизни в точці A евольвентного профілю однозначної кривизни, а також положення цього профілю в зоні $l - f$. В цьому випадку можна поставити у відповідність спряжену нею точку профілю інструменту. Положення центру C_1 окружності радіусу R_A на центроїді C може визначатися графічно, так і як аналітично.

В результаті обчислення встановлений границі зміни знаку, а отже і взаємно однозначної відповідності між точками профілю і точками центроїди.

Висновок. Конструювання спряжених евольвентних поверхонь по контактній поверхні зачеплення дає можливість отримувати пари спряжених евольвентних поверхонь, при контакті яких буде відсутнє явище інтерференції.

Оскільки, як було показано, нормалі не перетинаються між собою в частині плоскості, обмеженою центроїдою і профілем, можна говорити і про графічну реалізацію цього підходу.

Література

1. Подкоритов А.М. Основи формування поверхонь / А.М. Подкоритов, Ісмаїлова Н.П. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці Таврійської державної агротехнічної академії – Вип. 7, т.38. – Мелітополь: ТДАТА, 2008. – С.16-20.
2. Ісмаїлова Н. П. Графічний спосіб профілізації евольвентного аrochenого зачеплення того, що виключає інтерференцію [Текст] / Н.П. Ісмаїлова // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжв. наук.-техн. зб. – Вип. 89 – К.: КНУБА, 2012. – С. 184 – 187.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ИСКЛЮЧАЮЩИХ ИНТЕРФЕРЕНЦИЮ

Подкорытов А.Н., Исмаилова Н.П., Трушков Г.В.

Производство качественных, надежных и долговечных изделий в любой отрасли промышленности может быть достигнуто только при условии сочетания высокой технологической культуры производства и высокой культуры проектирования, которое включает у себя и выбор соответствующих материалов, и назначение режимов термообработки, и определение оптимальных допусков и посадок, и качества обработки поверхностей, и не в последнюю очередь, оптимальное, с точки зрения функционального назначения изделий, сочетания их формы и размеров.

Особенное значение точности формы и размеров есть при проектировании сопряженных деталей, особенно если формы этих деталей могут быть получены лишь графическим путем. Ученые уже давно пытаются оптимизировать этот процесс созданием универсальных графических инструментов, к числу которых может быть отнесено и создание кинематического винта, который являет собой в сущности графическое изображение параметров кинематических пар, изменение одного, из которых приводит к изменению других, что открывает возможность получения форм деталей, с заранее заданными параметрами, в частности деталей, совместная работа которых свободна от взаимного внедрения их поверхностей друг в друга, что обобщенно названная «интерференцией» поверхностей, а в реальных конструкциях носит более прозаичное название «подрезающего» поверхностей одна другой. Большое значение при проектировании сопряженных поверхностей имеет точное воссоздание их формы как основы надежной работы будущих реальных изделий, которая усложняется необходимостью выполнения достаточно многочисленных геометрических построений, выполнение которых с помощью обычных чертежных инструментов неминуемо сопровождается внесением полностью объективных погрешностей, избежать которых можно, используя современную электронно-вычислительную технику, которая требует существенной творческой подготовительной работы, почему и посвященная данная статья. Где рассмотрено моделирование сопрягающих эвольвентна поверхностей по контактной поверхности зацепления инструмента и детали, которая исключает интерференцию.

Ключевые слова: моделирование сопрягающих поверхностей, эвольвентна поверхность, интерференция, контактная поверхность зацепления.

MODELING OF PAIRED EVOLVENT SURFACES EXCLUDING INTERFERENCE

Podkorytov A., Ismailova N., Trushkov G.

The production of high-quality, reliable and lasting wares in any industry of industry can be attained only on condition of combination of high technological culture of production and high culture of planning, which includes for itself and choice of the proper materials, and setting of the modes of heat treatment, and determination of optimum admittances of both landings and quality of treatment of surfaces, and not in the last turn, optimum, from point of the functional setting of wares, combination.

The special value of exactness of form and sizes is at planning of the attended details, especially if the forms of these details can be got only graphic a way. Scientists already a long ago try to optimize this process creation of universal graphic instruments, to the number which it can be taken and creation of kinematics screw which shows by itself in essence graphic image of parameters of kinematics pair, one change, from which causes a change other, that opens possibility of receipt of forms of details, with beforehand preset parameter, in particular details joint work of which is free of mutual introduction of their surfaces in each other, that generalized adopted «interference» of surfaces, and in the real constructions carries more prosaic name «cutting» surfaces one to one. A large value at planning of the attended surfaces has an exact recreation of their form as bases of reliable work of the future real wares, which becomes complicated by the necessity of implementation there are enough numerous geometrical constructions implementation of which by ordinary drawings instruments is unavoidable accompanied bringing fully of ob'ektivnikh errors, avoiding which is possible, using a modern elektronno-vychislitel'nyu technique which requires substantial creative preparatory work, why and devoted this article. Where the design of conjugating evol'ventna surfaces is considered on the contact surface of hooking of instrument and detail which eliminates interference.

Keywords: design of conjugating surfaces, evol'ventna surface, interference, contact surface of hooking.

УДК 514.18; 621.869

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ АНАЛІЗІ МЕХАНІЗМУ ПІДВІСКИ ТЯГОВОЇ РАМИ АВТОГРЕЙДЕРІВ

Рагулін В.М.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(Україна)*

При дорожньо-будівельних роботах виконуються значні об'єми земляних робіт. Для багатьох технологічних операцій використовується комплект землерийних і дорожніх машин. Основною машиною – є автогрейдер, який призначений для профілювання поверхні, переміщення і розрівнювання будівельних матеріалів та ґрунту.

Ефективність роботи автогрейдера визначається таким критерієм як продуктивність. Ведуться розробки нових конструктивних варіантів навісного обладнання для автогрейдерів, що дозволить зменшити необхідне число проходів по будівельній ділянці. У свою чергу додаткові робочі органи спрямовані на збільшення універсальності машини, але при конструюванні не враховують зміни зусиль, що діють на механізми і машину в цілому з боку ґрунту та перерозподіл внутрішньої нерівномірної навантаженості гідروциліндрів підвіски тягової рами, яка має асиметричне виконання, внаслідок зміни геометрії робочого обладнання у процесі роботи.

В статті розглянуте одне з питань у напрямку вирішення актуальної наукової проблеми підвищення ефективності роботи виконавчого обладнання на прикладі автогрейдерів шляхом стабілізації режиму навантаження механізму підвіски тягової рами за рахунок модернізації робочого обладнання додатковим елементом підвіски тягової рами, що покращить ефективність роботи машини за рахунок зменшення асиметричності навантаження гідроциліндрів робочого обладнання автогрейдерів та збільшення використання машини за часом у зміну.

Використання Autodesk Inventor дало можливість визначити початкові дані для математичного визначення діючих зусиль в гідроциліндрах механізму підвіски тягової рами запропонованої конструкції. Проведені дослідження дозволили підтвердити працездатність конструкторського рішення.

Ключові слова: автогрейдер, робоче обладнання, механізм підвіски тягової рами, комп'ютерне моделювання.

Постановка проблеми. На даний час проектування автогрейдера не можливе без використання комп'ютерного моделювання. Існуючий комплекс програм дозволяє виконувати дослідження як кінематики руху, так і навантаження елементів механізму підвіски тягової рами. У попередніх публікаціях [1-3] розглядалось використання комп'ютерного моделювання елементів існуючої та модернізованої підвіски тягової рами з робочим обладнанням, а саме використання Autodesk Inventor для побудови тривимірної моделі та аналізу зміни траєкторії руху гідроциліндрів підйому-опускання тягової рами та гідроциліндру виносення тягової рами у бік. Віртуальні експериментальні дослідження дозволяють отримати необхідні вихідні данні для аналізу навантаженості запропонованої підвіски тягової рами автогрейдерів (рис. 1), використовуючи алгоритм розрахунків навантаженості елементів підвіски тягової рами [4].

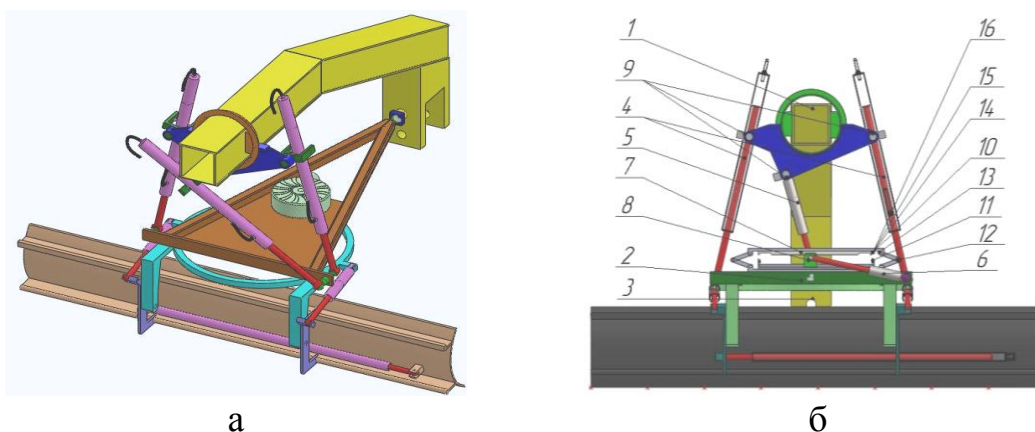


Рис. 1. Віртуальна модель робочого обладнання автогрейдерів:
а – існуюча; б – модернізована

На рис. 1, б показана віртуальна модель робочого обладнання автогрейдера, яка складається з основної рами 1, тягової рами із робочим обладнанням 2, сферичного шарніра 3, гідроциліндрів підйому-опускання робочого обладнання 4, гідроциліндра виносу робочого обладнання убік 5, додаткового гідроциліндра 6, направляючої рейки 7, повзуна 8, кронштейнів кріплення гідроциліндрів 9, притискної планки 10, пружинного буфера 11, рухомої тяги 12, пружин 13, електромагніту 14, коромисла 15 і стопорного важеля 16.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Комп'ютерне моделювання забезпечує зменшення фінансових і часових витрат на етапі проектування.

У роботах [5, 6] запропоновано методику моделювання окремих вузлів механізму підвіски тягової рами автогрейдерів, їх складання в єдиний механізм із завданням можливих рухів елементів конструкції,

а також виконано дослідження руху гідроциліндрів, які входять до конструкції даного механізму, використовуючи пакет Autodesk Inventor.

Використаний математичний апарат [4] дозволив визначити кінематичні, статичні та динамічні навантаження, що виникають під час виконання технологічних операцій.

Задаючи швидкості висунення штоків гідроциліндрів і граничні умови, регламентованих положенням в конструкції механізму підвіски тягової рами і довжини штоків, були отримані дані зміни кутів нахилу гідроциліндрів відносно двох площин (в повздовж машини – вісь x та в поперек – вісь y) для кожного з'єднання. Прототипом був обраний автогрейдер ДЗк-251 (рис. 2).



Рис. 2. Автогрейдер середнього класу ДЗк-251

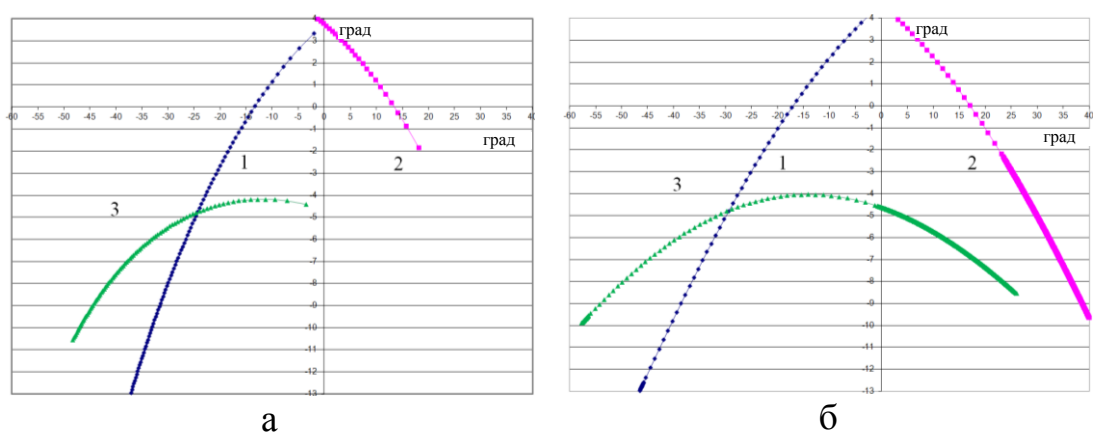
Грунтуючись на даних теоретичних, експериментальних та віртуальних дослідженнях, якими встановили і підтвердили асиметричність і нерівномірність навантаження гідроциліндрів підвіски тягової рами автогрейдерів, було застосовано додатковий механізм, на який отримано патент [7]. Цей механізм дозволяє збільшити технологічні можливості машини, знизити асиметричність навантаження на гідроциліндри управління тягової рами за рахунок доповнення пристроєм, який дозволяє змінювати місце кріплення штока гідроциліндра виносу тягової рами убік.

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження навантаженості гідроциліндрів модернізованого механізму управління робочим обладнанням автогрейдера при виконання технологічних операцій методом комп'ютерного моделювання.

Поставлена мета може бути досягнута за рахунок вирішення наступних завдань: отримати вихідні дані для математичного визначення навантаженості гідроциліндрів механізму підвіски тягової рами на основі параметричних графіків траєкторій руху

гідроциліндрів та виконати аналіз результатів при виконанні штатних технологічних операцій.

Основна частина. Варійованими параметрами були прийняті поворот навколо осей шарніру кріплення до тягової рами, зміни ходу штоку допоміжного гідроциліндру для зміщення кріплення до тягової рами, гідроциліндру виносу рами. Згідно з програмою досліджень нами були прийняті, як реєстровані, значення кутів повороту трьох гідроциліндрів у двох площинах (вздовж та поперек машини). На рис. 3 відображено поворот тягової рами автогрейдера навколо осі x (вздовж машини) існуючого механізму підвіски тягової рами (рис. 3, а) та з використанням додаткового пристрою (рис. 3, б).



