



Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені  
Ігоря Сікорського»

Фізико-математичний факультет  
(Кафедра нарисної геометрії, інженерної та  
комп'ютерної графіки)

Українська асоціація з прикладної геометрії  
Академія наук вищої освіти України  
Universitas Melitensis  
University of Georgia



## **ЗБІРНИК ДОПОВІДЕЙ**

# **ХІІ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ОБ'ЄКТИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ»**

м. Київ, Україна  
12 червня 2024

DOI:  
10.20535/ngikg2024.XIII

**Відповідальний за випуск** – д-р. техн. наук, проф., Ванін В.В.,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Співорганізатори конференції:**  
Українська асоціація з прикладної геометрії,  
Академія наук вищої освіти України  
Universitas Melitensis  
University of Georgia

Збірник доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності» – Випуск 13. – 154 с. з іл.

В авторській редакції

Укладач: канд.техн.наук, доцент Колосова О.П.

Адреса редколегії: 03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37, ФМФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського  
Тел. (044) 204-94-46. E-mail: geometry@kpi.ua, conferencengkg@gmail.com

© *Автори доповідей, 2024*

© КПІ імені Ігоря Сікорського

## Алфавітний покажчик

Адоньев Є.О.....	46	Надкернична Т. М.....	122
Амінов Ю.Р.....	122	Надкернична Т.М.....	127
Банний Т.А.....	58	Несвідомін А.В.....	44
Баскова Г.В.....	35, 115	Овсієнко Л.Г.....	122, 127, 132
Бідніченко О.Г.....	41	Ориняк І.В.....	85
Біленький М.О.....	35	Пилипака С.Ф.....	30
Верещага В.М.....	46	Поліванов О. Г.....	8
Верещага І.В.....	17, 46	Поляк Ю.Ю.....	53
Вірченко Г.А.....	4, 127	Пугачов Є. В.....	71
Волков А.В.....	58	Романенко А. І.....	122
Волоха М.П.....	4	Сайко В.С.....	115
Воробйов О. М.....	4	Спірінцев Д.В.....	21
Герашенко А.Ю.....	21	Стаднійчук Д.М.....	58
Гончар Т.О.....	17	Сухарькова, О. І.....	8
Дорошенко Ю.О.....	145	Терещук М.О.....	67
Залевський С.В.....	92	Хропост В.І.....	30
Зданевич В. А.....	71	Шаблій М.Г.....	127
Калиновський А. Я.,.....	8	Шейн В.В.....	92
Колган А.В.....	100	Шликов С.Ю.....	21
Колосова О.П.....	35	Яблонський П.М.....	4
Кольцов Д.Р.....	85	Danyliuk Artem.....	25
Котляр Д.В.....	137	Hanna Shepel.....	81, 105
Кресан Т.А.....	30	Hnitska Halyna.....	25
Кривенко О.В.....	17	Hnitska Tetiana.....	25
Кундрат Т. М.....	71	Hrubyh M.V.....	112
Куценко Л. М.....	8	Lazarchuk M.V.....	62
Лазарчук-Воробйова Ю.В.....	4	Loginov P.I.....	62
Лебедева О.О.....	127	Monchenko Taras.....	105
Лебедева О.О.....	122	Oksana Budnyk.....	78
Лисенко К.Ю.....	17	Oleksii Vorobiov.....	78
Літніцький С. І.....	71	Olga Golova.....	78, 81
Мазурик Р.В.....	85	Pavlo Mamontov.....	81, 112
Мартинов В.Л.....	53, 58	Petro Yablonskyi.....	78
Мартинюк О.Л.....	53	Savchuk Valentyna,.....	105
Мерещенко Д.Д.....	132	Sergey Zalevsky.....	78
Мирошніченко Д. О.....	132	Volokha M.P.....	62
Міхлевська Н.В.....	115		

## КОМП'ЮТЕРНЕ ВАРІАНТНЕ ФОРМОУТВОРЕННЯ СТРІЛЧАСТИХ ЛАП

Вірченко Г.А., д.т.н., професор,  
krivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538

Волоха М.П., д.т.н., с.н.с.,  
volmp@i.ua, ORCID: 0000-0002-0112-7324

Яблонський П.М., к.т.н., доцент,  
ypr@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1971-5140

Воробйов О. М., ст. викл.,  
vorobyov.kpi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5314-1075

Лазарчук-Воробйова Ю.В., ст. викл.,  
jullazarchuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7866-3299

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

***Анотація** – на засадах теорії структурно-параметричного геометричного моделювання, викладеного в попередніх публікаціях авторів належного математичного апарату наведено приклади комп'ютерного формоутворення таких ґрунтообробних знарядь, як стрілчасті лапи. Дану працю виконано на кафедрі нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках науково-технічної теми «Автоматизоване варіантне геометричне моделювання технічних об'єктів» з державним номером реєстрації 0114U002701.*

*У проаналізованій літературі акцентовано актуальність здійснення наукових розвідок щодо подальшого покращення якості продукції сільськогосподарського машинобудування. Зазначено, що одну з провідних ролей в окресленому питанні відіграють комп'ютерні засоби формоутворення. Тому вдосконалення останніх є важливою науково-прикладною проблемою. На основі запропонованого принципу інтеграції, який розвиває методологію структурно-параметричного геометричного моделювання, напрацьовано ряд нових способів, зокрема: інтегрованих класифікацій для автоматизованого формоутворення певних груп промислової продукції; зменшення області проектних розв'язків; узагальненого контуру та ряд інших. На їхній підставі розроблено відповідні прийоми, алгоритми, моделі. Ця публікація ілюструє описаний підхід до комп'ютерного варіантного геометричного моделювання на конкретних прикладах стрілчастих лап.*



**Ключові слова** – автоматизоване проектування, варіантне геометричне моделювання, ґрунтообробні знаряддя, стрілочасті лапи, структурно-параметричне формоутворення.

**Постановка проблеми.** На нинішньому складному етапі розвитку України насущним завданням із точки зору сталого розвитку економіки є подальше вдосконалення сільськогосподарської техніки, в тому числі ґрунтообробних знарядь. Для забезпечення високої ефективності вказаних об'єктів доволі важливе визначення оптимальної їхньої форми та розмірів. Тому проведення відповідних досліджень для вирішення зазначеної проблеми становить актуальну науково-прикладну задачу.

**Аналіз останніх досліджень.** У праці [1] викладено базові положення теорії структурно-параметричного формоутворення. Виданням [2] окреслено деякі перспективні напрямки сучасного комп'ютерного геометричного моделювання промислової продукції. При цьому в дослідженні [3] акцентовано насущність питань математичного узагальнення та інтеграції використовуваних підходів. Публікацією [4] виконано геометричну систематизацію сучасних ґрунтообробних знарядь та належних засобів формоутворення. У статті [5] зазначається ефективність застосування модульного принципу для автоматизованого проектування технічних об'єктів, який може бути також поширений для геометричного моделювання. У доповіді [6] подано інтегроване комплексне формоутворення ґрунтообробних дисків. У дослідженні [7] розглянуто варіантну комп'ютерну побудову робочих поверхонь стрілочастих лап. Працею [8] аналізується вплив їхніх геометричних параметрів на енергетичні показники комбінованого культиватора-сошника. Отже, наведені літературні джерела засвідчують актуальність подальшого вдосконалення комп'ютерного формоутворення різноманітних ґрунтообробних знарядь.

**Ціль публікації** полягає в описі запропонованої інтегрованої методики комп'ютерного геометричного моделювання стрілочастих лап, яка поєднує етап варіантного опрацювання їхніх робочих поверхонь і відповідну початкову стадію автоматизованого конструювання даних сільськогосподарських знарядь.

**Основна частина.** У виданні [7] наведено математичний апарат для гнучкого автоматизованого формоутворення робочих поверхонь стрілочастих лап. Це стосується схем побудов, необхідних геометричних параметрів, їхніх проміжків змінювання і т. д. Було зауважено, що для покращення техніко-економічних показників зазначенні знаряддя застосовуються як із прямолінійними, так і криволінійними обводами.

Після аналізу різновидів робочих поверхонь та дефініції найбільш перспективних їхніх зразків переходять до автоматизованого варіантного конструювання стрілочастих лап (СЛ). На засадах структурно-параметричного формоутворення визначається їхній склад

$$СЛ = (сл_i)_1^{N_{СЛ}} = (сл_i)_1^3, \quad (1)$$

де  $sl_1=CT$  – стояк,  $sl_2=PP$  – робоча поверхня,  $sl_3=KP$  – кріплення.

Кожен з елементів (1) має певну множину своїх проектних варіантів

$$sl_i = (sl_{ij})_1^{N_{sl_i}}, \quad (2)$$

де  $N_{sl_i}$  – число різновидів  $sl_i$ ,

та векторів параметрів

$$P_{ij} = (p_{ijk})_1^{N_{p_{ij}}}, \quad (3)$$

де  $N_{p_{ij}}$  – їхня кількість для  $j$ -го варіанта  $i$ -го елемента.

Використання множин (1) ... (3) ілюструє рис. 1.

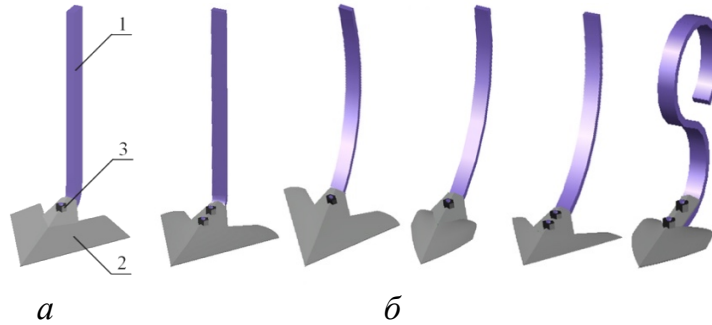


Рис. 1. Стрілчаста лапа:

*a* – склад елементів (1 – стояк; 2 – робоча поверхня; 3 – кріплення);

*б* – конструкційні різновиди

Перше зображення (рис. 1, *a*) показує склад проектних елементів. Кортеж стояків має вигляд

$$CT = (ct_i)_1^{N_{CT}}. \quad (4)$$

Уявлення про застосовувані конструкції (4) дає рис. 1, *б*.

Аналогічний підхід вжито для робочих поверхонь

$$PP = (pn_i)_1^{N_{PP}} \quad (5)$$

і кріплення

$$KP = (kp_i)_1^{N_{KP}}. \quad (6)$$

Структурний зв'язок між варіантами  $n$ -го та  $m$ -го елемента стрілчастої лапи  $SL$  моделюють матриці суміжності

$$C_{nm} = \|c_{nr} c_{ms}\|, \quad (7)$$

де  $r, s$  – натуральні числа;  $r \in (1 \dots N_n), s \in (1 \dots N_m)$ ;  $N_n, N_m$  – число варіантів  $n$ -го й  $m$ -го елемента;  $c_{nr} c_{ms} \neq 0$  при взаємодії різновидів  $o_{nr}$  та  $o_{ms}$ , інакше  $c_{nr} c_{ms} = 0$ .

Вирази (1) ... (7) дозволяють створити, див. публікацію [1], структурно-параметричну модель, що забезпечує комплексну оптимізацію проектованої стрілчастої лапи. Прикладом використання математичних описів суміжних дисциплін, у даному випадку ґрунтообробної механіки, слугує стаття [8].

**Висновки.** У даній публікації подано опис запропонованої інтегрованої методики комп'ютерного варіантного геометричного моделювання стрілчастих лап, яка гнучко поєднує етап опрацювання їхніх робочих поверхонь і початкову стадію автоматизованого конструювання даних сільськогосподарських знарядь. Наведений підхід спрямований на підвищення продуктивності автоматизованого проєктування на засадах теорії структурно-параметричного формоутворення. Окреслена тематика потребує проведення подальших відповідних наукових досліджень.

#### ***Бібліографічний список***

1. Ванін В.В., Вірченко Г.А. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання. *Геометричне та комп'ютерне моделювання*, 2009. Вип. 23. С. 42–48.
2. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Яблонський П.М., Незенко А.Й. Деякі актуальні задачі сучасного комп'ютерного геометричного моделювання технічних об'єктів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*, 2020. Вип. 97. С. 16–22.
3. Яблонський П.М. Деякі питання узагальнення засобів геометричного моделювання для проєктування технічних об'єктів. *Сучасні проблеми моделювання*, 2018. Вип. 13. С. 192–198.
4. Яблонський П.М., Вірченко Г.А., Волоха М.П., Воробйов О.М., Лазарчук-Воробйова Ю.В. До питання аналізу геометричних моделей сучасних ґрунтообробних знарядь. *Сучасні проблеми моделювання*, 2022. Вип. 24. С. 182–189.
5. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Яблонський П.М., Лазарчук-Воробйова Ю.В., Воробйов О.М. Модульно-геометричний підхід в автоматизованому проєктуванні виробів машинобудування. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*, 2023. Вип. 105. С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2023.105.16-22>
6. Ванін В.В., Яблонський П.М., Воробйов О.М. До питання інтегрованого комплексного геометричного моделювання ґрунтообробних знарядь. *Збірник доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності»*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. С. 4–7.
7. Вірченко Г.А., Волоха М.П., Яблонський П.М., Воробйов О.М., Голова О.О., Лазарчук-Воробйова Ю.В. Геометричне моделювання стрілчастих лап засобами структурно-параметричного формоутворення. *Збірник тез доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Обухівські читання»*. Київ: НУБіП України, 2024. С. 43–46.
8. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Волоха М.П., Яблонський П.М., Воробйов О.М. Вплив геометричних параметрів стрілчастої лапи на енергетичні показники комбінованого культиватора-сошника. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*, 2023. Вип. 104. С. 30–37. DOI: <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2023.104.30-37>

## ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОСПРЯЖЕНИХ ПРОФІЛІВ ОДНОГВИНТОВИХ НАСОСІВ МУАНО

Куценко Л. М., д.т.н., професор

leokuts@i.ua, ORCID: 0000-0003-1554-8848

Калиновський А. Я., к.т.н., доцент, нач. каф.

kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1021-5799

Поліванов О. Г., к.т.н, викл. каф.

nuczu.iart.polivanov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6396-1680

Сухарькова О. І. викл. каф.

lena\_sukharkova@i.ua, ORCID: 0000-0003-1033-4728

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна

***Анотація** - Наведено геометричні моделі взаємоспряжених профілів одногвинтових насосів Муано (progressing cavity pumps), орієнтованих на використання в промисловості. Особливість таких насосів полягає у тому, що рух ротора відносно корпусу здійснюється за допомогою планетарного механізму (або йому подібного). Запропоновано спосіб розрахунку геометричних форм профілів поверхонь, що обмежують ротор та корпус моделей одногвинтових насосів. При цьому, в процесі експлуатації має здійснюватися поєднання робочих поверхонь ротора і корпусу за умови існування замкнених камер (капсул). Завдяки цим камерам насоси Муано здатні перекачувати водяні суміші з твердими домішками.*

***Ключові слова:** геометричне моделювання, одногвинтовий насос Муано, епігіпотрохіда, взаємоспряжені криві, обвідні епігіпотрохід.*

**Постановка проблеми.** Фахівцям з прикладної геометрії особливо до вподоби задачі, подібні моделювання конструкції насоса Муано. Дивує простота його конструкції, а з іншого боку – вражає складність її моделювання. Дійсно, до елементів насосів такого типу входять лише дві гвинтові деталі - ротор і корпус. Крім того, при обкатці в процесі поєднання робочих поверхонь цих деталей повинні утворюватись замкнуті камери (капсули). Завдяки цим камерам насоси Муано здатні перекачувати в'язкі рідини і водяні суміші, які містять механічні домішки. Ця спроможність дозволяє використовувати зазначені насоси аварійно-рятувальними службами при ліквідації наслідків повені. Цьому також сприяє внутрішнє оформлення корпусу, покритого еластичним матеріалом. Унікальність насосів Муано виявляється і у складності їх розрахунків. Мова йде про складність опису геометричних форм їх робочих поверхонь. Взагалі, причина складності досліджень роторно-планетарних машин полягає у тому, що ротор здійснює обертовий рух відносно корпусу за допомогою планетарного механізму (або йому подібного за результатами дії). Тоді

профілі нормальних перетинів корпуса і ротора матимуть вигляд спеціальних кривих - трохоїд та їх обвідних.

Для забезпечення переваг насоса Муано необхідно розробити адекватну математичну модель дії одногвинтових машин. При цьому головна проблема полягає у визначенні геометричних форм поверхонь ротора і корпуса, здатних здійснювати взаємне переміщення із забезпеченням просторового руху замкнутих об'ємів (капсул або шлюзів) між поверхнями ротора і корпуса.

В основу способу розрахунку робочих поверхонь роторів і корпусів одногвинтових насосів Муано було покладено геометричні моделі кривих, одержані у їх нормальних перетинах. Для забезпечення прийняттого взаємного переміщення поверхонь ротора і корпуса слід врахувати те, що зазначені поверхні мають бути взаємоспряженими. Для пояснення слід розглянути контури нормальних перетинів ротора і корпуса як взаємоспряжених кривих в системі координат площини, що перпендикулярна (нормальна) осі насоса. Наочно це виглядає так, що один з контурів має вигляд обвідної параметричної сім'ї, одержаної при русі другого контуру за законом обкатки.

Для реалізації зазначеної ідеї необхідно наряду з використанням означень епітрохоїди та гіпотрохоїди ввести поняття епігіпотрохоїди як кривої в нормальному перетині поверхонь ротора і корпуса. Для цього необхідно розробити спосіб опису епігіпотрохоїдних кривих як періодично розташованих профілів епітрохоїд і гіпотрохоїд. Також необхідно запропонувати формули, які дозволяють точно описати „узагальнені” обвідні сімей епітрохоїд і гіпотрохоїд. В результаті, на основі знайдених аналітичних описів епігіпотрохоїд з'явиться можливість опису циліндричної гвинтової поверхні з епігіпотрохоїдним нормальним перерізом. І, до того ж, має з'явитися можливість обчислення інтегральних характеристик епігіпотрохоїдних контурів ротора і корпуса з додатковим визначенням контактних ліній робочих органів насосів Муано.

Наведене вище вказує на актуальність розробки способу розрахунку робочих поверхонь роторів і корпусів гвинтових насосів Муано на основі геометричного моделювання взаємоспряжених кривих у їх нормальних перетинах.

**Аналіз останніх досліджень.** В роботі [1] досліджується геометрія статора насоса Муано. Проведено аналіз для випадку трипелюсткового гвинтового насоса, у якому шляхом визначення форми ротора може бути сформована модель статора. Два об'єкти, ротор і статор, перебувають у взаємному русі, в результаті обертання без ковзання (кочення) двох кругових центроїдів. Математичні завдання для насосів Муано сформульовано в роботі [2]. Докладно описано кінематику руху компонентів насоса, які складаються із двох частин, що обертаються відносно одна одної. Форми в осьовому перерізі можуть бути складені зі шматочків гіпоциклоїд, з'єднаних з епіциклоїдами. Зазначено, що

альтернативою цьому може бути крива з постійною відстанню до гіпоциклоїди. В роботах [3, 4] наведено детальний математичний погляд на геометрію насоса Муано. Сформульовано ряд теорем, базуючись на результатах яких можна наближено описати профілі ротора і корпусу роторно-планетарної машини залежно від відношення радіусів ділільних кіл. При цьому в основу зазначеного опису покладено поняття опорної функції (support function). Метод є наближеним (профілі описуються не точно), тому застосування методу обмежене; його впровадження доцільне як перше наближення для роторно-планетарних машин, де корпус виготовлений з еластичного матеріалу – що має місце для насосів Муано. Крім того, метод не дозволяє унаочнити вибір шляху модифікації рівнянь профілів ротора і корпусу залежно від оновленого відношення радіусів ділільних кіл. Опис профілів роторно-планетарних машин за допомогою опорних функцій має певні вади. А саме, у процесі складання рівнянь профілів ротора і корпусу з «опором на математику» сталося приховування геометричної сутності послідовних етапів новоутворення форм. На відміну від зазначеного, доцільним буде процес складання рівнянь профілів насосів Муано з «опором на геометрію».

Саме такий підхід наведено в роботах [5, 6] і рекомендується для подальших досліджень. Сутність базується на спостереженні, що результуючі профілі ротора і корпусу насосів Муано складаються з циклічно розташованих фрагментів епітрохоїд і гіпотрохоїд залежно від кута обкатки. Тому постає задача знайти формули, за допомогою яких вдалось би формально «розподілити» на колі фрагменти епітрохоїд і гіпотрохоїд залежно від кута обкатки.

Аналіз літературних джерел показує, що звичайне вдосконалення одногвинтових насосів здійснюється переважно за рахунок підвищення якості матеріалів робочих поверхонь та вдосконалення технологій їх виготовлення. Поліпшення одногвинтових насосів можна здійснити і за рахунок пошуку адекватних геометричних форм робочих поверхонь ротора і корпусу. При цьому ще не дослідженим виявилось профілювання корпусу і ротора у вигляді комбінації періодично розташованих фрагментів гіпотрохоїд та епітрохоїд.

Тому актуальною темою є розробка способу розрахунку робочих поверхонь роторів і корпусів гвинтових насосів Муано на основі геометричного моделювання взаємоспряжених кривих у їх нормальних перетинах.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є розробка способу розрахунку профілів робочих поверхонь роторів і корпусів гвинтових насосів Муано на основі геометричного моделювання взаємоспряжених кривих у їх нормальних перетинах.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- з використанням епітрохоїди та гіпотрохоїди ввести поняття епігіпотрохоїди як кривої в нормальному перетині поверхонь ротора і корпусу;

- знайти аналітичний опис епігіпотрохоїдних кривих та довести їх взаємоспряженість.

**Основна частина.** Оберемо в декартовій системі координат Оху нерухоме коло радіуса  $R$  з центром в початку координат, по якому без проковзування котиться коло радіуса  $r$ . Спочатку розглянемо традиційний спосіб побудови трохоїдних кривих – гіпотрохоїди та епітрохоїди.

Нехай коло меншого радіуса  $r$  котиться всередині більшого кола радіуса  $R$ . Тоді гіпотрохоїду накреслить точка, яка зафіксована на рухомому колі. Рівняння гіпотрохоїди має вигляд

$$\begin{aligned} x_G &= (R - r) \cos t + r \cos \left( \frac{R - r}{r} t \right); \\ y_G &= (R - r) \sin t - r \sin \left( \frac{R - r}{r} t \right). \end{aligned} \quad (1)$$

Тут і далі  $R$  і  $r$  радіуси більшого і меншого кіл,  $t$  - параметр.

Якщо коло меншого радіуса  $r$  котиться зовні більшого кола радіуса  $R$ , то епітрохоїду накреслить точка, зафіксована на рухомому колі. При цьому епітрохоїда має рівняння

$$\begin{aligned} x_E &= (R + r) \cos t - r \cos \left( \frac{R + r}{r} t \right); \\ y_E &= (R + r) \sin t - r \sin \left( \frac{R + r}{r} t \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Зазначимо, що рівняння (1) і (2) відрізняються лише знаком при  $r$ , що необхідно враховувати при побудовах. В цих прикладах побудови трохоїд центр рухомого кола радіуса  $r$  має координати:

$$x_C = (R - r) \cos t; \quad y_C = (R - r) \sin t. \quad (3)$$

А рухоме коло будується за законом обкатки

$$x = (R - r) \cos t + r \cos \varphi; \quad y = (R - r) \sin t + r \sin \varphi. \quad (4)$$

Тут  $\varphi$  - параметр визначення положення точки на рухомому колі.

Далі реалізуємо зв'язок між гіпотрохоїдою та епітрохоїдою за допомогою нового введеного поняття *епігіпотрохоїди*. Для цього вважатимемо, що формоутворення профілів ротора і корпусу здійснюється в результаті обкатки двох кіл, послідовно, за епітрохоїдним та гіпотрохоїдним законами. Одержану криву пропонується назвати епігіпотрохоїдою. Тобто будемо розглядати комплексну криву, яка по черзі складена з кусків епітрохоїд чи гіпотрохоїд. Для зручності використання такого роду графічної інформації запропоновано спосіб опису епігіпотрохоїд у параметричному вигляді  $x=x_{EG}$ ,  $y=y_{EG}$  за умови, що вирази для функцій  $x_{EG}$  і  $y_{EG}$  представлені у вигляді єдиного аналітичного виразу.

А також, що вирази для функцій  $x_{EG}$  і  $y_{EG}$  заключають у себе одночасно інформацію про гіпотрохоїду та епітрохоїду (залежно від кута обкатки).

Далі вважатимемо, що величина радіуса меншого кола повинна бути  $R-1$  відносно значення радіуса  $R$  більшого кола. Зазначимо, що одиниця тут визначає умовну «одиницю» виміру. Тому не дивно, що далі також будуть розглядатися кола радіуса 0.5.

Далі наведемо спосіб конструювання аналітичних виразів із застосуванням операції «взяття модуля числа». Тобто ідея аналітичного опису епігіпотрохоїд базується на співвідношенні

$$F = \frac{1}{2} \left( f_1 + f_2 + (f_1 - f_2) \frac{x - a}{|x - a|} \right). \quad (5)$$

З використанням формули (5) зручно скласти алгоритм розподілу величин функції  $F(x)$  за принципом «до» і «після» набуття значення  $a$  її аргументу  $x$ . Тобто при  $x < a$  маємо  $F(x) = f_1$ , а при  $x > a$  одержимо  $F(x) = f_2$ .

**Твердження.** Параметричні рівняння епігіпотрохоїди залежно від значення радіуса  $R$  мають вигляд:

$$x_{EG} = \frac{1}{2} \left( x_E + x_G + \sum_{k=1}^{2R-1} (-1)^{(k-1)} (x_G - x_E) \frac{\left| t - \frac{k\pi}{R} \right|}{t - \frac{k\pi}{R}} \right), \quad (6)$$

$$y_{EG} = \frac{1}{2} \left( y_E + y_G + \sum_{k=1}^{2R-1} (-1)^{(k-1)} (y_G - y_E) \frac{\left| t - \frac{k\pi}{R} \right|}{t - \frac{k\pi}{R}} \right).$$

На рис. 1 зображено епігіпотрохоїдні криві для різних значень радіуса  $R$ . Легко помітити, що кожна з кривих складається з циклічно розташованих кусків епітрохоїд і гіпотрохоїд.

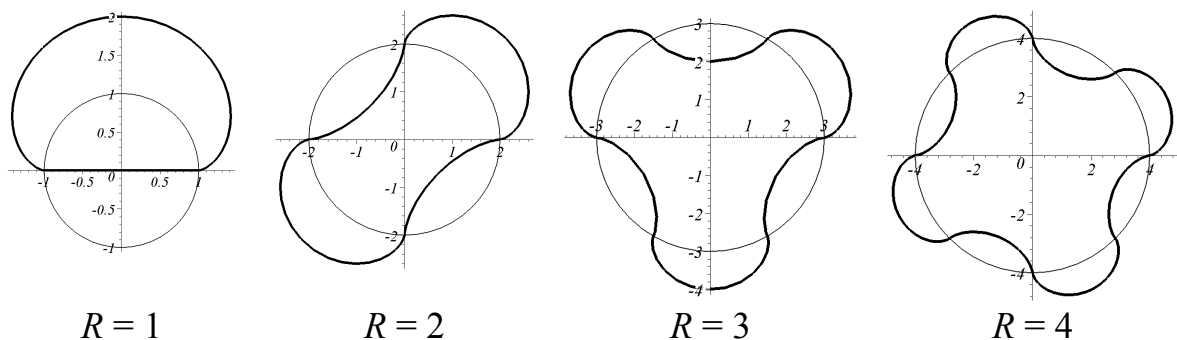


Рис. 1. Ряд епігіпотрохоїдних кривих для кола радіуса  $R$



За схемою обкатки роторно-планетарного механізму в глобальній системі декартових координат  $Oxy$  вважатимемо, що коло радіуса  $R$  є нерухомим, а коло радіуса  $R-1$  котиться без ковзання по його внутрішній частині. Контур ротора жорстко пов'язаний із колом радіуса  $R-1$  і описаний в рухомій системі координат  $OXY$  рівнянням  $X = X_{EG}(t)$ ;  $Y = Y_{EG}(t)$ .

Реалізувати обкатку контурів ротора і корпусу за схемою планетарного механізму будемо за допомогою формул (7)

$$x_P = x_C + X_{EG}(t) \cos \theta + Y_{EG}(t) \sin \theta; \quad (7)$$

$$y_P = y_C - X_{EG}(t) \sin \theta + Y_{EG}(t) \cos \theta,$$

де  $x_C = \cos(R-1)\theta$  і  $y_C = \sin(R-1)\theta$  - координати центра рухомого кола.

**Пропонується таке правило формування епігіпотрохоїдних кривих** при профілюванні роторних машин із більшим радіусом дільного кола  $R$ :

- в якості профілю ротора слід обрати епігіпотрохоїду, побудовану за допомогою кіл радіусів  $R-1$  і  $0.5$  і описану в рухомій системі координат  $OXY$ ;
- в якості профілю корпусу слід обрати епігіпотрохоїду, побудовану за допомогою кіл радіусів  $R$  і  $0.5$ , і описану в нерухомих координатах  $Oxy$ ;
- за допомогою формул зв'язку між координатами (7) необхідно реалізувати sprzęження двох профілів у процесі обкатки.

Наведені результати покладено в основу програми для реалізації алгоритму комп'ютерної обкатки. В результаті її виконання одержано кадри анімації руху ротора. На рис. 2– 4 зображено кадри комп'ютерної анімації за різних значень  $R$  з епігіпотрохоїдами в якості робочих контурів. Це на графічному рівні ілюструє (і доводить) факт взаємоспруженості зазначених епігіпотрохоїдних кривих.

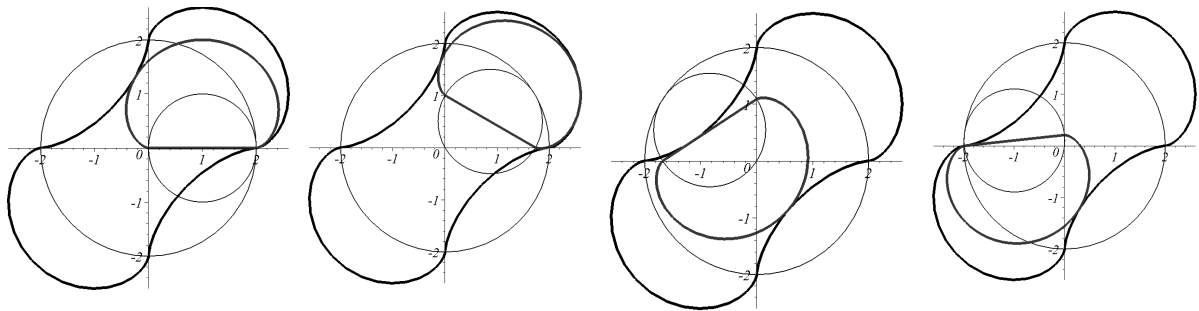


Рис. 2. Фази руху епігіпотрохоїдного механізму для радіуса  $R = 2$

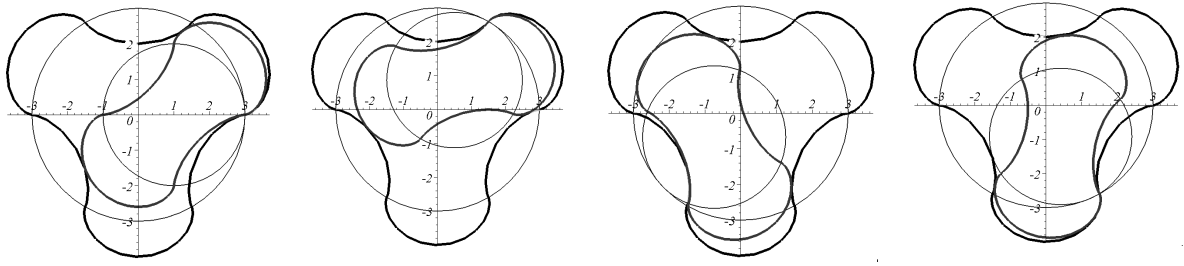


Рис. 3. Фази руху епігіпотрохідного механізму для радіуса  $R = 3$

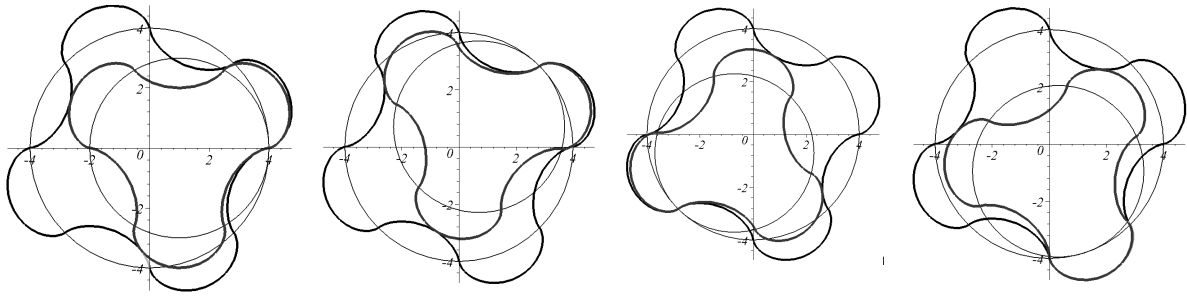


Рис. 4. Фази руху епігіпотрохідного механізму для радіуса  $R = 4$

Нехай для нормальних перетинів згідно з виразами (6) і (7), маємо, відповідно, описи корпусу  $x = x_{EG}(t)$ ;  $y = y_{EG}(t)$  та ротора  $x = X_{EG}(t)$ ;  $y = Y_{EG}(t)$ . Тоді рівнянням циліндричної гвинтової поверхні корпусу буде

$$\begin{aligned} x &= x_{EG}(t) \cos kC + y_{EG}(t) \sin kC; \\ y &= -x_{EG}(t) \sin kC + y_{EG}(t) \cos kC; \\ z &= C, \end{aligned} \quad (8)$$

а рівнянням циліндричної гвинтової поверхні ротора буде

$$\begin{aligned} x &= X_{EG}(t) \cos kC + Y_{EG}(t) \sin kC; \\ y &= -X_{EG}(t) \sin kC + Y_{EG}(t) \cos kC; \\ z &= C, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $k$  - коефіцієнт скруту поверхні;  $k = \frac{h}{2\pi}$ , тут  $h$  - крок гвинта.

Складено малюнок- програму уявлення процесу обертання поверхні ротора всередині поверхні корпусу за законом роторно-планетарного руху. На рис. 5 при різних значеннях коефіцієнту скруту поверхні зображено кадри анімації фаз руху епігіпотрохідного механізму для ділильного радіуса великого кола  $R = 3$ .

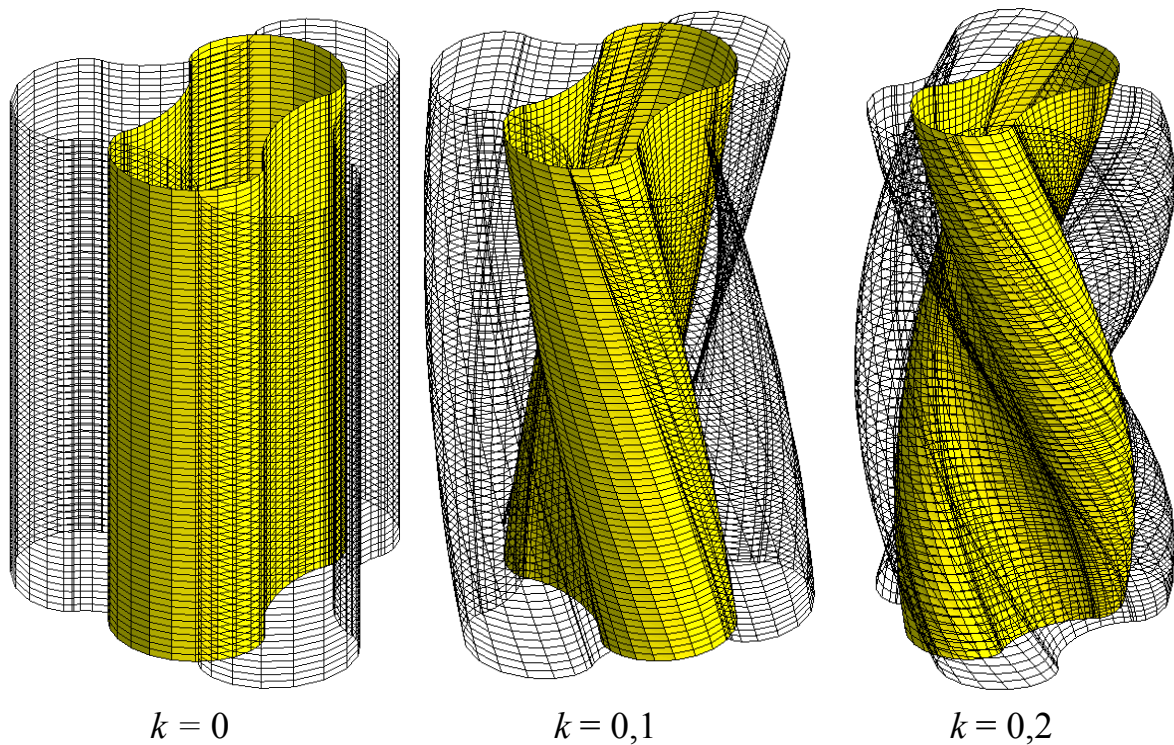


Рис. 5. Циліндричні гвинтові поверхні з епігіпотрохідними нормальними перетинами

Подальші плани. Необхідно визначити геометричні форми контактних областей робочих поверхонь насоса Муано. Тобто проілюструвати феномен епігіпотрохідних пар, згідно з яким в процесі поєднання робочих поверхонь деталей має забезпечуватись існування замкнених камер (капсул). Саме завдяки цим камерам насоси Муано здатні перекачувати рідини з твердими домішками.