1 – правий гідроциліндр, 2 – лівий гідроциліндр,
3 – гідроциліндр виносу рами

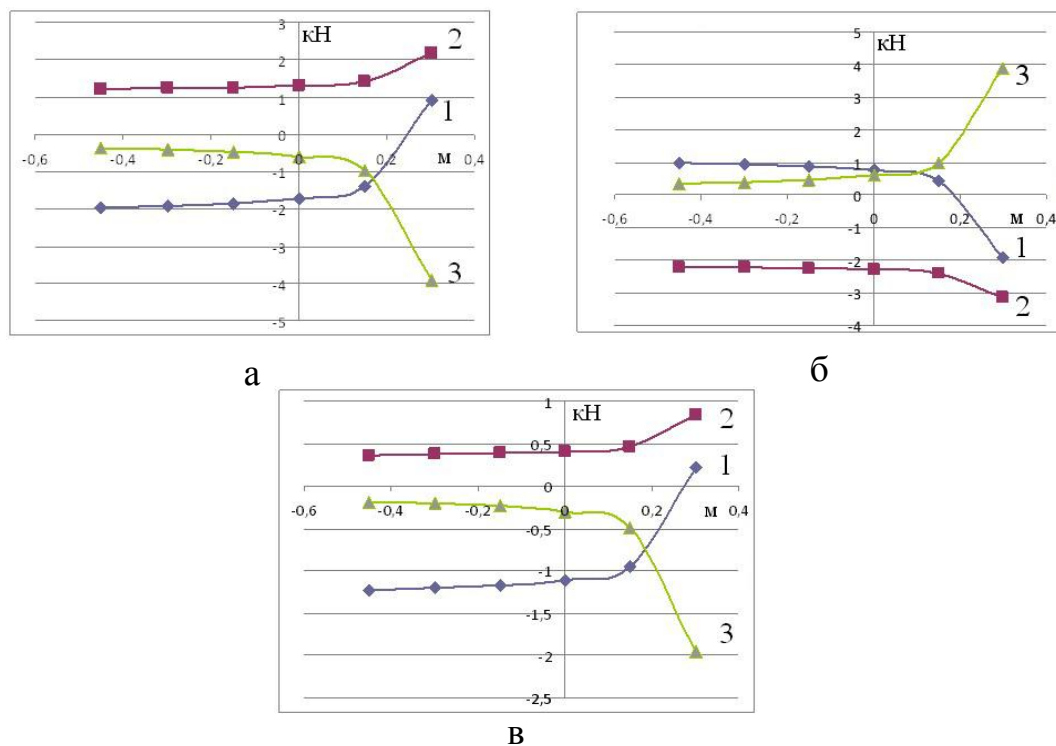
Рис. 3. Зміни кутів гідроциліндрів при повороті тягової рами:
а – існуючий механізм; б – модернізований механізм

Більший діапазон повороту кутів відносно вертикальної осі відповідає зміні в поперечній площині, менший – вздовжній. При нахилу гідроциліндрів траєкторії руху їх верхньої точки гідроциліндрів зображено на графіку, а точка кріплення штоку до тягової рами слід приймати у центрі координат на графіках.

Аналіз графіків показав, що діапазон зміни кутів повороту гідроциліндрів відносно вертикальної осі відповідає зміні в поперечній площині, менший – вздовжній, а саме в діапазонах від -5° до -45° у поперечному і від $+4^{\circ}$ до -13° у вздовжньому напрямках для правого гідроциліндра. Положення лівого гідроциліндра змінюється від $+5^{\circ}$ до $+40^{\circ}$ у поперечному і від $+4^{\circ}$ до -10° у вздовжньому напрямі, а для гідроциліндра виносу рами убік – діапазони від $+25^{\circ}$ до -58° у поперечному і від -9° до -10° вздовжньому напрямі. Знак указує положення щодо вертикальної осі, за позитивний напрям умовно приймаємо зміну вперед та праву сторону від вертикалі.

Використовуючи отримані дані комп'ютерного моделювання для математичних розрахунків у матричній формі у пакеті Math LAB

отримуємо залежності зусиль у гідроциліндрах в залежності від прикладення зовнішнього навантаження на ріжучу кромку відвалу та зміщення додаткового гідроциліндру механізму підвіски тягової рами (рис. 4).



1 – правий гідроциліндр, 2 – лівий гідроциліндр,
3 – гідроциліндр виносу рами

Рис. 4. Зміна зусиль у виконавчих гідроциліндрах в залежності від точки прикладення: а – крайнє ліве; б – крайнє праве; в – проміжне

У розрахунках використовуємо метод, при якому зовнішні зусилля проєкціюємо на відповідні осі x , y , z , а в якості величини зовнішнього навантаження приймаємо дію від одиничного навантаження (в 1 кН). Даний метод дозволяє отримати зусилля вздовж осі гідроциліндру при варіюванні співвідношень проєкцій дії зовнішнього навантаження на відвал у заданій точці. На графіках відображена зміна зусиль при заглибленні відвалу у ґрунт у момент стопоріння машини ($x=0$, $y=0$, $z=1$) від зміни положення гідроциліндру виносу тягової рами. Геометричне розташування відвалу має наступні характеристики: у плані повернутий на 30^0 правим краєм вперед.

З даних видно, що зміщення ліворуч кріплення штоку гідроциліндру виносу тягової рами, зменшує розбіг значень за напрямом та величиною (у 2 – 4 рази) між гідроциліндрами. Перехід через нульове значення свідчить про зміну напрямку дії зусиль.

Висновки. Тривимірна комп'ютерна модель механізму підвіски тягової рами автогрейдера дає змогу отримати графіки зміни

кінематики руху елементів підвіски, визначити характер їх руху та отримати необхідні дані для математичного розрахунку дії зусиль у виконавчих гідроциліндрах за відповідною методикою.

Зміна місця кріплення штоку гідроциліндру виносу тягової рами автогрейдера дозволяє зменшити асиметричність конструкції механізму підвіски тягової рами, що в свою чергу дозволяє зменшити різницю перерозподілу зусиль у виконавчих гідроциліндрах.

Стабілізація режиму навантаження механізму підвіски тягової рами за рахунок модернізації механізму робочого обладнання додатковим елементом підвіски дозволяє зменшити асиметричність конструкції і навантаженість, та підвищити ефективність роботи і продуктивність автогрейдерів шляхом збільшення використання машини за часом у зміну.

Література

1. Черников А.В. Применение современных технологий компьютерного моделирования в исследовании подвески рабочего оборудования автогрейдера / А.В. Черников, В.Н. Рагулин // Сучасні проблеми моделювання: Збірник наукових праць. – Вип. 7. – Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2016. – С. 172-178.
2. Шевченко В.А. Анализ подвески рабочего оборудования автогрейдера методом компьютерного моделирования / В.А. Шевченко, В.Н. Рагулин // Вестник ХНАДУ. – Вып. 73. – Харьков: ХНАДУ, 2016. – С. 234-238.
3. Рагулін В.М. Аналіз модернізованої підвіски робочого обладнання автогрейдера з використанням комп'ютерного моделювання / В.М. Рагулін, Т.С. Мешалкіна, М.Р. Палій // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”. – Випуск 94. – Київ, 2018. – С. 95-99.
4. Шевченко В.А. Нагруженность гидропривода управления основным отвалом автогрейдера / В.А. Шевченко, В.Н. Розенфельд, В.Н. Рагулин // Проблемы розвитку дорожньо-транспортного і будівельного комплексів» матеріали міжнародна науково-практичної конференції, Кіровоград, 03 – 05 жовтня, 2013. – С. 151 – 156.
5. Щербаков В.С. Автоматизация эскизно-технического проектирования автогрейдера: монография / В.С. Щербаков, Н.В. Беляев, В.В. Беляев – Омск: Изд-во СибАДИ, 2009. – 139 с.
6. Кириченко И.Г. Компьютерное и физическое моделирование строительных и дорожных машин / И.Г. Кириченко // Вестник ХНАДУ. – Вып. 65–66. – Харьков: ХНАДУ, 2014. – С. 16-20.
7. Пат. України 104145, МПК E02F 3/76, E02F 3/84. Пристрій для керування робочим обладнанням автогрейдера / В.М. Рагулін,

В.О. Шевченко, Р.В. Фатеев; заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № u 2015 07491; заяв. 27.07.2015; публ. 12.01.2016, Бюл. №1.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ АНАЛИЗЕ МЕХАНИЗМА ПОДВЕСКИ ТЯГОВОЙ РАМЫ АВТОГРЕЙДЕРОВ

Рагулин В.Н.

При дорожно-строительных работах выполняются значительные объемы земляных работ. Для многих технологических операций используется комплект землеройных и дорожных машин. В качестве основной машины применяют автогрейдер, который предназначен для профилирования поверхности, перемещения и разравнивания строительных материалов.

Эффективность работы автогрейдера определяется таким критерием как производительность. Ведутся разработки новых конструктивных вариантов навесного оборудования для автогрейдеров, что позволит уменьшить необходимое число проходов по строительному участку. В свою очередь дополнительные рабочие органы направленные на увеличение универсальности машины, но при конструировании не учитывают изменения усилий, действуют механизмы и машину в целом со стороны почвы и перераспределение внутренней неравномерной нагруженности исполнительных гидроцилиндров подвески тяговой рамы, которая имеет асимметричное исполнение, вследствие изменения геометрии рабочего оборудования.

В статье рассматривается один из вопросов в направлении решения актуальной научной проблемы повышения эффективности работы исполнительного оборудования на примере автогрейдеров путем стабилизации режима нагрузки механизма подвески тяговой рамы за счет модернизации рабочего оборудования дополнительным элементом подвески тяговой рамы, улучшит эффективность работы машины за счет уменьшения асимметричности нагрузки исполнительных гидроцилиндров рабочего оборудования автогрейдеров и использования машины по времени в смену.

Использование Autodesk Inventor позволило определить исходные данные для математического определения действующих усилий в гидроцилиндрах механизма подвески тяговой рамы предлагаемой конструкции. Проведенные исследования позволили подтвердить работоспособность предложенного решения.

Ключевые слова: автогрейдер, рабочее оборудование, механизм

подвески тяговой рамы, компьютерное моделирование.

COMPUTER SIMULATION IN THE ANALYSIS OF THE MOTOR GRADERS TRACTION FRAME SUSPENSION MECHANISM

Ragulin V.

Road building includes significant volumes of earth-moving works. For many technological operations a set of earth-moving and road machines is used. The main machine is a motor grader, which is designed for surface profiling, moving and leveling building materials.

The efficiency of the motor grader is determined by such criteria as performance. New design options for attachments for motor graders are being developed, which will reduce the number of passes required for the construction site. In its turn, additional working mechanisms aimed at increasing the versatility of the machine, but in designing do not take into account changes in the forces, the mechanisms and the machine as a whole are on the soil side and the redistribution of the internal uneven loading of the executive hydraulic cylinders of the traction frame suspension, which has an asymmetric design due to changes in the geometry of the working equipment.

In this paper one of the issues in addressing to the actual scientific problem of improving the performance of earth moving equipment is considered by the example of motor graders by stabilizing the load mode of the traction frame suspension mechanism by upgrading the working equipment with an additional traction frame suspension element, improving the machine efficiency by reducing the asymmetry of the load of the working hydraulic cylinders equipment graders and use the machine on time per shift.

Autodesk Inventor made it possible to determine the initial data for the mathematical determination of the acting forces in the hydraulic cylinders of the traction frame suspension mechanism of the proposed design. Studies have allowed us to confirm the efficiency of the design solution.

Key words: motor grader, working equipment, traction frame suspension mechanism, computer simulation.

УДК 514.18

**СПОСОБИ ОПТИМАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ ОПУКЛИМИ
БАГАТОКУТНИКАМИ ЗАДАНОЇ МНОЖИНИ
З ДИСКРЕТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ**

Соболь О.М., д.т.н.,

Кравців С.Я.*

*Національний університет цивільного захисту України**(Харків, Україна)*

Актуальність даної роботи зумовлюється реформуванням Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Відповідно до Стратегії реформування системи Державної служби з надзвичайних ситуацій однією з найважливіших задач є визначення необхідної кількості пожежно-рятувальних підрозділів (пожежних частин) місцевої і добровільної пожежної охорони в об'єднаних територіальних громадах, їх чисельності, місць дислокації з урахуванням часу прибуття до місця виклику.

Слід відзначити, що задача створення місцевої і добровільної пожежної охорони в об'єднаних територіальних громадах може бути розглянута як задача оптимального покриття заданої множини з дискретними елементами (територіальні громади та інші населені пункти) опуклими та неопуклими багатокутниками (районами виїзду оперативних підрозділів). У зв'язку з цим виникає проблема щодо розвитку моделей та методів оптимального покриття заданих множин з урахуванням заданих цільових функцій та обмежень задачі (наприклад, зазначені моделі та методи мають враховувати дискретні елементи, які повинні належати області перетину кількох об'єктів покриття тощо). Однією із задач, що сприятиме вирішенню вищенаведеної проблеми, є задача оптимального покриття опуклими багатокутниками заданої множини з дискретними елементами.

В даній роботі було розроблено способи оптимального покриття опуклими багатокутниками заданої множини з дискретними елементами. Наведено чисельну реалізацію одного із способів на прикладі задачі оптимального розподілу оперативних підрозділів за рівнем інтегрального пожежного ризику.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку моделей та методів оптимального покриття заданих областей з урахуванням дискретних елементів, які повинні належати області перетину кількох об'єктів покриття.

* Науковий керівник – д.т.н., с.н.с. Соболь О.М.

Ключові слова: оптимальне покриття, способи, опуклі багатокутники, дискретні елементи.

Постановка проблеми. До класу задач оптимізаційного проектування у своїх постановках можуть бути зведені важливі задачі у багатьох сферах господарювання. Прикладами таких задач у сфері цивільного захисту є задачі оптимального розміщення оперативно-рятувальних підрозділів, територіального розподілу захисних споруд, побудови оптимальних шляхів евакуації тощо. Більш того, відповідно до Стратегії реформування системи Державної служби з надзвичайних ситуацій однією з найважливіших задач є визначення необхідної кількості пожежно-рятувальних підрозділів (пожежних частин) місцевої і добровільної пожежної охорони в об'єднаних територіальних громадах, їх чисельності, місць дислокації з урахуванням часу прибуття до місця виклику (10 хвилин у місті та 20 хвилин у сільській місцевості), фінансово-економічного обґрунтування їх створення і утримання [1].

Слід відзначити, що задача створення місцевої і добровільної пожежної охорони в об'єднаних територіальних громадах може бути розглянута як задача оптимального покриття заданої множини з дискретними елементами (територіальні громади та інші населені пункти) опуклими та неопуклими багатокутниками (районами виїзду оперативних підрозділів). У зв'язку з цим виникає проблема щодо розвитку моделей та методів оптимального покриття заданих множин з урахуванням заданих цільових функцій та обмежень задачі (наприклад, зазначені моделі та методи мають враховувати дискретні елементи, які повинні належати області перетину кількох об'єктів покриття тощо). Однією з актуальних задач, що сприятиме вирішенню вищенаведеної проблеми, є задача оптимального покриття опуклими багатокутниками заданої множини з дискретними елементами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробці методів та способів розв'язання класу задач оптимального покриття присвячено, наприклад, роботи [2, 3]. В наукових публікаціях [4, 5] наведено моделі та методи оптимального покриття опуклими та неопуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами.

Формулювання цілей статті. В даній роботі необхідно розробити способи оптимального покриття опуклими багатокутниками заданої множини з дискретними елементами.

Основна частина. Розглянемо задачу оптимального покриття опуклими багатокутниками заданої множини з дискретними елементами на прикладі задачі оптимального розподілу оперативних підрозділів за рівнем інтегрального пожежного ризику [6].

Постановка даної задачі має наступний вигляд. Нехай задано

певну адміністративно-територіальну одиницю S_0 у вигляді багатокутника у глобальній системі координат. Область S_0 має дискретні елементи V_k , $k=1, \dots, N_k$, що являють собою населені пункти. Нехай $G_l \subset V_k$, $l=1, \dots, L$, $L < N_k$, – об'єднані територіальні громади (населені пункти), в яких є припустимим створення оперативно-рятувальних підрозділів. Населені пункти, в яких (поруч з якими) знаходяться потенційно небезпечні об'єкти та/або об'єкти підвищеної безпеки, позначимо через $S_d \subset G_l$, $d=1, \dots, D$, $D < L$.

Необхідно здійснити покриття області S_0 районами виїзду оперативно-рятувальних підрозділів P_i , $i=1, \dots, N$ (опуклі багатокутники), таким чином, щоб цільова функція (інтегральний пожежний ризик) була мінімальною і при цьому виконувалися такі обмеження:

– мінімум площі перетину районів виїзду оперативно-рятувальних підрозділів;

– належність районів виїзду оперативно-рятувальних підрозділів області S_0 ;

– належність населених пунктів V_k , $k=1, \dots, N_k$, а також населених пунктів S_d , $d=1, \dots, D$, районам виїзду оперативно-рятувальних підрозділів;

– час прямування оперативно-рятувальних підрозділів до найвіддаленішої точки району виїзду P_i , $i=1, \dots, N$, має не перевищувати заданого T^* ;

– розміщення оперативно-рятувальних підрозділів здійснюється в об'єднаних територіальних громадах (населених пунктах) G_l , $l=1, \dots, L$;

– мінімум кількості оперативно-рятувальних підрозділів P_i , $i=1, \dots, N$.

Модель оптимального покриття (розподілу оперативно-рятувальних підрозділів) має наступний вигляд:

$$\min_{u \in W} R_3(\bar{\tau}_{\text{прям}}, \bar{\tau}_{\text{лок}}, \bar{\tau}_{\text{лікв}}, N_{\text{пож}}); u = \{m_i; v_i\}; i=1, \dots, N; \quad (1)$$

де W :

$$\begin{aligned} \omega(m_i, m_j, v_i, v_j) &\rightarrow \min; \\ i=1, \dots, N; j &= i+1, \dots, N; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\omega(m_i, m_{cS_0}, v_i, v_{cS_0}) \rightarrow \min; \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, N; S_0 \cup cS_0 = R^2;$$

$$V_k \in \{P_i\}; k \in \{1, \dots, N_k\}; i = 1, \dots, N; \quad (4)$$

$$S_d \in \{P_i\}; d = 1, \dots, D; i \in \{1, \dots, N\}; \quad (5)$$

$$\tau_{\text{прям}}(P_i) \leq T^*; i = 1, \dots, N; \quad (6)$$

$$\bar{\tau}_{\text{прям}} = f(k_{\text{нокр}}); \quad (7)$$

$$u = \{m_i; v_i\} \in \{G_l\}; G_l \in \{P_i\}; i = 1, \dots, N; l = 1, \dots, L; \quad (8)$$

$$N \rightarrow \min. \quad (9)$$

В моделі (1)÷(9) вираз (1) являє собою цільову функцію задачі, при цьому m_i – координати вершин багатокутників P_i , $i = 1, \dots, N$, в локальній системі координат, v_i – параметри розміщення об'єктів P_i (положення локальної системи координат i -го об'єкта в глобальній системі координат); вираз (2) – умова мінімуму взаємного перетину об'єктів P_i та P_j , де $\omega(\cdot)$ – ω -функція, що являє собою площу перетину багатокутників P_i та P_j ; вираз (3) – умова мінімуму перетину об'єктів P_i з доповненням області S_0 до евклідового простору R^2 ; вираз (4) – умова належності населених пунктів V_k , $k = 1, \dots, N_k$, районам виїзду оперативно-рятувальних підрозділів P_i ; вираз (5) – умова належності населених пунктів S_d , $d = 1, \dots, D$, районам виїзду оперативно-рятувальних підрозділів P_i ; вираз (6) – умова щодо припустимого часу прямування оперативно-рятувальних підрозділів до місця виклику; вираз (7) – взаємозв'язок між середнім часом прямування оперативно-рятувальних підрозділів та коефіцієнтом покриття області S_0 ; вираз (8) – умова розміщення оперативно-рятувальних підрозділів в об'єднаних територіальних громадах (населених пунктах) G_l , $l = 1, \dots, L$; вираз (9) – умова мінімуму кількості оперативно-рятувальних підрозділів.

Розглянемо особливості моделі (1)÷(9):

1. При врахуванні місць розташування існуючих оперативно-

рятувальних підрозділів до моделі необхідно додати наступне обмеження:

$$\begin{aligned} \omega(m_i, m_q, v_i, v_q) &\rightarrow \min; \\ i = 1, \dots, N; q = 1, \dots, N_q; \end{aligned} \quad (10)$$

де N_q – кількість існуючих оперативно-рятувальних підрозділів.

2. Якщо задача (1)÷(9) розв'язується з урахуванням обмежених ресурсів, то в моделі замість обмеження (9) необхідно використати наступний вираз:

$$Q_{pec}(N) \leq Q_{pec}^*; \quad (11)$$

де $Q_{pec}(N)$ – ресурси, що необхідні для створення N оперативно-рятувальних підрозділів;

Q_{pec}^* – ресурси, що виділяються на створення оперативно-рятувальних підрозділів.

3. Цільова функція задачі (інтегральний пожежний ризик) є лінійною, обмеження – лінійними, нелінійними та дискретними.

4. Вид оперативно-рятувальних підрозділів визначається в залежності від об'єктів захисту, що знаходяться в районі обслуговування.

Для врахування особливостей моделі (1)÷(9) було розроблено наступні способи оптимального покриття опуклими багатокутниками (районами виїзду) заданої множини з дискретними елементами (адміністративно-територіальної одиниці).

Спосіб 1. Оперативно-рятувальні підрозділи мають обов'язково створюватись в об'єднаних територіальних громадах (населених пунктах) S_d , $d = 1, \dots, D$, в яких (поруч з якими) знаходяться потенційно небезпечні об'єкти та/або об'єкти підвищеної небезпеки.

Даний спосіб представлено за допомогою структурно-логічної схеми, що наведена на рис. 1.

Спосіб 2. Оперативно-рятувальні підрозділи мають обов'язково створюватись в об'єднаних територіальних громадах (населених пунктах) S_d , $d = 1, \dots, D$, в яких (поруч з якими) знаходяться потенційно небезпечні об'єкти та/або об'єкти підвищеної небезпеки. При цьому враховуються райони виїзду існуючих оперативно-рятувальних підрозділів.

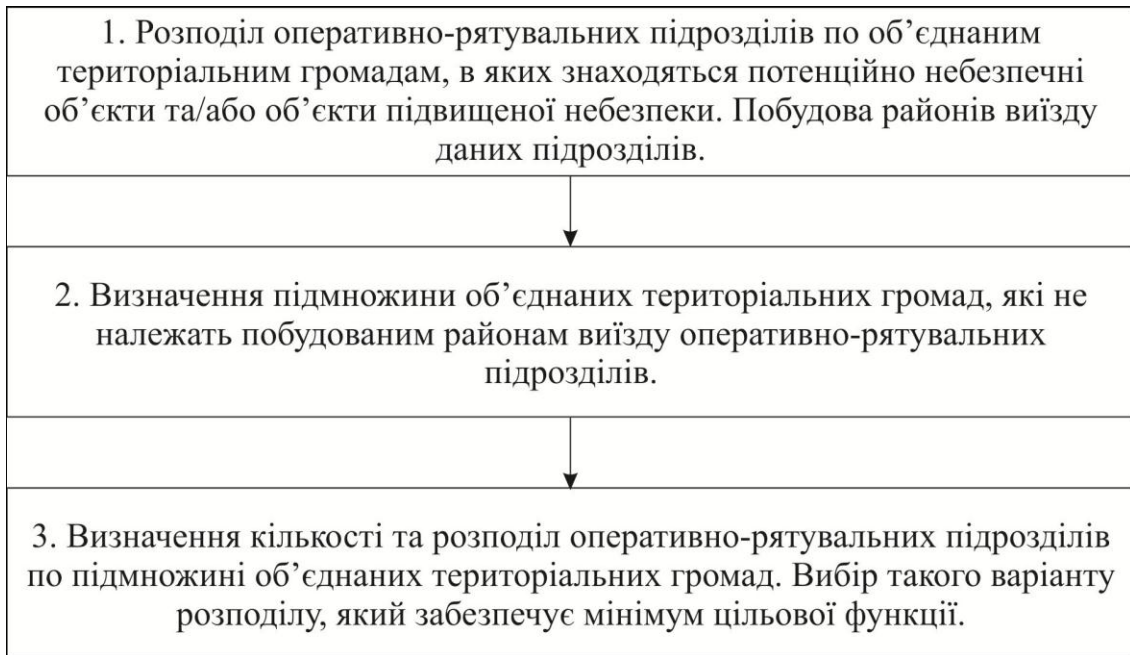


Рис. 1. Структурно-логічна схема для способу 1

Структурно-логічна схема для реалізації даного способу наведена на рис. 2.

Аналогічні структурно-логічні схеми було побудовано для реалізації таких способів:

Спосіб 3. Оперативно-рятувальні підрозділи мають обов'язково створюватись в об'єднаних територіальних громадах (населених пунктах) S_d , $d=1, \dots, D$, в яких (поруч з якими) знаходяться потенційно небезпечні об'єкти та/або об'єкти підвищеної небезпеки. При цьому враховуються обмежені ресурси на створення відповідних підрозділів.

Спосіб 4. Оперативно-рятувальні підрозділи мають обов'язково створюватись в об'єднаних територіальних громадах (населених пунктах) S_d , $d=1, \dots, D$, в яких (поруч з якими) знаходяться потенційно небезпечні об'єкти та/або об'єкти підвищеної небезпеки. При цьому враховуються райони виїзду існуючих оперативно-рятувальних підрозділів та обмежені ресурси на створення відповідних підрозділів.

На рис. 3 наведено результат оптимального покриття Близнюківського району Харківської області районами виїзду оперативно-рятувальних підрозділів за допомогою способу 2.

Висновки. В даній роботі було розроблено способи оптимального покриття опуклими багатокутниками заданої множини з дискретними елементами. Наведено чисельну реалізацію одного із способів на прикладі задачі оптимального розподілу оперативних підрозділів за рівнем інтегрального пожежного ризику. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку моделей та методів оптимального покриття заданих областей з урахуванням дискретних елементів, які повинні належати області перетину кількох об'єктів покриття.

Література

1. Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій [Електронний ресурс]: Розпорядження КМУ від 25.01.17 р. №61-р. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80>.
2. Комяк В.М. Оптимізація покриття заданих областей геометричними об'єктами зі змінними метричними характеристиками / В.М. Комяк, О.М. Соболю, А.А. Ліснюк, В.О. Собина // Монографія. – Х.: НУЦЗУ, 2013. – 124 с.
3. Собина В.О. Моделювання раціонального покриття об'єктів залізниці районами виїзду пожежно-рятувальних підрозділів / В.О. Собина // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних сил. – Харків: ХУПС, 2011. – Вип. 1(27). – С. 240-242.
4. Комяк В.М. Модель та метод оптимального покриття неопуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами / В.М. Комяк, О.М. Соболю, С.Я. Кравців // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – Вип. 8, Т. 1. – С. 11-22.
5. Моделювання покриття опуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами / В.М. Комяк, О.М. Соболю, С.Я. Кравців, І.А. Чуб // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ, 2018. – № 3(66). – Т. 2. – С. 147-152.
6. Соболю О.М. Математична модель управління інтегральним пожежним ризиком та її особливості / О.М. Соболю, С.Я. Кравців // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ, 2017. – № 3(62). – Т. 2. – С. 317-321.

СПОСОБЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ВЫПУКЛЫМИ МНОГОУГОЛЬНИКАМИ ЗАДАННОГО МНОЖЕСТВА С ДИСКРЕТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Соболь А.Н., Кравцов С.Я.

Актуальность данной работы обусловлена реформированием Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям. Согласно Стратегии реформирования системы государственной службы по чрезвычайным ситуациям одной из важнейших задач является определение необходимого количества пожарно-спасательных подразделений (пожарных частей) местной и добровольной пожарной охраны в объединенных территориальных общинах, их численности, мест дислокации с учетом времени прибытия к месту вызова.

Следует отметить, что задача создания местной и добровольной пожарной охраны в объединенных территориальных общинах может быть рассмотрена как задача оптимального покрытия заданного множества с дискретными элементами (территориальные общины и другие населенные пункты) выпуклыми и невыпуклыми многоугольниками (районами выезда оперативных подразделений). В связи с этим возникает проблема, связанная с развитием моделей и методов оптимального покрытия заданных множеств с учетом заданных целевых функций и ограничений задачи (например, указанные модели и методы должны учитывать дискретные элементы, которые должны принадлежать области пересечения нескольких объектов покрытия и т.д.). Одной из актуальных задач, которая будет способствовать решению вышеприведенной проблемы, является задача оптимального покрытия выпуклыми многоугольниками заданного множества с дискретными элементами.

В данной работе разработаны способы оптимального покрытия выпуклыми многоугольниками заданного множества с дискретными элементами. Приведена численная реализация одного из способов на примере задачи оптимального распределения оперативных подразделений по уровню интегрального пожарного риска.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку моделей и методов оптимального покрытия заданных областей с учетом дискретных элементов, которые должны принадлежать области пересечения нескольких объектов покрытия.

Ключевые слова: оптимальное покрытие, способы, выпуклые многоугольники, дискретные элементы.

METHODS OF OPTIMAL COVERAGE BY CONVEX POLYGONS OF A GIVEN SET WITH DISCRETE ELEMENTS

Sobol O., Kravtsiv S.

The urgency of this work is conditioned by the reform of the State Service of Ukraine for Emergency Situations. In accordance with the Strategy for reforming the system of the State Emergency Services, one of the most important tasks is to determine the required number of fire and rescue units (fire units) of local and voluntary fire protection in the united territorial communities, their number, places of disposition, taking into account the time of arrival to the place of call.