### **Висновки.**

1. Описано криву епігіпотрохоїду, яка по черзі складена з кусків епітрохоїд чи гіпотрохоїд залежно від кута обкатки. Рівняння епігіпотрохоїди можна записати у параметричному вигляді  $x=x_{EG}$ ,  $y=y_{EG}$  за умови, що вирази для функцій  $x_{EG}$  і  $y_{EG}$  представлені у вигляді єдиного аналітичного виразу.

2. Знайдено аналітичний опис епігіпотрохоїдних кривих та доведено їх взаємоспряженість. Запропоновано *правило застосування епігіпотрохоїдних кривих* при профілюванні роторних машин із більшим радіусом кола  $R$ :

- в якості профілю ротора слід обрати епігіпотрохоїду, побудовану за допомогою кіл радіусів  $R-1$  і  $0.5$  і описану в рухомій системі координат  $OXY$ ;
- в якості профілю корпусу слід обрати епігіпотрохоїду, побудовану за допомогою кіл радіусів  $R$  і  $0.5$ , і описану в нерухомих координатах  $Oxy$ ;
- за допомогою формул зв'язку між координатами (7) реалізувати спряження двох профілів у процесі обкатки.

## Бібліографічний список

1. Baroiu N., Morosanu G.-A., Frumuşanu G., Teodor V. Study of the stator geometry for a Moineau pump. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. January 2021, 12 p.  
URL:[https://www.researchgate.net/publication/348549455\\_Study\\_of\\_the\\_stator\\_geometry\\_for\\_a\\_Moineau\\_pump](https://www.researchgate.net/publication/348549455_Study_of_the_stator_geometry_for_a_Moineau_pump)
2. Donaldson J., Feng Y., Gennip Y.V., Grann H. Mathematical problems for Moineau pumps. Center for analysis, scientific computing and applications, orthopaedic biomechanics, discrete algebra and geometry. 2006. 49 p.  
URL:<https://research.tue.nl/en/publications/mathematical-problems-for-moineau-pumps/fingerprints/>
3. Gravesen J. The geometry of the Moineau pump. *Computer Aided Geometric Design*. December 2008. Vol. 25, no. 9. P. 792-800.  
URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167839608000794?via%3Dihub>
4. Gravesen, J. et al., Mathematical problems for Moineau pumps, 2006, in Final report for the 57th European Study Group with Industry,  
<http://www2.mat.dtu.dk/ESGI/57/report/grundfos.pdf>
5. Лінчевський Є. А. Геометричне моделювання епігіпотрохідних профілів роторно-планетарних машин. Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2010. Вип. 84. С. 259-264.
6. Лінчевський Є. А. Геометричне моделювання епігіпотрохідних профілів одновинтових насосів Муано / Є. А. Лінчевський, Л. М. Куценко, А. Я. Калиновський, В. О. Семків, С. Ю. Назаренко, О. І. Сухарькова // Проблеми надзвичайних ситуацій. НУЦЗУ, - 2022. - № 2(36). - С. 195-218

## ОБЧИСЛЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ТРАДИЦІЙНОЇ ПЕРШОЇ ПОХІДНОЇ СЕГМЕНТУ ТОЧКОВОГО ПОЛІНОМУ ЧЕТВЕРТОГО СТЕПЕНЯ У ПОЧАТКОВІЙ ТОЧЦІ

Лисенко К.Ю., PhD

lyksyushka24@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3047-6352

Верещага І.В., математик, системний програміст

ivereshchaha@gmail.com

Кривенко О.В., аспірант

Гончар Т.О., магістр

taniki.gonchar@gmail.com

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького (Україна, м. Запоріжжя)

Мелітопольська школа прикладної геометрії імені Володимира Найдюша

**Анотація** – обґрунтовується необхідність створення формул для обчислення значень традиційної (Ньютона-Лейбніца) першої похідної у початковій точці  $A_1$  сегменту плоского точкового поліному за значення параметру  $t_1 = 0$ . Надаються у розгорнутому вигляді та у загальній формі точкові поліноми третього степеня. Створено вирази, у розгорнутому вигляді, для обчислення традиційної першої похідної у початковій точці, відповідно, для поліномів 4-го степеня. Наголошується на труднощах створення подібних виразів у загальній формі для точкових поліномів більш високих степенів. Підкреслюється, що наявність розроблених авторами формул знаходження значення традиційної першої похідної зменшує ресурсовитратність знаходження центрів проєктування під час обчислення значень дифпроєкцій для утворення смуги дифпроєкцій. За використання смуги дифпроєкцій утворюється композиційна перша похідна. Пояснюється, що головною особливістю композиційних похідних є те, що усі складові їхніх функціональних базисів являють собою просте відношення трьох точок, тобто є інваріантами паралельного проєктування. А це, у свою чергу, надає значних переваг композиційних похідних над традиційним як у процесі моделювання, так і у процесі аналізу композиційних геометричних об'єктів. Крім того, зменшує ресурсовитратність створюваних програмних продуктів.

**Ключові слова** – точковий поліном, композиційна похідна, традиційна похідна, традиційна похідна, смуга дифпроєкцій, формули значень похідної у початковій точці.

**Постановка проблеми.** Під час утворення смуги дифпроєкцій необхідно обирати центр проєктування для обчислення значень дифпроєкцій у

базисних точках. Якщо центр проектування обирати довільним чином, то за формою графік супровідної ламаної лінії буде подібним до графіка традиційної (Ньютона-Лейбніца) першої похідної, однак їх значення відрізнятимуться одне від одного на якусь константу. Щоб уникнути цього, необхідно здійснити кореляцію значень традиційної похідної і смуги дифпроекцій. Така кореляція здійснюється, коли є будь-яке значення традиційної похідної у одній із базисних точок. На наш погляд, найпростіше обчислити значення традиційної першої похідної у початковій базисній точці вихідного сегменту точкового поліному. Ще більше спрощення обчислень досягається шляхом створення формул для точкових поліномів різних степенів, що виглядає певною актуальною проблемою, яка розв'язується у цій статті.

**Аналіз останніх досліджень.** Композиційна геометрія розробляється і досліджується у Мелітопольській школі прикладної геометрії імені Володимира Найдюша. Розпочиналися дослідження проф. Верещагою В.М. та його учнями у роботах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Наразі, із застосуванням смуги дифпроекцій [8] розробляються і досліджуються методи композиційного диференціювання. Обґрунтування необхідності розробки методів утворення композиційних похідних було надано у роботі [9]. Перші дослідження щодо утворення композиційних похідних надано у роботах [10, 11, 12]. Запропонована стаття є подальшим кроком у розробці теорії композиційних похідних для точкових поліномів. Головною особливістю композиційних похідних є те, що кожна із складових його функціонального базису являє собою просте відношення трьох точок, тобто є інваріантом паралельного проектування.

**Формулювання цілей статті.** Створити формули знаходження значень традиційних перших похідних у початковій точці сегментів точкових поліномів четвертого степеня.

**Основна частина.** Нехай плоска дискретна крива лінія визначається п'ятьма базисними точками  $A_i$ ;  $i = \overline{1,5}$ . Тоді точковий поліном, який їх інтерполює, матиме, у розгорнутому записі, наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
 M(t) = & A_1 \frac{(t_2-t)(t_3-t)(t_4-t)(t_5-t)}{(t_2-t_1)(t_3-t_1)(t_4-t_1)(t_5-t_1)} + \\
 & + A_2 \frac{(t_1-t)(t_3-t)(t_4-t)(t_5-t)}{(t_1-t_2)(t_3-t_2)(t_4-t_2)(t_5-t_2)} + \\
 & + A_3 \frac{(t_1-t)(t_2-t)(t_4-t)(t_5-t)}{(t_1-t_3)(t_2-t_3)(t_4-t_3)(t_5-t_3)} + \\
 & + A_4 \frac{(t_1-t)(t_2-t)(t_3-t)(t_5-t)}{(t_1-t_4)(t_2-t_4)(t_3-t_4)(t_5-t_4)} + \\
 & + A_5 \frac{(t_1-t)(t_2-t)(t_3-t)(t_4-t)}{(t_1-t_5)(t_2-t_5)(t_3-t_5)(t_4-t_5)}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Або у загальному вигляді:  $M(t) = A_1 \cdot p_1(t) + A_2 \cdot p_2(t) + A_3 \cdot p_3(t) + A_4 \cdot p_4(t) + A_5 \cdot p_5(t)$ .

Тоді традиційна перша похідна точкового поліному (5) у початковій точці  $A_1$ , за значення параметру  $t_1 = 0$ , обчислюватиметься із виразу:

$$\begin{aligned}
 M'(t_1) = & A_1 \frac{-t_2 t_3 t_4 - t_2 t_3 t_5 - t_2 t_4 t_5 - t_3 t_4 t_5}{t_2 t_3 t_4 t_5 - t_3 t_4 t_5} + \\
 & + A_2 \frac{t_2^4 + t_2^3(t_3 + t_4 + t_5) + t_2^2(t_3 t_4 + t_3 t_5 + t_4 t_5) - t_2 t_3 t_4 t_5}{t_2^4 + t_2^3(t_3 + t_4 + t_5) + t_2^2(t_3 t_4 + t_3 t_5 + t_4 t_5) - t_2 t_3 t_4 t_5} + \\
 & + A_3 \frac{t_3^4 + t_3^3(t_2 + t_4 + t_5) + t_3^2(t_2 t_4 + t_2 t_5 + t_4 t_5) - t_2 t_3 t_4 t_5}{t_3^4 + t_3^3(t_2 + t_4 + t_5) + t_3^2(t_2 t_4 + t_2 t_5 + t_4 t_5) - t_2 t_3 t_4 t_5} + \\
 & + A_4 \frac{t_4^4 + t_4^3(t_2 + t_3 + t_5) + t_4^2(t_2 t_3 + t_2 t_5 + t_3 t_5) - t_2 t_3 t_4 t_5}{t_4^4 + t_4^3(t_2 + t_3 + t_5) + t_4^2(t_2 t_3 + t_2 t_5 + t_3 t_5) - t_2 t_3 t_4 t_5} + \\
 & + A_5 \frac{t_5^4 + t_5^3(t_2 + t_3 + t_4) + t_5^2(t_2 t_3 + t_2 t_4 + t_3 t_4) - t_2 t_3 t_4 t_5}{t_5^4 + t_5^3(t_2 + t_3 + t_4) + t_5^2(t_2 t_3 + t_2 t_4 + t_3 t_4) - t_2 t_3 t_4 t_5}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Обчислення виразу (2) надасть значення традиційної першої похідної у початковій точці  $A_1$ .

Як бачимо (2), традиційна перша похідна у початковій базисній точці  $A_1$  для точкових поліномів з різною кількістю вихідних базисних точок, потребує обчислень за різними виразами. І нам наразі не вдалося утворити узагальнений вигляд наведених виразів.

Однак, хоча ці вирази є громіздкими, їх утворення для будь-якого степеня точкового поліному не є складним і є необхідним для кореляції центру утворення дифпроекцій супровідної ламаної лінії дискретної кривої та першої похідної точкового полінома, який інтерполює базисні точки цієї кривої.

**Висновки.** Для точкових поліномів 4-го степеня утворено формули для обчислення значень традиційної (Ньютона-Лейбніца) першої похідної у початковій точці  $A_1$  сегменту плоскої кривої лінії, значення параметру у якій дорівнює нулю –  $t_1 = 0$ .

Наявність таких формул спрощує, в сенсі ресурсовитрат, пошук центру утворення дифпроекцій супровідної ламаної лінії дискретної кривої, який використовується для утворення композиційної першої похідної для точкового поліному.

Використання композиційної першої похідної замість традиційної обґрунтовується тим, що кожна складова функціонального базису композиційної похідної лишається інваріантом паралельного проєктування як і у самого точкового поліному. А це зменшує ресурсовитратність програмних реалізацій і робить методи аналізу композиційних геометричних об'єктів набагато простішими.

### *Бібліографічний список*

1. Адоньєв Є.О. Композиційний метод геометричного моделювання багатофакторних систем: дис. ... д-ра техн. наук. К.: КНУБА, 2018, 512 с.
2. Верещага В.М. Композиційне геометричне моделювання: Монографія. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2017, 108с.
3. Верещага В.М., Найдиш А.В., Адоньєв Є.О., Лисенко К.Ю. Основи композиційного геометричного моделювання: навчальний посібник. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. 255 с.
4. Лисенко К.Ю. Теоретичні основи методів утворення композиційних ліній і поверхонь: дис...к.т.н. Київ. КНУБА, 2022. 267с.
5. Павленко О.М. Порівняльний аналіз композиційної інтерполяції з традиційними методами. Прикладна геометрія та інженерна графіка. К., 2022. Вип. 103. С. 162-174.
6. Павленко О.М. Параметричні композиційні матриці. Збірник тез доповідей XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Обухівські читання» 30 березня 2023 р. НУБІП. Київ, 2023, с. 91-96.
7. Лисенко К.Ю. Точкові композиційні матриці. Збірник тез доповідей XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Обухівські читання» 30 березня 2023 р. НУБІП. Київ, 2023, с. 97-99.
8. Верещага В.М. О поле дифпроекции эмпирической кривой / В.М. Верещага // Начертательная геометрия и черчение» (межвузовский сборник) - Алма-Ата, 1979 - с. 63-66.
9. Верещага В.М. Про необхідність розробки методів композиційного диференціювання та композиційного інтегрування. Збірник тез доповідей XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Обухівські читання» 30 березня 2023 р. НУБІП. Київ, 2023, с. 108-110.
10. Лисенко К.Ю., Верещага В.М. Елементи композиційного диференціювання у точковій формі. Прикладна геометрія, інженерна графіка. Випуск 103. КНУБА, 2023 р. 114-122 с.
11. Муртазієв Е.Г., Верещага В.М. Узагальнений графічний аналіз кривих з використанням їхніх похідних. Прикладна геометрія та інженерна графіка. К., 2022, Вип. 103. С. 142-150.
12. Муртазієв Е.Г. Алгоритм утворення смуги дифпроекцій та визначення композиційних похідних у базисних точках. Збірник тез доповідей XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Обухівські читання» 30 березня 2023 р. НУБІП. Київ, 2023, с. 102-105.



## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ НА ОСНОВІ ВАРІАТИВНОГО ФОРМУВАННЯ РІЗНИЦЕВИХ СХЕМ КУТОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ЗГУЩЕННЯ НАПЕРЕД ЗАДАНОЇ ФОРМИ КРИВОЇ

Шликов С.Ю., аспірант<sup>1</sup>

Геращенко А.Ю., аспірант\*

Спірінцев Д.В., к.т.н., доцент,

spirintsev@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5728-6626

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького (Україна, Запоріжжя)

**Анотація** – у статті розглянуто можливість використання методу згущення на основі варіативного формування різницевих схем кутових параметрів для згущення півкола на рівномірній сітці, при цьому розглядається, яким чином впливає крок сітки на точність моделювання. Дана робота проводиться у рамках досліджень відомих методів варіативного дискретного геометричного моделювання Мелітопольської школи з прикладної геометрії. Отримані результати показали ефективність даного методу, однак, показали необхідність уточнення формули визначення кутів суміжності в першій і останній ланках вихідної ДПК.

**Ключові слова** – геометричне моделювання, варіативне дискретне геометричне моделювання (ВДГМ), згущення кривої, крок сітки.

**Постановка проблеми.** Дослідження та побудова моделей кривих ліній і поверхонь, що описують досліджуване явище або процес, безумовно, є пріоритетним напрямом для науки і техніки. Збільшення спектра досліджуваних явищ і процесів, що спираються на практичні потреби, спричиняє зростання та широке розмаїття існуючих геометричних моделей. Одним із способів геометричного моделювання є інтерполяція, яка знаходить широке застосування в наукових дослідженнях та інженерній практиці [1-3]. Зараз існує велика кількість різноманітних методів інтерполяції, що мають свої переваги не недоліки. Особливої, на наш погляд, уваги заслуговують методи ВДГМ, одним із яких є метод згущення на основі варіативного формування різницевих схем кутових параметрів. Дослідити можливість його використання на рівномірній сітці при зміні кроку розбиття є однією із задач, яка була поставлена у нашому дослідженні.

**Аналіз останніх досліджень.** Аналіз відомих методів [1-2] показав, що методи безперервного геометричного моделювання спираються на

---

<sup>1</sup> Науковий керівник – канд.техн. наук, доцент Спірінцев Д.В.

заздалегідь певний клас функцій. Це призводить до заміни диференціально-геометричних характеристик ДПК на характеристики цих функцій і не виключає впливу властивостей моделюючої функції на результат моделювання. Вказаних вище недоліків позбавлені методи дискретної інтерполяції [3], які крім того, що гарантують відсутність осциляції і мають широкі можливості локальної корекції рішення, мають простоту розрахункових алгоритмів та їх програмної реалізації. Тому дослідження відомих методів ВДГМ та можливостей та особливостей їх застосування, є актуальною задачею.

**Формулювання цілей**(Постановка завдання). Використовуючи різні кроки розбиття сітки дослідити доцільність використання для згущення кривих метод на основі варіативного формування різницевих сем кутових параметрів дослідити.

**Основна частина.** Писані у статті дослідження будемо проводити за допомогою наступної схеми (рис.1). Для цього розглянемо фрагмент ДПК довільної конфігурації, заданої координатами  $(x_i, y_i), i = \overline{0; n}$ , своїх точок у глобальній системі координат (рис. 1).

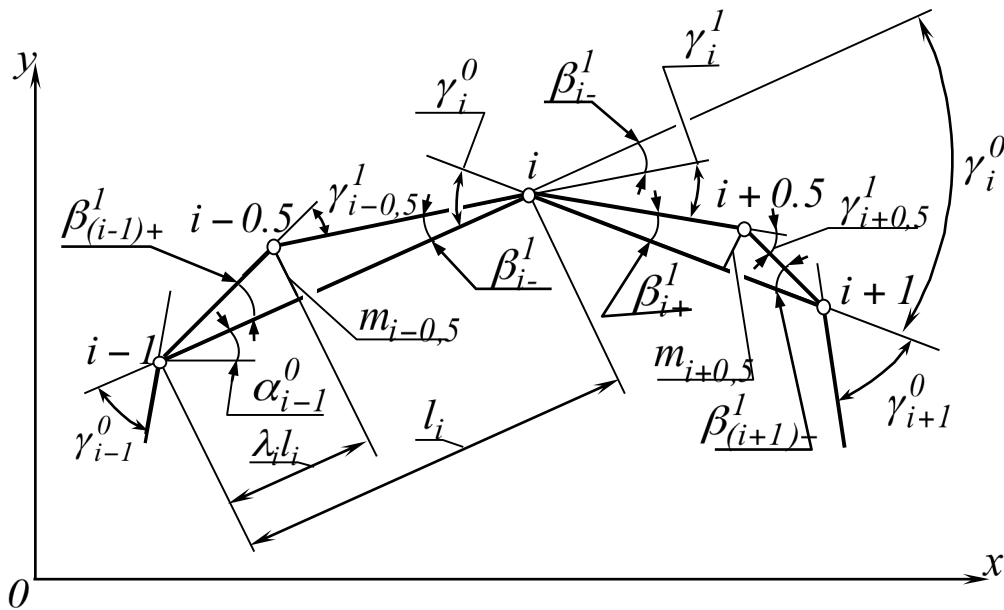


Рис. 1. Загальна кутова схема згущення.

В дослідженнях [4] було запропонована варіативна схема згущення на основі кутових параметрів:

$$(1 - \eta_{i-1})\gamma_{i-0.5}^1 + \gamma_i^1 + \eta_i\gamma_{i+0.5}^1 = \gamma_i^0, \quad i = \overline{1; n-1}, \quad (1)$$

де  $\gamma_i^0, \gamma_i^1$  – кути суміжності між ланками СЛЛ до  $i$  після першого кроку згущення (індекс угорі) в  $i$ -му вузлі ДПК;

$\gamma_{i+0.5}^1$  – кут суміжності у точці згущення  $i + 0.5$ ;  
 $\eta \in [0;1]$  – коефіцієнт співвідношення кутових параметрів;

$$\eta_i = \frac{\gamma_i^0}{\gamma_i^0 + \gamma_{i+1}^0}, \quad i = \overline{0; n-1}. \quad (2)$$

В якості вихідної ДПК було взято півколо, радіусом 5 см. Дослідження проводилося на рівномірній сітці з кроком 1 см та 2 см. Для згущення використовувався основний алгоритм методу на основі варіативного формування різницевих схем кутових параметрів [4]. Результати виконання двох кроків згущення для обох випадків зображено на рис. 2.

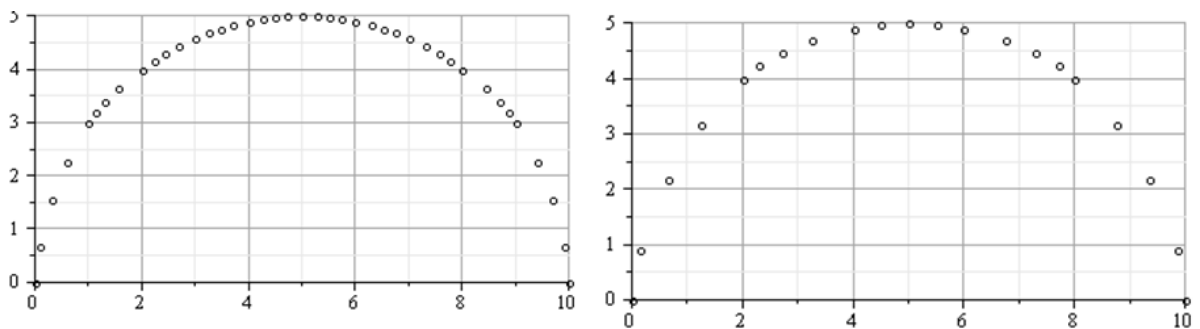


Рис.2. Результати двох кроків згущення ( $h_1=1$  см та  $h_2=2$  см)

В результаті виконання двох кроків згущення на рівномірній сітці з кроком  $h_1=1$  см та  $h_2=2$  см ми отримали наступні результати: в результаті згущення від другої до передостанньої точки вихідного ряду похибка методу складала менше 1% для обох кроків, однак, на першому і останньому інтервалах, ця похибка була достатньо високою, але не перевищувала 22 % та 24% відповідно.

Отримані результати на першій і останній ланках вихідної ДПК обумовлені тим, що згідно основного алгоритму методу згущення на основі варіативного формування різницевих схем кутових параметрів [4], значення кутів суміжності в першій і останній точках визначалися за формулою:

$$\gamma_0^1 = \gamma_1^1 \quad \text{і} \quad \gamma_n^1 = \gamma_{n-1}^1. \quad (3)$$

**Висновки.** Отримані результати показали ефективність використання методу згущення на основі варіативного формування різницевих параметрів для згущення опуклих ДПК, однак отримані результати показали, що для покращення результату треба вдосконалити формулу обчислення кутів суміжності вихідної ДПК в першій і останній точці.

### *Бібліографічний список*

1. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве: пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 304 с.
2. *Гавриленко Є.А.*. Моделювання обводів у просторі можливого розташування монотонних кривих: дисс. ... докт. техн. наук: 05.01.01 / *Є.А. Гавриленко*. Київ, КНУБА, 2020. 301 с.
3. Найдиш В.М., Верещага В.М., Найдиш А.В., Малкіна В.М. Основи прикладної дискретної геометрії/ Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації. – Мелітополь: ТДАТУ. 2007. 194с
4. *Спиринцев Д.В.* Дискретная интерполяция на основе вариативного формирования разностных схем угловых параметров: дисс. ... канд. техн. наук: 05.01.01 / *Д.В. Спиринцев*. Мелітополь, ТДАТУ, 2010. 214с.

## STUDY OF THE GEOMETRIC STRUCTURE OF PHASE PORTRAITS OF A NONLINEAR SYSTEM IN A PLANE

Hnitetska Tetiana., Ph.D., Associate Professor,  
[gnitetsk@ukr.net](mailto:gnitetsk@ukr.net), ORCID: 0000-0001-9682-6488

Hnitetska Halyna., Ph.D., Associate Professor,  
[gnitetsk@ukr.net](mailto:gnitetsk@ukr.net), ORCID: 0000-0002-2864-3142

Danyliuk Artem, Student.

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)*

***Abstract** – the article is devoted to the study of the mathematical model given by the system of nonlinear differential equations for the purpose of identifying its equilibrium points and conducting an analysis of the stability of these points in accordance with the Lyapunov stability method. The performed studies allow to provide a geometric interpretation of the behavior of the system and to visually present its phase portraits. Such an analysis makes it possible to predict the modes of operation of the system under different initial conditions. The research of the mathematical model is carried out by numerical methods in the MATLAB system for engineering and mathematical calculations using the integration of the system of differential equations by the Runge-Kut method of the 4th order.*

***Keywords**– nonlinear dynamics, phase portraits, stability according to Lyapunov.*

**Problem Statement.** The level of professional training of an engineer is largely determined by his ability to conduct research with modern tools, including using such powerful systems for engineering and mathematical calculations as MATLAB [1-4]. Within the discipline "Software for mathematical calculations", which is taught for the specialty "Mathematics" in the second year of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", students learn to conduct research on given mathematical models represented by a system of differential equations, not only by using analytical methods and numerical integration, but also using a geometric interpretation of the behavior of the system in the phase space, which expands the general picture for predicting the behavior of such systems under different initial conditions.

**Analysis of Recent Research.** The study of mathematical models represented by systems of differential equations is carried out analytically, or, in cases where the systems of equations are not integrated, using numerical integration. Each numerical integration allows you to build a single phase trajectory, which does not give a complete picture of the system's behavior. Construction of phase portraits of the studied system as a set of characteristic

trajectories, analysis of their structure, supplementing the conducted research with the determination of the stability conditions of the equilibrium points of the system is a powerful tool for understanding the general picture of the behavior of the system and predicting its behavior under different initial conditions [5-9].

**Formulation of Goals.** When studying the discipline "Software for mathematical calculations", students master various methods of analysis and research of mathematical models given by the system of differential equations. The purpose of the article is to provide an example of such a study conducted within the scope of the specified course. At the same time, numerical integration of the system of equations was used and the stability conditions of the constructed equilibrium points of the system were analyzed. The result of the conducted research was the construction of a phase portrait of the system, which made it possible to predict the behavior of the system under the given initial conditions.

**Main Part.** The complex of laboratory works developed in the course allows students to acquire the skills of conducting a multifaceted study of the problem using various methods to confirm the reliability of the obtained results by comparing them. One of the laboratory works of the course consists in the fact that for a given mathematical model represented by a system of differential equations, it is necessary to conduct the following complex research. Let's consider this on a concrete example.

In the version of the laboratory work, a system of differential equations was set::

$$\frac{dx}{dt} = y$$

$$\frac{dy}{dt} = x + x^2$$

In the process of studying the system, we search for an analytical solution, if it exists, and we study the given system using numerical methods.

Analytical solution of the system gave the following results:

$$x = C_2 * ((2 * \exp(4 * t) * \sin(11^{1/2} * t)) / 5 - (11^{1/2} * \exp(4 * t) * \cos(11^{1/2} * t)) / 5) - \dots + C_1 * ((2 * \exp(4 * t) * \cos(11^{1/2} * t)) / 5 + (11^{1/2} * \exp(4 * t) * \sin(11^{1/2} * t)) / 5)$$

$$y = C_1 * \exp(4 * t) * \cos(11^{1/2} * t) - C_2 * \exp(4 * t) * \sin(11^{1/2} * t)$$

From the obtained analytical solution, a series of integral curves can be constructed to explain the behavior of the system, but the choice of initial conditions is not obvious. Therefore, it is desirable to carry out a qualitative assessment of the system in order to set the initial conditions based on the received data. This will make it possible to more fully reveal the behavior of the system.

We will conduct a study of the system for the presence of equilibrium points and examine them for stability using the Lyapunov stability theory. First, we will

find the equilibrium points of the system. To do this, we are looking for a solution to the following system of equations obtained from the original one with zero value of the derivatives:

$$\begin{aligned}y &= 0 \\x + x^2 &= 0\end{aligned}$$

As a result, we have two equilibrium points with  $x$  and  $y$  coordinates:

The first point  $0,0$   
The second point  $-1,0$

We will conduct a study of equilibrium points for stability. To do this, we linearize the given system and substitute the values of the coordinates of each of the obtained equilibrium points. According to the method of stability of equilibrium points by the Lyapunov method, we can draw the following conclusions. The first point of balance ( $x=0, y=0$ ) is *saddle*, since the obtained values of the roots of the age equation for the linearization matrix at this point take values  $\lambda_1=-1, \lambda_2=1$ . This means that in the phase space there is a direction of attraction to the equilibrium point, which is indicated by the root of the age equation with the value  $\lambda_1=-1$  and a direction of repulsion from the equilibrium point, which is indicated by the root of the age equation with a value of  $\lambda_2=+1$ . The second equilibrium point ( $x=-1, y=0$ ) is a *stable center*, since the obtained values of the roots of the age equation for the linearization matrix at this point take the complex values  $\lambda_1=+i, \lambda_2=-i$ .

In accordance with the research results, a phase portrait of the system is constructed, where the obtained equilibrium points make it possible to determine the necessary boundaries of the construction of the phase portrait and its geometric features. The construction of the phase portrait is carried out by the method of numerical integration of the original system of equations using the Runge Kut method of the 4th order in the MATLAB system for engineering and mathematical calculations under different initial conditions, taking into account the prediction of the appearance of the phase portrait of the system based on the obtained equilibrium points. The set of phase trajectories obtained during a series of numerical integrations of the system visualizes the behavior of the system predicted above. The results of the study are presented in Fig. 1.

Let's analyze them. Figure 1 shows the equilibrium points and the direction of movement along the phase trajectories. It is thus clearly visible that orbital motion is observed in the vicinity of the stable center  $x=-1, y=0$  In the vicinity of the saddle point  $x=0, y=0$  (Fig. 1) clearly expressed directions of attraction and repulsion to the unstable saddle point are visible. The nature of the phase trajectories at a certain distance from the determined equilibrium points is determined by the general influence of the attraction and repulsion directions and the orbital motion caused by the presence of both equilibrium points.

Comparison of the results obtained by different methods, namely, the phase portrait constructed by numerical integration and the graph of the gradient field of the system gives a complete coincidence, which confirms the reliability of the obtained results. That is, conducting research using different methods makes it possible to obtain reliable results and more fully present the behavior of the system.

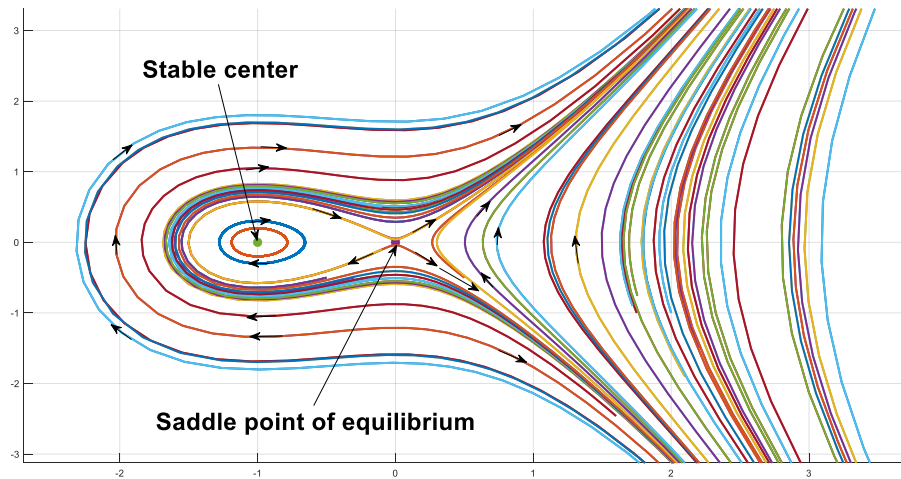


Fig. 1 The phase portrait of the given system is obtained by numerical integration at different values of the initial conditions

To identify the direction of flow, we will plot the graphs of the gradient field.

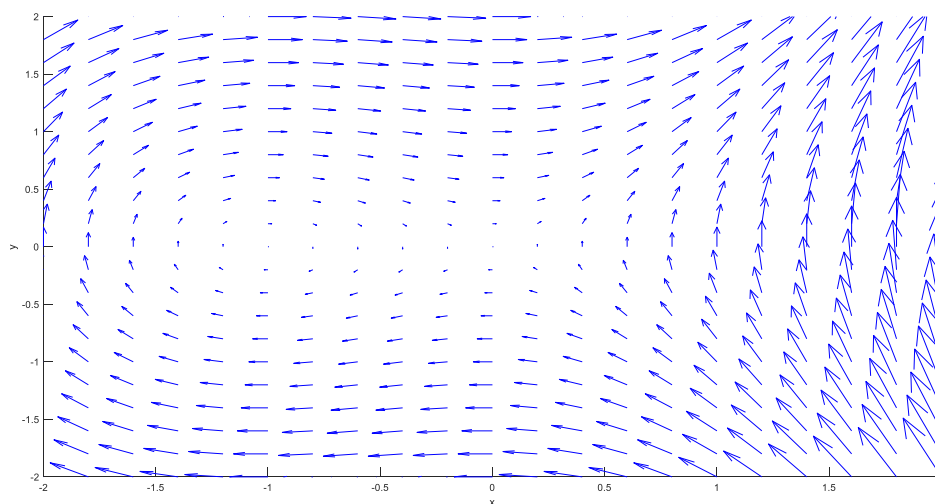


Fig. 2 Graph of the gradient field of the given system

**Conclusions.** As a result of the tasks from the discipline "Software for mathematical calculations", students master a wide range of methods of researching mathematical models of various systems. One of the examples of using the knowledge gained by students in the process of mastering the course is the application of a geometric interpretation of the behavior of the system with the construction of its phase portrait, which is demonstrated in this study of the



given system. The combination of mathematical apparatus and modern software gives good results and is, in most cases, the only possible means of conducting comprehensive research of mathematical models of complex systems. Using the MATLAB system for such mathematical and engineering calculations and mastering the tools of this package gives the student the opportunity to acquire professional competencies that meet the requirements of modern production. The acquired knowledge and acquired skills will be used by students in further studies, and will later help in independent scientific activity.

## References

1. Бондаренко З. В.: Курс вищої математики з комп'ютерною підтримкою. Диференціальні рівняння : Навчальний посібник ( З. В. Бондаренко, В. І. Ключко ). - МОН України. - Вінниця: ВНТУ, 2004. - 130 с.
2. Лазарєв Ю. Ф. Моделювання на ЕОМ. Навч. посібник. – К.: Корнійчук, 2007.-290 с.
3. Лазарєв Ю. Ф. Початки програмування у середовищі MatLAB: Навч. посібник. – К.: "Корнійчук", 1999. – 160 с.
4. Краснопрошина А. А., Репникова Н. Б., Ильченко А. А. Современный анализ систем управления с применением MATLAB, Simulink, Control System: Учебное пособие. - К.: "Корнійчук", 1999. - 144 с.
5. Ключко, В. І.: Вища математика. Функції багатьох мінних. Диференціальні рівняння. Тестові завдання: навчальний посібник (В. І. Ключко, З. В.Бондаренко, С. А. Кирилашук). - Вінниця : ВНТУ, 2012. - 84 с.
6. Овчинников П.П. та ін. Вища математика: Підручник. У 2 ч. Ч.1: Лінійна і векторна алгебра: Аналітична геометрія: Вступ до математичного аналізу: Диференціальне і інтегральне числення (Овчинников П.П., Яремчук Ф.П., Михайленко В.М.; За заг. ред. Овчинникова П.П.)- К.: Техніка, 2003. - 600 с.
7. Овчинников П.П., Михайленко В.М. Вища математика: Підручник. У 2 ч. Ч.2: Диференціальні рівняння. Операційне числення. Ряди та їх застосування. Стійкість за Ляпуновим. Рівняння математичної фізики. Оптимізація і керування. Терія ймовірностей. Числові методи; За заг. ред. Овчинникова П.П. - К.: Техніка, 2004. -792 с.
8. Хусаїнов Д. Я., Шатирко А. В. Основи нелінійної динаміки: Посібник для студентів спеціальності "Прикладна математика" К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2017. – 159 с.
9. Гнітецька Т., Гнітецька Г, Бондаренко Ю, Губар О Дослідження геометричної структури фазових потоків динамічної системи з хаотичною поведінкою . Прикладна геометрія та інженерна графіка, No105, 2024,С. 81 - 93.