It should be noted that the task of creating local and voluntary fire protection in the united territorial communities can be considered as the task of optimal coverage of a given set with discrete elements (territorial communities and other settlements) with convex and non-convex polygons (outlets of operational units). In this regard there is a problem with the development of models and methods for optimal coverage of given sets taking into account the specified target functions and task limitations (for example, these models and methods should take into account the discrete elements that should belong to the area of the cross-over of several coating objects, etc. . One of the topical problems that will contribute to the solution of the above problem is the problem of optimal coverage by convex polygons of a given set with discrete elements.

In this paper, methods of optimal coverage by convex polygons of a given set with discrete elements were developed. The numerical realization of one of the methods on the example of the problem of optimal distribution of operational units by the level of integral fire risk is given.

Further research will be aimed at developing models and methods for optimal coverage of specified areas, taking into account discrete elements, which should belong to the area of intersection of several coating objects.

Keywords: optimal coverage, methods, convex polygons, discrete elements.

УДК 515.2

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ТРЕБУШЕТ З ВЕРТИКАЛЬНИМ ПЕРЕМІЩЕННЯМ ПРОТИВАГИ

Сухарькова О.І.

Український державний університет залізничного транспорту
(м. Харків, Україна)

Розроблено геометричну модель мобільної метальної установки типу требушет, призначеної для доставки корисного вантажу (вогнегасних речовин) в серединні зони масштабної пожежі шляхом метання (катапультування). Існуючі технології гасіння пожеж, що виникли, наприклад, на обширних складських територіях, передбачають вплив вогнегасними речовинами переважно на периметр пожежі. Але вогнище відновлюється в часі доки не вигорить серединна зона. Відсутність можливості ліквідації пожежі в серединних зонах на її початкових стадіях призводить до значних матеріальних втрат.

Розглянута в роботі модель мобільної метальної установки типу требушет відрізняється від традиційної конструкції «коромислового» типу. Головна відмінність полягає у переміщенні вертикально донизу вантажу противаги в процесі метання. На відміну від традиційних конструкцій, де вантаж противаги рухається по дузі кривої. Це приводить до втрати енергії і зменшує відстань доставки корисного вантажу. Розглянутий різновид требушет в літературі одержав назву «Floating-Arm Trebuchet». Конструкція Floating-Arm Trebuchet зручна для перевезення, адже вантаж противаги можна зафіксувати. На відміну від традиційної схеми требушет, де це здійснити неможливо.

Для розрахунку траєкторії руху корисного вантажу в процесі розгону перед метанням використано вирази для кінетичної і потенціальної енергії системи. Було обрано зручні для опису руху узагальнені координати, які відображають процес метання. В результаті складено та наближено розв'язано систему рівнянь Лагранжа другого роду. Наведений спосіб розрахунку траєкторії переміщення корисного вантажу в процесі розгону дозволяє визначити кут та швидкість вильоту вантажу, що, в свою чергу, дозволяє визначити траєкторію польоту корисного вантажу після його катапультування. Наведено тестові розрахунки траєкторії переміщення корисного вантажу.

Ключові слова: геометрична модель, Floating-Arm Trebuchet, требушет, лагранжіан, рівняння Лагранжа другого роду

Постановка проблеми. В процесі гасіння масштабних за площею пожеж виникає проблема доставки до центральних зон вогнища засобів пожежогасіння. На практиці це важко здійснити через великі значення температур по периметру пожежі. У виняткових випадках застосовують доставку вогнегасних речовин з повітря вертольотом. Але цей захід не оперативний, небезпечний і надто коштовний. Тому увагу було звернуто на можливість доставки засобів пожежогасіння за допомогою техніки метання [1, 2]. Серед металевих машин цікавим для пожежогасіння є Floating-Arm Trebuchet [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для забезпечення ефективної динаміки трібует необхідно розрахувати значення параметрів її елементів. Це доцільно здійснити в рамках механіки Лагранжа [1, 2], де враховуються кінетична і потенціальна енергії системи. В результаті розв'язання складеного рівняння Лагранжа другого роду одержують шукану траєкторію переміщення вантажу на праці, що дозволить спрогнозувати відстань падіння вантажу в зону пожежі. Для аналізу динаміки Floating-Arm Trebuchet доцільно мати фазові траєкторії узагальнених координат, що недостатньо досліджено [3].

Формулювання цілей статті. Скласти та розв'язати рівняння Лагранжа другого роду для траєкторії переміщення корисного вантажу залежно від параметрів конструкції Floating-Arm Trebuchet.

Основна частина. На рис. 1 і 2 наведено, відповідно, зовнішній вигляд та схему Floating-Arm Trebuchet. Конструкція складається з головного важеля довжиною $L_1 + L_2$, до якого шарнірно прикріплено важіль (або канатна праця) довжиною L_3 . До важеля у вузловій точці A закріплено противагу масою m_1 , а в точці D закріплено корисну речовину для метання масою m_3 .



Рис. 1. Вигляд Floating-Arm Trebuchet (з Інтернету)

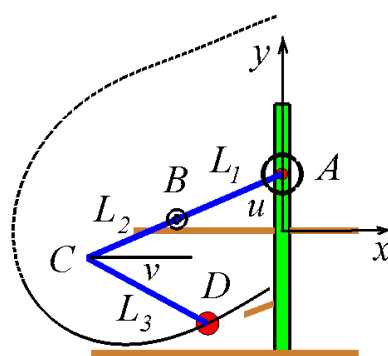


Рис. 2. Схема Floating-Arm Trebuchet

Масу m_1 обирають на декілька порядків більшою відносно маси m_3 . Противага з точкою A повинна рухатися вздовж напрямних під дією гравітації вертикально донизу. При цьому колесо, закріплене на

важелі в точці B повинно перекочуватися по горизонтальній планці конструкції. Тоді корисному вантажу m_3 надасться прискорення, яке і спричинить ефект метання після його відокремлення від праці.

В якості узагальнених координат оберемо кути u і v (рис. 2). Вони визначатимуть функції зміни в часі: кута $u(t)$ відхилення від вертикалі важеля довжиною $L_1 + L_2$, а також зміни кута $v(t)$ між горизонталлю і важелем довжиною $L_1 + L_2$. Для опису динаміки Floating-Arm Trebuchet використаємо вирази для кінетичної K і потенціальної P енергій [3] (збережено синтаксис мови maple):

$$\begin{aligned} K &= (m_1 * \text{diff}(y_1, t)^2 + m_3 * (\text{diff}(x_3, t)^2 + \text{diff}(y_3, t)^2)) / 2 + \\ &\quad (m_b * \text{diff}(u(t), t)^2 * (L_1^2 - L_1 * L_2 + L_2^2)) / 2; \\ P &= 9.81 * (m_1 * y_1 + m_3 * y_3 + m_b * y_b). \end{aligned} \quad (1)$$

Точки на рис. 2 позначимо координатами: $A(x_1, y_1)$; $C(x_2, y_2)$; $D(x_3, y_3)$; $B(x_4, y_4)$. Тоді компонентами формул (1) будуть вирази, які пов'язують геометричні параметри конструкції:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0; & y_1 &= L_1 * \cos(u(t)); \\ x_4 &= -L_1 * \sin(u(t)); & y_4 &= 0; \\ x_2 &= x_4 - L_2 * \sin(u(t)); & y_2 &= y_4 - L_2 * \cos(u(t)); \\ x_3 &= x_2 + L_3 * \cos(v(t)); & y_3 &= y_2 - L_3 * \sin(v(t)); \\ x_b &= x_4 - (L_2 - L_1) * \sin(u(t)) / 2; \\ y_b &= -(L_2 - L_1) * \cos(u(t)) / 2; & m_b &= (L_1 + L_2). \end{aligned} \quad (2)$$

За допомогою лагранжіану $L = T - U$ складаємо систему рівнянь Лагранжа другого роду. З причини громіздкості її тут не наводимо. Зазначену систему розв'язуємо чисельно за допомогою методу Рунге-Кутти у середовищі математичного процесора Maple з такими початковими умовами: u_0, v_0 – початкові значення кутів відхилення важелів; u'_0, v'_0 – початкові швидкості зміни кутів відхилення. Знайдені наближені розв'язки для функцій $u(t)$ і $v(t)$ позначимо як $U(t)$ і $V(t)$, відповідно. Тоді траєкторію переміщення вантажу в декартовій системі координат xOy необхідно будувати за формулами:

$$\begin{aligned} x_3(t) &= -L_1 * \sin(U) - L_2 * \sin(U) + L_3 * \cos(V); \\ y_3(t) &= -L_2 * \cos(U) - L_3 * \sin(V). \end{aligned} \quad (3)$$

На рис. 2 зображено побудовану траєкторію руху корисного вантажу, яка складатиметься з близько розташованих точок.

Наведемо тестовий розрахунок моделі Floating-Arm Trebuchet з параметрами $m_1 = 100$; $m_2 = 1$; $L_1 = 3$; $L_2 = 2,57$; $L_3 = 3,6$ і з початковими умовами $u_0 = \pi/4$; $u'_0 = 0$; $v_0 = 0$; $v'_0 = 0$. Всі величини в

умовних одиницях.

На рис. 3 наведено функціональні залежності від часу швидкості зміни кутів $u(t)$ і $v(t)$. На рис. 4 зображено фазові траєкторії для кутів $u(t)$ і $v(t)$. Аналіз графіків дозволяє з'ясувати, що максимальну швидкість зміни кута $u(t)$ досягне при значенні $t = 1,15$ і $u = 3,4$. В цей момент швидкість зміни кута v буде максимальною (біля 12,5 умовних одиниць), що дозволить набути корисному вантажу максимальної швидкості в момент відриву від праці.

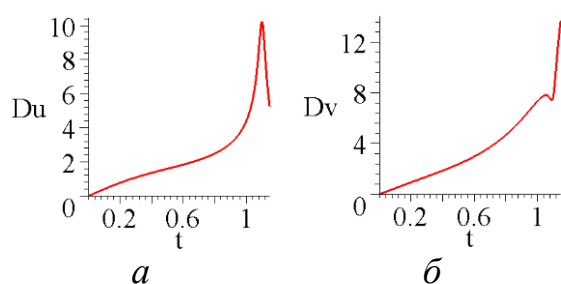


Рис. 3. Графіки залежності швидкості для: а) $u(t)$; б) $v(t)$

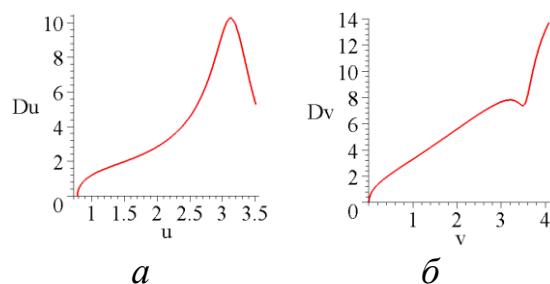


Рис. 4. Фазова траєкторія для параметра: а) $u(t)$; б) $v(t)$

За допомогою складеної програми створено анімаційний фільм дії Floating-Arm Trebuchet, деякі кадри якого наведено на рис. 5.

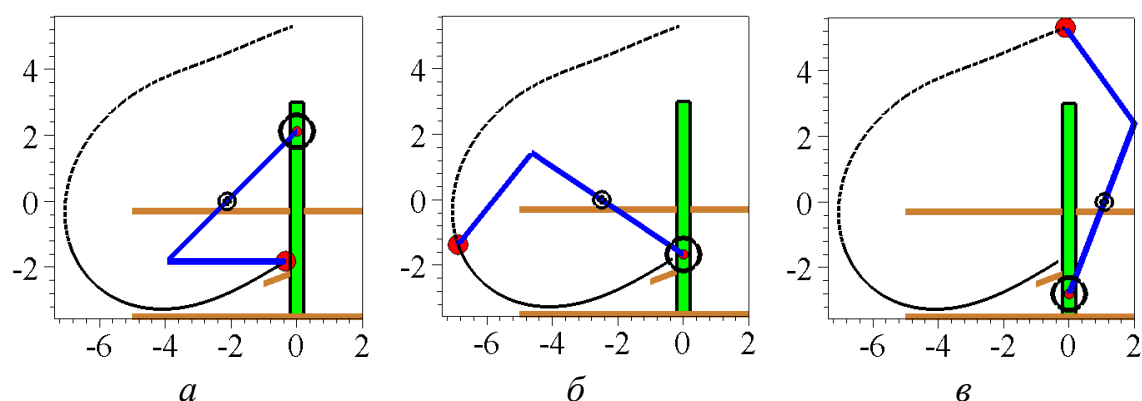


Рис. 5. Одержані зображення фаз метання:
а) початкової; б) поточної; в) в момент відриву вантажу.

Висновок. Наведений спосіб розрахунку метальної машини Floating-Arm Trebuchet дозволяє визначити її динамічні параметри.

Література

1. Siano D.V. Trebuchet Mechanics. [Електронний ресурс] / D.V. Siano // Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.algobeautyreb.com/trebmath35.pdf> (дата звернення 21.12.2001р.). – Назва з екрана.
2. Denny M. 2005. Siege engine dynamics. [Електронний ресурс] / M.Denny // European journal of physics. – 2005, 26, p. 561–

577. doi:10.1088/0143-0807/26/4/002. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/1728866/>. – (дата звернення 18.10.2018р.). – Назва з екрана.

3. Bell G. What is the ‘best’ trebuchet? [Електронний ресурс] / G. Bell // Електронні дані. – Режим доступа: <http://grahambell.com.au/wp-content/uploads/2017/11/GBellTrebuchetPaper2.pdf>. – (дата звернення 15.10.2018р.). – Назва з екрана.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ТРЕБУШЕТ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ПРОТИВОВОЕСА

Сухарькова Е.И.

Разработана геометрическая модель мобильной метательной установки типа требушет, предназначенной для доставки полезного груза (огнетушащих веществ) в срединные зоны масштабного пожара путем метания (катапультирования). Существующие технологии тушения пожаров, возникших, например, на обширных складских территориях, предусматривают влияние огнетушащего вещества преимущественно на периметр пожара. Но огонь восстанавливается во времени пока не выгорит срединная зона. Отсутствие возможности ликвидации пожара в срединных зонах на ее начальных стадиях приводит к значительным материальным потерям. Рассмотренная в работе модель мобильной метательной установки типа требушет отличается от традиционной конструкции «коромыслового» типа. Главное отличие заключается в перемещении вертикально вниз груза противовеса в процессе метания. В отличие от традиционных конструкций, где груз противовеса движется по дуге кривой. Это приводит к потере энергии и уменьшает расстояние доставки полезного груза. Рассмотренная разновидность требушет в литературе получила название «Floating-Arm Trebuchet». Конструкция Floating-Arm Trebuchet удобна для перевозки, ведь груз противовеса можно зафиксировать. В отличие от традиционной схемы требушет, где раскачивание при транспортировке устранить очень сложно. Для расчета траектории движения полезного груза в процессе разгона перед метанием использованы выражения для кинетической и потенциальной энергии системы. Были избраны удобные для описания движения обобщенные координаты, которые отражают процесс метания. В результате составлена и приближенно решена система уравнений Лагранжа второго рода. Приведенный способ расчета траектории перемещения полезного груза в процессе разгона

позволяет определить угол и скорость вылета груза, что, в свою очередь, позволяет определить траекторию полета полезного груза после его катапультирования. Приведены тестовые расчеты траектории перемещения полезного груза.

Ключевые слова: геометрическая модель, *Floating-Arm Trebuchet*, лагранжиан, уравнения Лагранжа второго рода.

GEOMETRIC MODELING ACTIONS TREBUCHET WITH VERTICAL MOVEMENT OF COUNTERTIME

Sukharkova E.

A geometric model of a mobile type “trebuchet” type missile launcher designed for the delivery of a payload (fire extinguishing agents) to the middle zones of a large-scale fire by throwing (ejection) has been developed. Existing technologies for extinguishing fires that have arisen, for example, in large warehouse areas, provide for the influence of a fire extinguishing agent mainly on the perimeter of the fire. But the fire is restored in time until the middle zone is burned out. The absence of the possibility of extinguishing a fire in the middle zones in its initial stages leads to considerable material losses. The model of a mobile type throwing unit, considered in the work, differs from the traditional construction of a “rocker” type. The main difference is to move vertically down the weight of the counterweight during the throwing process. Unlike traditional designs, where the weight of the counterweight moves along an arc of a curve. This leads to a loss of energy and reduces the delivery distance of the payload. The considered variety is recommended in literature as “Floating-Arm Trebuchet”. The design of Floating-Arm Trebuchet is convenient for transportation, because the weight of the counterweight can be fixed. In contrast to the traditional scheme it requires, where it is very difficult to eliminate swinging during transportation. To calculate the trajectory of the movement of the payload in the process of acceleration before throwing used the expression for the kinetic and potential energy of the system. Were selected for describing the movement of the generalized coordinates, which reflect the process of throwing. As a result, a system of Lagrange equations of the second kind was compiled and approximately solved. The method of calculating the path of movement of the payload during acceleration allows you to determine the angle and speed of departure of the load, which, in turn, allows you to determine the trajectory of the flight of the payload after its ejection. Test calculations of the movement path of the payload are given.

Keywords: geometrical model, Floating-Arm Trebuchet, Lagrangian, second-kind Lagrange equations.

УДК 514.18

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ БАГАТОВИМІРНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО ОБ'ЄКТА ІЗ КОМПОНЕНТАМИ НИЖЧОЇ ВИМІРНОСТІ

Усенко В.Г., к.т.н.,

Погорілий Д.Ф., к.т.н.,

Усенко І.С., к.т.н.

*Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка (Україна)*

В роботі розглядається будова багатовимірного геометричного об'єкта, що моделює систему залежностей багатьох змінних. До структури багатovidу входять B-сплайни (NURBS), що використовуються в системах автоматизованого проектування та для наукових досліджень із залученням геометричного моделювання. Застосування множин ліній у графічних моделях зумовлене необхідністю наочного відображення залежностей багатьох змінних на графічних моделях. Структурна будова багатовимірного геометричного об'єкта може використовуватись у розв'язанні складних задач оптимізації з багатьма критеріями у середовищах систем автоматизованого проектування. Показано особливості побудови структури геометричного багатовимірного об'єкта із використанням впорядкованої множини інших фігур меншої розмірності. Різна кількість параметрів у аналітичному виразі, що описує багатовимірний геометричний об'єкт відповідає множинам інших фігур меншої розмірності у паралельних просторах відповідної координатної системи. Багатовимірні об'єкти у складі геометричних фігур отримуються заданням впорядкованих множин дискретних значень параметрам моделі. Геометрична інтерпретація залежностей у формі ліній дає зручне наочне їх відображення на графічних моделях для розв'язання задач оптимізації. Представлено визначення множин ліній, інцидентних багатовимірним фігурам у різних просторах рівня.

Ключові слова: геометричне моделювання, багатovidи, B-сплайни (NURBS), залежності багатьох змінних.

Постановка проблеми. Достатньо актуальним є вивчення зв'язків, що визначаються різними чинниками між змінними

величинами різних складних систем [1]. Ці зв'язки відображаються геометричними моделями об'єктів багатовимірного простору. У процесах дослідження систем з багатьма параметрами необхідно удосконалювати їх геометричні моделі для розв'язування різних задач оптимізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При використанні геометричних моделей систем з багатьма параметрами завжди виникає необхідність їх аналітичного і графічного відображення. Вони апроксимуються іншими геометричними об'єктами, або їх частинами із стикуванням по загальних межах [1]. В науковій літературі вивчаються нерівномірні раціональні B -сплайни [2, 3], що в геометричному представленні інтерпретуються у формі кривих ліній. Ці одновимірні об'єкти використовуються для наукових досліджень із залученням геометричного моделювання, а різні системи автоматизованого проектування застосовують сплайни NURBS для обміну інформацією [4]. Раціональні B -сплайни (NURBS) однотипно задають геометричні об'єкти у просторі. [5].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є дослідження структурної будови багатовимірного геометричного об'єкта, що моделює залежності багатьох змінних із застосуванням B -сплайнів.

Основна частина. Лінії NURBS є проекцією поліноміального B -сплайна 4-вимірного однорідного координатного простору на 3-вимірний простір, що аналітично утворюються шляхом ділення на величину однорідної координати [4]:

$$f(u_1)r_i = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,j}(u_1)r_i u_1 w_i}{\sum_{i=0}^{n-1} N_{i,j}(u_1)w_i} = r_i^1(u_1), \quad (1)$$

де u_1 – параметр, $N_{i,j}(u_1)$ – складові вирази; w_i - вагові коефіцієнти для вузлів сплайна, $w_i \geq 0$; r_i – вектор вершин супроводжуючого лінію багатокутника. Величини $N_{i,j}(u)$ знаходяться з індикаторної функції [4]:

$$N_{i,j}(u) = \begin{cases} 1, & \text{я якщо } u \in [u_i, u_{i+1}] \\ 0, & \text{я якщо } u \notin [u_i, u_{i+1}] \end{cases} \quad (2)$$

та формули

$$N_{i,k}(u) = \frac{N_{i,j-1}u(u-u_i)}{u_{i+j-1}-u_i} + \frac{N_{i+1,j-1}u(u_{i+j}-u)}{u_{i+j}-u_{i+1}},$$

де u – змінна величина; $u_i, u_{i+j}, u_{i+j-1}, u_{i+1}$ – значення змінної у відповідних геометричних об'єктах нульової розмірності – вузлах. B -сплайн представляється виразом зі степінню $k-1$ на всіх інтервалах $u \in [u_i, u_{i+1}]$ [4]:

$$B(u) = \sum_{i=1}^{n+1} N_{i,j}(u)r_i, \quad u \in [u_{\min}, u_{\max}], \quad 2 \leq k \leq n+1, \quad u_i \leq u_{i+1}, \quad (3)$$

де u_i – змінний параметр виразу, r_i – вектор вершин супроводжуючого багатокутника, $n+1$ – число адитивних складових частин, $k-1$ – степінь виразу.

Змінна u визначається в деякому інтервалі значень $u \in [u_{\min}, u_{\max}]$. Для цього виразу (3) встановлено умову, за якою поділ нульового значення на нуль дорівнює нулеві. Має задовольнятися умова: для всього ряду значень аргументу u значення нормалізованих функцій бути невід'ємними: $N_{i,k}(u) \geq 0$.

Деякий багатовид B^b у просторі Π^n описує p залежностей з b аргументами, $n=p+b$. Багатовимірний об'єкт B^b утворюється іншими багатовидами B^1, B^2, \dots, B^{b-1} меншої розмірності. До моделі (2) одновимірного багатовиду B^1 уведемо ще одну змінну u_2 та збільшимо розмірність відповідного геометричного об'єкта з утворенням поверхні:

$$\begin{aligned} \acute{A}_i^{(2)}(u_1, u_2) &= \frac{\sum_{i=0}^{n+1} N_{i,j}^{(2)} u_2 r_i^{(1)} u_1 w_i^{(2)}}{\sum_{i=0}^n N_{i,j}^{(2)} u_2 w_i^{(2)}}, \quad i = 0, \dots, n-b+1, \\ u_2 &= \text{const}, \dots, u_b = \text{const}, \end{aligned} \quad (4)$$

де $N_{i,j}^{(2)}$ – параметричні вирази, $r_i^{(1)}(u_1)$ – вираз (2) одновимірного об'єкта B^1 , $w_i^{(2)}$ – вагові коефіцієнти у рівнянні поверхні B^2 . Вираз (4) може входити до рівняння багатовиду B^3 (тіла), що має більшу розмірність. Множина об'єктів B^2 утворює тіло B^3 у Π^{n-b+3} .

$$\acute{A}_i^{(3)}(u_1, \dots, u_3) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,j}^{(3)} u_3 \acute{A}_i^{(2)}(u_1, u_2) w_i^{(3)}}{\sum_{i=0}^n N_{i,j}^{(3)} u_3 w_i^{(3)}}. \quad (5)$$

Геометричні об'єкти B^{b-2} складаються з впорядкованої множини фігур B^{b-3} меншої розмірності, що утворюються зі зміною значення параметра u^{b-2} . Зокрема, різне число змінних у формулі об'єкта B^2 відповідає множині M_B у паралельних просторах Π^{n-b+1} системи проєкцій.

Узагальнене співвідношення для B^b записується:

$$\acute{A}^{(b)}(u_1, \dots, u_h) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,j}^{(h)} u_k \acute{A}_i^{(h-1)}(u_1, u_2, \dots, u_{k-1}) w_i^{(h)}}{\sum_{i=0}^n N_{i,j}^{(h)} u_k w_i^{(h)}}, \quad h = 1, \dots, n, \quad (6)$$

де

$$\hat{A}_i^{(k-1)}(u_1, \dots, u_{k-1}) = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} N_{i,j}^{(h-1)} u_{k-1} r_i^{h-2} (u_1, u_2, \dots, u_{k-2}) w_i^{(h-1)}}{\sum_{i=0}^{n-1} N_{i,j}^{(h-1)} u_{k-1} w_i^{(h-1)}}, \quad h = 0, \dots, n-1, \quad (7)$$

$$u_b = \text{const.}$$

Таким чином, багатовид B^b утворює структуровану множину інших багатовидів $M_B = \{B^2, \dots, B^{b-1}\}$. Структурні компоненти B^b , що входять до його складу, мають нижчу розмірність. Вираз (7), зокрема, описує множину багатовидів B^{b-1} зі сталими значеннями змінної величини $u_b = \text{const}$. Багатовиди B^{b-2} у складі кожної геометричної фігури B^{b-1} отримуються заданням множини дискретних значень змінній u_{k-1} . Тому рівняння (7) описує багатовид B^{b-1} , що утворює геометричну фігуру B^b більшої розмірності, де

$$r_i^{(b-1)}(u_1, \dots, u_{b-1}) = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} N_{i,j}^{(h-1)} u_{b-1} r_i^{h-2} (u_1, \dots, u_{b-2}) w_i^{(h-1)}}{\sum_{i=0}^{n-1} N_{i,j}^{(h-1)} u_{b-1} w_i^{(h-1)}}, \quad h = 0, \dots, n-1, \quad (8)$$

$$u_k = \text{const}, \dots, u_{k-1} = \text{const}.$$

Залежність (8) є складовою частиною співвідношення (7) та виражає множину багатовимірних об'єктів B^{k-2} з відповідним значенням змінної величини u_{k-1} . Множина багатовидів B^{k-3} кожного з B^{k-2} визначається параметром u_{k-2} .

$$r_i^{(b-1)}(u_1, \dots, u_{b-1}) = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} N_{i,j}^{(h-1)} u_{b-1} r_i^{h-2} (u_1, \dots, u_{b-2}) w_i^{(h-1)}}{\sum_{i=0}^{n-1} N_{i,j}^{(h-1)} u_{b-1} w_i^{(h-1)}}, \quad h = 0, \dots, n-1, \quad (9)$$

$$u_k = \text{const}, \dots, u_3 = \text{const},$$

де $N_{i,j}(u)$ – параметричні вирази багатовиду B^k та його утворюючих багатовидів, що відповідають змінній u_d , $d = 1, \dots, b$. Ряд змінних величин u_d , $d = 1, 2, \dots, b$ відображається в координатній системі $0x_i$, $i = 1, 2, \dots, b$. Ряд значень змінної x_5 утворює множину багатовимірних фігур $\{\hat{A}_1^2, \hat{A}_2^2, \dots, \hat{A}_{s_1}^2\}$ у паралельних просторах рівня $\{\hat{I}_1^4, \hat{I}_2^4, \dots, \hat{I}_{s_1}^4\}$. До всіх s_1 геометричних об'єктів B^2 входять одновимірні фігури $\{\hat{A}_1^1, \hat{A}_2^1, \dots, \hat{A}_{s_2}^1\}$, що утворюються зі зміною параметра x_4 . Геометричний об'єкт багатовимірного простору B^b утворюється m_1 фігурами B^{b-1} , m_2 фігурами B^{b-2} , ..., m_{k-1} фігурами B^1 – що є лініями та найбільш зручними об'єктами для наочного представлення на графічних моделях.