## КОНСТРУЮВАННЯ ГВИНТОПОДІБНИХ НОЖІВ ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО БАРАБАНА ІЗ РОЗГОРТНОЇ І НЕРОЗГОРТНОЇ ПОВЕРХОНЬ

Пилипака С.Ф., професор,  
[psf55@ukr.ua](mailto:psf55@ukr.ua), ORCID 0000-0002-1496-4615

Кресан Т.А., доцент

Хропост В.І., аспірант\*

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

***Анотація** – подрібнювальний барабан є важливим робочим органом кормозбиральних комбайнів. На ньому розташовані ножі, які можуть бути як плоскими, так і гвинтоподібними. Останні мають перевагу, оскільки більш якісно виконують подрібнення рослинної маси, однак вони складніші у виготовленні. Гвинтоподібний ніж можна виготовляти у вигляді нерозгортної або розгортної поверхні. В другому випадку є можливість точної побудови розгортки у вигляді плоскої заготовки із нанесеними на неї контурами ножа.*

*Розглянуто обидва варіанти конструювання гвинтоподібних ножів, наведено відповідні параметричні рівняння поверхонь. Здійснено візуалізацію розміщення ножів на подрібнювальному барабані.*

***Ключові слова** – прямий відкритий гелікоїд, торс-гелікоїд, поперечний переріз ножа, параметричні рівняння.*

**Постановка проблеми.** При виготовленні деталі з металевого листа необхідно мати плоску заготовку у вигляді розгортки цієї деталі, яку потім деформують у готовий виріб. Якщо деталь є відсіком розгортної поверхні (торса), її плоску заготовку можна знайти точно. У випадку нерозгортної поверхні заготовка знаходиться наближено і при формуванні її у готовий виріб відбуваються значні пластичні деформації. В одному і другому випадках потрібно мати аналітичний опис поверхонь ножа, на основі якого здійснюється розрахунок плоских заготовок.

**Аналіз останніх досліджень.** У роботі [1] досліджено еволюцію барабанних різальних апаратів та удосконалення їх конструкції. Раніше барабани мали гвинтоподібні ножі Г-подібної форми, які були дуже складними у виготовленні, тому зараз не застосовуються. Поперечний переріз сучасних гвинтоподібних ножів, як правило, має прямолінійну форму.

\*Наукові керівники – д.т.н., професор Пилипака С.Ф., к.т.н., доц Кресан Т.А.

**Формулювання цілей.** Описати поверхню гвинтоподібного ножа із нерозгортної і розгортної поверхонь через його конструктивні параметри.

**Основна частина.** Ріжуча крайка гвинтоподібного ножа є гвинтовою лінією, яка умовно лежить на поверхні циліндра радіуса  $R$  і має сталий кут  $\tau$  нахилу по відношенні до горизонтально розташованої протиріжучої пластини (рис. 1). Поперечний переріз ножа є прямолінійним відрізком, нахиленим під кутом  $\varphi$  до радіального напрямку (рис. 1,б). Зменшення кута  $\varphi$  веде до погіршення процесу різання, але його збільшення теж має обмеження. При рівномірному обертанні барабана шар рослинної маси товщиною  $h$  рухається із сталою швидкістю  $V$  в напрямі ножа (рис. 1,в). Перерізання шару починається у верхній частині і закінчується біля протиріжучої пластини. В результаті того, що шар перерізається не одночасно по всій товщині, а поступово, профіль перерізаного шару буде окреслено по спіралі Архімеда (на рис. 1,в вона показана всередині кола радіуса  $R$ ). Ніж із врахуванням його товщини і заточки не повинен торкатися спіралі, інакше відбуватиметься зминання рослинної маси. Цим фактором і зумовлене граничне значення кута  $\varphi$ .

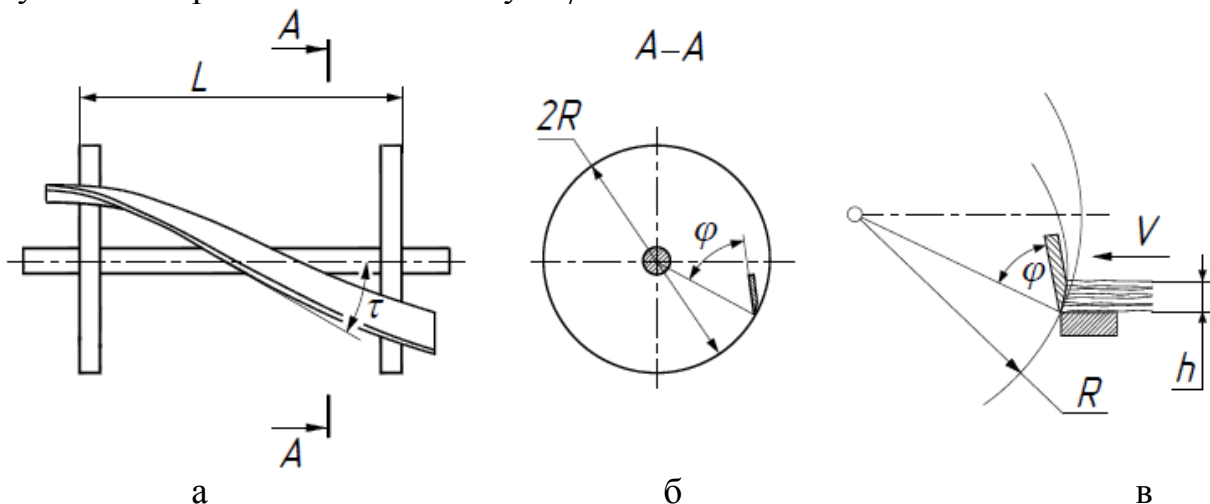


Рис. 1. Графічні ілюстрації до утворення поверхні гвинтоподібного ножа:

- а) схема розташування гвинтоподібного ножа на барабані;
- б) поперечний переріз гвинтоподібного ножа;
- в) збільшений фрагмент поперечного перерізу ножа зі схемою надходження рослинної маси

З геометричної точки зору поверхнею ножа є прямий відкритий гелікоїд. Це лінійчата поверхня, для якої напрямною кривою є гвинтова лінія – кромка леза. Через кожну точку леза проходить прямолінійна твірна, яка є мимобіжною до осі гвинтової лінії, складає із нею прямий кут і сталий кут  $\varphi$  із радіальним напрямом, як показано на рис. 1,б. Запишемо параметричні рівняння гвинтової лінії, якою є кромка леза і яка описує циліндр радіуса  $R$  при обертанні барабана:

$$x = b\alpha; \quad y = R \cos \alpha; \quad z = R \sin \alpha, \quad (1)$$

де  $b$  – гвинтовий параметр – стала величина, від якої залежить значення кута  $\tau$  (рис. 1,а);

$\alpha$  – незалежна змінна, яка має фізичний зміст – це кут повороту точки, що рухається по гвинтовій лінії, навколо її осі.

Гвинтовий параметр  $b$  визначається із відомої формули:

$$b = R \operatorname{ctg} \tau, \quad (2)$$

Підстановкою (2) у (1) ми отримаємо параметричні рівняння гвинтової лінії із заданими величинами  $R$  і  $\tau$ . При зміні кута  $\alpha$  від  $0$  до  $360^\circ$  ми отримаємо один крок гвинтової лінії. Для нашого випадку граничне значення кута  $\alpha_0$  буде менше, оскільки гвинтова лінія обмежена довжиною  $L$  барабана (рис. 1,а). Його ми знайдемо, якщо у перше рівняння (1) замість  $x$  підставимо  $L$  з урахуванням виразу  $b$  із (2):

$$\alpha_0 = \frac{L}{R} \operatorname{tg} \tau. \quad (3)$$

Напрямні косинуси прямолінійної твірної гелікоїда, яка утворює кут  $\varphi$  із радіальним напрямом (рис. 1,б), запишуться:

$$\{0; \quad -\cos(\alpha + \varphi); \quad -\sin(\alpha + \varphi)\}. \quad (4)$$

Параметричні рівняння поверхні гелікоїда із врахуванням виразів (2), (1) і (4) запишуться:

$$\begin{aligned} X &= R \alpha \operatorname{ctg} \tau; \\ Y &= R \cos \alpha - u \cos(\alpha + \varphi); \\ Z &= R \sin \alpha - u \sin(\alpha + \varphi), \end{aligned} \quad (5)$$

де  $u$  – друга незалежна змінні поверхні – довжина прямолінійної твірної, відлік якої починається від точки на гвинтовій лінії. Вона змінюється в межах  $u=0 \dots u_0$ , де  $u_0$  – ширина гвинтоподібного ножа.

Для того, щоб навантаження на різальний барабан було сталим, потрібно забезпечити безперервність різання. Після закінчення різання одним ножом, тобто після повороту барабана на кут  $\alpha_0$  (3), відразу починається різання наступним ножом. Виходячи із цього, можна знайти кількість ножів  $n$ :  $n=2\pi/\alpha_0$ . При заданих радіусу  $R$  барабана і кутові  $\tau$ , значення яких входить у вираз (3), а також виходячи із прийнятого числа  $n$  ножів, знаходимо довжину  $L$  барабана:

$$L = \frac{2\pi R}{n} \operatorname{tg} \tau. \quad (6)$$

Наприклад, при  $R=0,25$  м,  $\tau=20^\circ$ ,  $n=6$  довжина барабана  $L$  буде становити  $0,72$  м. За рівняннями (5) на рис. 2 показана схема розміщення гвинтоподібних ножів на барабані без врахування їх товщини. Незалежні змінні набували значень у межах:  $\alpha=0 \dots \alpha_0$ ,  $u=0 \dots u_0$ .

Нерозгортна гвинтова поверхня такого ножа (прямий відкритий гелікоїд) утворюється гвинтовим рухом відрізка таким чином, щоб він перетинав лезо ножа і утворював сталий кут  $\varphi$  із радіальним напрямом, як показано на рис. 1,б. Лезо ножа є гвинтовою лінією, через яку може проходити також

розгортний гелікоїд або торса-гелікоїд. Відомо, що перерізом торса гелікоїда площиною, перпендикулярною до його осі, є евольвента кола.

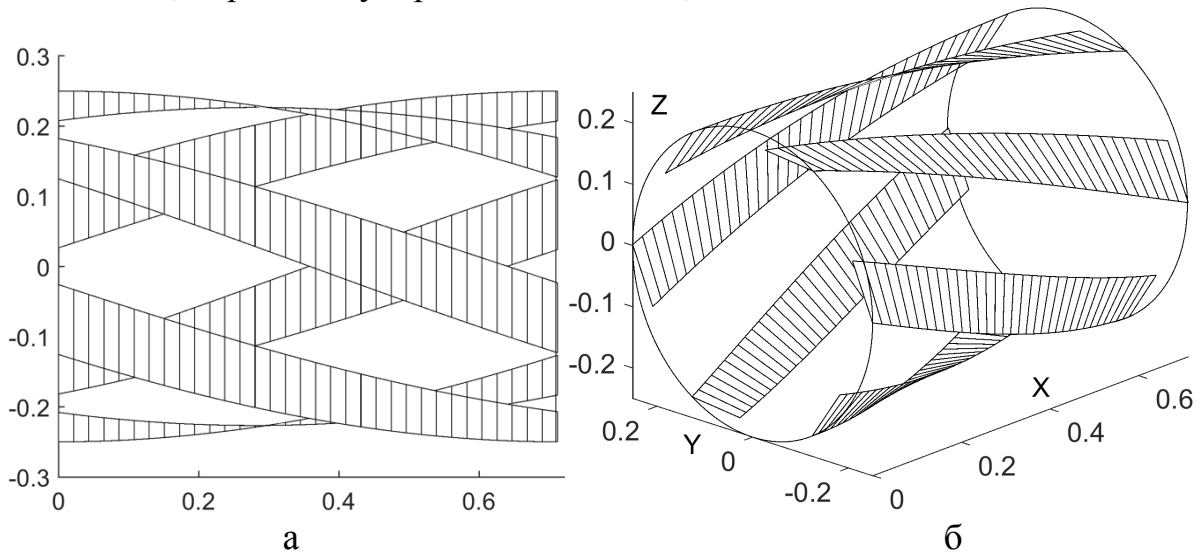


Рис. 2. Гвинтоподібні ножі нульової товщини із відсіків прямого відкритого гелікоїда, побудовані за рівняннями (5) при  $\tau=20^\circ$ ,  $\varphi=65^\circ$ ,  $R=0,25$  м,  $L=0,72$  м,  $u_0=0,1$  м:

а) фронтальна проекція;                      б) аксонометрія

Таким чином, поверхня торса-гелікоїда може бути утворена гвинтовим рухом твірної лінії, якою для прямого відкритого гелікоїда є відрізок прямої, а для торса-гелікоїда – дуга евольвенти кола. Дугу евольвенти кола потрібно вибрати так, щоб дотична до неї в точці на лезі складала кут  $\varphi$  із радіальним напрямом (рис. 1,б). Крім того, обертальний рух дуги евольвенти повинен бути узгодженим із поступальним рухом вздовж осі ножа, щоб його поверхня була розгортною, тобто торсом-гелікоїдом. З урахуванням цього, поверхня ножа опишеться параметричними рівняннями:

$$\begin{aligned} X &= a\alpha \operatorname{tg}\beta; \\ Y &= a \sin t - (at - L \cos \beta) \cos t; \\ Z &= a \cos t - (at - L \cos \beta) \sin t, \end{aligned} \quad (7)$$

де  $t$  і  $\alpha$  – змінні параметри поверхні;

$a$  – стала величина для евольвенти і кут  $\beta$  підйому ребра звороту торса-гелікоїда розраховуються через параметри ножа.

Окремий ніж будується за рівняннями (7). Обертаючи його навколо горизонтальної осі, отримуємо схему розміщення ножів на барабані (рис. 3). Таким чином, за однаковими конструктивними параметрами ножа представлено два варіанти конструкції подрібнювального барабана. Один із них укомплектовано гвинтоподібними ножами із нерозгортної поверхні прямого відкритого гелікоїда (рис. 2), другий – із розгортної поверхні торса-гелікоїда (рис. 3).

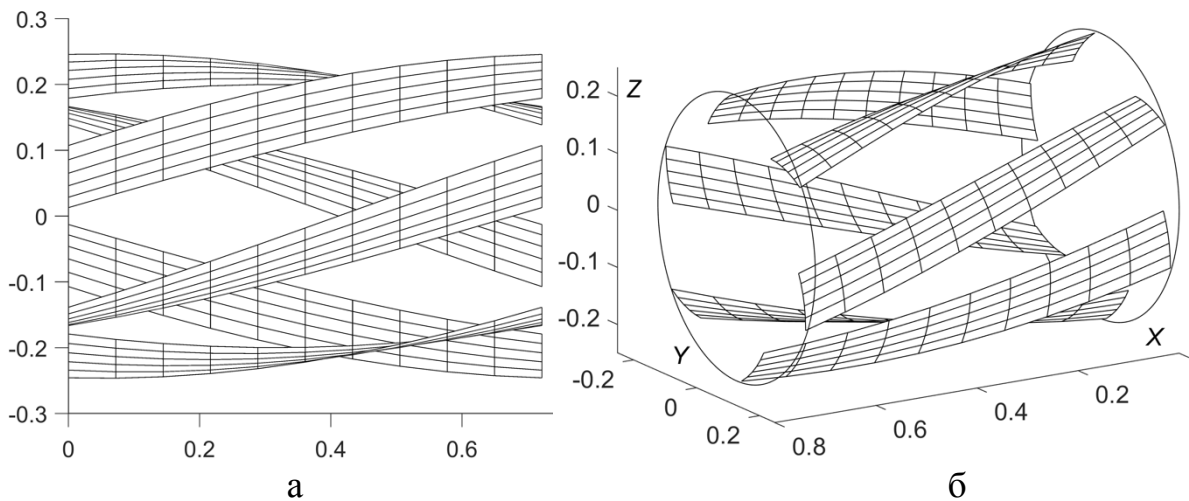


Рис. 3. Гвинтоподібні ножі нульової товщини із відсіків торса-гелікоїда, побудовані за попередніми конструктивними параметрами:  
 а) фронтальна проекція;                      б) аксонометрія

При другому варіанті можна побудувати точну розгортку гвинтоподібного ножа.

**Висновки.** Отримано параметричні рівняння поверхні гвинтоподібного ножа для двох варіантів. У першому варіанті поверхнею ножа є прямий відкритий гелікоїд, у другому – торс гелікоїд. Схема утворення поверхні ножа для обох випадків подібна. В першому випадку поверхня утворюється гвинтовим рухом відрізка, перпендикулярного і мимобіжного до осі, вздовж цієї осі. В другому випадку замість відрізка гвинтовий рух здійснює дуга евольвенти кола. Відстань відрізка від осі, а також параметри евольвенти кола розраховуються через конструктивні параметри ножа.

### *Бібліографічний список*

1. Кузьменко В.Ф. Стан та тенденції зміни основних робочих органів кормозбиральних комбайнів / В.Ф. Кузьменко // – Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», 2011. – Режим доступу: [http://kntu.kr.ua/doc/zb\\_41\\_1/stat\\_41\\_1/54.pdf](http://kntu.kr.ua/doc/zb_41_1/stat_41_1/54.pdf)

## ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗНАТЬ СТУДЕНТІВ З КУРСУ ІНЖЕНЕРНОЇ ГРАФІКИ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Баскова Г.В., старший викладач

[baskovagv31@gmail.com](mailto:baskovagv31@gmail.com), ORCID: 0000-0002-3385-8404

Колосова О.П., к.т.н., доцент,

[mrselkolosova@gmail.com](mailto:mrselkolosova@gmail.com), ORCID: 0000-0001-7795-6412, H-index 5

Біленький М.О., студент,

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

*(Україна, м. Київ)*

***Анотація** – описане нове завдання з теми «З'єднання», розроблене з метою ефективної організації самостійної роботи студентів з курсу інженерної графіки в умовах дистанційного навчання.*

***Ключові слова** – інженерна графіка, технічне креслення, з'єднання рознімні, нерознімні; з'єднання нарізеві, зварні, паяні, клеєні.*

**Постановка проблеми.** В умовах дистанційного навчання, відсутності живого діалогу викладача зі студентом в аудиторії, вивчення курсу «Інженерна графіка» [1] викликає у студентів неабиякі труднощі, які пов'язані з недостатнім рівнем їх базової графічної підготовки [2].

За останні роки спостерігається зменшення часу на вивчення курсу і відповідно скорочення навчальної програми.

Виникла проблема, як відкоригувати учбовий процес, щоб не знизити рівень підготовки студентів. В цих умовах безперервно йде пошук шляхів оптимізації навчального процесу, одним з яких є розробка нових завдань.

**Аналіз останніх результатів** Реформа освіти призвела до перегляду змісту навчальних дисциплін. Крім того, як відомо, на процес підготовки студентів вплинув розвиток комп'ютерних технологій і, як наслідок, інтенсифікація навчального процесу.

На багатьох факультетах університету дві останні класичні теми з технічного креслення, а саме: «Складальний кресленик» та «Деталювання креслеників загального виду», скасовано.

На більшості факультетів вивчення курсу закінчується темою «З'єднання», яка є базовою для вивчення теми «Складальний кресленик». По цій темі на кафедрі нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки університету розроблені два окремих завдання: «З'єднання нарізеві» та «З'єднання нерознімні», а також завдання «З'єднання» на ФЕА [3], яке дозволило на одній навчальній конструкції вивчати тему [4]. В нових

умовах ці завдання не вирішують ряд задач, пов'язаних з зображенням і оформленням складальних креслеників, мають ряд конструктивних недоліків.

**Формулювання цілей.** На методику викладання курсу інженерної графіки впливають багато факторів, тому вона має бути універсальною, гнучкою, а в теперішніх умовах ще й враховувати всі особливості побудови курсу, початковий рівень графічної підготовки студентів, їх адаптацію в навчальний процес університету, роль інформаційно-комп'ютерних технологій. Відповідь на кожний з факторів впливу на навчальний процес моделюється роками з урахуванням досвіду роботи викладача зі студентами.

В умовах скорочення часу на графічну підготовку, скороченням діалогу викладача зі студентом на практичних заняттях і відсутності довузівської графічної підготовки, в умовах дистанційного навчання [2] виникає нагальна потреба в створенні завдань, які містили б максимум інформації.

Метою розробки нового завдання з теми «З'єднання» [5] є створення такого завдання, яке б, з одного боку, було максимально наближене до складального кресленика реального виробу, а з іншого боку, мало просту конструкцію з застосуванням основних видів з'єднання, а саме: нарізевого, зварного, паяного, клеєного, і дозволило би вивчити особливості зображення та оформлення складальних креслеників [4].

**Основна частина.** В теперішніх умовах студенти більше працюють самостійно, вони забезпечені необхідними навчальними посібниками, робочим зошитом та іншими методичними матеріалами [5].

Завдання з теми «З'єднання» містить п'ять деталей, показаних на рис.1, деякі розміри яких змінюються за варіантами (рис. 2 та рис.3). Деталі треба з'єднати між собою за допомогою кріпильних виробів та операцій зварювання, паяння, склеювання.

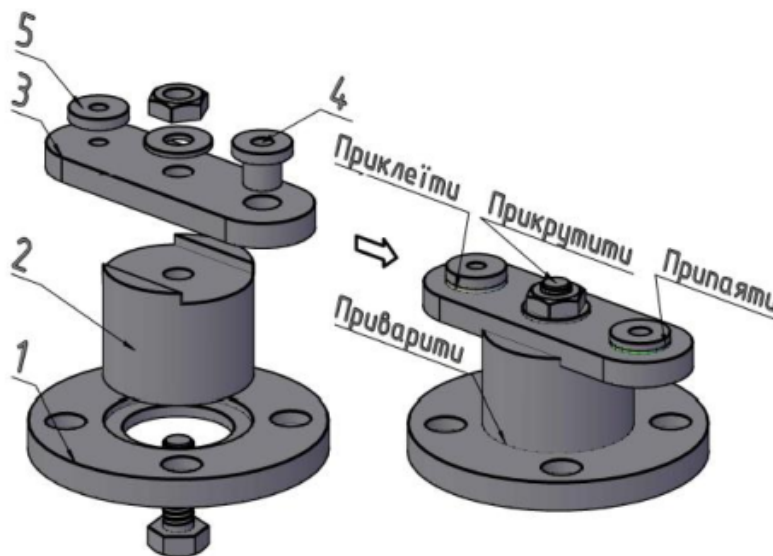


Рис.1 З'єднання деталей навчальної складаної одиниці (для з'єднання болтом)



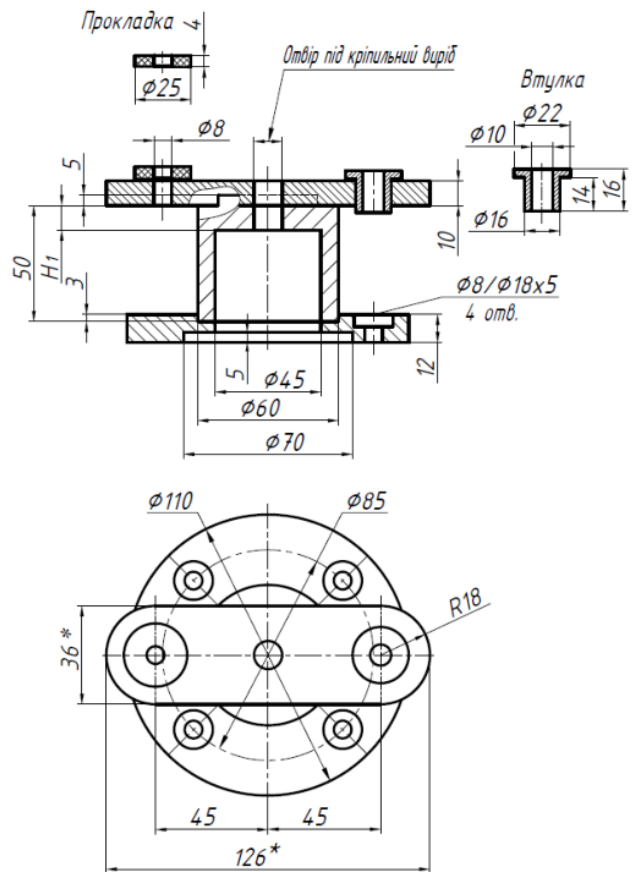
Для кріпильних виробів (болта, гвинта, шпильки, гайки та шайби) за варіантами задані всі параметри для вивчення структури їх позначення, необхідної для складання специфікації, крім довжини, яку необхідно визначити для спрощеного зображення з'єднання за формулами, наведеними на рис. 2 залежно від номінального діаметра  $d$  нарізи кріпильної деталі.

Вихідні дані для виконання завдання розміщені на двох листах (рис.2 та рис.3). На рис.4 розміщено зразок прикладу оформлення складального кресленика «З'єднання», на рис. 5 – зразок прикладу складання специфікації до нього.

Варіанти завдань

Варіант	H <sub>1</sub> мм	Матеріал	Кріпильний виріб	ДСТУ ГОСТ	Нарізь d, мм	Клас міцності		Група матеріалу	Вид покриття, товщина (мкм)
						Гвинт, болт, шпилька	Гайка		
1	16	Сталь	Гвинт	14.91.2008	M10	4.8	4	06	011
2	17	Легіаляб	Болт	7798.2008	M10	4.6	5	05	053
3	18	Чавун	Шпилька	22034.2008	M8	3.6	6	03	016
4	19	Сталь	Болт	7798.2008	M8	5.8	8	04	083
5	20	Сталь	Гвинт	174.73.2008	M8	6.8	4	05	121
6	21	Легіаляб	Гвинт	174.75.2008	M8	6.8	5	06	019
7	22	Чавун	Болт	7798.2008	M10	6.9	6	05	016
8	23	Сталь	Шпилька	22032.2008	M12	5.6	8	03	086
9	24	Сталь	Гвинт	174.73.2008	M8	4.6	4	04	093
10	25	Чавун	Болт	7798.2008	M12	4.8	5	05	051
11	26	Легіаляб	Шпилька	22038.2008	M10	5.6	6	03	059
12	27	Сталь	Гвинт	14.91.2008	M8	6.8	8	04	00
13	28	Чавун	Болт	7798.2008	M10	6.6	5	03	056
14	29	Сталь	Шпилька	22032.2008	M8	6.9	6	05	087
15	30	Легіаляб	Гвинт	174.75.2008	M10	3.6	4	06	013

Таблиця 1



Розрахунок розмірів кріпильних виробів

Болт	Шпилька	Гвинти												
<p>ДСТУ ГОСТ 7798.2008</p> <p><math>l = H + 1,3d</math></p>	<p> <p><math>l = H + 1,3d</math></p> <table border="1"> <tr><td>l</td><td>Матеріал</td><td>ДСТУ ГОСТ</td></tr> <tr><td>l<sub>1</sub> = d</td><td>Сталь</td><td>22032.2008</td></tr> <tr><td>l<sub>2</sub> = 1,5d</td><td>Чавун</td><td>22034.2008</td></tr> <tr><td>l<sub>3</sub> = 2d</td><td>Легіаляб</td><td>22038.2008</td></tr> </table> </p>	l	Матеріал	ДСТУ ГОСТ	l <sub>1</sub> = d	Сталь	22032.2008	l <sub>2</sub> = 1,5d	Чавун	22034.2008	l <sub>3</sub> = 2d	Легіаляб	22038.2008	<p>ДСТУ ГОСТ 14.91.2008    ДСТУ ГОСТ 174.73.2008</p> <p><math>l = H + 2d</math></p> <p>ДСТУ ГОСТ 174.75.2008</p>
l	Матеріал	ДСТУ ГОСТ												
l <sub>1</sub> = d	Сталь	22032.2008												
l <sub>2</sub> = 1,5d	Чавун	22034.2008												
l <sub>3</sub> = 2d	Легіаляб	22038.2008												

Ряд нормальних довжин...8, 10, 12, 14, 16, (18), 20, (22), 25, (28), 30, (32), 35, 40...

Рис. 2 Варіанти завдання та розрахунок розмірів кріпильних деталей

Рис. 3 Розміри деталей складаної одиниці

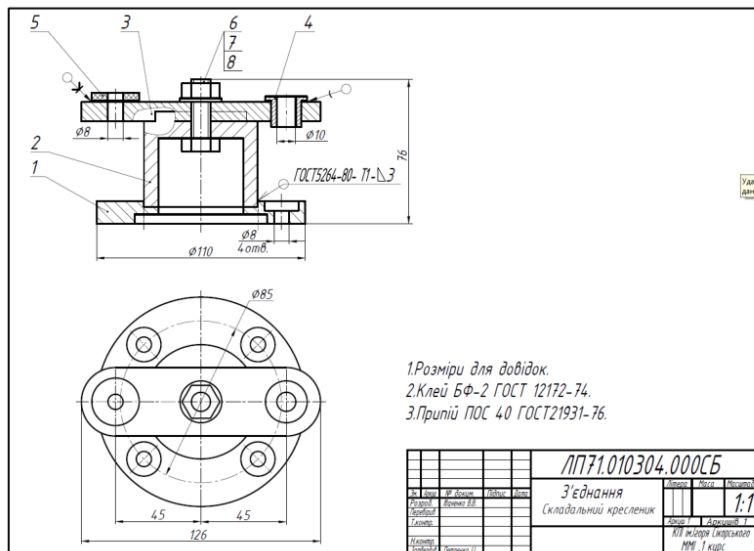


Рис. 4 Приклад виконання специфікації до складального кресленника «З'єднання»

Зразок 1

Код	Позначення	Назва	Кількість	Примітка
		Документація		
45	ЛП71.ХХ0304.000СБ	Складальний кресленик		
		Деталі		
41	1 ЛП71.ХХ0304.001	Фланець	1	
41	2 ЛП71.ХХ0304.002	Станок	1	
41	3 ЛП71.ХХ0304.003	Планка	1	
41	4 ЛП71.ХХ0304.004	Втулка	1	
41	5 ЛП71.ХХ0304.005	Правильна φ25/М4х4	1	D/диS
		Гайка ГОСТ 7339-90		
		Шайба ГОСТ 7339-90		
		Стандартні вироби		
6		Витт М4х25 S4 053	1	
7		ДСТУ ГОСТ 7749-2008		
7		Гайка М4.5.053	1	
8		ДСТУ ГОСТ 5945-2008		
8		Шайба 4.03.053	1	
8		ГОСТ 11371-78		

ЛП71.ХХ0304.000		Масштаб	1:1
З'єднання		Складальний кресленик	
Курс	І	Семестр	І
Група	ІІІ	Інженер	ІІІ
Ім'я	Іванов І.	Інженер	ІІІ

Рис. 5 Приклад оформлення кресленника «З'єднання»

Необхідно зауважити, що студенти мають різний рівень початкової графічної підготовки, і їх можна умовно розділити на три групи: ті, що вивчали креслення раніше, ті, що його не вивчали, але мають хорошу просторову уяву, і ті, що не вивчали креслення і мають слабо розвинену просторову уяву [2].

Студенти першої групи успішно читають вихідні дані, виконують та зараховують наведену роботу, для них вона є повторенням і закріпленням отриманих раніше практичних навичок.

Набагато складніше працювати зі студентами, які роблять це вперше: вони ніколи не виконували зображення з натури на плоскому рисунку, тобто не суміщали предмет з площиною. І навіть після теоретичного ознайомлення з основними методами проєкціювання їм складно виконувати завдання, тому що для цього треба вміти читати складальний кресленик, виконаний за стандартами. Таким студентам необхідно більше часу на вивчення цієї теми, особливо в умовах відсутності спілкування з викладачем в аудиторії, де в процесі роботи він би мав можливість вивчати всі особливості виконання зображень на кресленнику під його контролем. Вони не можуть ефективно проаналізувати отриману інформацію, вихідні дані., щоб нею скористатися їм потрібно більше часу.

Якщо у студента просторове уявлення на відповідному рівні, він легко адаптується в реальних умовах і успішно працює над самостійними завданнями. Студентам же зі слабо розвиненою просторовою уявою потрібні додаткові години на оволодіння практичними навичками.

Крім проблеми уміння “читання завдання”, є ще друга проблема. Вона пов’язана з тим, що для правильного виконання заданого складального кресленика необхідно вивчити та засвоїти досить великий об’єм нової інформації, на вивчення якої раніше відводилось набагато більше часу.

При виконанні роботи опрацьовуються питання оформлення складального кресленика, особливості його зображення, умовності та спрощення, які застосовуються на складальних креслениках. Пояснюються особливості виконання розрізів та нанесення розмірів на складальному кресленнику, нанесення позицій деталей, запис технічних вимог, складання специфікації. Пояснюються зображення та позначення паяних, клеєних, зварних з’єднань на складальному кресленнику.

Крім того, під час виконання саме цієї роботи закладаються, розвиваються та відпрацьовуються всі основні вміння та навички, необхідні для читання та виконання складальних креслеників.

Зміст наведеного завдання дає можливість відпрацювати на практиці більшість питань теми. В останні роки і в теперішніх умовах студенти приладобудівного та інших факультетів виконують це завдання.

Можна зауважити, що при достатній кількості учбових годин, додатковою роботою може бути виконання окремого складального кресленика зварного з’єднання зі специфікацією до нього. Додаткова робота доцільна для студентів механічних спеціальностей і дає можливість поглибити знання з теми.

## **Висновки**

Виконання завдання «З’єднання» дозволяє на запропонованій навчальній конструкції вивчити найбільш поширені рознімні та нерознімні з’єднання, а також опанувати більшість питань теми «Складальний кресленик» в теперішніх умовах скорочених навчальних програм та дистанційного навчання.

## ***Бібліографічний список***

1. Ванін В.В., Перевертун В.В., Надкернична Т.М., Власюк Г.Г. Інженерна графіка.- К: Видавнича група ВНУ, 2009. – 399 с.
2. Ванін В.В. Психофізіологічні аспекти графічної інформації.[Текст]/ В.В. Ванін, Г.О. Гнітецька . Збірник доповідей VI-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об’єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених». Випуск 6.- К.: Видавництво «Політехніка». 2017. – С. 56-58.

3. Коваль Г.М. Деякі питання підвищення рівня знань студентів з курсу інженерної графіки.[Текст]/ Г.М. Коваль, Г.В. Баскова .Збірник доповідей VI-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених». Випуск 6.- К.: Видавництво «Політехніка». 2017. – С. 31-36.
4. Методичні вказівки до виконання завдання з теми «З'єднання» [Електронний ресурс] / Г.М. Коваль, Г.В. Баскова. – К: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2017. – 42 с. – Режим доступу : <http://ng-kg.kpi.ua/files/147.pdf>
5. Колосова О.П., Баскова Г.В., Лазарчук М.В. «Навчальні завдання з нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки для програмованого навчання». Навчальний посібник. Електронне мережне навчальне видання. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022 – 94 с.
6. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48991>

## АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ КРИВИХ БЕЗЬЄ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОБВОДІВ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Бідніченко О.Г., к.т.н., доцент,

[helenbidnichenko@gmail.com](mailto:helenbidnichenko@gmail.com), ORCID: 0000-0002-0548-3481

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
(Україна, м. Миколаїв)

**Анотація** – Розглянуто особливості кривих Безьє, які дають можливість використовувати їх при геометричному моделюванні обводів кривих ліній технічних об'єктів, зокрема турбомашин. Отримано вирази для першої та другої похідних кривої, які використовуються для аналізу якості змодельованих профілів.