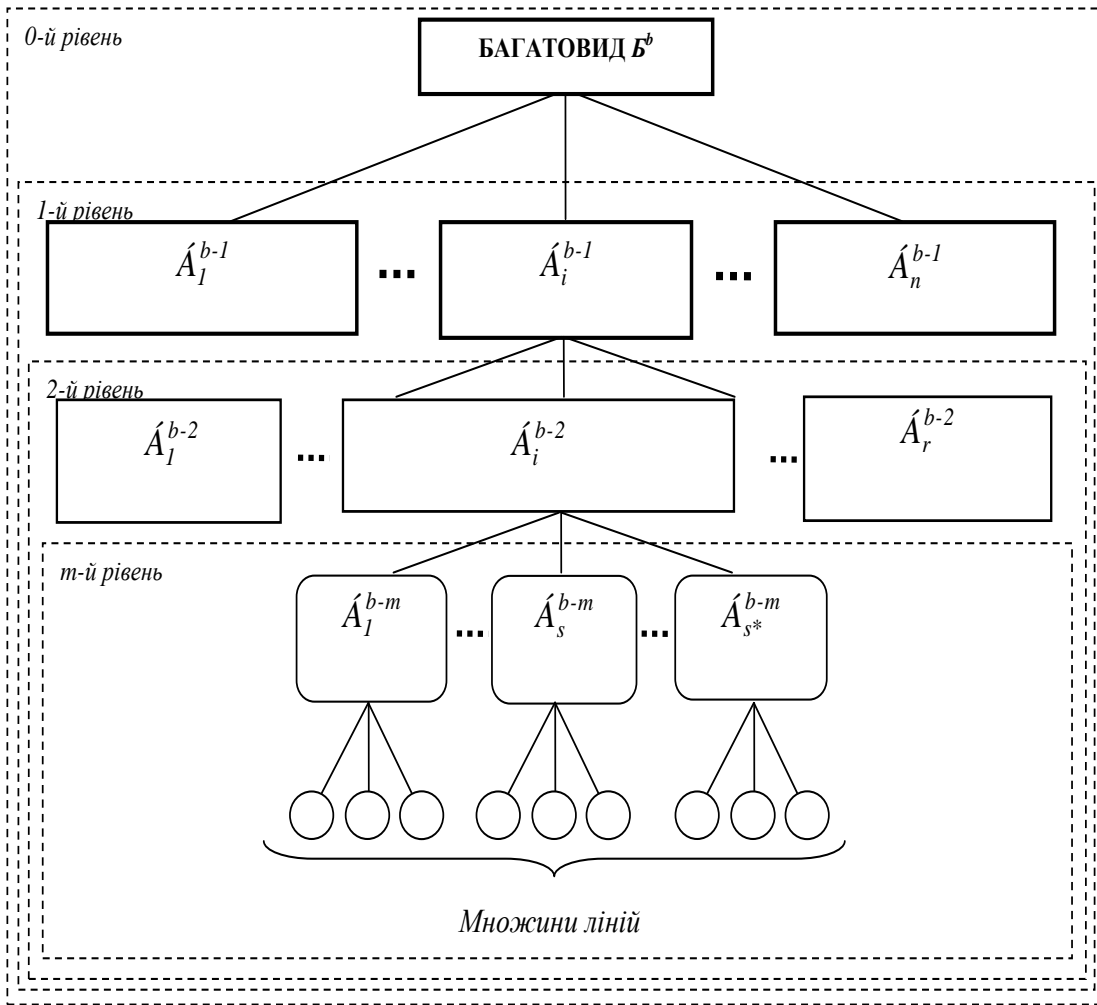


Рис. 1. Ієрархічна структура багатovidу B^b

Число ліній об'єкта B^b дорівнює p . Лінії фігур $B_1^2, B_2^2, \dots, B_m^2$ в просторах рівня Π_1, \dots, Π_m позначаються:

$$\begin{aligned}
 &S_{1,1}, S_{2,1}, \dots, S_{m,1} \\
 &\dots\dots\dots \\
 &S_{1,3}, S_{2,3}, \dots, S_{m,p}.
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Ці лінії багатовимірнього об'єкта B^b інцидентні відповідним просторам, що проходять через точки з певними координатами x_1, \dots, x_n у Π^n . Аналогічно визначаються множини ліній, що належать багатовидам B^q в просторах рівня Π^{n-b+q} .

Висновки. Опрацьовано узагальнену структуру багатовимірнього геометричного об'єкта, що утворюється множиною багатовимірних фігур менших розмірностей, зокрема з використанням збільшення розмірності об'єктів на основі B -сплайнів. Розглянена структура геометричної моделі має своє практичне запровадження до САПР з метою вирішення оптимізаційних задач з багатьма параметрами.

Література

1. Гумен Н.С. Графо-аналитическое моделирование многопараметрических систем разрывными функциями / Н.С. Гумен // Прикладная геометрия и инженерная графика. – Вып. 24. – К.: КИСИ, 1977. – С. 56 – 58.
2. Альберг Дж. Теория сплайнов и ее приложения / Дж. Альберг, Э. Нильсон, Дж. Уолш. – М.: Мир, 1972. – 316 с.
3. Завьялов Ю.С. Методы сплайн-функций / Ю.С. Завьялов, Б.И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. – М.: Наука, 1980. – 352 с.
4. Роджерс Д. Математические основы машинной графики: пер. с англ. / Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
5. Вірченко Г.А. Узагальнення структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання об'єктів машинобудування: дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01 / Г.А. Вірченко. – Киев, 2011. – 367 с.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МНОГОМЕРНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С КОМПОНЕНТАМИ НИЗШЕЙ РАЗМЕРНОСТИ

Усенко В.Г., Погорелый Д.Ф., Усенко И.С.

В работе рассматривается строение многомерного геометрического объекта, который моделирует систему зависимостей многих переменных. В структуру многообразия входят B-сплайны (NURBS), которые используются в системах автоматизированного проектирования и для научных исследований с использованием геометрического моделирования. Применение множеств линий в графических моделях предопределено необходимостью наглядного отображения зависимостей многих переменных на графических моделях. Структурное строение многомерного геометрического объекта может использоваться в решении сложных задач оптимизации со многими критериями в рабочих средах систем автоматизированного проектирования. Показаны особенности построения структуры геометрического многомерного объекта с использованием упорядоченного множества других фигур меньшей размерности. Разное количество параметров в аналитическом выражении, которое описывает многомерный геометрический объект отвечает множествам других фигур меньшей размерности в параллельных пространствах соответствующей координатной системы. Многомерные объекты в составе геометрических фигур получают заданием упорядоченных множеств дискретных значений параметрам модели. Геометрическая интерпретация зависимостей в форме линий дает

удобное наглядное их отображение на графических моделях для решения задач оптимизации. Представлено определение множеств линий, инцидентных многомерным фигурам в разных пространствах уровня.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, многообразия, B-сплайны (NURBS), зависимости многих переменных.

FEATURES OF THE STRUCTURE OF MULTI-DIMENSIONAL GEOMETRIC OBJECT WITH COMPONENTS OF LOWER DIMENSION

Usenko V., Pogorely D., Usenko I.

The paper considers the creating of a multidimensional geometric object that simulates a system of dependencies of many variables. The variety structure includes B-splines (NURBS) used in automated design systems and for geometric modeling research. Application of sets of lines in graphic models is conditioned by the necessity of visual representation of dependencies of many variables on graphic models. The structural creating of a multidimensional geometric object can be used to solve complex optimization problems with many criteria in the environments of automated design systems. The features of construction of the structure of a geometric multidimensional object with the use of an ordered set of other figures of smaller dimension are shown. A different number of parameters in an analytical expression that describes a multidimensional geometric object corresponds to sets of other figures of smaller dimension in parallel spaces of the corresponding coordinate system. Multidimensional objects in geometric shapes are obtained by ordering ordered sets of discrete values for model parameters. The geometric interpretation of dependencies in the form of lines gives a convenient visual representation of them on graphic models for solving optimization problems. The definition of sets of lines incident to multidimensional figures in different level spaces is presented.

Keywords: geometric modeling, the variety, B-splines (NURBS), dependencies of many variables.

УДК 514.18

**ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОКАЛЬНОГО
ЗАБРУДНЕННЯ ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ
АВТОТРАНСПОРТНИХ МАГІСТРАЛЕЙ ІЗ
ВИКОРИСТАННЯМ ДИСКРЕТНО-ІНТЕРПОЛЯЦІЙНОГО
МЕТОДУ**

Холковський Ю.Р., к.т.н.

Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)

У роботі розглядаються питання розробки раціональних методів моделювання багатопараметричних систем та середовищ із урахуванням сукупності певних компонентів різного роду локальних забруднень, що є досить важливою інженерною та соціальною задачею. Також важливе значення має прогнозування локальних, регіональних та інших забруднень атмосферного повітря і, зокрема, прилеглих територій автотранспортних магістралей щодо вироблення управлінських рішень в сфері охорони навколишнього повітряного середовища. Суттєве збільшення з кожним роком транспортних потоків приводить до відповідного збільшення забруднення атмосферного повітря прилеглих територій та довкілля в цілому.

У даному дослідженні питання розробки ефективних методів моделювання багатопараметричних систем та середовищ пропонується здійснити на основі використання дискретно-інтерполяційного методу, розробленого автором. Оригінальність даного методу полягає в трактуванні вузлів інтерполяції не як точок, а як більш складних об'єктів, які представлені у вигляді деяких функціоналів, як сукупності їх властивостей і параметрів за певною інтерполяційною схемою.

Маючи результати моніторингу щодо вимірювання, наприклад, рівня концентрації певного компонента середовища, можна на основі дискретно-інтерполяційного методу з використанням вузлових дискретно-інтерполяційних матриць отримати геометричну модель його розподілення або ж розсіювання.

Дискретно-інтерполяційний метод має велику варіативність і дозволяє включати в однопараметричну множину об'єкти, що мають різну структуру і властивості, які практично неможливо поєднати у континуальній моделі. Це дає можливість моделювати просторові поля забруднення придорожніх територій, враховувати структурність та певну анізотропність компонентів забруднення, як складових багатопараметричних середовищ.

Ключові слова: інтерполяція, однопараметрична множина, вузол інтерполяції, дискретно-інтерполяційний метод, моделювання придорожного повітряного простору.

Постановка проблеми. Геометричне моделювання складних багатопараметричних систем та середовищ, таких, як екологічні, гідрологічні, енергетичні, геологічні, геоморфологічні тощо, з прогнозуванням їх стану та визначенням локальних забруднень таких середовищ – досить важлива інженерно-практична, суспільно-соціальна задача, яка постає в процесі обробки результатів моніторингу таких систем та середовищ та розробці певних рекомендацій та раціональних методів щодо довгострокового прогнозування стану, середовищ, визначення антропогенного впливу.

Відомо, що автотранспортний комплекс є одним з найбільш потужних джерел забруднення міського довкілля і, особливо, атмосферного повітря. Наприклад, в 2000 р. у Києві частка забруднення повітряного простору автотранспортом становила 68,95% від загального обсягу, а до 2015-го року досягла майже 90%. Додамо, що на міських автомагістралях щороку збільшуються потоки й транзитного транспорту, а також зростає об'єм пасажироперевезення. Тому сьогодні особливе значення відіграє прогнозування локальних, регіональних та інших забруднень атмосферного повітря.

Добре відомо, що такі системи та середовища, як екологічні, геологічні, гідрологічні, геоморфологічні, енергетичні тощо, характеризуються великою кількістю параметрів, що мають різноманітну структуру й різноякісні властивості, а також певну анізотропію у часі й просторі. Тому вищезгадані системи та середовища відносяться до такого класу об'єктів, які практично неможливо описати аналітично у вигляді континуальної моделі.

Стає зрозумілим, що задача розробки раціональних методів моделювання таких систем та середовищ, прогнозування у часі й просторі їх стану, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У спеціалізованих літературних джерелах, в основному, розглядаються питання моніторингу систем та середовищ, статистичної обробки їх результатів. Меншою мірою розглядаються питання побудови їх моделей, які, як правило, хімічні чи фізико-хімічні. Певною мірою такі моделі надають можливість вирішувати ті чи інші завдання моніторингу забруднень повітряного басейну міст [6-10]. Широке поширення отримали моделі, засновані на статистичних і синоптичних даних, а також на методах хімічного і фізико-хімічного аналізу [11]. Питання ж побудови геометричних моделей таких систем та середовищ практично не зустрічаються. У роботах [1-4] автора

розглядалися питання моделювання багатопараметричних середовищ із використанням дискретно-інтерполяційного методу. Наведені міркування дозволяють сформулювати наступні цілі даної роботи.

Формулювання цілей статті. Наразі, метою дослідження є розробка раціонального методу геометричного моделювання багатопараметричних систем та середовищ на основі дискретно-інтерполяційного методу (ДІМ).

Основна частина. Багатопараметричні системи та середовища, такі, як екологічні, енергетичні, гідрологічні, метеорологічні, геоморфологічні, енергетичні тощо за усіма ознаками можна віднести до категорії стохастичних систем, тому що такі системи та середовища взаємопов'язані й неможливо ізольовано розглядати окрему конкретну систему. Створити їх континуальну модель практично неможливо, і це приводить до використання дискретних математичних моделей, а саме геометричних, у вигляді дискретних чисельних масивів, елементами яких є певні компоненти систем та середовищ. Для побудови таких моделей пропонується використати, розроблений автором, ДІМ моделювання, що базується на використанні певних дискретно-інтерполяційних схем.

Оригінальність ДІМ є в трактуванні вузлів інтерполяції не як точок, а як більш складних об'єктів, що представлені у вигляді деяких функціоналів, як сукупності їх властивостей і параметрів за певною інтерполяційною схемою. Такий підхід щодо моделювання багатопараметричних систем та середовищ дозволяє включити в однопараметричну множину функціонали, параметри яких мають різну структуру і властивості. Для побудови моделей на основі ДІМ використовуються інтерполяційні схеми, за допомогою яких можливо отримати певні однопараметричні множини, що і будуть саме такими моделями. Зокрема, відповідно ДІМ отримуємо:

$$\Phi(u)_n = \sum_{i=0}^{n-1} F_i(p_1, p_2, \dots, p_m) \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{u - u_j}{u_i - u_j}, \quad (1)$$

де u – параметр інтерполяції, $F_i(p_1, p_2, \dots, p_k)$ – вузлова функція, p_1, p_2, \dots, p_k – параметри вузлової функції (показники забруднення, рівень концентрації певних речовин, врахування природних особливостей середовищ тощо), n – кількість вузлів інтерполяції.

Якщо $F(p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m)$ – багатопараметрична неявно задана функція, то формування її у вигляді деякого функціонала $\Phi(p_{i,j})$, що заданий матрицею $M[i, j]$ приводить до такого виразу:

$$\Phi(p_{i,j}) = \sum_{i=0}^{n-1} M_i(i, j) \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{u - u_j}{u_i - u_j}, \quad (2)$$

де де \mathbf{n} - кількість вузлів інтерполяції, \mathbf{u} - параметр $M_i[\mathbf{i}, \mathbf{j}]$, а

$$M [i, j] = \begin{pmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & \dots & P_{1,n} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & \dots & P_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m,1} & P_{m,2} & \dots & \dots & P_{m,n} \end{pmatrix} .$$

$M[\mathbf{i}, \mathbf{j}]$ є вузловою дискретно-інтерполяційною, наприклад, екоматрицею, а вираз (2) є дискретною геометричною моделлю певної системи чи середовища (екологічного, енергетичного, гідрологічного, геологічного тощо).

Отже, маючи результати моніторингу щодо вимірювання рівня концентрації певного компонента середовища, можна отримати геометричну модель його розподілення або ж розсіювання. Побудова таких моделей для певної кількості компонентів дасть змогу отримати відносно повну інтегровану картину щодо стану деякого середовища.

Слід зазначити, що за відсутності сильного вітру швидкість руху газоподібних речовин на висоті до 3 м від рівня землі можна прийняти рівній швидкості транспортного потоку із збіганням напрямку. Це, головним чином, відноситься до повітряного простору по краях дороги і на пішохідних тротуарах. За таких умов на рис. 1 надані результати геометричного моделювання розподілу концентрації певного газоподібного компонента X відпрацьованих газів на ділянці автодорожньої магістралі, що розглядалася.

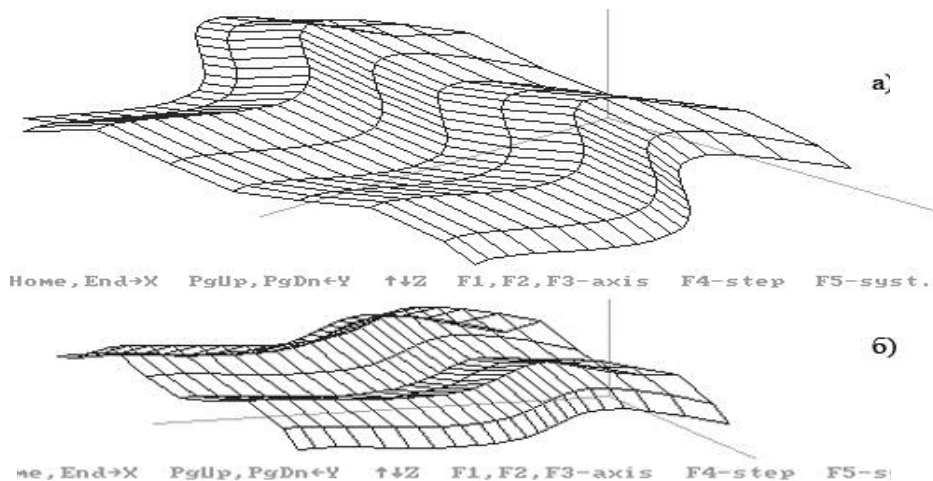


Рис. 1. Результати (ракурси а і б) моделювання розподілу концентрації газоподібного компонента X відпрацьованих газів

Висновки: Побудовані на основі ДІМ дискретні геометричні моделі багатопараметричних систем та середовищ дозволяють на

основі моніторингу здійснити моделювання їх прогнозованого стану. Метод має велику варіативність і дозволяє включати в однопараметричну множину об'єкти, що мають різну структуру і властивості, які практично неможливо поєднати у континуальній моделі. Такий підхід дозволяє моделювати такі складні багатопараметричні системи та середовища, як екологічні, гідрологічні, енергетичні, геологічні, геоморфологічні тощо.

Література

1. Холковський Ю.Р. Моделювання багатопараметричних процесів та систем на основі дискретно-інтерполяційного підходу в екології / Ю.Р. Холковський // Праці VIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2012. – С.204-208.
2. Холковський Ю.Р. Дискретно-інтерполяційна екоматриця як геометрична модель багатопараметричних процесів та систем в екології / Ю.Р. Холковський // Збірник наукових праць «Прикладная геометрия и инженерная графика». – Вип.5 – Мелітополь, ТГАТУ, 2013. – С. 183-188.
3. Холковський, Ю.Р. Моніторинг екологічних процесів і систем із застосуванням дискретно-інтерполяційного підходу / Ю.Р. Холковський, О.В. Кофанова, М.Ю. Березівський // Efektivní nástroje moderních věd – 2013: Materiály IX mezinárodní vědecko-praktická konf. Díl 37. Ecologie. Zeměpis a geologie, Praha / Publishing House "Education and Science" s.r.o. – S. 35-37.
4. Холковский Ю.Р. Геоэкологические аспекты моделирования локального загрязнения приземного атмосферного воздуха отработавшими газами автотранспортных средств / Ю.Р. Холковский, А.Е. Кофанов // Горная механика и машиностроение. – Минск, 2017 – № 4. – С. 20-33.
5. Старченко, А.В. Численная модель для оперативного контроля уровня загрязнения городского воздуха / А.В. Старченко, Д.А. Беликов // Оптика атмосферы и океана, 2003. – № 7. – С. 657-665.
6. Свинухов, В.Г. Физико-статистический способ прогноза загрязнения атмосферы в городе / В.Г. Свинухов // Метеорология и гидрология, 1993. – № 8. – С. 41-47.
7. Кузниченко, С.Д. Географические информационные системы: области применения, сравнительный анализ ГИС-пакетов / С.Д. Кузниченко, Н.Г. Сербов, Ю.А. Кругляк // Метеорологія, кліматологія та гідрологія, 2002. – Вип. 45. – С. 153-161.
8. Беляев, Н.Н. Методы экспресс расчета уровня загрязнения атмосферы / Н.Н. Беляев, Е.Д. Коренюк, В.К. Хрущ. – Днепропетровск: Наука и образование, 2002. – 192 с.

9. Шмандій, В.М. Сучасні методи контролю забруднення атмосферного повітря при управлінні техногенною безпекою на регіональному рівні / В.М. Шмандій, О.М. Касімов, А.М. Кучук. – Харків: КДПУ, 2001. – 136 с.
10. Системний підхід при прогнозуванні стану атмосферного повітря / А.Г. Шапар [та ін.]. – Дніпродзержинськ: Дніпродзерж. держ. техн. ун-т., 2004. – 164 с.
11. Берлянд, М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 182 с.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ АВТОТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВА- НИЕМ ДИСКРЕТНО-ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО МЕТОДА

Холковский Ю.Р.

В работе рассматриваются вопросы разработки рациональных методов моделирования многопараметрических систем и сред с учетом совокупности определенных компонентов разного рода локальных загрязнений, что является весьма важной инженерной и социальной задачей. Также важное значение имеет прогнозирование локальных, региональных и других загрязнений атмосферного воздуха и, в частности, прилегающих территорий автотранспортных магистралей по выработке управленческих решений в сфере охраны окружающей воздушной среды. Существенное увеличение с каждым годом транспортных потоков приводит к соответствующему увеличению загрязнения атмосферного воздуха прилегающих территорий и окружающей среды в целом.

В данном исследовании вопросы разработки эффективных методов моделирования многопараметрических систем и сред предлагается осуществить на основе использования дискретно-интерполяционного метода, разработанного автором. Оригинальность данного метода заключается в трактовке узлов интерполяции не как точек, а как более сложных объектов, которые представлены в виде некоторых функционалов, как совокупности их свойств и параметров по определенной интерполяционной схеме.

Опираясь на результаты мониторинга измерения, например, уровня концентрации определенного компонента среды, можно на основе дискретно-интерполяционного метода с использованием узловых дискретно-интерполяционных матриц получить геометрическую модель его распределения или рассеивания.

Дискретно-интерполяционный метод имеет большую вариативность и позволяет включать в однопараметрическим

множество объекты, имеющие различную структуру и свойства, которые практически невозможно объединить в континуальной модели. Это дает возможность моделировать пространственные поля загрязнения придорожных территорий, учитывать структурность и определенную анизотропность компонентов загрязнения, как составляющих многопараметрических сред.

Ключевые слова: интерполяция, однопараметрическое множество, узел интерполяции, дискретно-интерполяционный метод, моделирование придорожного воздушного пространства.

GEOMETRICAL MODELING OF LOCAL POLLUTION OF ADJUSTING TERRITORIES OF MOTOR TRANSPORT TRAILERS USING THE DISCRETE-INTERPOLATION METHOD

Kholkovsky Yu.

The paper discusses the development of rational methods for modeling multiparameter systems and environments, taking into account the combination of certain components of various kinds of local pollution, which is a very important engineering and social problem. Also important is the prediction of local, regional and other air pollution and, in particular, the surrounding areas of highways for the development of management decisions in the field of environmental air protection. The significant increase in traffic flows each year leads to a corresponding increase in air pollution in the adjacent territories and the environment as a whole.

In this article, the development of effective modeling methods for multiparameter systems and environments is proposed based on the use of the discrete-interpolation method developed by the author. The originality of this method lies in the interpretation of interpolation nodes not as points, but as more complex objects that are represented as some functionals, as a set of their properties and parameters according to a certain interpolation scheme.

Based on the results of monitoring the measurement, for example, the concentration level of a certain component of the medium, it is possible to obtain a geometric model of its distribution or scattering using the discrete-interpolation matrix nodal using the discrete interpolation matrix.

The discrete-interpolation method has a large variability and allows you to include in one-parameter set of objects with different structures and properties that are almost impossible to combine in the continuum model. This makes it possible to simulate the spatial pollution fields of roadside areas, to take into account the structure and a certain anisotropic nature of the pollution components as components of multi-parameter environment.

Keywords: interpolation, one-parameter set, interpolation node, discrete-interpolation method, modeling of near-road airspace.

УДК 514.8:004.925.8:621

ДЕЯКІ ПИТАННЯ УЗАГАЛЬНЕННЯ ЗАСОБІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Яблонський П.М., к.т.н.

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)*

У роботі розглянуто питання узагальнення засобів геометричного моделювання для проектування технічних об'єктів.

Очевидним є факт, що нині комп'ютерне геометричне моделювання доволі популярне під час створення різноманітних технічних об'єктів. Це стосується, наприклад, практичного застосування багатьох систем автоматизованого проектування. Успішний розвиток зазначеного напрямку неможливий без удосконалення наявних обчислювальних засобів, програмного забезпечення та математичного апарату. Відповідно, постійно постає проблема покращення відповідних наявних підходів, методів, способів і прийомів, особливо в галузі комп'ютерного формоутворення.

Зокрема, у цій статті пропонується доповнити методологію структурно-параметричного формоутворення принципом інтеграції, який полягає не тільки в поєднанні етапів життєвого циклу технічних об'єктів, а й відповідних засобів геометричного моделювання у вигляді належного математичного апарату. Це дозволить ефективно реалізовувати комплексне оптимальне формоутворення різноманітних технічних об'єктів під час їх проектування, виготовлення та експлуатації.

Крім цього, розглянуто основні положення розробленого способу зменшення області проектних розв'язків, який є однією з ілюстрацій створюваної інтегрованої комплексної методології геометричного моделювання технічних об'єктів. Цей підхід дозволить вдосконалювати наявні методи комп'ютерного геометричного моделювання, а також розроблювати нові методи, що, у свою чергу, дасть можливість суттєво зменшити кількість експериментальних досліджень і, відповідно, заощадити кошти на їх проведення.

Слід зазначити, що запропоновані у статті принцип інтеграції та спосіб зменшення області проектних розв'язків є універсальним апаратом і може застосовуватись при комп'ютерному геометричному моделюванні для створення різноманітної промислової продукції.

Також у статті визначено напрямки проведення подальших наукових досліджень.

Ключові слова: геометричне моделювання, проектування, структурно-параметричне формоутворення, принцип інтеграції, технічні об'єкти.

Постановка проблеми. Нині комп'ютерне геометричне моделювання доволі популярне під час створення різноманітних технічних об'єктів. Це стосується, наприклад, практичного застосування багатьох систем автоматизованого проектування. Успішний розвиток зазначеного напрямку неможливий без удосконалення наявних обчислювальних засобів, програмного забезпечення та математичного апарату. Тому проблема покращення відповідних існуючих підходів, методів, способів і прийомів, зокрема в галузі комп'ютерного формоутворення, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [1] виконано аналіз сучасного стану, напрямків досліджень, отриманих результатів та перспектив розвитку наукової школи прикладної геометрії КПІ ім. Ігоря Сікорського. Головною актуальною метою визначено потребу формування *інтегрованої комплексної методології* геометричного моделювання різноманітних технічних об'єктів, процесів їх виготовлення та експлуатації. Основою для цього взято методологію структурно-параметричного формоутворення, базові положення якої висвітлено в публікації [2], деякі способи, прийоми, алгоритми тощо – у виданнях [3, 4], практичне використання – у працях [5, 6].

Формулювання цілей статті. Дати опис запропонованого *принципу інтеграції* та розробленого *способу зменшення області проектних розв'язків* під час опрацювання різноманітних технічних об'єктів.

Основна частина. Відповідно до роботи [2] базовими для структурно-параметричного формоутворення є принципи: *системного підходу* (розгляд досліджуваного об'єкта як множини взаємопов'язаних параметричних елементів та складового компонента системи вищого рівня), *варіантності* (забезпечення геометричною моделлю ефективних структурно-параметричних різновидів опрацьовуваного об'єкта або процесу); *оптимальності* (наявність засобів для визначення раціональних величин параметрів і характеристик); *відкритості та розвитку* (можливість легкого оновлення й розширення складових компонентів структурно-параметричних геометричних моделей); *комплексного підходу* (пристосованість до урахування потреб інших математичних описів досліджуваного об'єкта або процесу). З теоретичної точки зору

наведений перелік принципів доволі фундаментальний, його практичну ефективність, зокрема, підтверджують публікації [5, 6].

У роботі [1] зазначається, що під терміном «комплексна методологія» мається на увазі максимальне врахування різноманітних вимог багатьох дисциплін, наприклад, конструкції, міцності, технології, експлуатації, економіки і т. д. на певному етапі життєвого циклу промислової продукції, тобто її проектування, виробництва та експлуатації, а під терміном «інтегрована» – забезпечення ефективного поєднання зазначених етапів із метою їх оптимізації.

Даною працею пропонується доповнити методологію структурно-параметричного формоутворення *принципом інтеграції*, який полягає не тільки в поєднанні етапів життєвого циклу технічних об'єктів, а й відповідних засобів геометричного моделювання у вигляді належного математичного апарату. Це дозволить ефективно реалізовувати комплексне оптимальне формоутворення різноманітних технічних об'єктів під час їх проектування, виготовлення та експлуатації.

Розглянемо основні положення розробленого способу зменшення області проектних розв'язків, який є однією з ілюстрацій створюваної інтегрованої комплексної методології геометричного моделювання технічних об'єктів. Остання певним чином розвиває поданий у публікації [7] напрямок і спирається на теоретичні засади праці [8].