**Ключові слова** – крива Безьє; геометричне моделювання; похідна; криві обводів турбомашин.

**Постановка проблеми.** Розглянути властивості кривих Безьє, які дають можливість використовувати такі криві для геометричного моделювання кривих ліній обводів елементів проточних частин складних технічних об'єктів. м

**Аналіз останніх досліджень.** Для побудови кривих складної форми часто використовуються поліноми Бернштейна, які складають математичну основу методу Безьє. В роботі [1] приведено анімацію та математичний опис кривої Безьє. Потрібно відзначити, що для можливості проведення геометричного моделювання кривих високої точності було б доцільно геометричне дослідження кривих з використанням першої та другої похідних для отримання гладкої кривої.

Деякі властивості кривих Безьє сприяли їх використанню у автоматизованих графічних системах для геометричного моделювання кривих ліній зокрема профілів елементів проточних частин турбомашин [2,3]. Тому з метою вдосконалення профілів обводів проточних частин при їх геометричному моделюванні необхідно використання математичного апарату з похідними для отримання гладкої кривої без зламів та перегинів.

**Формулювання цілей.** Проаналізувати властивості кривих Безьє, отримати вираз для  $r$ -ої похідної кривої, визначити значення першої та другої похідних в початковій та кінцевій точках кривої.

**Основна частина.** Крива Безьє визначається вершинами деякої ламаної лінії, яка в першому наближенні апроксимує криву, що проектується. Зміненням положення вершин ламаної лінії впливають на

криву і, таким чином, отримають потрібну форму кривої, що моделюється. Якщо ламану лінію задано, то вона однозначно визначає криву Безьє.

До найбільш важливих властивостей кривих Безьє відносимо:

1. Степінь  $n$  поліноміальної кривої визначається  $(n+1)$  вершинами ламаної лінії.

2. У початковій і кінцевій точках криволінійного сегмента багаточлен Бернштейна приймає значення  $\Phi_{0,n}(0) = \frac{n! \cdot t^0 (1-0)^{n-0}}{0! \cdot n!} = 1$  при  $t=0$ ;

$\Phi_{n,n}(1) = \frac{n! \cdot t^n (1-1)^{n-n}}{n! \cdot 0!} = 1$  при  $t=1$ . Записані вирази показують, що вершини  $P_0$  і

$P_n$  дійсно є початковою й кінцевою точками криволінійного сегмента.

3. Для  $r$ -ої похідної у початковій і кінцевій точках справедливі вирази:

$$B^r(\bar{P}, 0) = \frac{n!}{(n-r)!} \sum_{k=0}^r (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \bar{P}_k \quad \text{при } t=0;$$

$$B^r(\bar{P}, 1) = \frac{n!}{(n-r)!} \sum_{k=0}^r (-1)^k \binom{r}{k} \bar{P}_k \quad \text{при } t=1.$$

Використовуючи перші похідні, обчислені по наведених виразах, одержимо:  $B'(\bar{P}, 0) = n \cdot (\bar{P}_1 - \bar{P}_0)$ ;  $B'(\bar{P}, 1) = n \cdot (\bar{P}_n - \bar{P}_{n-1})$ .

Як впливає із цих виразів, перші похідні кривої Безьє в початковій і кінцевій точках дорівнюють тангенсам кутів нахилу початкового й кінцевого сегментів ламаної лінії.

4. Другі похідні в початковій та кінцевій точках кривої залежать від значень координат трьох вершин ламаної відповідно на початку та у кінці лінії. Вони визначаються по виразам:

$$B''(\bar{P}, 0) = n \cdot (n-1) (\bar{P}_0 - 2\bar{P}_1 + \bar{P}_2); \quad B''(\bar{P}, 1) = n \cdot (n-1) \cdot (\bar{P}_n - 2\bar{P}_{n-1} + \bar{P}_{n-2}).$$

Слід зазначити, що використання параметричних рівнянь для опису обводів робочого колеса турбомашин дає ряд додаткових переваг і, зокрема, спрощує :

1) математичний опис кривих складної форми; 2) операції переносу, обертання, зміщення системи координат зі збереженням аналітичного виразу при переході до іншої системи координат; 3) аналітичний апарат для рішення різних геометричних задач.

**Висновки.** Отримані властивості кривих Безьє дають можливість використовувати їх при геометричному моделюванні будь-яких технічних об'єктів, особливо при моделюванні елементів проточних частин турбомашин.

### *Бібліографічний список*

1. Сучасний підручник з Java Script <https://uk.javascript.info/bezier-curve>
2. Бідніченко О.Г. Геометричні особливості конструювання проточних частин відцентрових компресорів/ О.Г. Бідніченко // Наукові нотатки: міжвузівський збірник, вип. 48. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – С. 23-28.
3. Бідніченко О.Г. Геометричне моделювання як засіб удосконалення проточних частин турбомашин / О.Г. Бідніченко // Міжнародне наукове видання РИНЦ Science index: Збірник наукових праць SWorld, Том 9 технічні науки – вип. 4 (37), 2014. - С. 6-9.

## ІНТЕРАКТИВНІ МОДЕЛІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ГЕОМЕТРІЇ НА ПРИКЛАДІ ВИКОРИСТАННЯ ТРИГРАННИКІВ ФРЕНЕ ТА ДАРБУ

Несвідомін А.В., к.т.н.,

a.nesvidomin@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9227-4652

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

*Анотація* – здійснено програмну реалізацію інтерактивної моделі в системі комп'ютерної алгебри MapleSoft визначення тригранників Френе та Дарбу для заданих кривих на поверхнях, їх застосування для формування супровідних поверхонь.

*Ключові слова* – тригранники Френе та Дарбу, криві на поверхні, програмування символічних обчислень, інтерактивні моделі.

**Постановка проблеми.** Методи диференціальної геометрії характеризуються складним диференціально-інтегральним численням у символічному вигляді та необхідністю графічної візуалізації відповідних многовидів. Тригранники Френе та Дарбу є фундаментальними поняттями диференціальної геометрії для локального аналізу кривої та поверхні. Інтерактивні моделі диференціальної геометрії дозволяють значно покращити зручність досліджень за рахунок динамічної візуалізації шуканих результатів.

**Аналіз останніх досліджень.** Супровідні тригранники Френе та Дарбу [1], які рухаються вздовж кривої на поверхні, використовуються для різних задач, зокрема для моделювання руху частинки по поверхні [2].

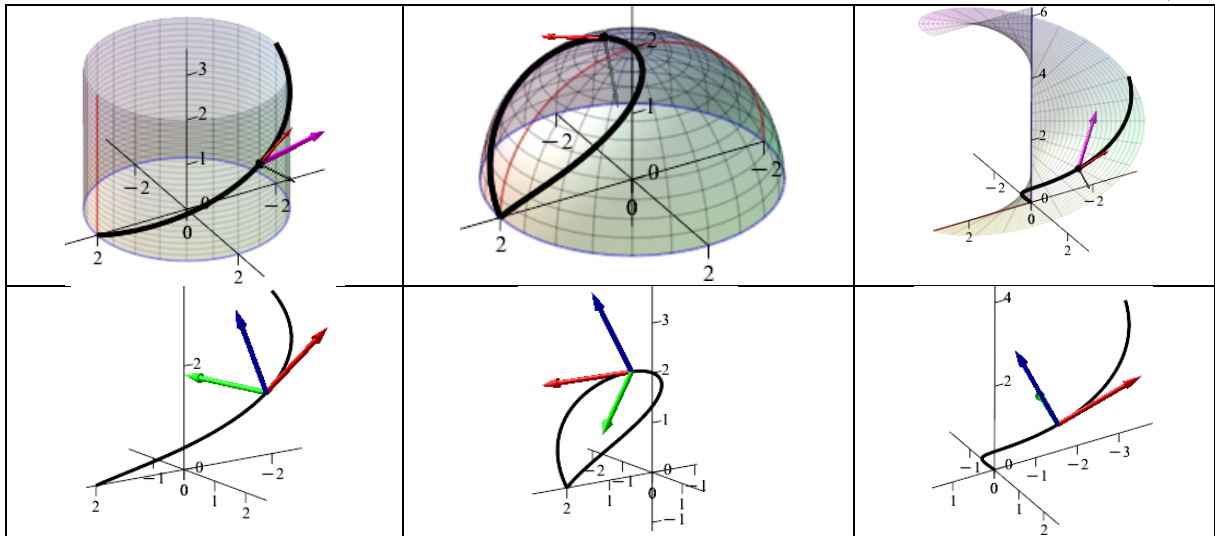
**Формулювання цілей.** На прикладі тригранників Френе та Дарбу розкрити використання інтерактивних моделей в CAS MapleSoft.

**Основна частина.** В кожній точці просторової кривої є супровідний тригранник Френе, утворений із дотичної, головної нормалі та бінормалі (2-й рядок табл. 1). Для будь-якої кривої на поверхні є супровідний тригранник Дарбу, утворений із дотичної до кривої (яка є і дотичною до поверхні), нормалі до поверхні та ще дотичною до поверхні, яка визначається із векторного добутку нормалі поверхні і дотичної до кривої (1-й рядок табл. 1). Ці тригранники мають спільну дотичну і певний кут між двома іншими ортами. Тригранник Френе будується без врахування поверхні, на якій розташована крива і його орти повністю визначаються диференціальними характеристиками кривої. Для визначення тригранника Дарбу потрібно опрацювати частинні похідні поверхні. В таблиці 1 показано зображення окремих положень супровідних тригранників вздовж кривої за допомогою розробленої інтерактивної моделі, яка дозволяє вибрати ту чи іншу



поверхню, задати конкретну криву на ній у внутрішніх координатах на ній, варіювати їх параметрами форми.

Таблиця 1



Задаючи в супровідних тригранниках задані твірні лінії отримаємо відповідні поверхні вже на вихідній поверхні. На рис.1,а побудована трубчаста поверхня із наперед віссю, твірне коло знаходиться в нормальній площині тригранника Френе. На рис.1,б побудовані циліндричні поверхні в триграннику Дарбу в заданих точках кривої на поверхні. Звернемо увагу, що в обох випадках отримуємо параметричні рівняння поверхонь, які можуть бути використані для їх подальших досліджень.

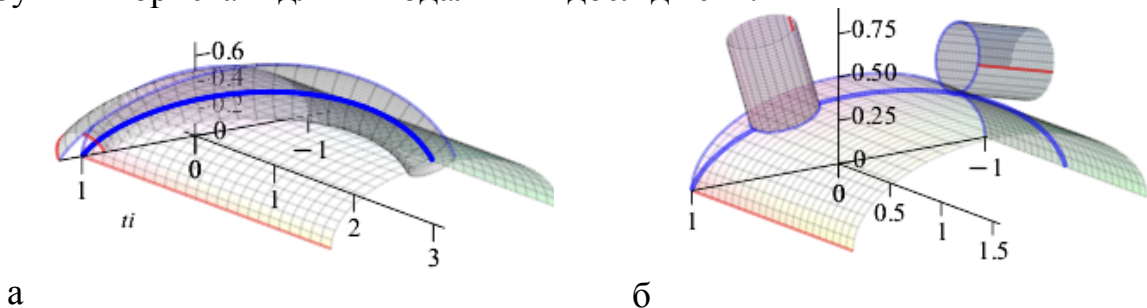


Рис.1. Побудова поверхонь в заданих точках іншої поверхні

**Висновки.** Розроблені інтерактивні моделі в MapleSoft дозволяють ефективно здійснити аналіз кривих і поверхонь за допомогою тригранників Френе та Дарбу, виконуючи складні аналітичні обчислення і візуалізацію.

**Бібліографічний список**

1. Thomas Banchoff, Stephen Lovett. Differential Geometry of Curves and Surfaces. A.K.Peters, Ltd. Natic. Massachusetts. 210. 356 p.
2. Pylypaka S. The possibility to apply the Frenet trihedron and formulas for the complex movement of a point on a plane with the predefined plane displacement / S.Pylypaka, T. Volina, V.Nesvidomin, A.Pavlov, S.Dranovska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2021, 3 (7-111), pp. 45–50. - Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/232446/234604>.

## МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ І МОЖЛИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

Верещага В.М., д.т.н., професор

vervik1949@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0038-8300

Адоньєв Є.О., д.т.н., доцент

evgen.adoniev@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1279-4138

Муртазієв Е.Г., к.пед.н., доцент

ernest\_gaf@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2154-5523

Верещага І.В., математик, системний програміст

ivereshchaha@gmail.com

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана  
Хмельницького (Україна, м. Запоріжжя)

Мелітопольська школа прикладної геометрії імені Володимира Найдюша

***Анотація** – у статті досліджуються математичні методи, які застосовуються наразі у нейронних мережах з метою обґрунтування можливості використання методів композиційної геометрії у процесі машинного навчання штучного інтелекту. Розвиток штучного інтелекту у 50-х – 60-х роках минулого століття зрушив з місця після того, як його створювачі відмовились від застосування алгебраїчних методів і звернулися до геометричних, які, у свою чергу, призвели до розуміння аналогічних процесів у природі і до створення нейронних мереж. Однак, наразі, всередині нейронних мереж використовується алгебраїчна математика, методи якої, за ресурсовитратністю, поступаються методам геометричної математики.*

*Ресурсовитратність алгебраїчної математики завжди є більшою ніж ресурсовитратність геометричної математики, якою є композиційна геометрія. Приведений у статті аналіз показав, що композиційну геометрію можна застосовувати як математичний метод нейронних мереж з метою машинного навчання штучного інтелекту. Розглянуто принципи утворення смуги дифпроєкцій. Надано точкові рівняння традиційної (Ньютона-Лейбніця) першої похідної і точкове рівняння композиційної першої похідної. Говориться про можливість утворення для композиційної поверхні диференціальної композиційної поверхні і з використанням цієї диференціальної комповерхні висловлюється ідея розробки композиційного методу градієнтного спуску.*

***Ключові слова** – композиційна геометрія, композиційна похідна, смуга дифпроєкцій, композиційний метод градієнтного спуску.*

**Постановка проблеми.** Зменшення ресурсовитратності під час машинного навчання з метою розпізнавання об'єктів штучним інтелектом є проблемою. Особливо під час війни, коли долі секунди вирішують – жити чи ні. Маленьким кроком до розв'язання цієї проблеми і є ця стаття.

**Аналіз останніх досліджень.** Композиційна геометрія є новим науковим напрямком обчислювальної геометричної математики, що створений і розробляється Мелітопольською школою прикладної геометрії імені Володимира Найдиша при МДПУ імені Богдана Хмельницького. Шлях розвитку композиційної геометрії можна відстежити за роботами [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Мову програмування Python [11] покладено в основу функціонування нейронних мереж і машинного навчання штучного інтелекту щодо розпізнавання об'єктів.

**Формулювання цілей статті.** Показати можливість і перспективи застосування композиційної геометрії як геометричної математики для функціонування нейронних мереж з метою розробки, у подальшому, методик машинного навчання штучного інтелекту з її використанням.

#### **Основна частина.**

1. Композиційна геометрія – це обчислювальна геометрична математика, що ґрунтується на методах точкового БН-числення (Балюби-Найдиша) числення.

2. Композиційні геометричні об'єкти – це композиційна крива лінія, це композиційна поверхня, це композиційне геометричне тіло.

3. Алгебраїчні геометричні об'єкти – це алгебраїчні криві лінії, це алгебраїчні поверхні, це алгебраїчні тіла.

4. У чому полягає різниця між композиційними і алгебраїчними об'єктами? Різниця між ними у функціональних базисах.

Алгебраїчні об'єкти функціональним базисом мають базис Бернштейна, який є безвідносним щодо вихідного об'єкту, для якого створюється математична модель. Функціональний базис композиційних об'єктів утворюється окремо для кожної геометричної композиції і враховує усі її геометричні особливості. Крім того, кожна складова композиційного функціонального базису являє собою просте відношення трьох точок, що є інваріантом паралельного проектування.

5. Композиційні об'єкти реалізують обчислювальну геометричну математику. Алгебраїчні об'єкти реалізують алгебраїчну математику. Алгебраїчні поліному:

$$y = \sum_{i=0}^n a_i \cdot x^i; z = \sum_{i=0}^n b_i \cdot y^i; \Rightarrow z = \sum_{i=0}^n b_i \cdot \left( \sum_{i=0}^n a_i \cdot x^i \right)^i \quad (1)$$

Для утворення більш складних алгебраїчних геометричних образів розв'язуються системи рівнянь із аналогічних (1).

Композиційні точкові поліноми:

$$M(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot p_i(t) \Rightarrow M_x(t) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i(t); M_y(t) = \sum_{i=1}^n y_i \cdot p_i(t);$$

$$M_z(t) = \sum_{i=1}^n z_i \cdot p_i(t). \quad (2)$$

Для утворення більш складних композиційних образів складаються сукупності із (2).

6. Алгебраїчна традиційна (Ньютона-Лейбниці) перша похідна точкового поліному (2):

$$M_x'(t) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i'(t); M_{y_i}'(t) = \sum_{i=1}^n y_i \cdot p_i'(t); M_z'(t) = \sum_{i=1}^n z_i \cdot p_i'(t), \quad (3)$$

де  $p_i'(t)$  – похідні характеристичних функцій, які не підкорюються простому відношенню трьох точок, через це усі подальші дії з (3) здійснюються за алгебраїчною математикою.

Композиційна перша похідна точкового поліному (2):

$$M_{kx}'(t) = \sum_{i=1}^n x_i' \cdot p_i(t); M_{ky_i}'(t) = \sum_{i=1}^n y_i' \cdot p_i(t); M_{kz}'(t) =$$

$$= \sum_{i=1}^n z_i' \cdot p_i(t). \quad (4)$$

Або у загальному вигляді:

$$M'(t) = \sum_{i=1}^n A_i' \cdot p_i(t), t_1 \leq t \leq t_n. \quad (5)$$

Як бачимо (4), (5) характеристичні функції  $p_i(t)$  не диференціюються, а знаходяться значення похідних  $A_i', x_i', y_i', z_i'$  у базисних точках.

7. Смуга дифпроекцій – це значення похідної у базисних точках супровідної ламаної лінії дискретної кривої, що обчислюються методами точкового БН-числення, і встановлюють межі можливих змін похідних кривої лінії, які не викликають появи точок перегину (рис. 1).

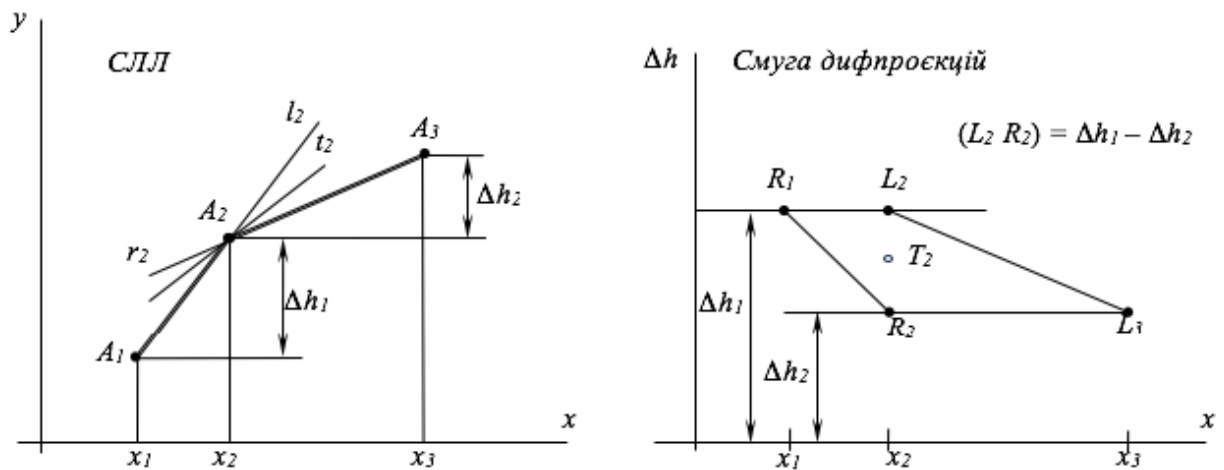


Рис. 1. Фрагмент смуги дифпроєкції для сегменту СЛЛ  $A_1A_2A_3$

8. Як показало обчислення, із (3) та (4), численних прикладів:

$$\sum_{i=1}^n y_i \cdot p_i'(t_j) = \sum_{i=1}^n y_i' \cdot p_i(t_j), \text{ для } j = \overline{1, m}, \quad (6)$$

тобто традиційні (Ньютона-Лейбниція) та композиційні похідні, за будь-яких значень параметрів  $t = t_j$ , у базисних точках, дорівнюють одне одному, а у поточних – відрізняються на величину обчислювальної похибки ( $10^{-8}$  або  $10^{-9}$ ).

9. Точкове рівняння композиційної поверхні являє собою двопараметричний точковий поліном і має вигляд:

$$M_{lm}(U, V) = \sum_{i=j=1}^{l,m} A_{ij} \cdot p_{ij}(U) \cdot q_{ij}(V), \quad (7)$$

де  $p_{ij}(U), q_{ij}(V)$  – характеристичні функції за параметричними напрямками, відповідно,  $U$  та  $V$ .

Традиційна перша похідна для (7) виглядатиме:

$$M'_{lm}(U, V) = \sum_{i=j=1}^{l,m} A_{ij} \cdot p'_{ij}(U) \cdot q'_{ij}(V), \quad (8)$$

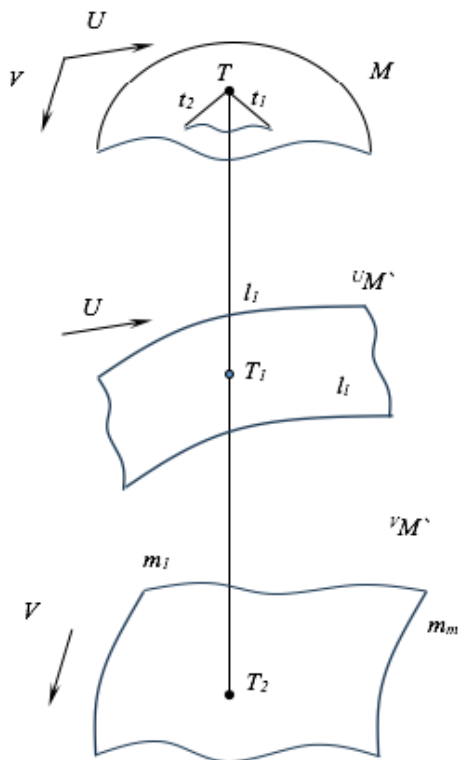
Рівняння (8) втрачає властивості композиційної поверхні через те, що  $p'_{ij}(U) \cdot q'_{ij}(V)$  не є простим відношенням трьох точок. Тобто (8) після традиційного диференціювання перетворюється у алгебраїчне рівняння поверхні.

Композиційна перша похідна для (7) виглядатиме як сукупність двох диференціальних поверхонь:

$$\left. \begin{aligned} {}^U M'_{lm}(U, V) &= \sum_{i=j=1}^{l,m} {}^U A'_{ij} \cdot p_{ij}(U) \cdot q_{ij}(V) \\ {}^V M'_{lm}(U, V) &= \sum_{i=j=1}^{l,m} {}^V A'_{ij} \cdot p_{ij}(U) \cdot q_{ij}(V) \end{aligned} \right\} (9)$$

Два рівняння із (9) є сукупними через те, що у них однакові функціональні базиси, кожне з яких є композиційним через те, що добуток двох простих відношень являє собою просте відношення трьох точок. Тобто  $p_{ij}(U) \cdot q_{ij}(V)$  – є характеристичною функцією. Тут у (9)  ${}^U A'_{ij}$ ,  ${}^V A'_{ij}$  – є значення композиційних похідних у базисній точці  $A_{ij}$ , відповідно, за параметричними напрямками  $U$  та  $V$ , що обираються за використання смуг дифпроекцій за напрямками.

Перше рівняння із (9) являє собою неперервний каркас диференціальної композиційної поверхні із неперервних комполіній за параметричним напрямком  $U$ . Друге рівняння із (9) являє собою неперервний каркас диференціальної композиційної поверхні із неперервних композиційних ліній за параметричним напрямком  $V$ . Візуалізуємо сукупність (9) на рис. 2.



Позначення:

$M$  – вихідна композиційна поверхня;

${}^U M'$ ,  ${}^V M'$  – диференціальні композиційні поверхні за напрямками;

$T_1$  – визначає дотичну  $t_1$  у точці  $T$ ;

$T_2$  – визначає дотичну  $t_2$  у точці  $T$ ;

$t_1, t_2$  – визначають дотичну площину до поверхні  $M$  у точці  $T$ , яку позначимо:  $T(t_1, t_2)$ ;

$l_1, \dots, l_i, m_1, \dots, m_m$  – перша і остання неперервні лінії відповідних каркасів поверхонь  ${}^U M'$  та  ${}^V M'$ .

Рис. 2. Схема композиційного диференціювання композиційної поверхні.

*Зауваження.* У композиційній геометрії будь-яку дискретну поверхню, утворену каркасом неперервних ліній завжди можна перетворити у неперервну через те, що усі геометричні об'єкти у ній утворюються з використанням композиційних матриць шляхом утворення сукупностей. Це чи не найголовніша перевага над алгебраїчними методами, які потребують для цього розв'язання систем рівнянь.

10. Визначення дотичної площини  $T(t_1, t_2)$  до композиційної поверхні  $M$  (рис. 2) дозволить розробити ефективний композиційний метод градієнтного спуску, який застосовується нейронними мережами для оптимізації вагових коефіцієнтів у процесі машинного навчання штучного інтелекту.

11. Сума сигналів  $X$ , що утворюється на вході у нейронну мережу, має запис, який за формою і змістом є однаковим із записом відповідного точкового поліному. Наприклад:  $x = a \cdot w_a + b \cdot w_b + c \cdot w_c$  і відповідний точковий поліном  $L = A_1 \cdot p_1(t) + A_2 \cdot p_2(t) + A_3 \cdot p_3(t)$ . Тут  $a, b, c$  – значення сигналів на вході у нейронну мережу, яким у відповідність можна поставити точки  $A_1, A_2, A_3$ . Ваговим коефіцієнтам зв'язків у нейронних мережах  $w_a, w_b, w_c$  – у відповідність можна поставити характеристичні функції  $p_1(t), p_2(t), p_3(t)$ . При цьому,  $w_a, w_b, w_c$  обираються випадковим чином, а  $p_i(t)$  можна обчислювати, виходячи із вихідних умов задачі.

Застосування точкових поліномів і композиційних матриць для розповсюдження сигналів, що є на вході, нейронною мережею надасть можливість застосовувати для цього складніші схеми розповсюдження у прямому напрямі, які призведуть до скорішого результату щодо машинного навчання. Також оптимізація похибок, із застосуванням точкових поліномів у зворотньому напрямку нейронною мережею, призведе до швидшого розпізнавання шуканого об'єкту.

**Висновки.** За певного доопрацювання деяких теоретичних питань композиційної геометрії, є сенс розпочинати розробку методик її застосування у нейронних мережах в процесах машинного навчання штучного інтелекту щодо розпізнавання об'єктів.

### ***Бібліографічний список***

1. Адоньєв Є.О. Композиційний метод геометричного моделювання багатofакторних систем: дис. ... д-ра техн. наук. К.: КНУБА, 2018, 512с.
2. Верещага В.М. Композиційне геометричне моделювання: Монографія. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2017, 108с.
3. Верещага В.М., Найдиш А.В., Адоньєв Є.О., Лисенко К.Ю. Основи композиційного геометричного моделювання: навчальний посібник. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. 255 с.
4. Лисенко К.Ю. Теоретичні основи методів утворення композиційних ліній і поверхонь: дис...к.т.н. Київ. КНУБА, 2022. 267с.
5. Лисенко К.Ю. Точкові композиційні матриці. Збірник тез доповідей «Обухівські читання» 30 березня 2023 р. НУБІП. Київ, 2023, с. 97-99.

6. Верещага В.М. О поле дифпроекции эмпирической кривой. Начертательная геометрия и черчение» (межвузовский сборник) - Алма-Ата, 1979 - с. 63-66.
7. Верещага В.М. Про необхідність розробки методів композиційного диференціювання та композиційного інтегрування. Збірник тез доповідей «Обухівські читання» 30 березня 2023 р. НУБІП. Київ, 2023, с.108-110.
8. Лисенко К.Ю., Верещага В.М. Елементи композиційного диференціювання у точковій формі. Прикладна геометрія, інженерна графіка. Випуск 103. КНУБА, 2023 р., с.114-122.
9. Муртазієв Е.Г., Верещага В.М. Узагальнений графічний аналіз кривих з використанням їхніх похідних. Прикладна геометрія та інженерна графіка. К., 2022, Вип. 103. с. 142-150.
10. Муртазієв Е.Г. Алгоритм утворення смуги дифпроекцій та визначення композиційних похідних у базисних точках. Збірник тез доповідей «Обухівські читання» 30 березня 2023 р. НУБІП. Київ, 2023, с. 102-105.



## ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНЦЕНТРАТОРІВ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

Мартинов В.Л. д.т.н., професор,

[arx.martynov@gmail.com](mailto:arx.martynov@gmail.com), ORCID: 0000-0002-0822-1970

Поляк Ю.Ю. аспірант кафедри архітектурних конструкцій КНУБА

[y\\_polyk@gmail.com](mailto:y_polyk@gmail.com)

Мартинюк О.Л. аспірант кафедри архітектурних конструкцій КНУБА

[martynuk@ukr.net](mailto:martynuk@ukr.net)

*Київський національний університет будівництва і архітектури  
(м. Київ, Україна)*

***Анотація.** Використання зелених будівель з геліосистемами в Україні є дуже актуальним та має значний потенціал для екологічного, економічного та соціального розвитку країни. Разом з тим для ефективного використання геліосистем доцільно використовувати оптимальні параметри геліосистем та сонячних відбивачів, щоб ефективно перетворювати сонячну енергію в електричну та теплову для енергозабезпечення будинку.*

*Проведено дослідження та запропоновано аналітичний спосіб вирішення задач визначення оптимальних параметрів відбивачів ( кута нахилу ) у слідкуючих сонячних колекторах з одношаровим та двошаровим закленням, з урахуванням коефіцієнтів пропускання скла, поглинання поверхнею колектора залежно від кута падіння променів, коефіцієнта затінення рамкою колектора, коефіцієнта поглинання відбивачів. Проведено розрахунок, який показав, що оптимальний кут відбивача при одношаровому закленні становить  $\beta = 58.74^\circ$  при двошаровому закленні  $\beta = 62.32^\circ$ . Цей спосіб, та математичну модель доцільно використовувати при проектуванні зелених будівель, які використовують енергію сонця для енергозабезпечення.*

*Ключові слова: зелені будівлі, прикладна геометрія, геліосистеми, оптимальні параметри відбивачів геліосистем, енергоефективні зелені будівлі*

**Постановка проблеми.** Наразі зелені будівлі з геліосистемами мають велику актуальність в Україні для енергозабезпечення житлового фонду. Використання геліосистем для виробництва електричної та теплової енергії допомагає зменшити залежність від традиційних джерел енергії, таких як вугілля та природний газ. Це зменшує витрати на комунальні послуги та робить будівлі менш вразливими до коливань цін на енергію. Зелені будівлі

можуть мати нижчі експлуатаційні витрати у порівнянні з традиційними будівлями завдяки енергоефективності та використанню відновлюваних джерел енергії.

Отже, використання зелених будівель з геліосистемами в Україні є дуже актуальним та має значний потенціал для екологічного, економічного та соціального розвитку країни. Разом з тим для ефективного використання геліосистем доцільно використовувати оптимальні параметри геліосистем та сонячних відбивачів, щоб ефективно перетворювати сонячну енергію в електричну та теплову для енергозабезпечення будинку.

**Аналіз досліджень** [1-4] показав, що в них розглянуто питання визначення форми концентраторів геліосистем, місця розташування геліосистем на огорожувальних конструкціях будівель, оптимальної орієнтації геліоприймачів.



Рис. 1. Сонячний колектор з відбивачем сонячних променів.

Питання визначення оптимальних параметрів плоских відбивачів для слідкуючих колекторів (рис.1) з метою ефективного енергозабезпечення зелених будівель з урахуванням коефіцієнтів відбивання сонячних променів, коефіцієнтів поглинання поверхнями геліоприймачів сонячних променів, коефіцієнтів прозорості скла та кількості шарів у наведених роботах не розглядалися.

**Мета дослідження.** Запропонувати спосіб визначення оптимальних геометричних параметрів відбивачів геліоприймачів, для застосування при проектуванні зелених будівель, з метою отримання максимального енергетичного надходження від сонячної радіації.

**Основна частина.** Вирішення задачі максимального отримання сонячної енергії зводиться до визначення оптимального кута нахилу  $\beta$  відбиваючої дзеркальної площини  $\sigma$  сонячного колектора  $\Omega$  (рис.1,2).

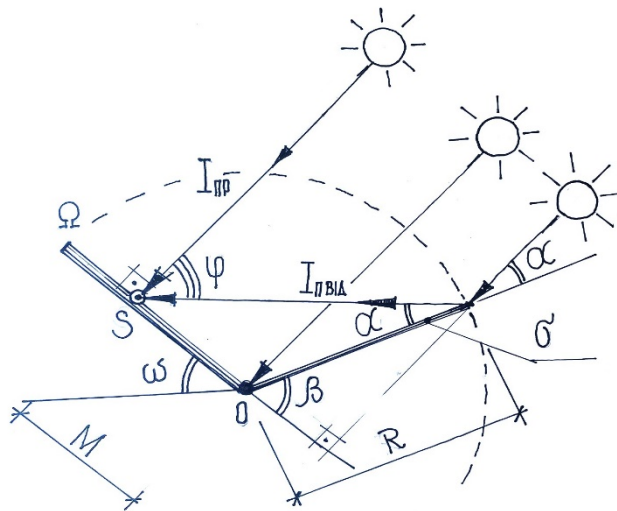


Рис.2 – Схема відбиття сонячних променів у сонячному колекторі

Інтенсивність перетвореної відбитої сонячної енергії  $I_{\text{пвід}}$  для момент часу визначається наступним чином.

Для колектора з одношаровим скляним покриттям

$$I_{\text{пвід}} = I_{\text{пр}} R \cos \beta K_{\text{від}} K_3 \tau(\alpha_{\phi}) = I_{\text{пр}} R \cos \beta K_{\text{від}} K_3 (0.876 - 1.03 \cdot 10^{-3} (2\beta - 90)^4) \quad (1)$$

Для колектора з двошаровим скляним покриттям

$$I_{\text{пвід}} = I_{\text{пр}} R \cos \beta K_{\text{від}} K_3 \cdot \tau(\alpha_{\phi}) = I_{\text{пр}} R \cos \beta K_{\text{від}} K_3 (0.843 - 1.29 \cdot 10^{-3} (2\beta - 90)^4) \quad (2)$$

де

$I_{\text{пр}}$  – інтенсивність надходження прямої сонячної радіації [4];

$K_{\text{від}}$  – коефіцієнт відбиття сонячних променів дзеркальної поверхні відбивача;

$\alpha$  – кут падіння сонячних променів на відбивач  $\sigma$  сонячних променів;

$R$  – довжина відбивача  $\sigma$ ;

$\beta$  – кут нахилу площини  $\sigma$  відбивача сонячних променів;

$\tau_{\theta_{\phi}} = (0.843 - 1.29 \cdot 10^{-3} (2\beta - 90)^4)$  – залежність коефіцієнта пропускання скла  $\tau$  та коефіцієнта поглинання  $\theta_{\phi}$  геліоприймачем  $\Omega$  залежно від кута падіння сонячних променів на поверхню геліоприймача та кута нахилу відбивача для двошарового застосування ;

$\tau_{\theta_{\phi}} = (0.876 - 1.03 \cdot 10^{-3} (2\beta - 90)^4)$  – залежність коефіцієнта пропускання скла та поглинання геліоприймача залежно від кута падіння сонячних променів на поверхню геліоприймача та кута  $\beta$  нахилу відбивача для одношарового застосування.

Було проведено розрахунки та визначено раціональний кут нахилу відбивача сонячних променів (рис.2) та побудовано графік залежності рівня перетвореної радіації залежно від  $\beta$  – кута нахилу відбивача ( рис.3)

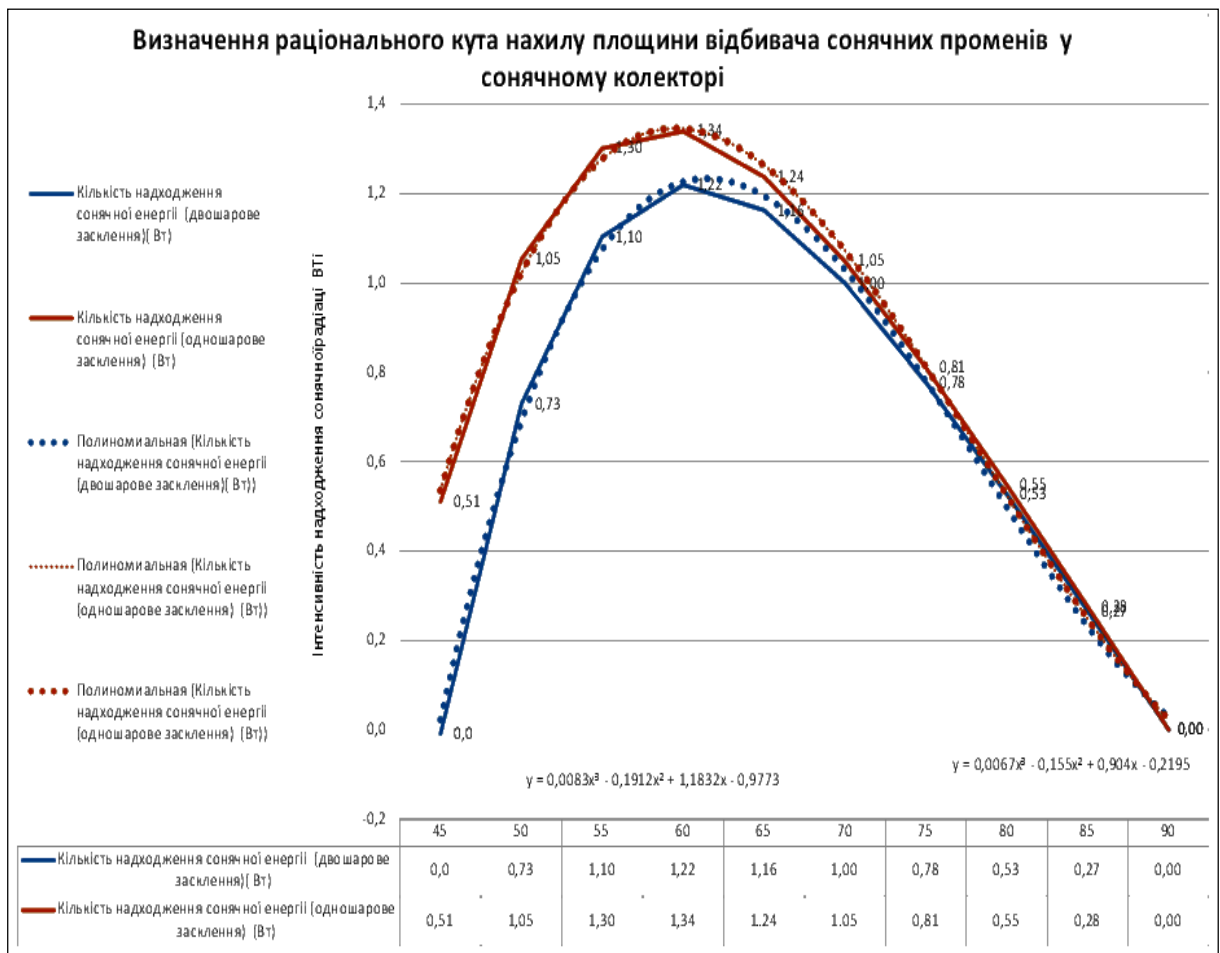


Рис. 3 – Визначення раціонального (близького до оптимального) кута нахилу відбивача сонячних променів

Проведено дослідження та визначено раціональний, близький до оптимального кута нахилу відбивача. Для одношарового застосування колектора він становив  $\beta = 59^\circ$ . Для двошарового застосування  $\beta = 62^\circ$ .

### Математичний спосіб визначення оптимальних параметрів

#### Цільова функція

Рівень перетвореної відбитої сонячної енергії в момент часу, розраховується:

$$I_{\text{пвід}} = I_{\text{пр}} R \cos \beta K_{\text{від}} K_3 (0.876 - 1.03 \cdot 10^{-3} (2\beta - 90)^4) \quad (3)$$

Рівень перетвореної відбитої сонячної енергії максимізується:

$$I_{\text{пвід}} \rightarrow \max. \quad (4)$$

Змінним параметром функції слугує параметр  $\beta$  кута нахилу площини відбивача  $\sigma$ .

*Система обмежень*

Кут нахилу  $\beta$  площини відбивача  $\sigma$ .

$$45 \leq \beta \leq 90. \quad (5)$$

Довжина  $R$  відбивача сонячних променів є незмінною

$$R = const. \quad (6)$$

Розв'язання даної задачі зводиться до оптимізації нелінійної функції за декількома змінними методом Хука–Дживса [12]

Проведені розрахунки показали, що оптимальний кут нахилу  $\beta$  відбивача становить для колектора з одношаровим заскленням  $\beta = 58.74^\circ$ , для колектора з двошаровим заскленням  $\beta = 62.32^\circ$ .

**Висновки.** Проведено дослідження та запропоновано аналітичний спосіб вирішення задач визначення оптимальних параметрів відбивачів ( кут нахилу ) у слідкуючих сонячних колекторах з одношаровим та двошаровим заскленням, з урахуванням коефіцієнтів пропускання скла, поглинання поверхнею колектора залежно від кута падіння променів, коефіцієнта затінення рамкою колектора, коефіцієнта поглинання відбивачів. Проведено розрахунок, який показав, що оптимальний кут відбивача при одношаровому заскленні становить  $\beta = 58.74^\circ$  при двошаровому заскленні  $\beta = 62.32^\circ$ . Цей спосіб, та математичну модель доцільно використовувати при проектуванні зелених будівель, які використовують енергію сонця для енергозабезпечення.

### *Бібліографічний список*

1. Шнерх О. А. Підвищення ефективності геліосистем теплопостачання дискретною орієнтацією сонячних колекторів : дис. ... канд. техн. наук : 11.00.11. Київ, 1994. 166 с.
2. Паламарчук О. Ю. Підвищення ефективності використання сонячної енергії за допомогою колекторів з концентраторами : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03. Харків, 2007. 161 с.
3. Кривенко О. В., Сингаєнко О. І. Оптимізація процесу проектування висотних будівель з інтегрованими геліосистемами. *Містобудування та територіальне планування*, 2022. Вип. 81. С. 208–218.
4. Мартинов В. Л. Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми : автореф. дис. докт. техн. наук : 05.01.01. Київ, 2015. 39 с.

## РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ РОЗТАШУВАННЯ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ГРАНЯХ ЗЕЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ В ПЕРШОМУ ПІВНІЧНО- ЗАХІДНОМУ АРХІТЕКТУРНО-КЛІМАТИЧНОМУ РАЙОНІ УКРАЇНИ

Мартинов В.Л. д.т.н., професор,

[arx.martynov@gmail.com](mailto:arx.martynov@gmail.com), ORCID: 0000-0002-0822-1970

Стаднійчук Д.М. аспірант кафедри архітектурних конструкцій КНУБА,  
[111222@ukr.net](mailto:111222@ukr.net)

Банний Т.А аспірант кафедри архітектурних конструкцій КНУБА  
[tarasbannyi@gmail.com](mailto:tarasbannyi@gmail.com)

Волков А.В.

[a.v.volkov10@gmail.com](mailto:a.v.volkov10@gmail.com)

*Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ,  
Україна)*

***Анотація.** Зелені будівлі на сьогодні мають велике значення для сталого розвитку в будь-якій країні, включаючи Україну. Зелені будівлі зазвичай використовують енергоефективні технології, що дозволяє зменшити споживання енергії для опалення, кондиціонування повітря та освітлення. Це не лише зменшує витрати на комунальні послуги, але й знижує викиди парникових газів. Зелені будівлі спрямовані на зменшення використання природних ресурсів, таких як вода та деревина. Зелені будівлі створюють більш здорове та комфортне середовище для проживання та роботи.*

*Разом з тим виникає питання підвищення енергоефективності зелених будівель.*

*У результаті досліджень розроблено графічну модель (спосіб) для визначення раціональної орієнтації (близької до оптимальної) та місця розташування світлопрозорих конструкцій на фасадах зелених будівель з урахуванням теплового балансу конструкцій з метою підвищення енергоефективності будинку та для використання під час архітектурного проєктування.*

***Ключові слова** – зелені будівлі, прикладна геометрія, оптимальні параметри світлопрозорих конструкцій, графічні моделі.*

**Постановка проблеми.** У наш час використання зелених будівель в Україні має величезний потенціал і залишається дуже актуальним питанням. На тепер, під час війни, Україна має високі енергетичні витрати через застарілість багатьох будівель та систем опалення та охолодження. Зелені будівлі, які використовують енергоефективні технології, можуть

значно зменшити ці витрати та сприяти енергонезалежності. Україна ставить перед собою завдання до 2050 року стати країною з нульовим викидом вуглецю. Зелені будівлі можуть бути ключовим елементом для досягнення цієї мети, забезпечуючи ефективне використання ресурсів та зменшення викидів.

Разом з тим при проектуванні зелених енергоефективних будівель є актуальною задача підвищення їх енергоефективності, що досягається використанням огорожувальних конструкцій, у тому числі світлопрозорих конструкцій, з оптимальними параметрами для експлуатації. Постає задача визначення оптимальних параметрів (азимута та кута нахилу), та параметрів світлопрозорості скла, для застосування під час архітектурного проектування.

**Аналіз досліджень.** Аналіз попередніх досліджень [1-3] показав, що в роботах визначалася оптимальна форма тіла у тепловому потоці, орієнтація геліоприймачів за різних умов, але питання оптимального розташування світлопрозорих конструкцій на фасадах зелених будівель з урахуванням теплового балансу з оточуючим середовищем нерозглядалося.

**Мета дослідження.** Розробити графічну модель (спосіб) для визначення раціональної орієнтації та місця розташування світлопрозорих конструкцій на фасадах зелених будівель з урахуванням теплового балансу конструкції з оточуючим середовищем.

**Основна частина.** Визначення теплового балансу непрозорих та світлопрозорих конструкцій попередньо розглядалося в роботі [4]. Раціональна орієнтація світлопрозорої конструкції приймається за умови, що тепловий баланс (тепловтрати) через світлопрозорі огорожувальні конструкції при орієнтації, наближеної до південної, не перевищує тепловий баланс непрозорих конструкцій  $\Delta Q_{v_i} \leq \Delta Q_{ст_i}$ , а перетин моделей (1) визначає зону раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій в огорожувальних конструкціях будівель (рис.2).

$$\begin{cases} \Delta Q_{v_i} = f(A_{\sigma}); \\ \Delta Q_{ст_i} = f(A_{\sigma}). \end{cases} \quad (1)$$

За вищерозглянутою методикою проведено аналіз раціонального розташування вікон на фасадах будівлі за різного опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих конструкцій і різного g-фактора засклення світлопрозорих конструкцій для I Північно-західного архітектурно-кліматичного району України (рис.2). Для міста Київ результати досліджень наведено на рис. 2, де g-фактор конструкцій дорівнює 0.5. Хоча може бути різним, а саме від 0,1 до 0,7.



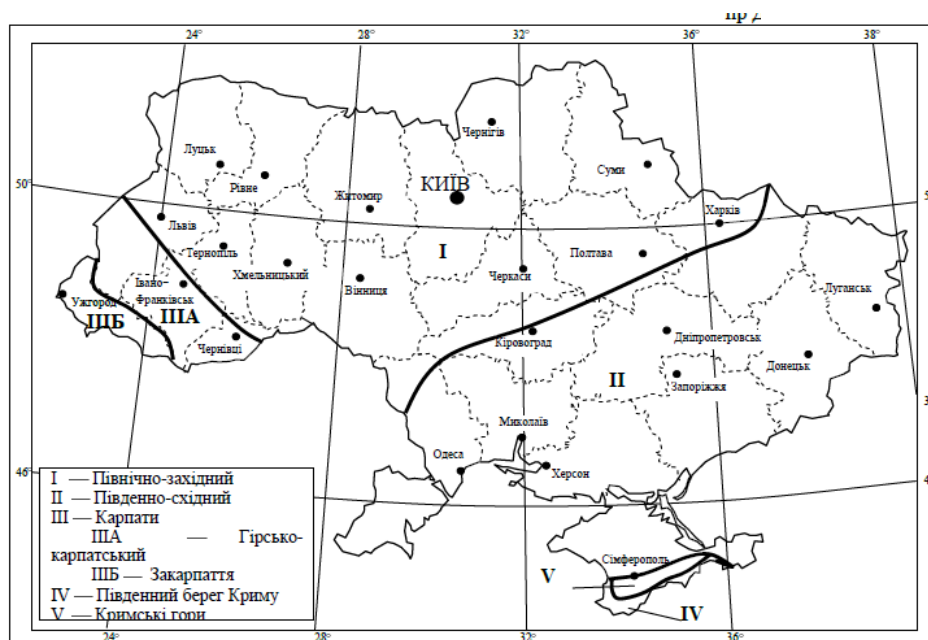


Рис.1– Архітектурно-будівельне кліматичне районування території України

ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС  $1\text{ м}^2$  СКЛОПАКЕТІВ ВЕРТИКАЛЬНИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ за опалювальний період ( $\text{кВт год/м}^2$ ) для 50 град Пн.Ш. ( м.Київ)  $G=0.5$

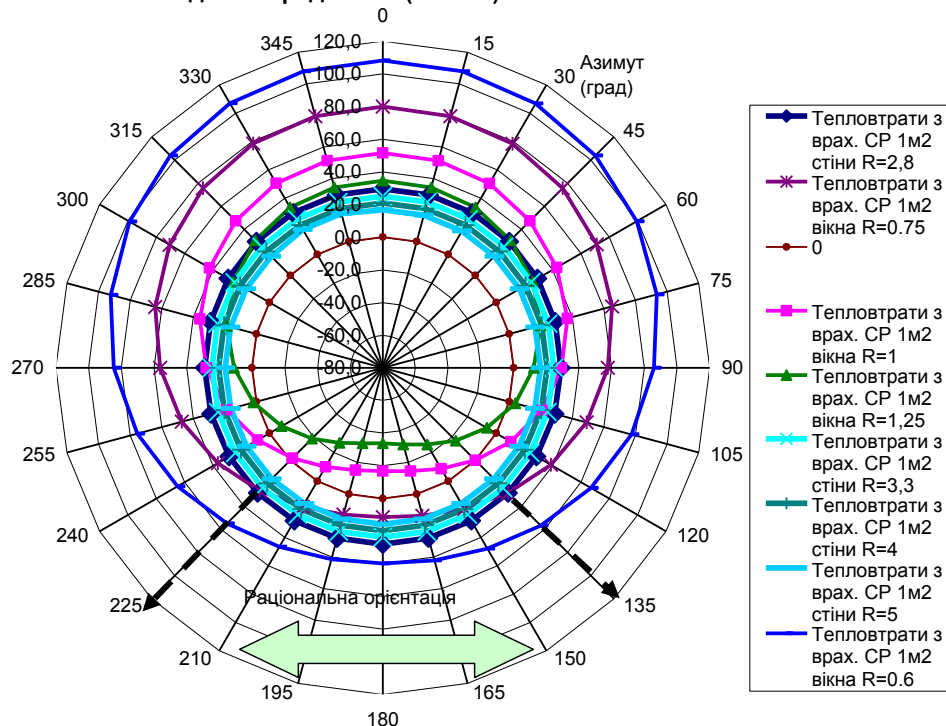


Рис. 2– Графічні моделі теплового балансу світлопрозорих та непрозорих конструкцій та визначення раціональної орієнтації вікон

Наведений спосіб використання графічних моделей, пов'язаний з суміщенням їх з планом будівлі. При цьому визначається раціональна



орієнтація світлопрозорих конструкцій. Цей спосіб може використовуватися при проектуванні зелених будівель.

Аналіз графічних моделей теплового балансу світлопрозорих огорожувальних конструкцій показав, що оптимальною азимутальною орієнтацією вікон для I Північно-західного архітектурно-кліматичного району України для опалювального періоду України є південна. А відхилення від південної орієнтації до 30 градусів при факторі засклення  $g = 0,1-0,5$  збільшить тепловтрати до 10 відсотків, при факторі засклення  $g = 0,6-0,7$  – до 25 відсотків.

**Висновки.** У результаті досліджень розроблено графічний спосіб визначення раціонального розташування вікон в огорожувальних конструкціях будівель, також підбору геометричних параметрів опору теплопередачі вікон і  $g$ -фактора засклення світлопрозорих конструкцій з метою підвищення енергоефективності протягом опалювального періоду. Саме для визначення раціонального розташування вікон використовуються графічні моделі теплового балансу огорожувальних конструкцій під час архітектурного проектування зелених будівель.

### ***Бібліографічний список***

1. *Sergeychuk O., Martynov V. Virchenko G., Usenko I. Optimization of forms and size of windows for energy conservation International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.2) (2018) 399-403 <https://DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27278>*

2. *Паламарчук О. Ю. Підвищення ефективності використання сонячної енергії за допомогою колекторів з концентраторами : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03. Харків, 2007. 161 с.*

3. *Кривенко О. В., Сингаєнко О. І. Оптимізація процесу проектування висотних будівель з інтегрованими геліосистемами. Містобудування та територіальне планування, 2022. Вип. 81. С. 208–218.*

4. *Мартинов В. Л. Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми : автореф. дис. докт. техн. наук : 05.01.01. Київ, 2015. 39 с.*

## ANALYSIS OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL SCHEMES OF DISK AND ANCHOR COULTERS FOR DIRECT SOWING OF GRAIN

Lazarchuk M.V., PhD candidate<sup>2</sup>,  
mlazarchuk@ukr.net, ORCID : 0000-0001-6192-6825

Loginov P.I., student,  
loginovpavlo2006@gmail.com

Volokha M.P., Ph.  
volmp@i.ua , ORCID: 0000-0002-0112-7324

*National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Ukraine, Kyiv)*

*The paper presents constructive and technological schemes of modern disk and anchor coulters designed for direct sowing, a comparative analysis of their advantages and disadvantages in the operation of sowing units under different agrotechnical conditions. Analogs and a prototype for development and directions for further research have been selected.*

**Keywords** - disk coulters, anchor coulters, sowing section, direct sowing, seeds, seedbed.

**Statement of the problem.** It is known that the zero-till technology of growing grain crops is energy-saving, because such energy-intensive tillage operations as plowing, harrowing and cultivation, unlike the classical technology, are carried out directly during the sowing process. However, this is possible mainly due to the improvement of the parameters of the working bodies of seeders, especially the coulters.

When designing coulters, it is necessary to take into account a number of factors (the presence of plant residues, stubble, soil hardness, moisture, viscosity) that significantly affect the processes of covering, furrow and seedbed formation, distribution, closure and compaction of seeds). Therefore, the substantiation of the design and technological scheme of the sowing section of a seeder for direct sowing of cereals, the study of the process of interaction of its working bodies with the soil and the influence of design parameters on the quality of seed sowing is an urgent scientific and technical task and an important economic problem of increasing field germination of seeds.

**Analysis of recent research.** Article [1] notes that well-known machine-building firms produce a variety of modern seeders and sowing complexes with anchor or disk coulters for direct sowing of grain, which are designed to form a seedbed with minimal disturbance of the primary state of the soil.

---

<sup>2</sup>\*Supervisor: Dr. Volokha M.P

It has been proved [2] that the smaller the angle of inclination of the loosening disk in relation to the direction of movement, the less damage to the surface soil layer. Some designers [3] place a depth control wheel in the area where the disk coulter exits the soil, which prevents the soil from swelling under the action of the disk and prevents damage to its integrity. The anchor coulters of the domestic (Kropyvnytskyi) Elvorti CZS-2.1 seeder (Table 2, Fig. b) and the German Horsch Sprinter ST (Table 2, Fig. a) create a furrow in the soil with a dense bed for seeds without disturbing the structure of the surface soil layer and mulch, due to which moisture is well preserved [4]. The chisel-shaped coulter of the Primera DMC seeder (Table 2, Fig. c) is designed for direct and mulch sowing in arid regions. The fundamental difference is that the seeds are placed under the crop residues, which ensures good contact with the soil and improves the conditions for seed germination [5].

The main criterion for this analysis of direct seeding coulters is to ensure the prerequisites for uniformity of seeding both along the length of the row and the depth of seeding into the soil.

**The aim of the study is to** increase the efficiency of a direct seeder by improving the design and technological scheme and working bodies of the sowing section.

**The main part.** As a result of laboratory and field studies and observations of the operation of seeders and sowing complexes in the field, the following was found.

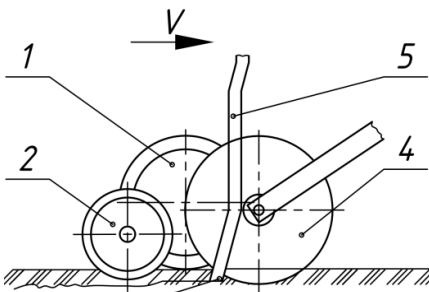
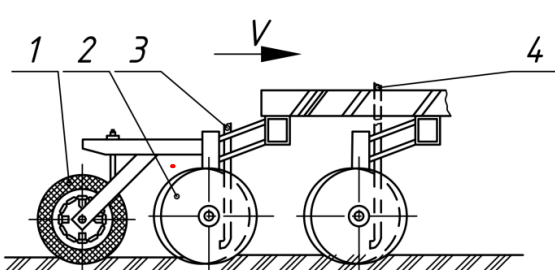
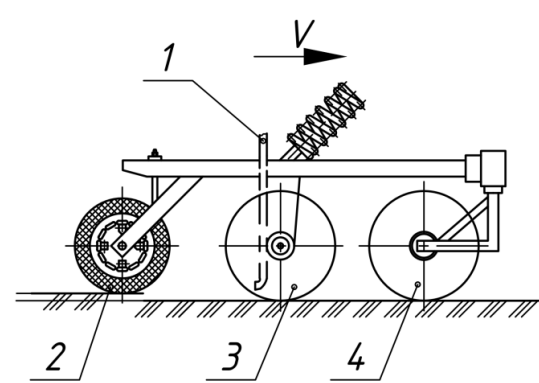
Disc coulters. The double-disc coulter of the Salford 520 seeder (Table 1, Fig. a), using a parallelogram mechanism of attachment to the frame, copies the unevenness of the field surface well and adheres to the set seeding depth at high speeds. The 6.35 mm offset sowing discs 1 penetrate the soil better, and the plastic seal located between them levels the seed in the furrow and improves its contact with the soil. The elastic parallelogram lever mechanism 2 creates pressure on the coulter, which is concentrated on the rubber roller 3, so that the depth of the discs and, accordingly, the seeding depth can be adjusted by changing the position of the roller. The articulated coulter and roller connection ensures precise pressing even in fields with complex contours and frequent turning. A disk knife (wavy disk) 4 is mounted on the front of each coulter. It cuts a slit in the stubble, destroys the compaction of the surface soil layer, crushes plant residues, preventing them from falling to the bottom of the furrow, i.e. to the seedbed. The depth of the disk knife should be 2.5 cm deeper than the sowing depth, as a result of which the root system of plants develops vertically, and moisture and nutrients from the lower soil layers are more accessible to it.

The American-made John Deere 730 seeder is also equipped with a double-disc coulter (Table 1, Fig. a), and the sowing Disks 1 are also offset along the direction of travel. Behind the sowing machines are wheels 2, which roll the surface, ensuring increased contact of the seed with the soil, and allow you to control the depth of its incorporation in the furrow.

The disadvantage of disc coulters, depending on the method of their use and the previous crop grown in a given crop rotation, may be the penetration of stubble or other plant residues into the seedbed, which impairs seed contact with the soil and, as a result, leads to a decrease in field germination [6]

Table 1.

**Disk coulters and brands of seeders (sowing complexes)**

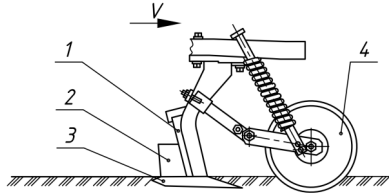
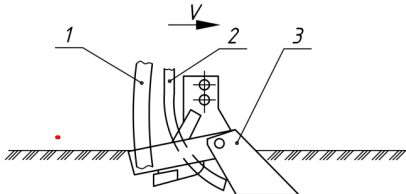
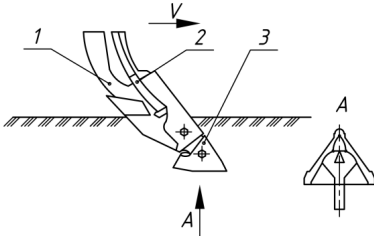
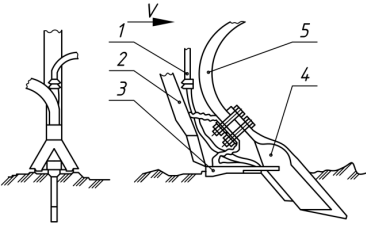
<i>The coulters design</i>	<i>Manufacturer</i>
<p>a)</p>  <p>1 - double-disc coulters; 2 - packer wheel; 4 - copying wavy disk knife; 5 - seed pipe</p>	<p>Salford 520, John Deere 730, Bourgault 5725-30, Morris Never Pin, John Deere 750A, Gaspardo Gigante 900, Great Plains STA-4000, SPP-4.2, SZS-400, MPK-12, Crucianelli PIONERA III / IV, DolbiFX 7000,</p>
<p>b)</p>  <p>1-packing wheel; 2-double-disc coulters with offset disks; 3-seed conduit; 4-fertilizer conduit</p>	<p>SS-6 "Buster", SZK-4.5, "Bereginya", Kuhn SD3000P (4000P; 6000P)</p>
<p>c)</p>  <p>1 - seed conduit; 2 - packer wheel; 3 - double-disc coulters; 4-copy wheel</p>	<p>John Deere 1895, Great Plains STA-4000, Crucianelli PIONERA III / IV, DolbiFX 7000, Amazone Citan</p>

Anchor coulters (especially chisel-shaped ones) better compact the seedbed and are able to move crop residues from the row zone to the inter-row zone, which contributes to the simultaneous and rapid germination of seeds [6].

Seed drills with anchor coulters include Amazone Primera DMC-601 (Table 2, Fig. a), Amazone AD3 Special (Germany) (Table 2, Fig. c), Elvorti C3C-2.1 (Ukraine) (Table 2, Fig. b), Seed Master (France), etc. The chisel-shaped coulters leave a clean furrow for the seed, and the double packer rollers ensure uniform depth of travel and soil coverage of the sown seeds.

Table 2.

**Anchor coulters and brands of seeders (sowing complexes)**

<i>The coulters design</i>	<i>Manufacturer</i>
<p>a)</p>  <p>1 - seed conduit; 2 - reflector; 3 - anchor (tine) coulters; 4-copy disk</p>	<p>Horsch Sprinter ST, Horsch ATD 12.30, Flexi CoilST 820, Bourgault 8810, Morris Maxim II, Ezee On7550, Rogro, Haybuster 8000, Amazone Primera DMC-601.</p>
<p>b)</p>  <p>1 - seed pipe; 2 - fertilizer pipe; 3-Anchor coulters</p>	<p>Elvorti CPS-2.1, FlexiCoil (CASEIH)ATX 400, Bourgault 8810 (5710), Morris Maxim II (Maxim III), Amazone NT-37.</p>
<p>c)</p>  <p>1 - seed pipe; 2 - fertilizer pipe; 3 - anchor chisel coulters</p>	<p>Amazone Primera DMC, AD3 Special, Flexi Coil5000, Morris Concept 2000.</p>
<p>d)</p>  <p>Rear view Right view 1 - fertilizer line; 2 - seed line; 3 - cutting edge; 4 - anchor coulters; 5 - cultivator stand</p>	<p>SKP-2, John Deere1820 (1830, 1840), Bourgault 8810, Morris Maxim II</p>

The Amazone AD3 Special coulters is used for small amounts of straw, e.g. after beet or rape. The sufficient longitudinal spacing between the adjacent coulters protects them from clogging with crop residues.

**Conclusions** Disc coulters that form a V-shaped furrow are the least destructive to the integrity of the soil composition, copy its surface well, and follow the depth of cultivation more accurately at higher speeds, but are able to capture and draw plant residues into the seedbed, which reduces the field germination of seeds.

Anchor coulters cut a U-shaped furrow, creating a dense seedbed that promotes faster seed germination, but do not control the sowing depth sufficiently. They also provide a more even distribution of seed nutrition areas than disc coulters, which ultimately leads to higher grain yields. The disadvantage of anchor coulters is their ability to bring boulders and large clods to the surface, especially when working on soils of high hardness.

Based on the analysis of the features of the two types of direct seeding coulters, research is planned to develop mathematical models of their interaction with the soil.

### References

1. Yablons'kyi P. M. (2023). Konstruktsionnye osoblyvosti pruzhynnoho zabezpechuvacha soshnykiv pryamoho vysivu. Visnyk Sums'koho natsional'noho arharnoho universytetu. Seriya: Mechanization and automation of industrial processes. 4 (50). 144-148. [in Ukrainian]
2. Malaslia M. Z., Celik A. (2019). Disc angle and tilt angle effects on forces acting on a single-disc type no-till seeder opener. Soil and Tillage Research. 194. 104304. doi: 10.1016/j.still.2019.104304.
3. Karada P. R., Gaikwadb A. (2018). Design and analysis of a disk furrow opener. Int J Eng Technol Sci Res. 5(3). 1777-1780.
4. Sereda L. P., Shvets O. I. (2019). STRIP-TILL technology in the city. Perspektyvnist vprovadzhennia v Ukraini. [Visnyk of agricultural science Prychornomoria "Ukrainian Black Sea region agrarian science". 4. 104-113 [in Ukrainian].
5. Conyers M., Rijt V., Oates A., Poile G., Kirkegaard J., Kirkby C. (2019). The strategic use of minimum tillage within conservation agriculture in southern New South Wales, Australia. Soil and Tillage Research. 193. 17-26. doi: 10.1016/j.still.2019.05.021.
6. Volokha, M. (2019). Doslidzhennia pokaznykiv rozmishchennia skhodiv tsukrovykh buriakiv za vysivu nasinnia mehanichnymy i pnevmatychnymy sivalkami. [Study of indicators of placement of sugar beet seedlings when sowing seeds with mechanical and pneumatic seed drills]. Technology and Energy / Machinery & Energetics. 297. 153-158. [in Ukrainian]

## ДО ПИТАННЯ ВАРІАНТНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДВЕРЕЙ ТА ВІКОН ПРАВОСЛАВНИХ ХРАМІВ

Терещук М.О., к.т.н.

nikolatereschuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4444-3677

Київський національний університет будівництва і архітектури  
(м. Київ, Україна)

*Анотація* – подано засади нового підходу до варіантного автоматизованого формоутворення таких типових конструкційних елементів православних храмів, як вікна і двері. Описана методика спирається на теорію структурно-параметричного геометричного моделювання. Головна мета полягає в забезпеченні даним сакральним будівлям бажаної індивідуальності при збереженні канонічності форм їхніх основних архітектурних композиційних складових (середньої частини храму, вівтаря, притворів, куполів і т. д.).

Завдяки окресленій ідеї досягається розумний компроміс між широким застосуванням типових базових будівельних конструкцій, які достатньо відпрацьовані, перевірені практикою, мають високі техніко-економічні показники тощо, та забезпеченням кожному храму належної неповторності. У статті наведено необхідну систематизацію використовуваних вікон і дверей стосовно їхньої форми, запропоновано математичний апарат її варіантного визначення та реалізації у вигляді структурно-параметричних геометричних моделей. Ці засоби спрямовані на продуктивний аналіз великого числа різновидів проєктованих об'єктів, дефініцію кращих із них.

Розглянута методика корисна не тільки при зведенні нових сакральних будівель, а й відновленні зруйнованих унаслідок теперішніх воєнних дій на території України.

**Ключові слова** – варіантне геометричне моделювання, вікна, двері, православні храми, структурно-параметричне формоутворення.

**Постановка проблеми.** У важке для України воєнне лихоліття все більше людей приходять до православних храмів. На жаль, багато з останніх нині зруйновані або пошкоджені. Тому потребують відбудови. Згідно з християнськими канонами кожний сакральний об'єкт повинен мати яскраву індивідуальність. Одним із шляхів успішної реалізації цього, при збереженні форми та розмірів таких основних архітектурних складових, як середня частина храму, вівтар, притвори, куполи і т. д., слугують більш дрібні конструкційні та декоративно-оздоблювальні елементи. Певна важлива роль у цьому належить дверям і вікнам. Суттєвим фактором для

останніх є сучасний прогрес у їхньому забезпеченні високої енергоефективності будівель.

**Аналіз останніх досліджень.** У виданні [1] подано загальні відомості про архітектурну канонічну структуру православних храмів, яка до свого складу включає притвор, середню частину та вівтар. Наведено базові вимоги до об'ємно-планувальних рішень. Стосовно стін, дверей і вікон вказується, що створюваний ними внутрішній простір достатньо ізольований від навколишнього світу. Зазначені будівельні компоненти повинні засвідчувати міцність, безпеку та надійність православних храмів. Їхні вікна, зазвичай, невеликі й вузькі, розміщуються у верхній частині сакральних будівель, для яких непритаманне надмірне застосування стін. Вікна, як правило, розташовуються в барабанах куполів, що забезпечує розповсюдження світла зверху до низу приміщення. Це має особливе релігійно-духовне значення. У праці [2] розглядаються питання проєктування та реконструкції православних храмів, певним чином аналізуються застосовувані дверні й віконні отвори. Публікацією [3] акцентовано необхідність адаптації розробленої для машинобудування методології структурно-параметричного геометричного моделювання до потреб сучасного архітектурного формоутворення, зокрема, православних храмів. У статті [4] подано відповідні приклади комп'ютерного проєктування. Більш докладно стосовно куполів це викладено в дослідженнях [5, 6] та з прив'язуванням до конкретної місцевості – у виданні [7]. Виконаний огляд літератури показав актуальність задач варіантного геометричного моделювання дверей і вікон православних храмів.

**Ціль публікації** полягає в описі запропонованого підходу до комп'ютерного варіантного формоутворення дверей і вікон православних храмів на засадах структурно-параметричного геометричного моделювання.

**Основна частина.** Деякі розповсюджені різновиди одиночних дверей і вікон згідно з джерелами [2, 7] представлено на рис. 1.

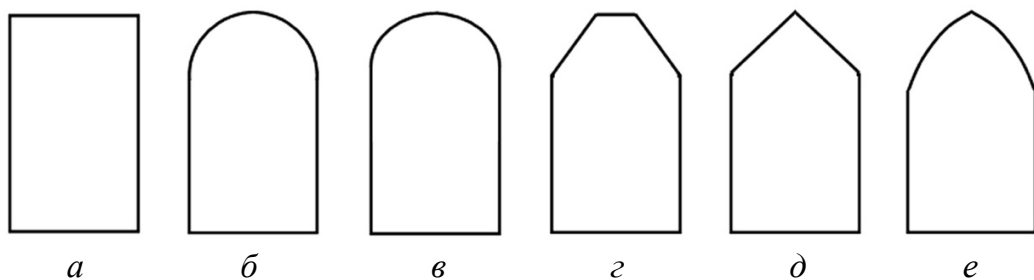


Рис. 1. Варіанти форм дверей і вікон:

*a* – прямокутні; *b* – з напівциркульною аркою; *в* – сегментні;  
*г* – трапецієвидні; *д* – з загостренням при вершині; *e* – стрілчаті

У нинішніх автоматизованих інженерних системах для підвищення продуктивності аналізу великого числа можливих форм, розмірів та положень проєктованих компонентів широко застосовується параметричний підхід до конструювання. Він полягає в дефініції геометричних елементів і взаємозв'язків між ними за допомогою ключових



параметрів, варіювання яких дозволяє ефективно керувати комп'ютерним формоутворенням. У нашому випадку, див. рис. 1, це буде побудова шести відповідних моделей. Тоді, наприклад, можна гнучко переміщувати потрібним чином наведені вікна і двері, змінювати їхні розміри, пропорції між останніми тощо. Але, як правило, перетворення одного типу моделі в інший неможливе. Тобто, для оцінювання нового варіанта дверей або вікон необхідно замінювати поточну їхню модель на іншу. Було б значно продуктивніше мати параметричну геометричну модель, яка узагальнює зазначені вище.

У даній праці пропонується такий підхід на прикладі застосування методології структурно-параметричного формоутворення з використанням раціональних векторних кривих другого степеня

$$\mathbf{r}(u) = \frac{(1-u)^2 \mathbf{r}_0 + 2w_1(1-u)u\mathbf{r}_1 + u^2 \mathbf{r}_2}{(1-u)^2 + 2w_1(1-u)u + u^2}, \quad (1)$$

де  $\mathbf{r}_0=(x_0, y_0)$ ,  $\mathbf{r}_1=(x_1, y_1)$ ,  $\mathbf{r}_2=(x_2, y_2)$  – радіус-вектори вершин характеристичної ламаної у прямокутній декартовій системі координат  $Oxy$ ;  $w_1 \geq 0$  – ваговий коефіцієнт вершини  $\mathbf{r}_1$ ;  $u \in [0, 1]$  – параметр.