Подамо базові ідеї зазначеного способу на прикладі опрацювання спрощеної, через обмежений обсяг статті, геометричної моделі шестигранної гайки (рис. 1). Даний об'єкт визначають такі параметри як номінальний діаметр d нарізі та її крок p , розмір «під ключ» S та висота H гайки. Початкова область проектних розв'язків може мати вигляд проміжків:

$$d \in [d_{\min}, d_{\max}], p \in [p_{\min}, p_{\max}], S \in [S_{\min}, S_{\max}], H \in [H_{\min}, H_{\max}]. \quad (1)$$

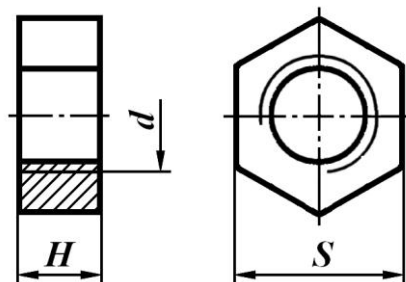


Рис. 1. Гайка шестигранна:

d – номінальний діаметр нарізі; p – крок нарізі;
 S – розмір «під ключ»; H – висота гайки

Вирази (1) є окремим випадком наступної загальної залежності для деякого проектованого технічного об'єкта O :

$$O = (u_i)_1^n, \quad u_i \in [u_{i_{\min}}, u_{i_{\max}}], \quad n \in \mathbb{N}, \quad (2)$$

де u_i – параметри об'єкта O .

На підставі формул (1) та (2) для опрацьовуваної гайки маємо:

$$G = (u_i)_1^4 = (d, p, S, H). \quad (3)$$

Як бачимо з формул (1) ... (3), гайка G , що розглядається, у процесі свого визначення з геометричної точки зору проходить шлях поступового зменшення від багатовимірної початкової області можливих проектних розв'язків (1) до певної точки (3) в цьому просторі. Відповідно до структурно-параметричного підходу будемо досліджувати багатовимірну область (1) як деяку множину підпросторів меншої вимірності. У даному випадку в якості останніх застосуємо тривимірний простір як найбільш наочний.

Зауважимо, що далі через обмежений обсяг статті не будемо акцентувати увагу на обґрунтуванні певного вибору з неперервних проміжків (1) конкретних дискретних значень параметрів.

Нехай для кроку нарізі можливі два варіанти p_{\min} та p_{\max} (малий та великий крок). Тоді, згідно з описаною методикою, для гайки (3) маємо два показані на рис. 2 тривимірні підпростори.

Поступове зменшення області проектних розв'язків може полягати в тому, що, наприклад, спочатку визначаються дискретні величини для діаметрів d нарізі та розмірів S «під ключ». Далі у площині (d, S) здійснюється дефініція подальших опрацьовуваних варіантів. На рис. 2 це відповідні три точки. Потім у тривимірному просторі шляхом перетину належних трьох прямих із чотирма площинами висот (гайки низькі, нормальні, високі, особливо високі) та врахування проектних обмежень визначаються потрібні точки з координатами (d, S, H) . Завершальною операцією є дефініція кращої з них (d, p, S, H) за наявними критеріями.

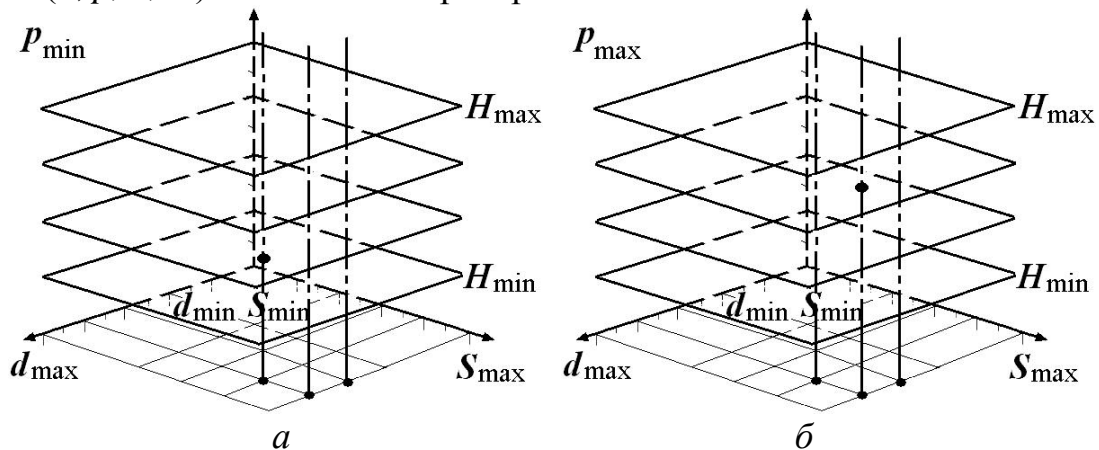


Рис. 2. Зменшення області проектних розв'язків гайки G :
 a, b – відповідно для малого та великого кроку нарізі

Висновки. У статті подано опис запропонованого принципу інтеграції та основ розробленого способу зменшення області проектних розв'язків для створення різноманітної промислової продукції. Перспективними напрямками подальших досліджень є опрацювання більш складних, ніж проаналізовано, технічних об'єктів.

Література

1. Ванін В.В. Сучасний стан і перспективи подальшого розвитку наукової школи прикладної геометрії Національного технічного університету України / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, О.М. Гумен, В.П. Юрчук, П.М. Яблонський // Прикладні питання математичного моделювання. – Вип. 2. – Херсон: ХНТУ, 2018. – С. 17-23. doi: 10.32782/2618-0340-2018-2-17-23.
2. Ванін В.В. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 23. – Харків: ХДУХТ, 2009. – С. 42-48.
3. Ванін В.В. Структурно-параметричний підхід як методологія узагальнення каркасного, поверхневого та об'ємного геометричного моделювання / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко // Праці Тавр. держ. агротех. ун-ту. – Вип. 4, т. 46. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – С. 42-46.
4. Вірченко Г.А. Деякі прийоми та алгоритми структурно-параметричного синтезу геометричних об'єктів / Г.А. Вірченко // Праці Тавр. держ. агротех. ун-ту. – Вип. 4, т. 48. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – С. 63-68.
5. Ванін В.В. Продукція машинобудування та процеси її виготовлення як об'єкти структурно-параметричного геометричного моделювання / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 84. – К.: КНУБА, 2010. – С. 28-32.
6. Вірченко Г.А. Раціональний розкрій матеріалів як складова частина технологічних процесів виготовлення деталей / Г.А. Вірченко, В.В. Ванін, В.Г. Вірченко // Праці Тавр. держ. агротех. ун-ту. – Вип. 4, т. 37. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 112-120.
7. Вірченко Г. А. Інтегроване параметричне моделювання фігур різної вимірності / Г. А. Вірченко // Науковий вісник Таврійського держ. агротех. ун-ту. – Вип. 6, т. 1. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – С. 257-262.
8. Вірченко Г.А. Узагальнення структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання об'єктів машинобудування: дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01 / Г. А. Вірченко. – Киев, 2011. – 357 с.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБОБЩЕНИЕ СРЕДСТВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Яблонский П.Н.

В данной работе рассмотрены вопросы обобщения средств геометрического моделирования для проектирования технических объектов. Очевидным является факт, что на сегодняшний день компьютерное геометрическое моделирование довольно популярное при создании различных технических объектов. Это касается, например, практического применения многих систем автоматизированного проектирования. Успешное развитие указанного направления невозможно без совершенствования имеющихся вычислительных средств, программного обеспечения и математического аппарата. Соответственно, постоянно возникает проблема улучшения соответствующих существующих подходов, методов, способов и приемов, особенно в области компьютерного формообразования.

В частности, в данной статье предлагается дополнить методологию структурно-параметрического формообразования принципом интеграции, который заключается не только в сочетании этапов жизненного цикла технических объектов, но и соответствующих средств геометрического моделирования в виде надлежащего математического аппарата. Это позволит эффективно реализовывать комплексное оптимальное формообразования различных технических объектов во время их проектирования, изготовления и эксплуатации.

Кроме этого, рассмотрены основные положения разработанного способа уменьшения области проектных решений, который является одной из иллюстраций создаваемой интегрированной комплексной методологии геометрического моделирования технических объектов. Данный подход позволит совершенствовать существующие методы компьютерного геометрического моделирования, а также разрабатывать новые методы, что в свою очередь, даст возможность существенно уменьшить количество экспериментальных исследований и соответственно сэкономить средства на их проведение.

Следует отметить, что предложенные в статье принцип интеграции и способ уменьшения области проектных решений являются универсальным аппаратом и могут быть применены при компьютерном геометрическом моделировании для создания разнообразной промышленной продукции.

Также в статье определены направления проведения

дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, проектирование, структурно-параметрическое формообразования, принцип интеграции, технические объекты.

SOME QUESTIONS OF GENERALIZATION OF GEOMETRIC MODELING TOOLS FOR PROJECTING OF TECHNICAL OBJECTS

Yablonskyi P.

In this paper, we consider the generalizing geometric modeling tools issues for technical objects development.

Demonstrable is that today computer geometric modeling is quite popular in various technical objects development. For example, this concerns the practical application of many computer-aided design systems field. This approach's further successful development is impossible without improving existing computational tools, software, and mathematical tools. Accordingly, the problem constantly arises in improving the relevant existing approaches, methods, methods, and techniques, in particular in the computer shaping field.

In particular, this article proposes to supplement the structural-parametric shaping methodology with the integration principle including not only in the combination of the technical objects' life cycle stages, but also the corresponding means of geometric modeling in the form of a proper mathematical apparatus. This will allow to implement effectively the various technical objects integrated optimal shaping during their development, manufacture, and operation.

In addition, the developed method main provisions for reducing the area of development decisions, which illustrates the integrated methodology for developed technical objects' geometric modeling, are considered. This approach will improve the existing methods of computer geometric modeling and will develop new methods, which will make it possible to reduce significantly the experimental studies number and, accordingly, save money on their implementation.

It should be noted that the proposed integration principle and the way to reduce the area of development solutions are a universal apparatus and can be applied in computer geometric modeling to create various industrial products.

The article also identifies areas for further research.

Keywords: geometric modeling, development, integration principle, structural and parametric shaping technical objects.

ЗМІСТ

№ п.п	ПБ, назва статті	Стр.
1.	<i>Архіпов О.В., Масляев К.В.</i> Моделювання роботи підвіски легкового автомобіля у програмі AUTODESK INVENTOR...	3
2.	<i>Борисенко В.Д., Устенко І.В., Устенко А.С.</i> Застосування натуральної параметризації до апроксимації дискретно поданої кривої.....	11
3.	<i>Ботвіновська С.І.</i> Аналіз можливостей використання геометричних перетворень при моделюванні дискретних каркасів поверхонь.....	19
4.	<i>Воронцов О.В.</i> Дискретне моделювання геометричних образів суперпозиціями точкових множин трансцендентних функцій.....	30
5.	<i>Гавриленко Е.А., Холодняк Ю.В., Пахаренко В.О., Подкоритов А.М.</i> Моделирование элементов каркаса поверхностей, заданных массивом точек.....	37
6.	<i>Гумен О.М., Лебедева О.О.</i> Моделювання зміни температурного градієнта в залежності від ступеня чорноти поверхні в модулі.....	42
7.	<i>Запольський Л.Л., Адашевська І.Ю.</i> Формування багатоланкової конструкції у невагомості під впливом імпульсів на кінцеві точки її ланок.....	48
8.	<i>Іванов Є.М., Омельченко В.В., Гнатюк А.А.</i> Удосконалення побудови креслеників циліндричних зубчастих передач в пакеті AUTODESK INVENTOR.....	55
9.	<i>Ісаєнко Д.В.</i> Розробка алгоритму обробки даних з технічного регулювання в будівництві в умовах невизначеності.....	61
10.	<i>Ковалёв С.Н., Мостовенко Ал-др В.</i> Інтерполяція точок на площини с учётом коэффициентов влияния заданных точек.....	69
11.	<i>Колот О.Л., Бадаєв Ю.І.</i> Геометричне моделювання складних об'єктів на основі політочкових тривимірних перетворень трикутників.....	76
12.	<i>Кресан Т.А., Пилипака С.Ф., Кременець Я.С.</i> Нерухомий і рухомий аксоїди супровідного тригранника Френе плоскої напрямної кривої.....	83
13.	<i>Куценко Л.М., Запольський Л.Л.</i> Моделювання розкриття у невагомості каркасу параболічної антени за допомогою чотириланкової стержневої конструкції	92

14. *Лисенко К.Ю., Верещага В.М., Найдши А.В.* БН-інтерполяція чотирьох точок у площині..... 100
15. *Микитась М.В., Єременко Б.М., Чуприна Х.М.* Концептуальний підхід до формування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів із застосуванням ВІМ-технологій..... 106
16. *Найдши А.В., Балюба І.Г., Верещага В.М., Спирінцев Д.В.* Науково-методологічні основи варіативного дискретного геометричного моделювання..... 114
17. *Пилипака С.Ф., Кременець Т.С., Несвідоміна О.В.* Конформне відображення растрових написів на плоскі криволінійні області..... 124
18. *Пилипака С.Ф., Муквич М.М.* Геометричне моделювання поверхні підгортача для міжрядного обробітку ґрунту на основі мінімальної поверхні..... 131
19. *Плоский В.О., Скочко В.І.* Моделювання дискретних образів просторових кривих, заданих перетином двох поверхонь..... 138
20. *Подкоритов А.М., Ісмаїлова Н.П., Трушков Г.В.* Моделювання спряжених евольвентних поверхонь, що виключають інтерференцію..... 145
21. *Рагулін В.М.* Комп'ютерне моделювання при аналізі механізму підвіски тягової рами автогрейдерів..... 154
22. *Соболь О.М., Кравців С.Я.* Способи оптимального покриття опуклими багатокутниками заданої множини з дискретними елементами..... 162
23. *Сухарькова О.І.* Геометричне моделювання дії требушета з вертикальним переміщенням противаги..... 172
24. *Усенко В.Г., Погорілий Д.Ф., Усенко І.С.* Особливості структури багатовимірного геометричного об'єкта із компонентами нижчої вимірності..... 178
25. *Холковський Ю.Р.* Геометричне моделювання локального забруднення прилеглих територій автотранспортних магістралей із використанням дискретно-інтерполяційного методу..... 185
26. *Яблонський П.М.* Деякі питання узагальнення засобів геометричного моделювання для проектування технічних об'єктів..... 192

Наукове фахове видання

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ

Збірник наукових праць

Випуск 13

Матеріали подано мовою оригіналу.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, власних імен та інших відомостей.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: Серія
КВ № 21030-10830Р від 29.09.2014 р.

Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (наказ Міністерства освіти і науки України № 241 від
09.03.2016)

Підписано до друку 11.12.2018 р. Формат 60x84 1/16
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman Суг.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 11.68.
Наклад 100 прим. Зам. № 2730

Видавець

Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького

Адреса: 72312, м. Мелітополь, вул. Гетьманська, 20
Тел. (0619) 44 04 64

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виробників і розповсюджувачів
видавничої продукції від 16.05.2012 р. серія ДК № 4324

Надруковано ФО-П Однорог Т.В.

72313, м. Мелітополь, вул. Героїв Сталінграду, 3а
Тел. (067) 61 20 700

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виробників і розповсюджувачів
видавничої продукції від 29.01.2013 р. серія ДК № 4477