Зауважимо, що залежність (1) забезпечує побудову відрізків прямих, дуг кіл, еліпсів, парабол і гіпербол та здатна моделювати їхнє виродження в точку. На засадах структурно-параметричного підходу визначаємо склад множини з елементів (1), див. рис. 2, яка здатна описати в загальному вигляді подані вище фігури.

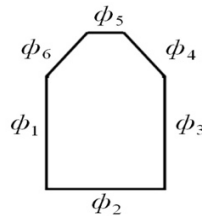


Рис. 2. Схема дефініції зображених на рис. 1 дверей і вікон

Отже, маємо

$$\Phi = (\phi_i)_{i=1}^{N_{\phi_i}} = (\phi_i)_{i=1}^6. \quad (2)$$

Зокрема, на підставі виразів (1) і (2) прямокутні двері або вікна відтворюються кортежем

$$\Phi_1 = (\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_5). \quad (3)$$

При цьому елементи  $\phi_4$  та  $\phi_6$  вироджені.

Фігура з напівциркульною аркою моделюється множиною

$$\Phi_2 = (\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_6), \quad (4)$$

де крива  $\phi_5$  вироджена, а  $\phi_4, \phi_6$  є дугами кола.

У наступному (рис. 1, в) схожому на співвідношення (4) випадку

$$\Phi_3 = \Phi_2, \quad (5)$$

але застосовуються еліптичні дуги  $\phi_4, \phi_6$ .

Побудова трапецієвидних фігур відповідає схемі рис. 2

$$\Phi_4 = \Phi, \quad (6)$$

де всі елементи  $\phi_i$  є прямолінійними відрізками.

Для вікон і дверей із загостреннями  $\Phi_5$  та стрілчатих  $\Phi_6$  маємо

$$\Phi_{5,6} = (\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_6). \quad (7)$$

де лінія  $\phi_5$  вироджена. У першому разі  $\phi_4, \phi_6$  – відрізки прямих, у другому – дуги кривих другого степеня.

Таким чином, залежності (1) ... (7) на засадах структурно-параметричного формоутворення дозволяють гнучко реалізовувати геометричне моделювання певних різновидів дверей і вікон православних храмів.

**Висновки.** У даній публікації розглянуто основи запропонованого способу комп'ютерного варіантного формоутворення деяких дверей і вікон православних храмів. Подані засоби сприяють підвищенню ефективності автоматизованого проектування зазначених сакральних будівель завдяки забезпеченню продуктивного аналізу великого числа проектних варіантів для визначення кращих із них.

#### **Бібліографічний список**

1. Куцевич В. Канонічна структура побудови православних храмів. *Українська академія мистецтва*, 2021. Вип. 30. С. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.33838/naoma.30.2021.5-13>
2. Слєпцов О.С. Архітектурне проектування і реконструкція православних храмів. Київ: А+С, 2014. 272 с.
3. Терещук М.О. До питання архітектурно-будівельної адаптації структурно-параметричного формоутворення. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*, 2020. Вип. 99. С. 190–199. DOI: <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2020.99.190-199>
4. Tereschuk M. Variant planning orthodox churches in an integrated computer environment Excel-Dynamo-Revit. *Danish Scientific Journal*, 2020. № 42. Vol. 1. P. 3–7.
5. Терещук М.О. Структурно-параметричний спосіб формоутворення куполів православних храмів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*, 2022. Вип. 103. С. 201–208. DOI: <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2022.103.201-208>
6. Терещук М.О. Структурно-параметричні геометричні моделі поверхонь куполів православних храмів. *Прикладні питання математичного моделювання*, 2022. Вип. 5.1. С. 95–100. DOI: <https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2022-5-1-12>
7. Вірченко Г.А., Мартинов В.Л., Терещук М.О. До питання архітектурного формоутворення православних храмів Чернігівщини. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*, 2023. Вип. 105. С. 53–61. DOI: <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2023.105.53-61>

## РІЧНИЙ ХІД АСТРОНОМІЧНОЇ ТРИВАЛОСТІ ІНСОЛЯЦІЇ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПЛОЩИН РІЗНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ

Кундрат Т. М., к.т.н.

kundratt@i.ua, ORCID: 0000-0001-9345-3161

Літницький С. І., к.т.н., доцент

gavran88@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4962-7800

Пугачов Є. В., д.т.н., професор

rev1957@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4771-0942

Зданевич В. А.

vasyl.zdanevych@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9875-8463

Національний університет водного господарства та природокористування  
(Україна, м. Рівне)

***Анотація** – в статті розглянуто характерні криві річного ходу астрономічної тривалості інсоляції для вертикальних площин різної орієнтації на прикладі м. Сарни Рівненської області. Криві річного ходу тривалості інсоляції отримані шляхом моделювання в середовищі «MathCad». Наведені результати моделювання є показником максимального ресурсу інсоляції для вертикальної площини заданої орієнтації для місцевості даної широти. Отримані результати можна використати для визначення можливого опромінення площини чи для визначення тривалості інсоляції площини та її опромінення, зважаючи на імовірність сонячного сяяння в даній місцевості.*

***Ключові слова** – астрономічна тривалість інсоляції, річний хід астрономічної тривалості інсоляції, дні рівнодення, дні сонцестояння, опромінення вертикальної площини, кут орієнтації.*

**Постановка проблеми.** Сонцезахист та використання сонячної енергії в архітектурі потребують унаочнення астрономічної (можливої) тривалості інсоляції площин різної орієнтації та нахилу до площини горизонту в різні періоди року, зокрема, – на протязі всього року. Фасади будівель, як правило, є вертикальними площинами. Тому важливо саме для вертикальних площин різної орієнтації показати, як змінюється їх астрономічна тривалість інсоляції.

**Аналіз останніх досліджень.** Моделювання річного ходу астрономічної тривалості інсоляції похилої площини розглядалося в роботі [2]. Робота [1] присвячена визначенню можливого опромінення площини, робота [3] – визначенню тривалості інсоляції площини та її опромінення, зважаючи на імовірність сонячного сяяння в даній місцевості. В тезах [4]

розглядався річний хід астрономічної тривалості інсоляції похилих площин південної орієнтації різних кутів нахилу до площини горизонту.

**Формулювання цілей.** В цій роботі поставлена мета – візуалізувати річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальних площин різної орієнтації.

**Основна частина.** Астрономічна тривалість інсоляції площини – це час інсоляції в годинах, коли кожен день року є сонячним, а сама площина не затулюється іншими об'єктами, наприклад, деревами, будинками і спорудами, рельєфом. В такому випадку час інсоляції площини залежить лише від її орієнтації, кута нахилу до площини горизонту та широти місцевості. Астрономічна тривалість інсоляції є показником ресурсу інсоляції (максимальним значенням) для даної площини на даний день року.

В даній статті розглядаються характерні типи кривих річного ходу астрономічної тривалості інсоляції вертикальних площин різної орієнтації на прикладі м. Сарни Рівненської області, яке розташоване на широті  $51,4$  градуси. В ньому є актинометрична станція.

Вертикальна площина залежно від орієнтації та дня року може перетинати траєкторію Сонця один або два рази. Інший випадок – взагалі не перетинати, коли вона освітлюється в цей день від сходу до заходу Сонця над площиною горизонту. Якщо площина перетинає траєкторію Сонця один раз, то можна говорити про час сходу Сонця над площиною (час заходу Сонця за площину). Якщо два рази, – то і про час сходу над площиною і про час заходу за площину. В розробленій MathCad-програмі визначалася сумарна тривалість астрономічної інсоляції за кожен день року, зважаючи на можливі інтервали інсоляції. Координати Сонця обчислювались за відомими формулами [5].

На рис. 1 показаний річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальної площини південної орієнтації ( $\theta = 0$  град, по горизонтальній осі – номер дня року від 1 до 365, по вертикальній – тривалість інсоляції в годинах). Як видно з рисунку, крива річного ходу інсоляції має два максимуми в дні рівнодення (тривалість інсоляції в ці дні – 12 год.) і локальний мінімум в день літнього сонцестояння (тривалість інсоляції в цей день – 9,29 год.). Дням весняного та осіннього рівнодення відповідають 81-й та 264-й дні року, а літньому сонцестоянню – 172-й. В дні рівнодення крива має дві точки злому.

На рис. 2 маємо річний хід астрономічної тривалості інсоляції для вертикальної площини, орієнтація якої (кут  $\theta$  між напрямом на південь та напрямом нормалі до площини, який відраховується до напрямку на схід) становить 15 градусів. Характер кривої змінився: в неї з'явилися дві похилі прямолінійні ділянки і, відповідно, чотири точки злому, проте збереглися два максимуми (105-й та 239-й дні року, тривалість інсоляції – 11,05 год.) та локальний мінімум в день літнього сонцестояння (тривалість інсоляції – 9,45 год).

Рис. 3 ілюструє випадок, коли кут орієнтації дорівнює 30 градусам. Прямолінійні ділянки кривої збільшились, а максимуми тепер припадають на 134-й та 211-й дні року (тривалість інсоляції становить 10,36 год.), локальний мінімум дорівнює 9,34 год.

Характер кривої річного ходу тривалості інсоляції кардинально змінюється, коли кут орієнтації площини становить приблизно 39,6 град. (рис.4): зникають прямолінійні ділянки і точки злому, а два максимуми збігаються в один глобальний максимум, який припадає на день літнього сонцестояння (тривалість інсоляції становить 10,16 год.

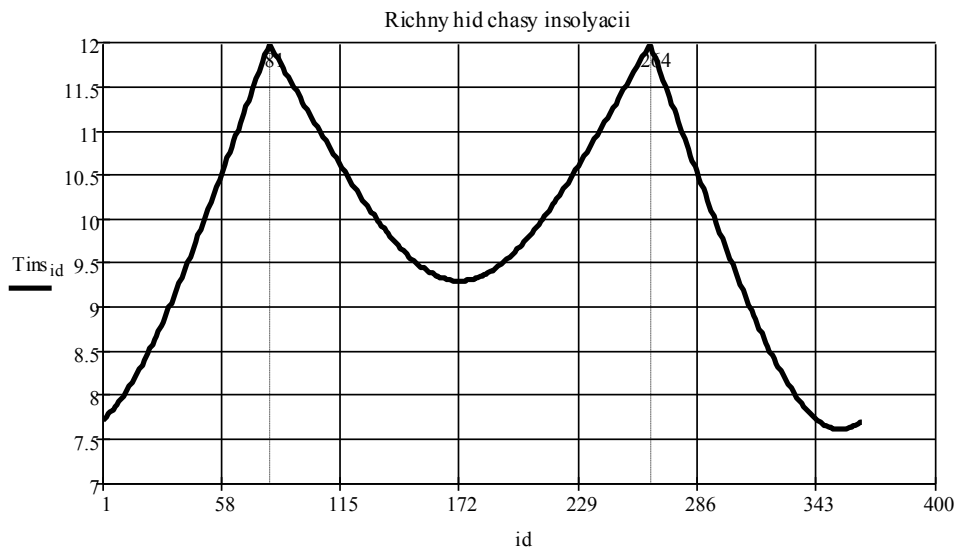


Рис. 1. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальної площини південної орієнтації ( $\theta = 0$  град.)



Рис. 2. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальної площини (кут орієнтації становить  $\theta = 15$  град.)

Під час подальшого збільшення кута орієнтації приблизно до 141-го градусу характер кривої річного ходу інсоляції не змінюється (рис. 4, 5). Змінюються лише значення глобальних максимуму та мінімуму тривалості

інсоляції. Так, для площини, кут орієнтації якої становить 140 градусів, глобальний мінімум становить 0,03 год., а глобальний максимум – 6,24 год.

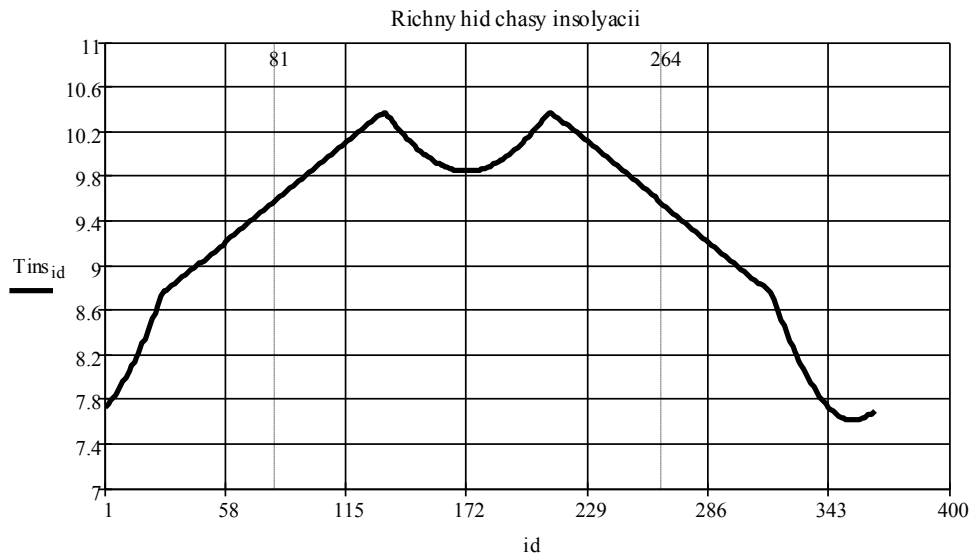


Рис. 3. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальної площини (кут орієнтації становить  $\theta = 30$  град.)

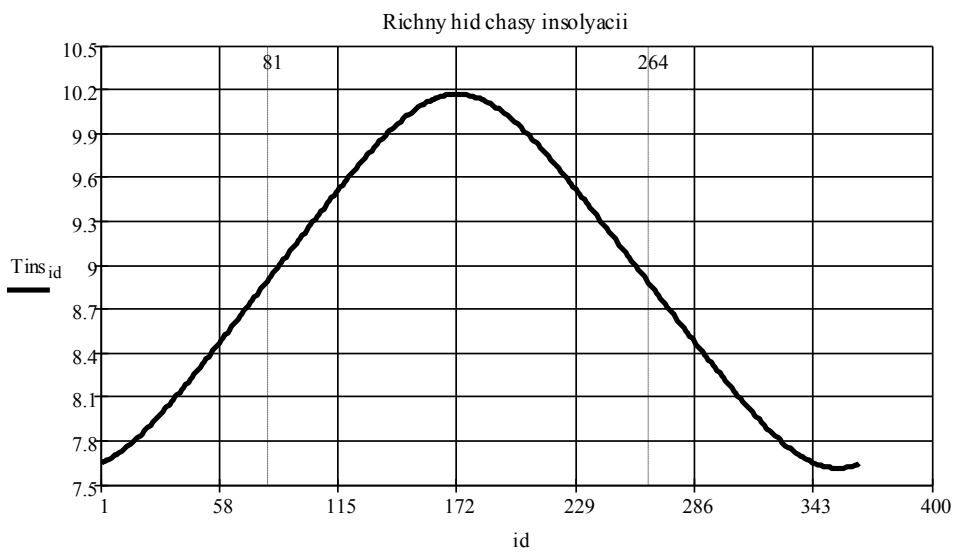


Рис. 4. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальної площини (кут орієнтації становить  $\theta = 39,6$  град.)

На рис. 5. показано криву річного ходу інсоляції для площини з кутом орієнтації 90 градусів (площина зорієнтована на схід). Глобальний максимум дорівнює 8,19 год.

На рис. 6 показано річний хід тривалості інсоляції для площини з кутом орієнтації 150 градусів. Як бачимо, характер кривої знову змінився: з'явилися дні без інсоляції (відрізки горизонтальних прямих), нахилені

прямолінійні ділянки та чотири точки злому, але залишився один глобальний максимум (тривалість інсоляції становить 6,64 год.).



Рис. 4. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальної площини (кут орієнтації становить  $\theta = 45$  град., площина зорієнтована південний схід)

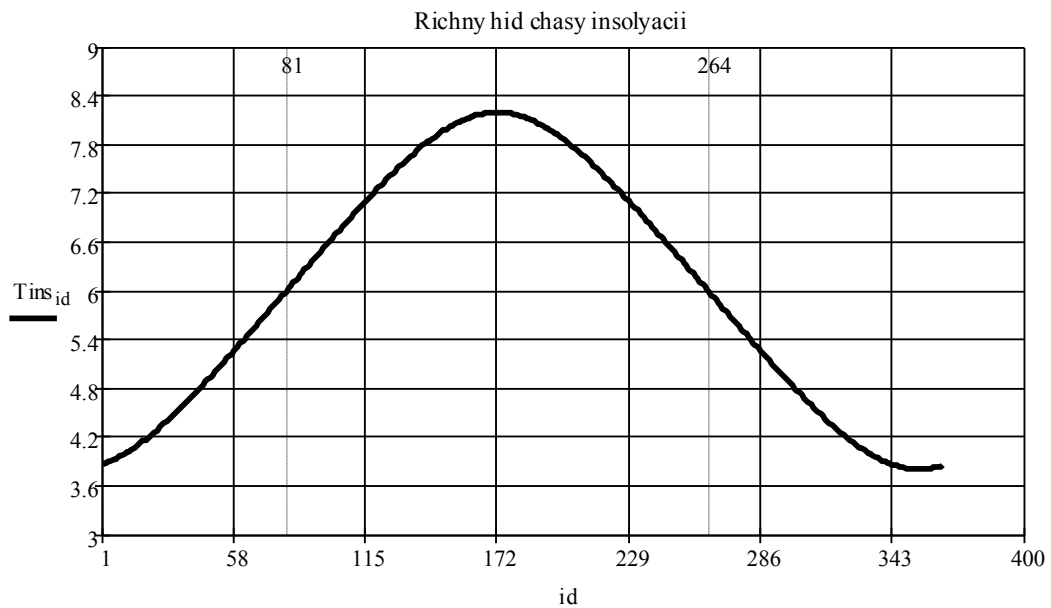


Рис. 5. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальної площини (кут орієнтації становить  $\theta = 90$  град., площина зорієнтована схід)

На рис 7. показано річний хід тривалості інсоляції для вертикальної площини з кутом орієнтації 165 градусів. Горизонтальні прямолінійні ділянки збільшились, а похилі – зменшились. Глобальний максимум становить 6,93 год.

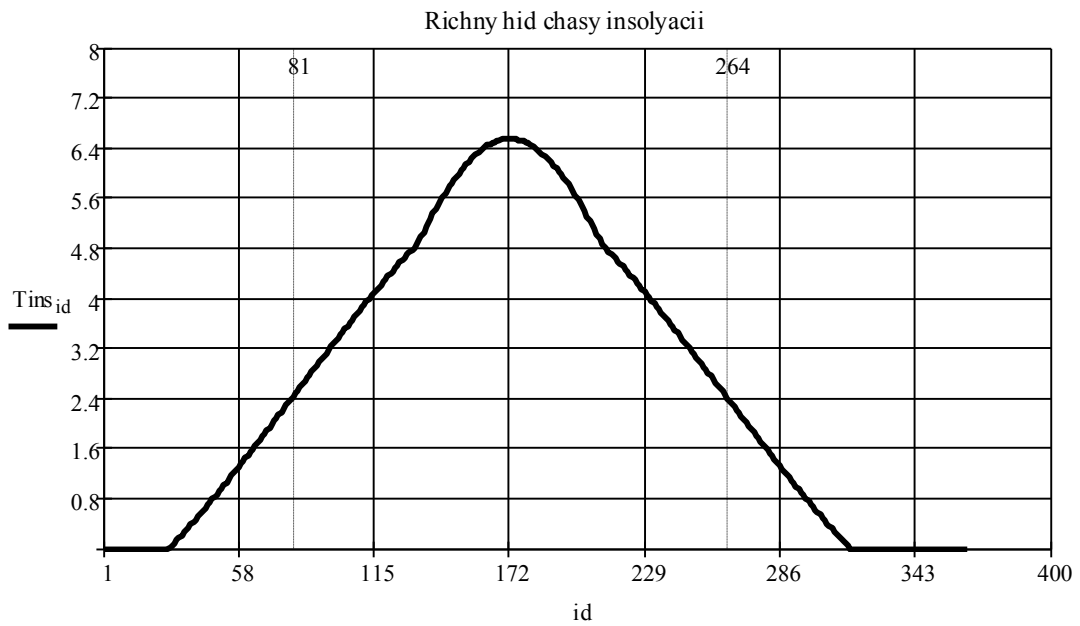


Рис. 6. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальної площини (кут орієнтації становить  $\theta = 150$  град.)

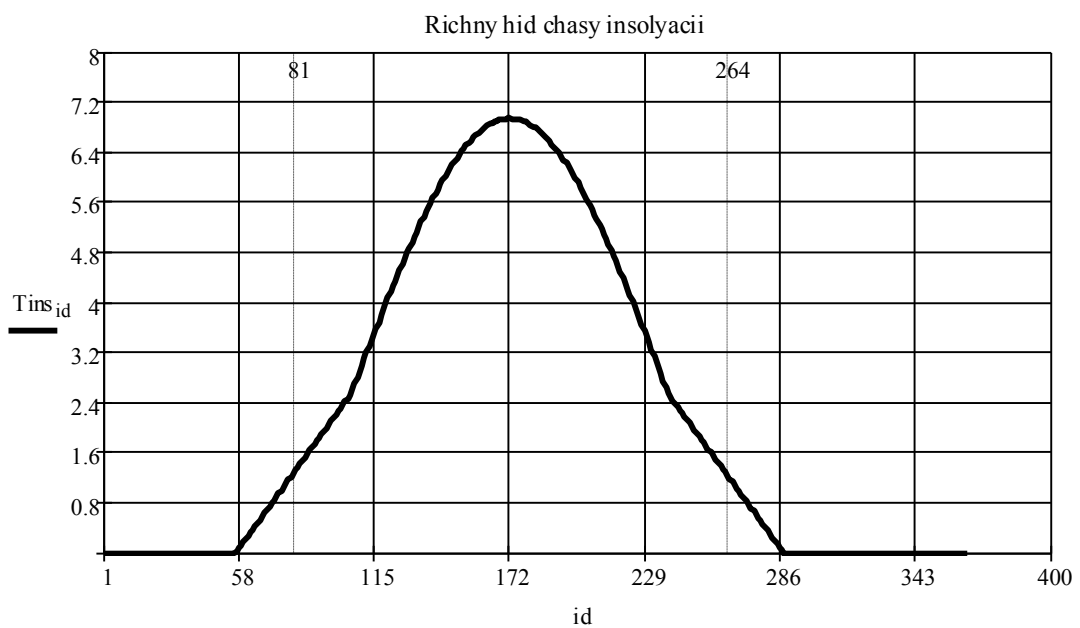


Рис. 7. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальної площини (кут орієнтації становить  $\theta = 165$  град.)

На рис. 8 маємо річний хід тривалості інсоляції для площини, зорієнтованої на північ. Тепер дні без інсоляції тривають з початку року до дня весняного рівнодення, а потім з дня осіннього рівнодення до кінця року. Натомість похилі прямолінійні ділянки зникли. Глобальний максимум становить 7,08 год.



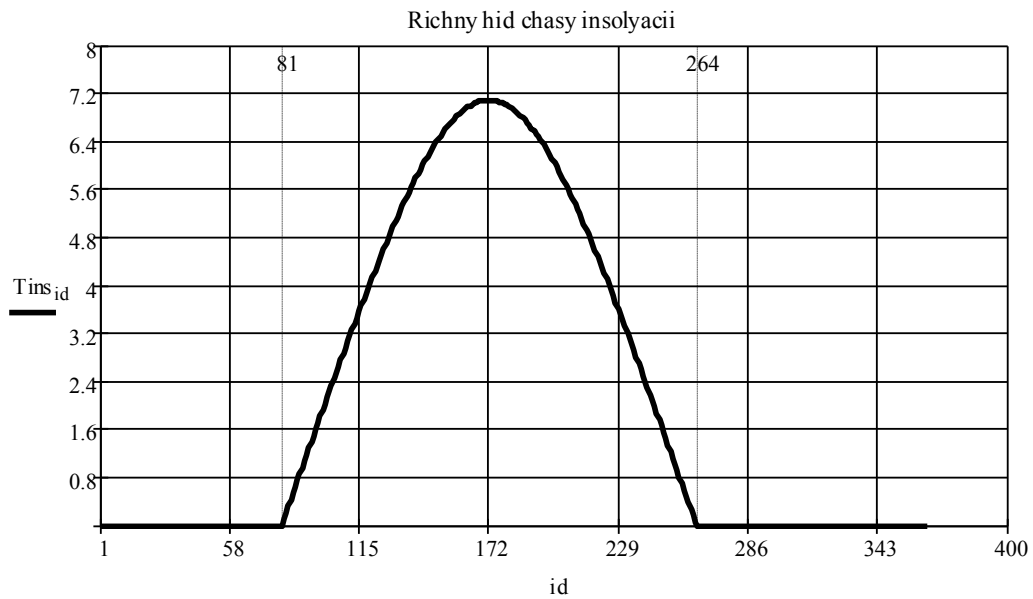


Рис. 8. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальної площини, зорієнтованої на північ (кут орієнтації становить  $\theta = 180$  град.)

**Висновок.** Отже, криві річного ходу тривалості інсоляції вертикальних площин мають показаний на рисунках 1-8 характер, який залежить від орієнтації площини. Однопараметрична множина таких кривих (параметр – кут орієнтації) утворює поверхню для даної широти місцевості.

### Бібліографічний список

1. Пугачов Є. В. Моделювання можливого опромінення від сонця. Сборник научных трудов Киевского национального университета технологий и дизайна. 2004. С. 135-140.
2. Пугачов Є. В. Моделювання річного ходу тривалості інсоляції похилої площини. Вісник НУВГП. 2005. Вип. 3 (31). С. 248-255.
3. Пугачов Є. В. Інсоляція та опромінення похилої площини з урахуванням імовірності сонячного сяяння. Вісник кийвського національного університету технологій та дизайну (спецвипуск). 2006. № 4 (30). С. 133-137.
4. Зданевич В.А., Кундрат Т.М., Літницький С.І., Пугачов Є.В. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції південно орієнтованих площин різного кута нахилу до площини горизонту. Збірник тез доповідей Х VIII-ї міжнародної науково-практичної конференції «ОБУХОВСЬКІ ЧИТАННЯ» з нагоди 98-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, академіка АН ВШ України, Обухової Віолетти Сергіївни (1926-2005), 28 березня 2024 року. С. 47-50.
5. Маркус Т. А., Моррис Э. Н. Здания, климат, энергия. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 544 с.

## ADJUSTABLE DRIP IRRIGATION SYSTEM

Oksana Budnyk, <sup>1,2</sup> Ph.D.

[oksana.budnyk@gmail.com](mailto:oksana.budnyk@gmail.com), ORCID: 0000-0001-7940-2376

<sup>1</sup> *Institute of Physics of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup> *University of Occupational Safety Management in Katowice, Poland, Katowice*

Olga Golova, Ph.D.

[golova.olga@iil.kpi.ua](mailto:golova.olga@iil.kpi.ua), ORCID: 0000-0001-6984-8673

Sergey Zalevsky, Ph.D.

[zalsegkpi@gmail.com](mailto:zalsegkpi@gmail.com), ORCID: 0000-0002-7411-1462

Petro Yablonskyi, Ph.D.

[yjn@ukr.net](mailto:yjn@ukr.net), ORCID: 0000-0002-1971-5140

Oleksii Vorobiov, Student gr. TA-33

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Ukraine)*

**Abstract** - *A relevant equipment for providing an efficient and economical way to supply fresh water in conditions of its shortage is a regulated drip irrigation system designed for use in small farms and household plots.*

**Keywords** - *regulated drip irrigation, preheating of water, distribution pipeline, time relay with override mechanism, water flow meter, system conservation mode.*

**Problem statement.** Currently, as food production becomes a global challenge and the availability of fresh, clean water continues to decrease, it is crucial to develop multifunctional devices that provide efficient and economical irrigation solutions. Such a system should be capable of automatically regulating the water supply and monitoring water requirements. Additionally, an essential feature of this system is the ability to preheat water using a natural energy source, particularly sunlight. This is important for crops such as cucumbers and tomatoes, which show accelerated growth and fruiting when irrigated with warm water.

**The main part.** The controlled drip irrigation system we have developed is designed for watering crops in greenhouses and on small farm plots. Such adjustable drip irrigation systems are typically used when:

- It is necessary to preheat water using solar energy;
- A specific watering time needs to be set;
- The volume of water used must be monitored;
- The system should provide the ability to switch to conservation mode in winter.

The proposed system includes a water tank, a mechanism for controlling the filling of the tank, a distribution pipeline for water drainage for irrigation, and

a time relay with an override mechanism that allows the time mode of the system to be set based on weather conditions and soil moisture levels. Additionally, the system features a water flow meter for monitoring.

Furthermore, the controlled drip irrigation system includes a water preheater consisting of a polypropylene tube wrapped around the container. This tube is black for better heat absorption. The outer transparent casing creates conditions for additional water heating and prevents the water container from cooling due to environmental factors. The casing can have a cylindrical or faceted shape.

The developed system is illustrated in Fig. 1 and Fig. 2. The tank 1 is situated on the lower support frame of the transparent casing 2, which is attached to four posts. This design ensures structural rigidity and provides easy access to the water supply taps 3, drainage tap 9, and irrigation water tap 10.

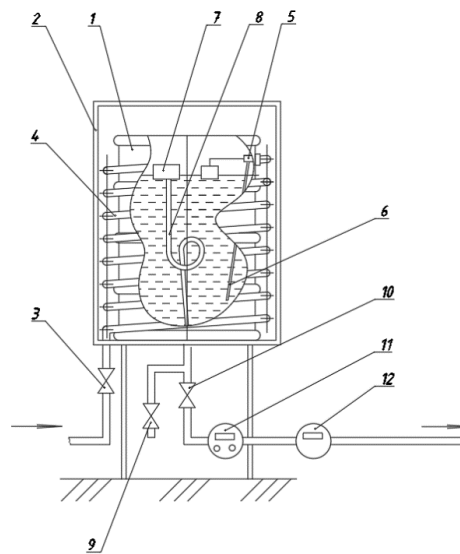


Fig.1. Diagram of the controlled drip irrigation system

The system works as follows. Water is supplied to the system through a supply valve 3, from which a polypropylene tube 4 extends. This tube wraps around the surface of the tank in a cylindrical helical line, ensuring that the water is heated by the sun's rays throughout the daylight hours. A conical water supply valve 5 with a float control mechanism is attached to the upper part of the side wall of the container, allowing the maintenance of a predetermined water level. The container is filled with water through a tube 6 at the lower part of the water column, ensuring more uniform heating of all layers.

Water is drawn through a corrugated tube 8, the upper end of which is fixed to a float 7, from the upper, most heated layer. Then, through the splitter, water is supplied to the drain valve 9 and the water supply valve 10, to which a pipeline with a time relay with a shut-off mechanism 11 and a water flow meter 12 is connected. To ensure control and selection of a rational irrigation mode, the system can be additionally supplemented with a hygrometer.

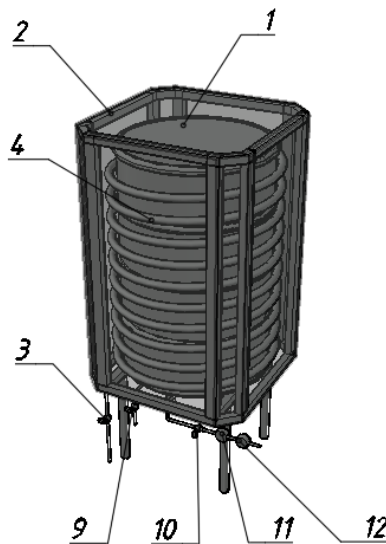


Fig. 2. General view of the controlled drip irrigation system

The system can be made from suitable materials, including:

- Posts made of metal, preferably lightweight and corrosion-resistant;
- Casing, tank, and fittings made of appropriate polymeric materials.

The color scheme of the product is dictated by its purpose, with the casing made transparent and the container in dark colors to absorb as much sunlight as possible.

### **Conclusions.**

1. The developed drip irrigation system provides a simple, efficient, and economical method for irrigating household plots and small farms.
2. Since the system is mounted outside, it allows for the irrigation of plants in multiple greenhouses simultaneously.
3. The system is designed to switch to conservation mode in winter, facilitated by the inclusion of drainage valves in the design that ensure complete water drainage.

### **References**

1. Adjustable drip irrigation system: pat.154663 Ukraine: MPK A01G 25/02, № u 2023 02555; filed. 26.05.2023; pub. 29.11.2023 Bull. № 48. 4 p. [in Ukrainian]
2. Romanenko M.I., Rokochynskiyi A.M., Koriunenko V.M., Kalenikov A.T., Drip irrigation. Oldi Plus. 2019. 300 p. [in Ukrainian]
3. Prylipka O., Agrotechnological and organizational principles of functioning of closed ground enterprises. Monograph. Center for Educational Literature. 2017. 384 p. [in Ukrainian]
4. Forkun Ya.B., Shkurpela O.O., Solar thermal power engineering: lecture notes (for students of all forms of study majoring in 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, educational program - "Non-traditional and renewable energy sources"); Kharkiv: O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 2020. – 88 p. [in Ukrainian]

## A SUSTAINABLE APPROACH WITH 3D PRINTING AND SOLIDWORKS

Pavlo Mamontov, PLC Engineer

[pavelmamontov@yahoo.com](mailto:pavelmamontov@yahoo.com), ORCID: 0009-0009-8997-8032

*Premiere Automation (USA)*

Olga Golova, Ph.D.

[golova.olga@lil.kpi.ua](mailto:golova.olga@lil.kpi.ua), ORCID: 0000-0001-6984-8673

Hanna Shepel, Senior Lecturer

[shepel.hanna.s@gmail.com](mailto:shepel.hanna.s@gmail.com), ORCID: 0000-0002-6993-5045

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Ukraine)*

**Abstract** – *This article explores the use of 3D printing and SolidWorks software for the restoration and modification of tools. The project focuses on the repair of a broken DEWALT DCF610S2 screwdriver. The article details the process of converting the screwdriver into a car window mechanism tester, including the design and fabrication of a special connector holder using SolidWorks. The ANYCUBIC KOBRA 2 Max 3D printer and corresponding slicing software were used to print the complex parts with support material.*

**Keywords** *3D printing, SolidWorks, DEWALT DCF610S2, tool restoration, car window mechanism tester, ANYCUBIC KOBRA 2 Max, connector holder design, rapid prototyping, product lifecycle extension, additive manufacturing.*

**Problem statement.** The traditional manufacturing and repair processes for tools often result in discarded components and inefficient use of resources when specific parts fail. In the case of the DEWALT DCF610S2 screwdriver, continuous use led to the failure of the motor and speed control, rendering the tool inoperative despite the battery and case being in good condition. This situation presents an opportunity to explore the use of 3D printing and advanced CAD software to repurpose and extend the life cycle of such tools. The challenge lies in designing and fabricating a functional connector holder that can be integrated into a new application, specifically a car window mechanism tester, using 3D printing technology and ensuring the durability and performance of the repurposed tool.

**The main part.** Today, 3D printing is playing an increasingly significant role in production, design, and conception. It allows for rapid prototyping, customization, and the creation of complex geometries that would be difficult or impossible to achieve with traditional manufacturing methods [1, 2]. One of the most important programs in this field is SolidWorks [3]. This software is

renowned for its user-friendly interface and intuitive features, making it accessible compared to other CAD programs.

As an example, a project involving a broken DEWALT DCF610S2 screwdriver was undertaken (Fig. 1, a). After five years of continuous use, the motor and speed control ceased functioning, although the case and battery remained in good condition. Rather than discarding the screwdriver, it was decided to repurpose it into a car window mechanism tester. This project involved several stages, beginning with the removal of the faulty motor and speed control components. A special connector holder was then designed to fit the new application (Fig. 1, b).



Fig. 1. a. DEWALT DCF610S2 screwdriver; b. Connector holder

Using SolidWorks, multiple design iterations were created, refining the concept with each version. After several testing phases, the optimal design was identified (Fig. 2, a, b). This version allows the user to operate the tool on the left side or rotate it to the right side, providing flexibility in use. Furthermore, the internal dimensions of the connector holder are designed to accommodate cables of various diameters, enhancing the tool's versatility.

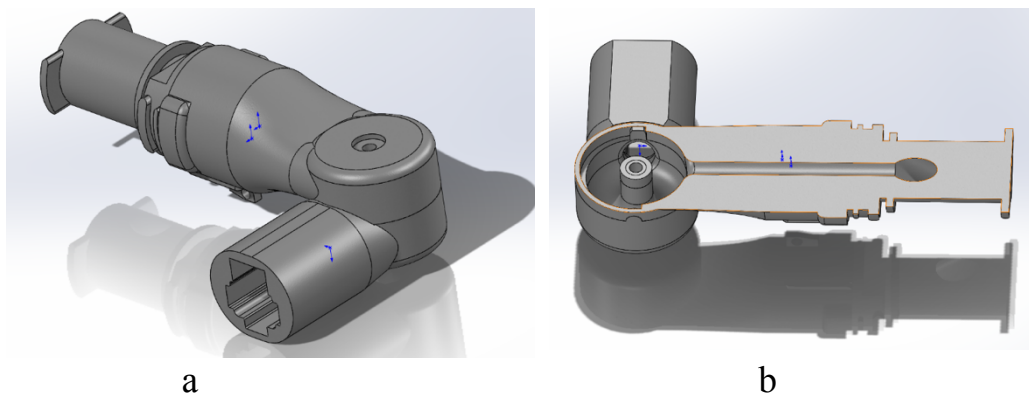


Fig. 2. a. SolidWorks 3D model of the connector holder; b. Cross section of the connector holder



For printing the parts, the ANYCUBIC KOBRA 2 Max printer [4] was used, offering a large build volume suitable for the needs of the project. The AnycubicSlicer [5] software was employed to prepare the print files (Fig. 3, a). Due to the complexity of the part surfaces, support material was necessary to ensure accurate and clean printing (Fig. 3, b).

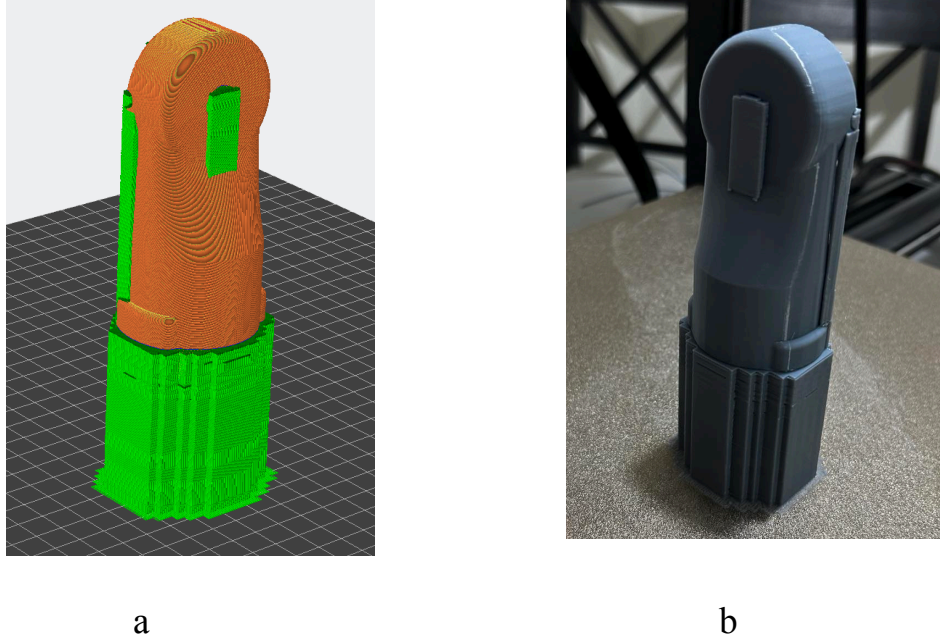


Fig. 3. a. AnycubicSlicer 3D model of the connector holder; b. Printed connector holder

The final product was tested using a Mercedes Sprinter (Fig. 4). The tests demonstrated that the redesigned tool exhibits high durability and impact strength, indicating that it can withstand the rigors of practical use.

This project serves as a compelling demonstration of the transformative power of 3D printing technology and SolidWorks software in revitalizing and repurposing existing tools. By breathing new life into the broken DEWALT DCF610S2 screwdriver and converting it into a functional car window mechanism tester, the immense potential of innovative thinking in prolonging the lifespan of products and reducing waste was showcased.

Moreover, through meticulous design iterations and rigorous testing, the effectiveness of advanced 3D printing techniques and sophisticated design software in producing reliable and robust solutions for practical use was proven.

As the future is considered, the continued evolution of 3D printing technology promises to unlock even greater possibilities in engineering and manufacturing. From rapid prototyping and custom fabrication to sustainable production practices, 3D printing holds the key to revolutionizing various industries and driving innovation on a global scale. By embracing these advancements and harnessing the creative potential of innovative thinkers, new opportunities will undoubtedly emerge across diverse fields of endeavor.



Fig. 4. Connector holder is use

**Conclusions.** This study demonstrates the efficacy of 3D printing and SolidWorks in repurposing tools, as evidenced by the successful conversion of a broken DEWALT DCF610S2 screwdriver into a functional car window mechanism tester. Through iterative design and testing, the project showcased the adaptability of 3D printing technology, resulting in a versatile and durable tool capable of real-world applications. These findings underscore the potential of advanced manufacturing techniques to enhance sustainability and functionality across industries, paving the way for further innovation in engineering and manufacturing practices.

### *References*

1. Lin, G. Application of 3D Printing Technology in Machining and Manufacturing. *CONVERTER* Vol 2021: No. 1., 79 - 85. DOI:10.17762/converter.18
2. Sustainability in Smart Manufacturing: Trends, Scope, and Challenges. CRC Press, 2024. 340 p. DOI: 10.1201/9781003467496
3. SolidWorks – 3D CAD Design Software. Retrieved from <https://www.solidworks.com>
4. Anycubic Kobra 2 Max – 3D Printer. Retrieved from <https://store.anycubic.com/collections/3d-printers/products/kobra-2-max>
5. AnycubicSlicer – slicing software for FDM 3D printing. Retrieved from <https://store.anycubic.com/pages/anycubic-slicer>



## ГЕОМЕТРИЧНО-НЕЛІНІЙНІ БАЛКИ В ЗАДАЧАХ ПОБУДОВИ СПЛАЙНІВ ОПТИМАЛЬНОЇ ФОРМИ

Мазурик Р.В. аспірант

r.mazuryk.ua@gmail.com ORCID: 0009-0006-3037-1277

Кольцов Д.Р. аспірант

koltsovdd@gmail.com ORCID: 0000-0002-0396-7255

Ориняк І.В. д.т.н., професор

igor\_orinyak@yahoo.com ORCID: 0000-0003-4529-0235

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

***Анотація:** В роботі розглядається застосування геометрично-нелінійних (ГН) балок в задачах побудови кривих оптимальної форми. ГН балки побудовано з допомогою методу базових та згладжувальних рішень і порівнюються з коротацийними балковими сплайнами (КБС) та відомими сплайнами Безьє. Якість отриманих кривих оцінюється на основі критерію інтегральної енергії деформації.*

***Ключові слова:** геометричне моделювання, балки, нелінійність, сплайни Безьє, якість кривих.*

**Постановка проблеми.** Впровадження в різних галузях промисловості більш гнучких композитних матеріалів вимагають використання методів моделювання що дозволяють враховувати великі деформаційні переміщення, тобто вимагають аналізу в ГН постановці. Наприклад, в Архітектурної геометрії все більший інтерес викликає проектування і дослідження геометричних форм активно вигнутих конструкцій та якість їх кривих.

Для більшості методів розрахунку ГН балок так чи інакше характерне явище блокування (локінга) особливо коли використовуються дуже тонкі балки. Також збіжність цих методів сильно залежить від вибору початкової геометрії. Тому існує потреба в підходах позбавлених цих недоліків.

Відмітимо, що задачі нелінійної теорії балок, та теорії сплайнів доповнюють одна одну та мають спільний фундамент – теорію еластичності. Спільнота Механічної інженерії та спільнота Комп'ютерної графіки часто працюють над подібними проблемами і доповнюють одна одну [1]. В цьому плані, особливий інтерес для порівняння має проведення кривих (еластичності, сплайнів, геометрично нелінійної балки), яке визначається двома кінцевими точками з дотичним обмеженням, визначеним у кожній точці. Подібні задачі розглядаються в даній роботі.

**Аналіз останніх досліджень.** В сучасній літературі для моделювання ГН балок одним з найбільш популярних є коротаційний підхід [2, 3]. В ньому конфігурація балки представлена у вигляді суми двох компонентів: прямолінійного положення елементів системи і чистого деформаційного зміщення точок, а нелінійність враховується за допомогою матриці повороту між елементами. Для нього характерні описані вище проблеми. Зважаючи на них, в літературі з'являються спроби об'єднати балкові моделі з сплайнами [4, 5].

Для сучасних криволінійних сплайнів використовуються неявні представлення в вигляді  $f(x, y) = 0$  та параметричні представлення в формі  $y = f(t)$  та  $x = g(t)$ , де  $t$  є додатковим параметром [6]. Зараз все ще дуже популярними є сплайни на основі кривих Безьє - B-сплайни та NURBS [6], незважаючи на поширення інших видів кривих, наприклад [7,8].

**Основна частина.** Для оцінки якості отриманих кривих скористаємося критерієм енергії деформації  $E$  що базується на аналогії з теорії пружної балки і задається виразом [9]:

$$E = \int_0^L \kappa^2(l) dl \quad (1)$$

де  $\kappa$  є кривизною,  $l$  це елемент довжини та  $L$  повна довжина балки. Тому, крива вважається найкращою, якщо вона забезпечує мінімум енергії деформації  $E$ . В системах автоматизованого проектування (CAD) цей інтеграл по квадрату кривизни став однією зі стандартних мір добротності плоских кривих.

В статті [10] детально описано метод методу базових та згладжувальних рішень що використовується в даній роботі для моделювання ГН балок. Цей метод є розширеним коротаційним підходом, де базова геометрія є частиною кола і вже містить вбудовану деформацію (базове рішення), яке доповнюється згладжувальним рішенням, отриманим шляхом інтегрування лінійної системи постановочних диференціальних рівнянь, записаних в криволінійних (полярних) координатах. Базове рішення враховує геометрично нелінійну поведінку системи та містить розриви між елементами, які ліквідуються згладжувальним рішенням.

Таким чином, за рахунок розривів між елементами базового рішення метод не залежить від вибору початкової геометрії і в ньому відсутнє явище блокування (локінгу). Також даний підхід потребує на порядки меншу кількість ітерацій та в рази меншу кількість необхідних розрахункових елементів.

Побудова коротаційних балкових сплайнів (КБС) [11] проводиться в ітераційному процесі, де спочатку проводиться з'єднання реальних точок, розрахунок положення всіх проміжних точок, і поступовому додаванні уявних точок, призначення яких полягає в зменшенні кута розбіжності і наближення довжини побудованої кривої до набору довжин прямолінійних відрізків між точками. Такі сплайни базуються на коротаційних елементах, що межують під кутом один до одного.

Також порівнюємо результати з чотириточковим сплайном Безьє [6].

Переходим до розгляду прикладів розрахунків

*Приклад 1.* Перша точка  $B_1$  має координати  $(X = 0, Y = 0)$ , кінцева точка  $B_2$  має координати  $(X = 150, Y = 0)$ , дотична в точці  $B_1$  спрямована вертикально, тобто кут (за годинниковою стрілкою) з горизонтальною віссю дорівнює  $-90^\circ$ , і в точці  $B_2$  кут дорівнює  $90^\circ$ . Фактично, це відома задача Хорна [12], яка продемонструвала, що мінімізація енергії не завжди є рішенням для найкращої кривої, і зрештою призвела до появи інших критеріїв, скажімо, мінімізації квадрата похідної від кривини

Очевидно, що найкращою кривою є півколо діаметром 150 м і довжиною  $L_0 = \pi \cdot \frac{150}{2} = 235,62$  м. Відповідно до ф-мули (1) маємо енергію  $E_0 = \left(\frac{2}{150}\right)^2 \cdot \frac{\pi 150}{2} \approx 0.041888$  відносно якої оцінимо якість. Розглянемо деякі розраховані криві. На Рис. 1 зображені криві отримані різними підходами.

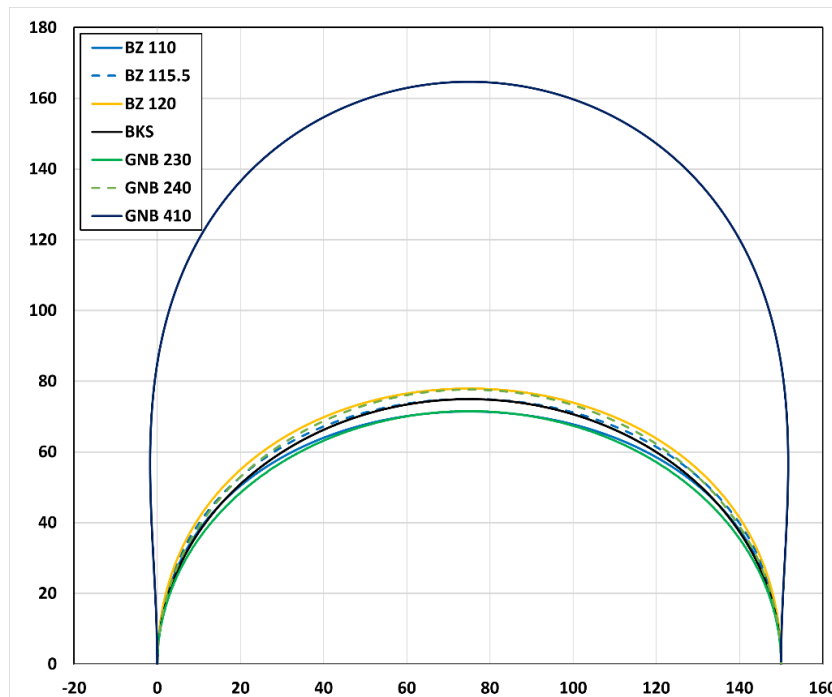


Рис.1. Кілька розрахованих сплайнів за методом Безьє (4 точки), КБС та ГНБ.

Графіки з позначенням BZ відносяться до сплайнів Безьє з заданими допоміжними точками на вказаній відстані від крайніх (110м, 115.5 м, 120 м) по дотичних. Конфігурація ГН балки GNB залежить від її заданої довжини (230 м, 240 м, 410 м). КБС дає лише одну можливу конфігурацію. В Таблиці 1 представлені розраховані значення якості по (1) та відносні значення до  $E_0$

Таблиця 1. Розраховані енергії для різних сплайнів для завдання 1.

Тип кривої	BZ 110	BZ 115.5	BZ 120	КБС	GNB 230	GNB 240	GNB 410
Якість	0.0430 5	0.0419 0	0.0411 3	0.0419 0	0.04302 4	0.04118 1	0.03792 7
Відносна якість	1.0277 4	1.0003	0.9818	1.0003	1.04475	0.98312	0.90544

На рисунку 2 зображено графіки кривизни для всіх розглянутих сплайнів

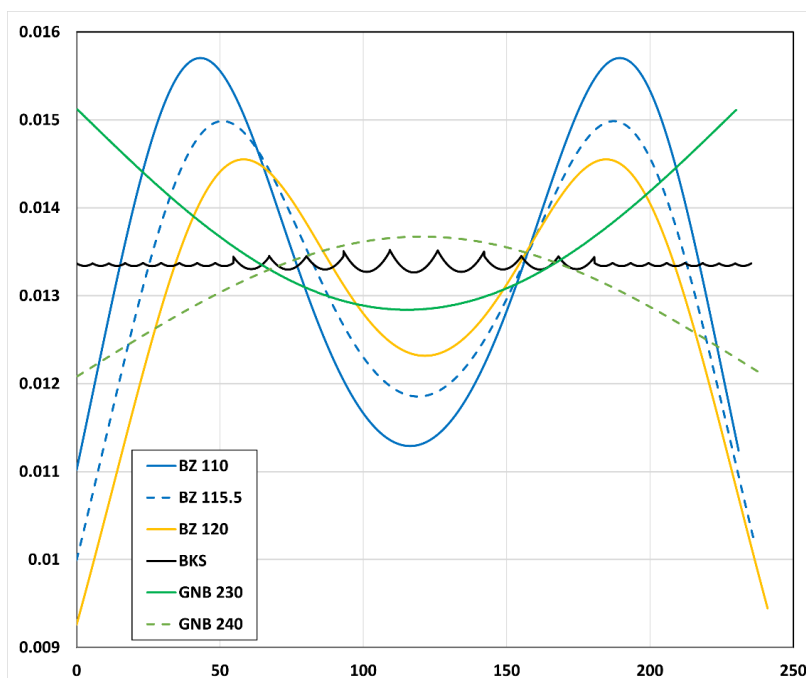


Рис.2. Графіки кривизни, отримані різними сплайнами для завдання 1

Проаналізувавши значення кривизни можна зробити наступні висновки:

1. КБС дає результат як у ідеального кола. Хвилеподібність графіка є відображенням недостатньої кількості уявних точок.
2. Сплайни Безьє дають помітне відхилення від ідеального кола для всіх параметрів оптимізації.
3. У випадку, коли задана довжина ГН балок збігається з довжиною ідеального кола, вона фактично дає це ідеальне коло.

*Приклад 2.* Антисиметрична геометрія. Точка  $B_1$  має координати ( $X = 0, Y = 0$ ), кінець  $B_2$  має ( $X = 150, Y = 150$ ), дотична в точці  $B_1$  спрямована під кутом  $60^\circ$ , поки в точці  $B_2$  кут також дорівнює  $60^\circ$ . Отримані криві зображено на Рис.3. Принципи позначень ті ж самі що для Прикладу 1. В Таблиці 2 представлені розраховані значення якості по (1), а на Рис.3 графіки кривизн.

Таблиця 2. Розраховані енергії для різних сплайнів для завдання 2.

Крива	BZ 120	BZ 150	BZ 180	КБС	GNB 280	GNB 294	GNB 310
Якість	0.2080	0.2092	0.2173	0.1286	0.1373	0.1284	0.1225

Для графіків кривих Безьє вибрані такі довжини бо якщо взяти відстань до допоміжних точок дуже малою – вона буде нагадувати пряму лінію між двома кінцевими точками; великою - графік буде розміщено далеко за межами вертикального діапазону

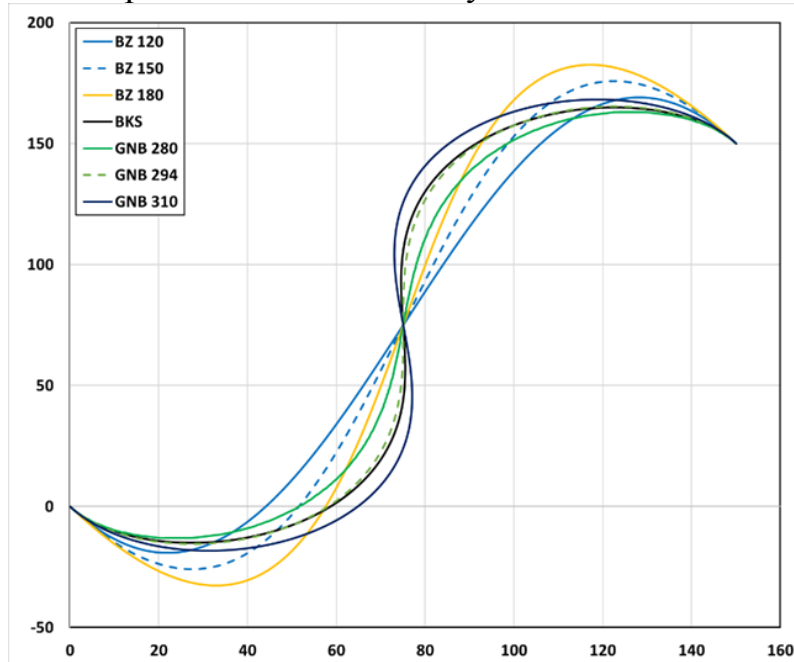


Рис. 3. Кілька розрахованих сплайнів за методом Безьє, КБС та ГНБ, завдання 2.

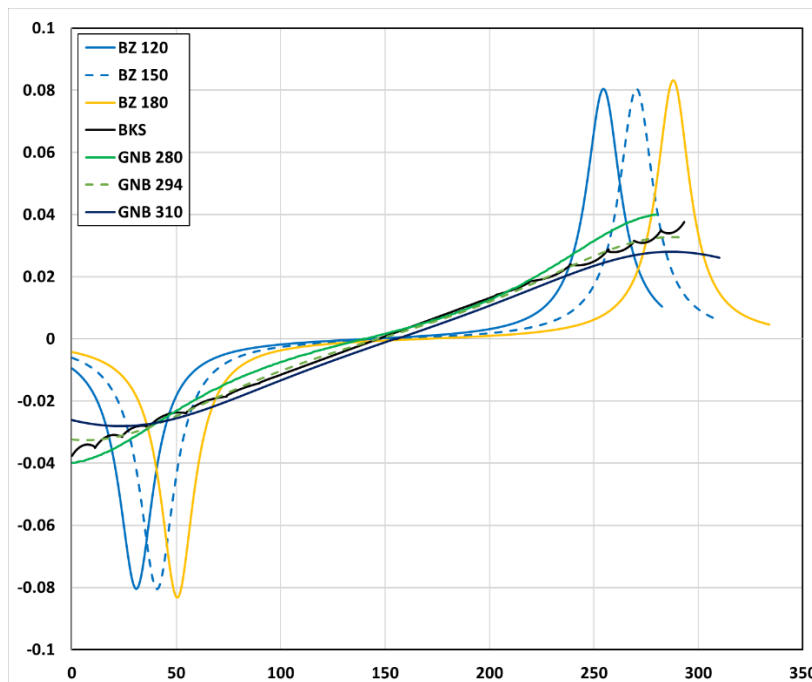


Рис.4. Графіки кривизни, отримані різними сплайнами для завдання 2

Велика різниця в енергії може свідчити про деякі притаманні недоліки сплайнів Безьє для подібних прикладів. Що стосується ГН балок, результати для них близькі до КБС, оскільки їх довжини подібні. Змінюючи довжину ГН балки, якість її кривої може бути кращою, ніж у КБС.

**Висновки.** В роботі проведено порівняння застосування сплайнів Безьє, коротаційних балкових сплайнів та геометрично нелінійних балок для задач геометричного моделювання (побудова сплайнів).

Продемонстровано, що сплайн Безьє поступається в якості перед двома іншими для деяких конфігурацій обмежень у крайніх точках кривих.

Кортаційний балковий сплайн для всіх випадків показав хороші результати. У всіх випадках розрахована кривизна є або постійною (симетричні випадки), або лінійно змінюється з координатою довжини сплайна. Єдиною вимогою до його використання є необхідність великої кількості уявних точок.

Геометрично-нелінійні балки продемонстрували ефективність застосування при побудові сплайнів, проте певним недоліком можна назвати те, що для використання їх довжина повинна бути обрана заздалегідь.

### ***Бібліографічний список***

1. Romero, V., Ly, M., Rasheed, A. H., Charrondière, R., Lazarus, A., Neukirch, S., & Bertails-Descoubes, F. (2021). Physical validation of simulators in Computer Graphics: A new framework dedicated to slender elastic structures and frictional contact. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 40(4), 1-19. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459931>
2. Argyris, J. H., Balmer, H., Doltsinis, J. S., Dunne, P. C., Haase, M., Kleiber, M., ... & Scharpf, D. W. (1979). Finite element method—the natural approach. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 17, 1-106. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(79\)90083-5](https://doi.org/10.1016/0045-7825(79)90083-5)
3. M.A. Crisfield, A consistent co-rotational formulation for non-linear, three-dimensional, beam-elements, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 81 (1990) 131–150. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(90\)90106-V](https://doi.org/10.1016/0045-7825(90)90106-V)
4. Abdelfettah, S. Nurbs-based Timoshenko formulation of a geometrically nonlinear planar beam. *J Eng Math* 146, 12 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10665-024-10362-2>
5. Ranjan, Rakesh & Reddy, J. (2016). Non Uniform Rational Bspline (NURBS) based non-linear analysis of straight beams with mixed formulations. *Journal of Solid Mechanics*. 8.
6. Rogers, D. F. (2001). *An introduction to NURBS: with historical perspective*. Morgan Kaufmann.

7. Ravankar, A., Ravankar, A. A., Kobayashi, Y., Hoshino, Y., & Peng, C. C. (2018). Path smoothing techniques in robot navigation: State-of-the-art, current and future challenges. *Sensors*, 18(9), 3170. <https://doi.org/10.3390/s18093170>
8. Binninger, A., & Sorkine-Hornung, O. (2022, August). Smooth Interpolating Curves with Local Control and Monotone Alternating Curvature. In *Computer Graphics Forum* (Vol. 41, No. 5, pp. 25-38). <https://doi.org/10.1111/cgf.14600>
9. Holladay, J. C. (1957). A smoothest curve approximation. *Mathematical tables and other aids to computation*, 11(60), 233-243.
10. Orynyak I., Mazuryk R., Oryniak A. (2020). Basic (Discontinuous) and Smoothing-Up (Conjugated) Solutions in Transfer-Matrix Method for Static Geometrically Nonlinear Beam and Cable in Plane. *Journal of Engineering Mechanics*. Vol. 146, Issue 5 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0001753](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001753)
11. Orynyak I., Koltsov D., Chertov O., Mazuryk R. Application of beam theory for the construction of twice differentiable closed contours based on discrete noisy points. *System research and information technologies*. 2022, N4. [doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.4.10](https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.4.10).
12. Horn, B. K. (1983). The curve of least energy. *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, 9(4), 441-460.

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНИХ РОБІТ У SOLIDWORKS.

Шейн В.В., студент, ММІ,  
ORCID:0009-0004-0585-5275

Залевський С.В., к.т.н., доцент,  
ORCID 0000-0002-7411-1462

*Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського” (Україна, м. Київ)*

***Анотація** – У роботі розглянуті деякі питання адаптації налаштувань SolidWorks згідно з діючими стандартами ДСТУ ISO та ДСТУ ГОСТ. Метою роботи є висвітлення проблем, що постають при виконанні студентами графічних робіт з курсу «Інженерна та комп'ютерна графіка». На прикладі кресленника «Вал» розібрані типові недоліки, що пов'язані з невідповідністю базових налаштувань SolidWorks до вимог існуючих державних стандартів України. В представленій роботі запропоновані засоби виправлення цих помилок. Наведені зміни налаштувань дозволяють створити власний прототип кресленника, який буде відповідати діючим державним стандартам.*

***Ключові слова** – SolidWorks, адаптація налаштувань, державні стандарти,.*

**Постановка проблеми.** У наш час неможлива розробка технічної документації без застосування засобів САПР. Одним із потужних програмних комплексів є SolidWorks який дозволяє достатньо легко і інтуїтивно зрозуміло створювати 3D модель виробу для подальшого автоматизованого промислового виготовлення. Але на при розробці креслеників студенти-початківці стикаються з проблемою невідповідності базових налаштувань SolidWorks вимогам діючих стандартів. Способам налагодження деяких налаштувань присвячена ця робота.

**Аналіз останніх досліджень.** В переважній більшості робіт, присвячених 3D моделюванню у середовищі SolidWorks розглядають команди побудови тривимірних об'єктів, проводиться аналіз переваг та раціональності використання тих чи інших опцій цих команд. Наводяться приклади створених моделей та шляхи оптимізації створення 3D моделі. Але недостатньо уваги приділяється саме питанням відповідності початкових налаштувань SolidWorks діючим державним стандартам при створенні на базі розробленої моделі проекційного кресленника.

**Формулювання цілей (Постановка завдання).** Метою даної роботи є спроба запропонувати способи адаптації проекційного кресленника під




існуючі державні стандарти.

### Основна частина.

Перша неприємність, з якою «зустрічаються» новачки – це встановлений за замовчуванням у SolidWorks стандарт ISO, який має мало спільного з державним стандартом України. При подальшій роботі виникатимуть помилки та невідповідності відповідно до ДСТУ.

Варіант некоректного налаштування показано на Рис.1.

Рішення проблеми: Щоб змінити стандарт за замовчуванням необхідно:

1. Перейти в налаштування, що знаходяться в центральній частині верхньої панелі 

2. Обрати розділ Document Properties. На Рис.3 наведено зображення діалогового вікна налаштування стандартів. У SolidWorks, зазвичай, це ISO, що мало відповідає вимогам ДСТУ.

3. У списку Overall drafting standard обрати зі списку стандарт GOST замість ISO (Рис. 2).

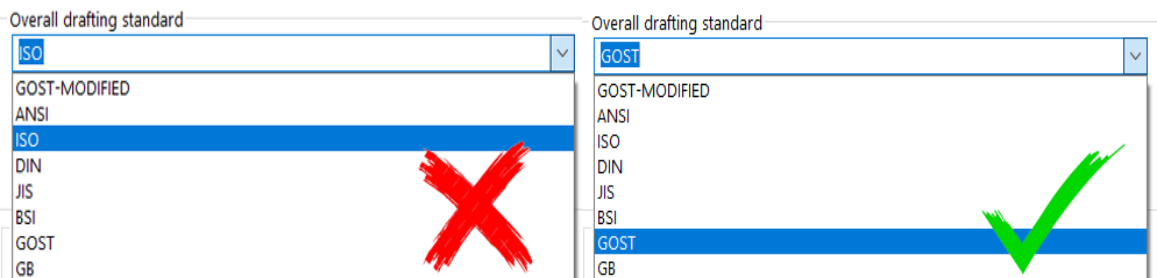


Рис.1. Перевірка поточного вибору стандарту.

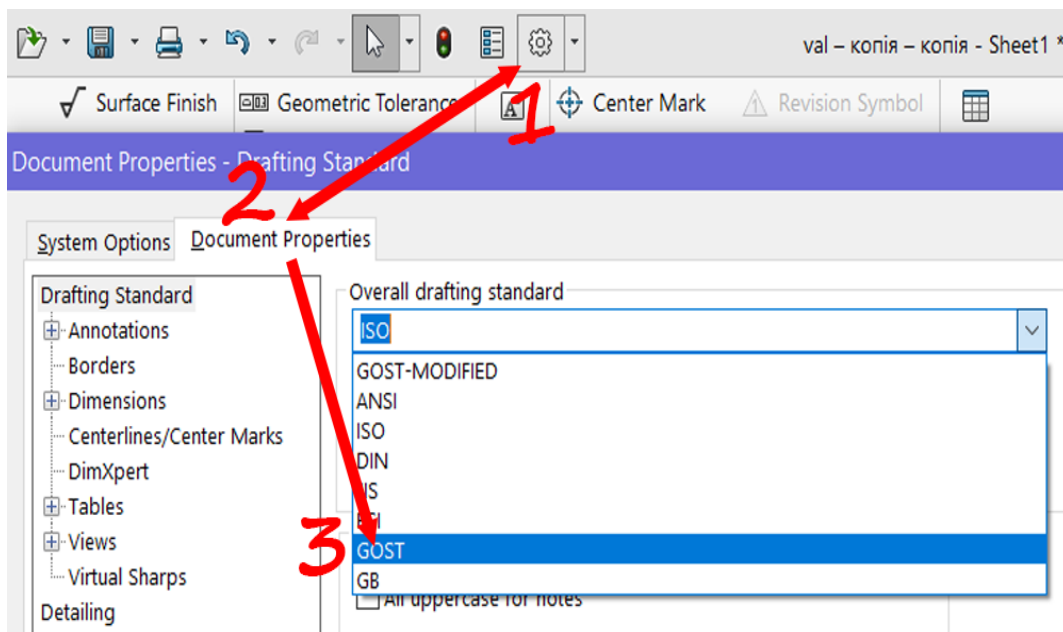


Рис. 2. Налаштування загального стандарту кресленника.

Розглянемо приклад проєкційного кресленика деталі типу «Вал», в якому присутні помилки користувачів – початківців середовища SolidWorks.

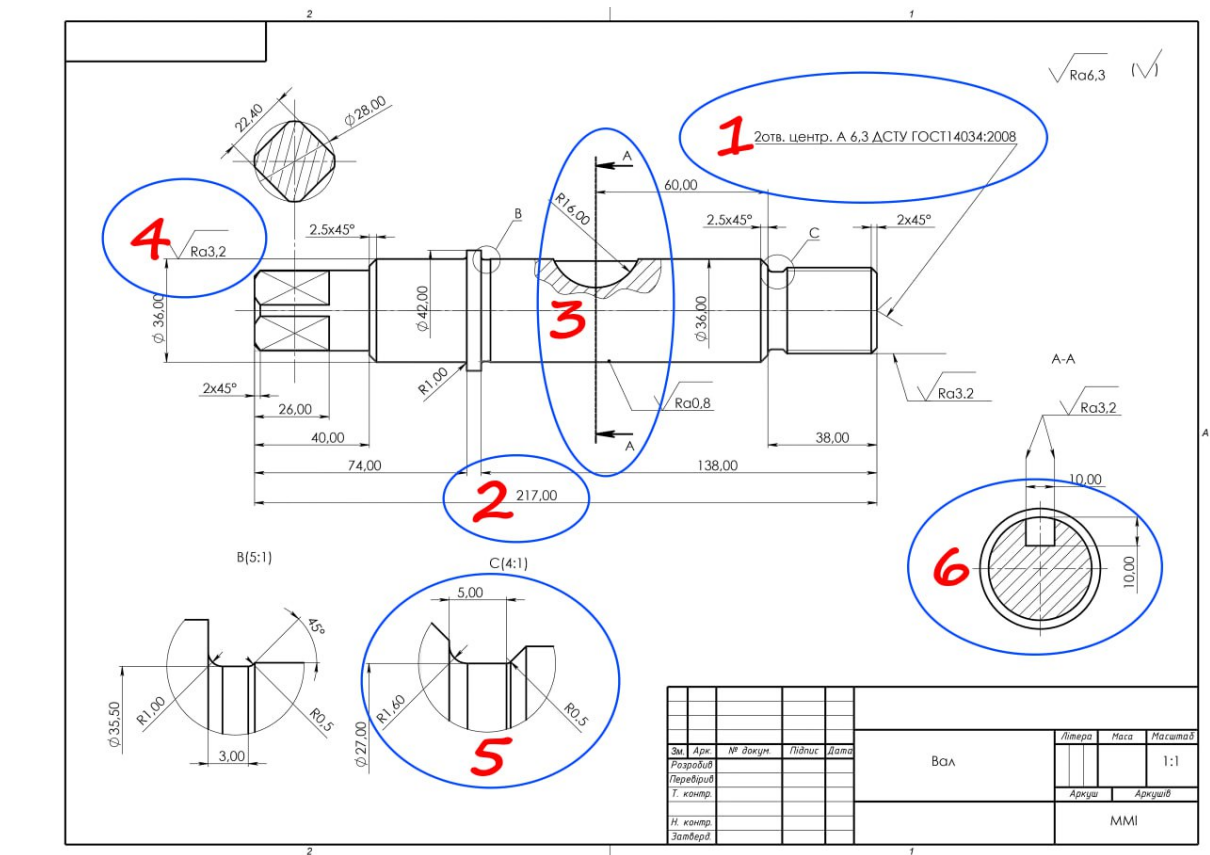


Рис. 3. Кресленик деталі типу «Вал»

Розглянемо помилки та шляхи їх усунення згідно з нумерацією на Рис.3.

Перша типова помилка – невідповідність встановленому за замовчуванням шрифту Century Gothic діючому стандарту. Спосіб зміни відповідного налаштування наведено на Рис.4.

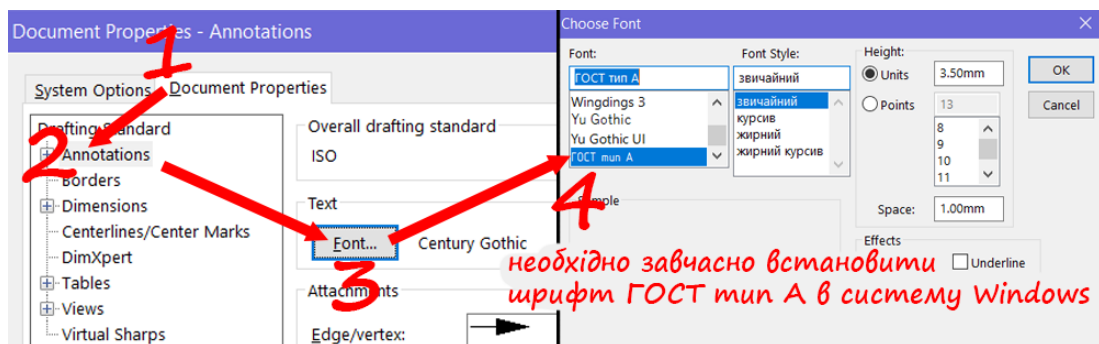


Рис.4. Налаштування шрифту.

Результат зміни налаштування показано на Рис. 5.

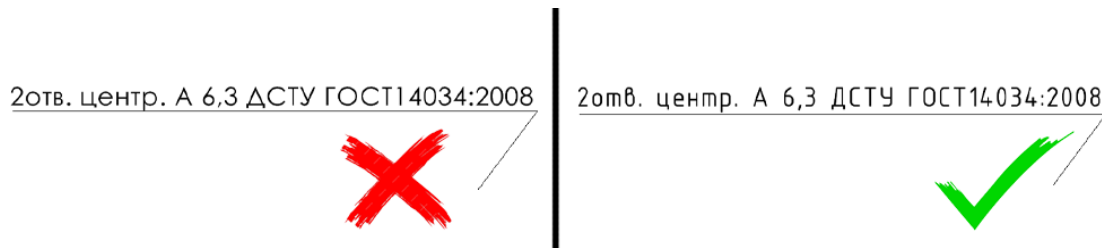


Рис.5. Налаштований текстовий стиль нанесення написів на кресленику.

Другий недолік базових налаштувань полягає в тому, що розміри підраховуються і виводяться з точністю до сотих, що не відповідає вимогам до робіт студентів.

Запропонований варіант зміни налаштування показано на Рис.6.

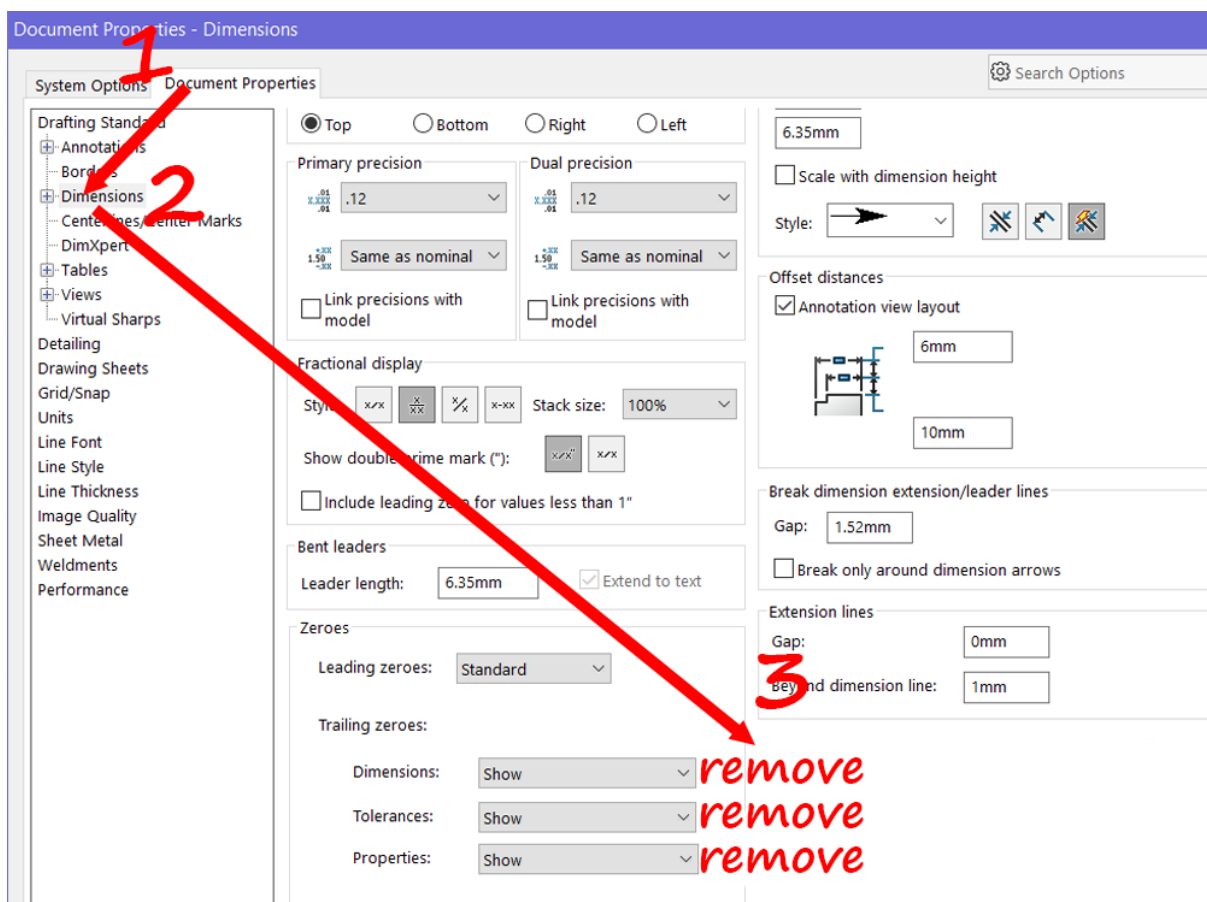


Рис. 6. Налаштування розмірного стилю.

Після зміни отримуємо результат (Рис. 7):

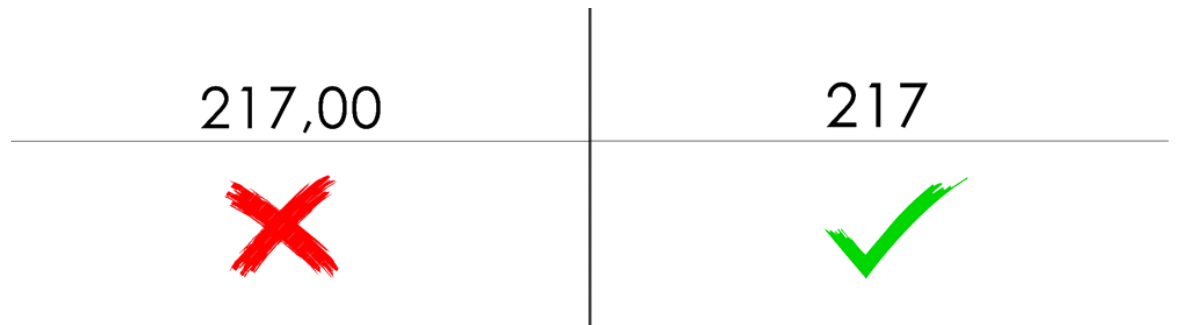


Рис.7. Налаштований розмірний стиль.

Третій недолік полягає в не потрібному зображенні січної площини перерізу штриховою лінією. Спосіб усунення представлено на Рис. 8.

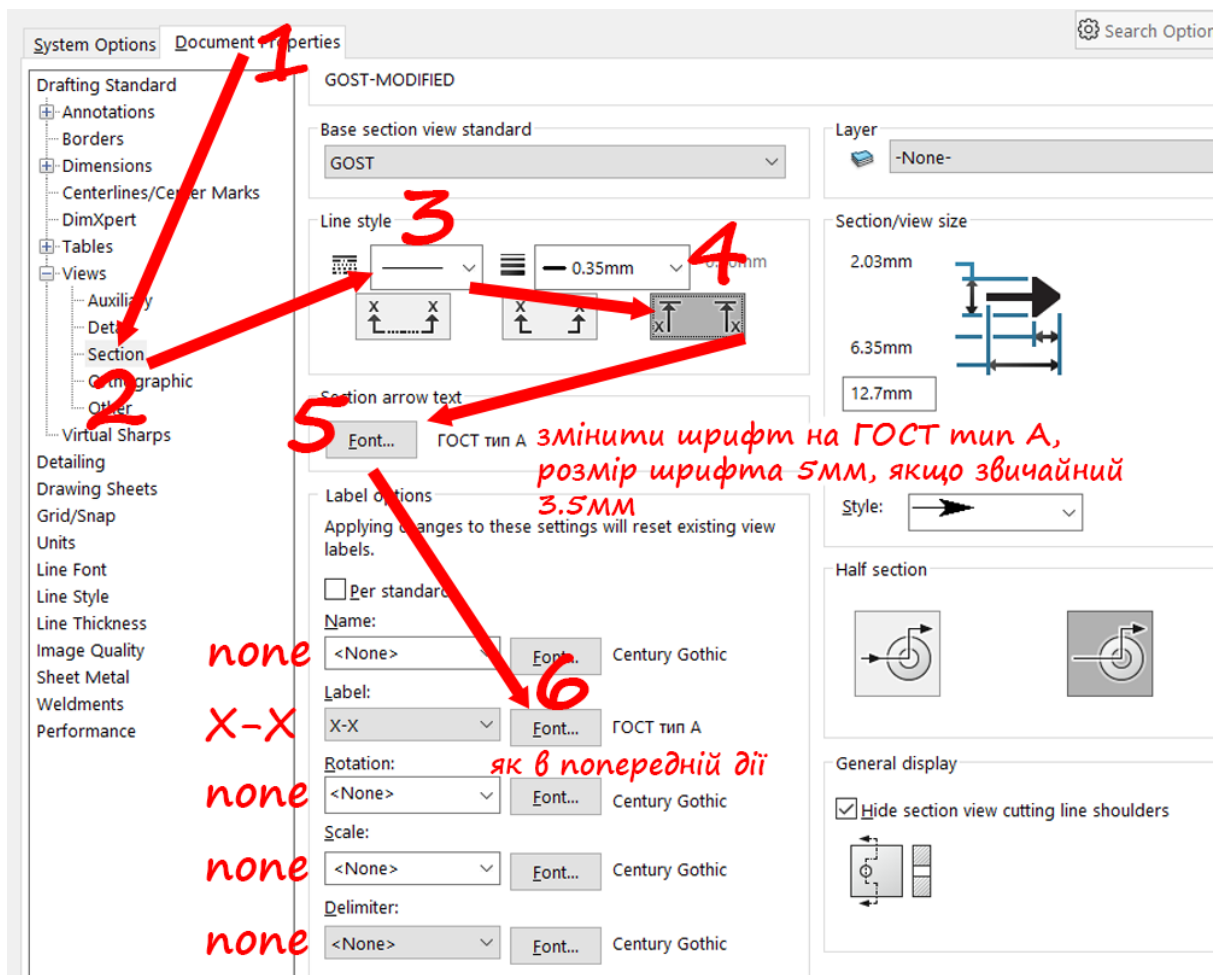


Рис. 8. Налаштування зображення січної площини.

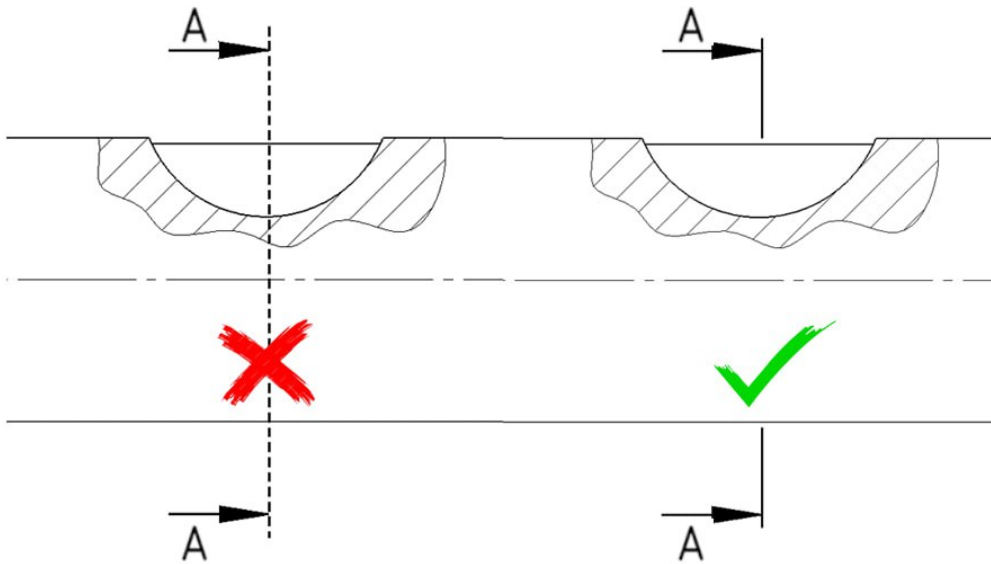


Рис. 9. Виправлене позначення січної площини.

Недолік постановки шорсткості (Помилка 4) наведено на Рис. 10.

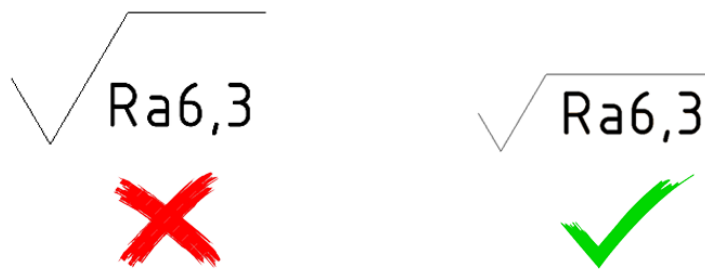


Рис. 10. Не коректна позначка шорсткості.

Спосіб корегування наведено на Рис.11.

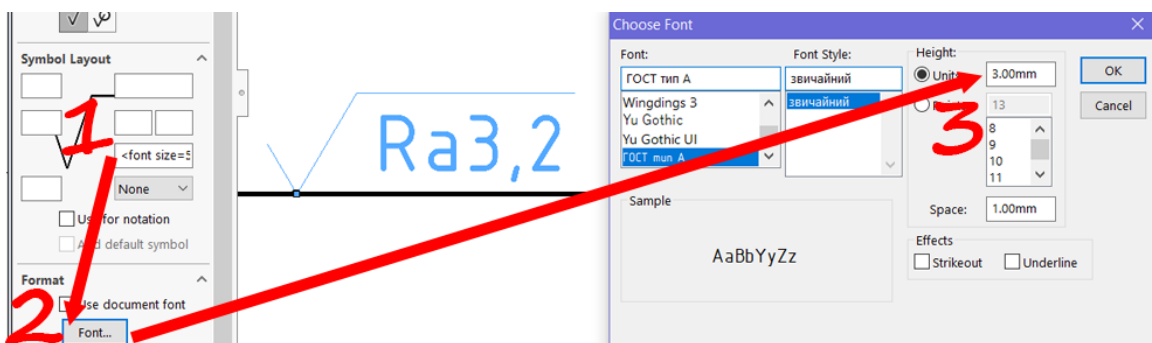


Рис. 11. Коригування нанесення позначки шорсткості.

Кроки зміни налаштувань

1. Якщо основний шрифт 5мм, то у текстовому полі вводимо <font size=5> Ra3,2.
2. Знімаємо прапорець Use document font та натискаємо Font.

3. Відкривається вікно у якому встановлюємо висоту Н шрифту.

Наступна і дуже поширена помилка (початківців полягає в невмінні правильно відобразити на проекційному кресленнику різні товщини ліній, що приводить до невірної читання кресленника. Приклад кресленника з не вірно встановленими товщинами ліній наведено на Рис. 12.

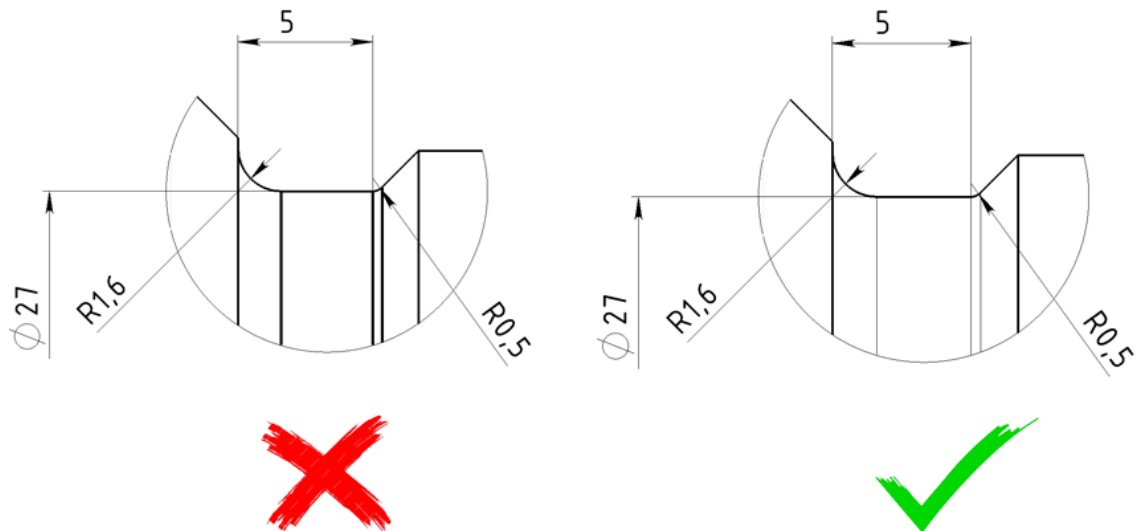


Рис. 12. Не вірне відображення товщин ліній

Для усунення проблеми запропоновано змінити налаштування (Рис. 13)

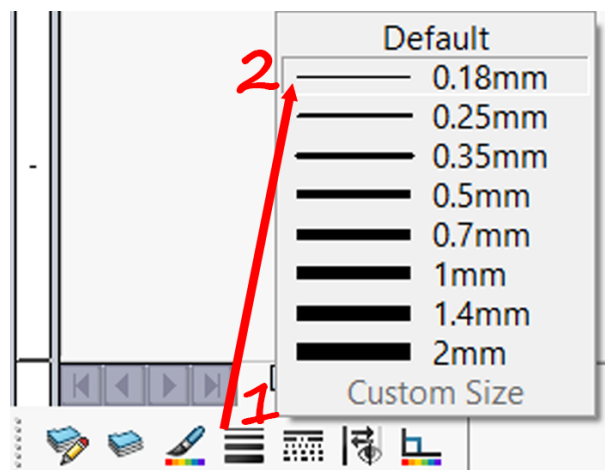


Рис. 13. Коригування відображення товщин ліній.

Однією із проблем побудови перерізів є відображення зайвих поверхонь 3D моделі деталі (Рис.14).

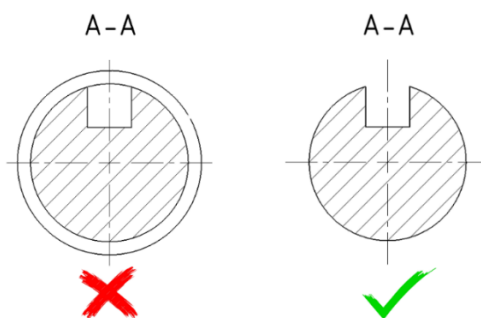


Рис. 14. Зображення перерізу до і після зміни налаштувань.

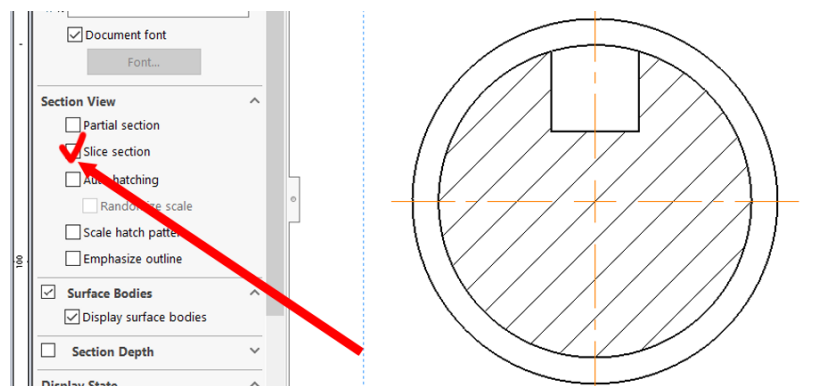


Рис. 15. Зміна налаштувань зображення перерізу.

**Висновки.** В роботі запропоновані засоби усунення деяких проблем, пов'язаних з невідповідністю стандартних налаштувань системи SolidWorks вимогам існуючих державних стандартів.

#### *Бібліографічний список.*

1. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Голова О.О., Смаковська Г.М. Комп'ютерне геометричне моделювання як інтегруюча основа автоматизованого проектування об'єктів машинобудування: Сучасні проблеми моделювання: Вип. 2, Мелітополь: МДПУ 2014. – С. 22-25.
2. Ворожук В.Я., Вітенько Т.М. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник, Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40547>
3. Холодняк Ю. В. Комп'ютерне проектування промислових виробів: Навч. посібник з виконання практичних робіт, Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 152 с.
4. Пустюльга С.І., Самостян В.Р., Клак Ю.В. Інженерна графіка в Solidworks. Навч. посібник, Луцьк: ЛНТУ, 2018. – 174 с.
5. Колосова О.П., Марчук К.А. Порівняльний аналіз деяких сучасних САД систем: Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності: Вип XII, Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського 2020. – С.106-113.



## ДИСКРЕТНА МОДЕЛЬ АРКИ, ФОРМА ЯКОЇ НАБЛИЖЕНА ДО ЛАНЦЮГОВОЇ ЛІНІЇ

Колган А.В., асистент

[kolhan.av@knuba.edu.ua](mailto:kolhan.av@knuba.edu.ua) ORCID: 0000-0002-2167-2864

***Анотація** - У роботі розглянуто побудову геометричної моделі арки, форма якої представлена ланцюговою лінією. Для розрахунку форми кривої лінії у роботі використовується статико-геометричний метод (СГМ) професора Ковальова С.М.*

***Ключові слова:** статико-геометричний метод (СГМ); геометричне моделювання; ланцюгова лінія.*

**Постановка проблеми.** Існує багато різних форм кривих ліній, за допомогою яких можна описати ту або іншу форму арок. Загально відомо, що найоптимальнішою формою арки є парабола. Цікавою є задача побудови лінії-контуру арки, яка за формою наближена до ланцюгової лінії.

**Аналіз останніх досліджень.** Ланцюговою лінією називають криву, форму якої під дією власної ваги приймає однорідна гнучка нерозтяжна нитка з закріпленими кінцями [1].

$$y = \frac{a}{2} \left( e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right), \quad (1)$$

де  $a$  - відношення сили натягіння нитки до її лінійної щільності.

Перевернута ланцюгова лінія є ідеальною формою для арки з погляду міцності. Матеріал однорідної арки з однаковою лінійною щільністю у формі перевернутої ланцюгової лінії не відчуває напруги вигину, а лише механічну напругу стиснення [2]. Ці властивості використав іспанський архітектор Антоніо Гауді при проєктуванні храму Святого Сімейства (кат. Temple Expiatori de la Sagrada Família) (рис. 1 а, б). Гауді зробив підвісну ланцюгову модель собору для експериментального прорахунку форми арок та склепінь. Таким чином він змоделивав весь силовий каркас майбутньої будівлі без математичних розрахунків (рис. 1, в) [3].



Рис.1 Храму Святого Сімейства (Sagrada Família) у Барселоні  
а) фасад, б) інтер'єр, в) ланцюгова модель собору



Рівняння ланцюгової лінії (1) має складну математичну форму з гіперболічним косинусом. Параметр  $a$  визначає кінцеву форму цієї кривої та залежить від трьох вільних параметрів (один - стріла підйому арки і два - положення (координати) закріплених кінців арки). Тому для однозначного визначення кривої потрібно щонайменше три точки. Однак система трьох рівнянь, яка виникає при підстановці координат “закріплених” вузлів і ординати нижньої точки ланцюга у рівняння (1), є нелінійною і виявляється складною для розв'язання. Тому, у дослідженнях [2, 4, 5] за наближену форму провисаючої лінії приймають параболу:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2, \quad (2)$$

де  $a_0, a_1, a_2$  коефіцієнти параболи.

**Постановка задачі.** Розв'язати практичну задачу побудови лінії контуру архітектурної арки, розробити геометричну модель такої арки методами прикладної геометрії, спираючись на запропонований [2] алгоритм побудови ланцюгової лінії.

**Основна частина.** Нехай (рис. 2) перевернуту ланцюгову лінію задано точками її кінців  $A(x_A, y_A)$  і  $B(x_B, y_B)$ . Задано висоту стріли підйому арки  $h$  - точкою  $S(x_S, h)$ . Цю точку задати остаточно неможливо, бо повноцінне задання вершини вимагає виконання умови дотику кривої лінії до дотичної  $y=h$ . На початку розрахунків точка  $S$  буде вершиною параболи та матиме наступні координати  $(-a_1/2a_2, h)$ . Координату  $x$  для цієї точки, можна знайти за умовою екстремуму, прирівнявши до нуля першу похідну від функції (1).

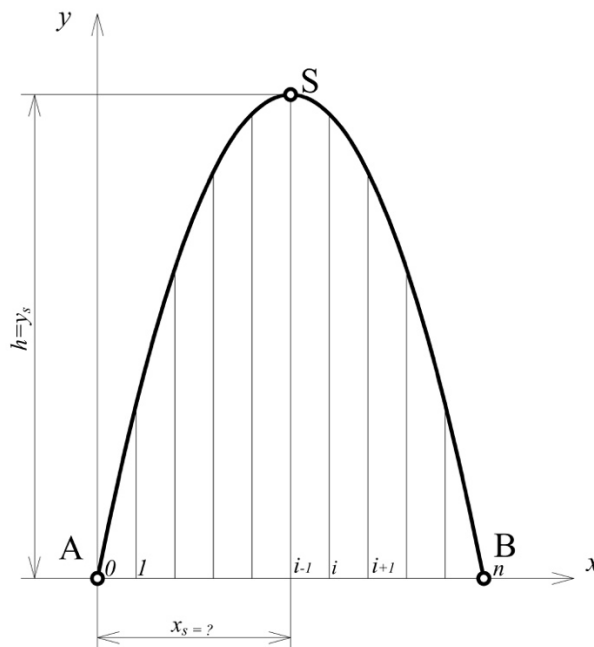


Рис. 2. Умова задачі

Для наочності побудов та розв'язання поставленої задачі використовується один з найбільш розвинутих і науково-обґрунтованих методів дискретного моделювання статико-геометричний метод проф. Ковальова С. М. [4]. В основі цього методу лежить рівновага вузлів

дискретно представлено моделі кривої лінії. Для забезпечення рівноваги вузлів до кожного вузла необхідно прикласти зовнішнє формоутворююче навантаження. Для знаходження координат вузлів необхідно скласти систему рівнянь їх рівноваги. За результатами розв'язання такої системи можна отримати дискретний аналог параболи. СГМ дозволяє змоделювати й дискретний аналог ланцюгової лінії. Для цього до кожного з вузлів кривої лінії слід прикласти формоутворююче навантаження, яке може бути розраховане за формулою (3):

$$kP_i = \sqrt{\Delta x^2 + (y_i - y_{i-1})^2} + \sqrt{\Delta x^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (3)$$

де  $\Delta x = x_{i+1} - x_i$ .

За рахунок того, що вздовж осі ОХ крок обирається постійний  $x = const = 1$ , маємо  $\Delta x = 1$ .

Нижче представлено алгоритм побудови дискретно-заданої ланцюгової лінії за СГМ. Розрахунок здійснюється в ітераційний спосіб.

1. За перше наближення обираємо дискретно представлену параболу, ординати вузлів якої визначаються за рівнянням (4):

$$y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1} + kP_i = 0 \quad (4)$$

Значення зовнішнього навантаження  $P_i$ , прикладеного до кожного з вузлів каркаса мають бути пропорційними довжинам ланок, що примикають до  $i$ -тої вершини.

Враховуючи, що  $x=const=1$ , маємо значення коефіцієнтів  $k_i$  в усіх ланках:

$$k_{i,i+1} = \frac{x_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{1}{2 - 1} = 1 \quad (5)$$

Результати першого етапу розрахунку занесено у Таблицю 1. Закріплюється значення ординати найвищого вузла  $S$ .

2. За формулою (3) обчислюються значення навантаження  $P_i$  для кожного з вузлів кривої:

$$P_i = \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + 1} + \sqrt{(y_{i+1} - y_i)^2 + 1}.$$

3. Складається та розв'язується система рівнянь рівноваги вузлів (4) з урахуванням отриманих на попередньому етапі  $P_i$ . Знаходяться ординати вузлів дискретної ланцюгової лінії другого наближення та заносяться у таблицю 2.

Отриманий результат є проміжним для подальшого знаходження координат вузлів дискретно визначеної ланцюгової лінії та її побудови.

4. Для отримання остаточного результату порівнюються координати поточного і попереднього наближення з допустимою похибкою  $\sigma_{\text{доп}} = y_{i+1} - y_i = \pm 0.001$ .

5. Якщо похибка не відповідає допустимій, розрахунок повторюється з пункту 2 по 4. Ітераційний процес зупиняється при досягненні встановленого значення  $\sigma_{\text{доп}}$ .

На рис. 3 представлено дискретні каркаси ланцюгових ліній. Ітераційний процес було завершено на шостій ітерації при досягненні

мінімальної похибки  $\sigma_{\text{доп}} = \pm 0.001$ . Результати обчислень наведено в табл. 1 та табл. 2.

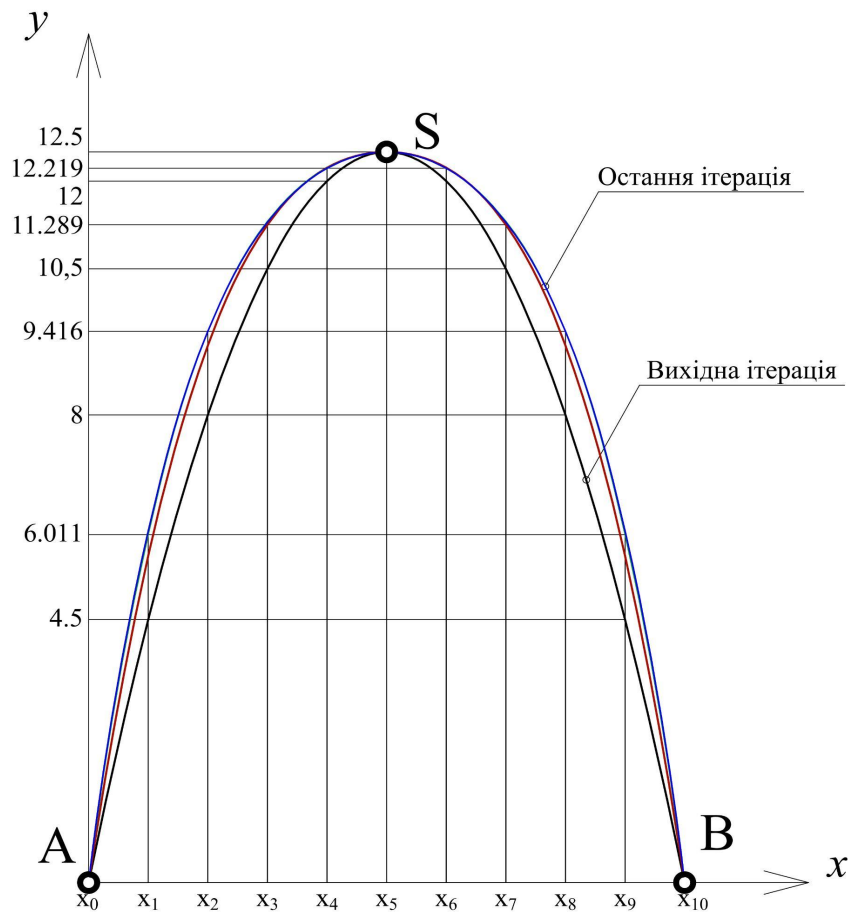


Рис. 3. Дискретний каркас ланцюгової лінії

Таблиця 1

№ Ітерації	Зовнішнє навантаження									k
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	
0	8.250	6.333	4.495	2.921	2.236	2.921	4.495	6.333	8.250	
1	9.413	6.027	3.706	2.443	2.062	2.443	3.706	6.027	9.413	-0.242
2	9.650	5.753	3.492	2.391	2.072	2.391	3.492	5.753	9.650	-0.263
3	9.658	5.675	3.478	2.400	2.076	2.400	3.478	5.675	9.658	-0.270
4	9.646	5.668	3.486	2.404	2.077	2.404	3.486	5.668	9.646	-0.270
5	9.642	5.671	3.489	2.404	2.077	2.404	3.489	5.671	9.642	-0.270
6	9.642	5.672	3.489	2.404	2.077	2.404	3.489	5.672	9.642	-0.270

Таблиця 2

№ Ітерації	Ординати вузлів										
	Y <sub>0</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>9</sub>	Y <sub>10</sub>
0	0	4.5	8	10.5	12	12.5	12	10.5	8	4.5	0
1	0	5.592	9.188	11.25	12.23	12.5	12.23	11.25	9.188	5.592	0
2	0	5.951	9.426	11.31	12.22	12.5	12.229	11.31	9.426	5.951	0
3	0	6.017	9.432	11.29	12.22	12.5	2.21	11.29	9.432	6.017	0
4	0	6.016	9.420	11.29	12.21	12.5	12.219	11.29	9.420	6.016	0
5	0	6.012	9.416	11.28	12.21	12.5	12.219	11.28	9.416	6.012	0
6	0	6.011	9.416	11.28	12.21	12.5	12.219	11.28	9.416	6.011	0

**Висновки.** Представлений підхід демонструє можливість використання статико-геометричного методу проф. Ковальова С.М. для побудови дискретної моделі контуру архітектурної арки. При цьому, форма дискретних кривих обирається наближеною до ланцюгових ліній. Представлені результати підтверджують спроможність СГМ і можливість його використання серед дизайнерів та архітекторів для створення геометричних моделей оптимальних за міцністю аркових конструкцій в архітектурі та містобудуванні.

### Література

1. Савелов А.А. Плоскі криві. Систематика, властивості, застосування/ під редакцією А.П. Нордена. – М.: 1960., – 289с.
2. Мостовенко О.В. Анпілогова В.О. Дискретна модель ланцюгової лінії. Прикладна геометрія та інженерна графіка.- К.: КНУБА, 2016. - №92. - С.10-14.
3. Zerbst Rainer. Antoni Gaudi - Taschen America Llc. 1999 - 240 p. ISBN: 9783822870778 (ISBN10: 3822870773)
4. Ковальов С.М. Формування дискретних моделей поверхонь просторових архітектурних конструкцій: дис. доктора техн. наук: / С. М. Ковальов. – М., 1986. – 348 с.
5. Мостовенко О.В. Ковальов С.М. Мостовенко О.В. Формування дискретного каркаса ланцюгової лінії. Збірник тез доповідей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції. Обуховські читання. - Київ, 2024. - С.14-18.

## THE ISSUE OF CHOOSING A RATIONAL METHOD FOR SOLVING POSITIONAL PROBLEMS DEPENDING ON INITIAL CONDITIONS

Monchenko Taras, student DG-31, Electronics Faculty

Savchuk Valentyna, Assistant

[svs\\_sav@ukr.net](mailto:svs_sav@ukr.net), ORCID: 0009-0005-4776-7916

Hanna Shepel, Senior Lecturer

[shepel.hanna.s@gmail.com](mailto:shepel.hanna.s@gmail.com), ORCID: 0000-0002-6993-5045

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Ukraine)*

***Abstract** – The paper addresses the selection of methods for solving pure exercises in the course "Descriptive Geometry". It evaluates the number of necessary graphic constructions depending on the chosen solution method. It is shown that while projection transformation methods are more visual and versatile, they require more graphic constructions under certain initial conditions than conventional methods. An example of such a problem is provided, illustrating the solution using transformation methods and their application. The impact of the spatial arrangement of given geometric objects on the number of graphic constructions required to solve the problem is illustrated.*

***Keywords** Descriptive geometry, method of projection plane transformation, graphic constructions, horizontal line.*

**Problem statement.** In solving descriptive geometry problems, the accuracy of the obtained result significantly depends on the number of graphic constructions used. The choice of the solution method largely depends on the complexity of the task. However, besides the set of geometric objects given in the problem statement, their spatial arrangement significantly influences the choice of the most rational solution method.

**Analysis of recent research.** Most works on the choice of solving descriptive geometry problems note that using projection transformation methods allows for a more visual result with relatively fewer constructions. This assertion is valid because obtaining results for complex problems without transformation methods requires deep theoretical knowledge and practical skills in graphic constructions. Additionally, it increases the inaccuracy of the results and the likelihood of errors. Projection transformation methods provide simpler and clearer visualizations, which is especially important when dealing with complex spatial configurations. However, insufficient attention is paid to the impact of initial problem conditions on the choice of the most rational solution method, which can significantly affect the efficiency and accuracy of the final result.

**Formulation of goals (Problem statement).** The goal of this work is to explore the rationality of choosing a solution method depending on its initial conditions. By examining how different initial spatial arrangements of geometric objects affect the complexity and accuracy of the solution, we aim to identify the most efficient methods for some scenarios.

**The main part.** Consider the following problem:

*Initial condition:* Point  $A(A_1, A_2)$  and line  $l(l_1, l_2)$  (Fig. 1).

*Task:* Construct a square  $ABCD$  with diagonal  $BC$  on line  $l$ . The graphical initial condition is represented in Fig. 1.

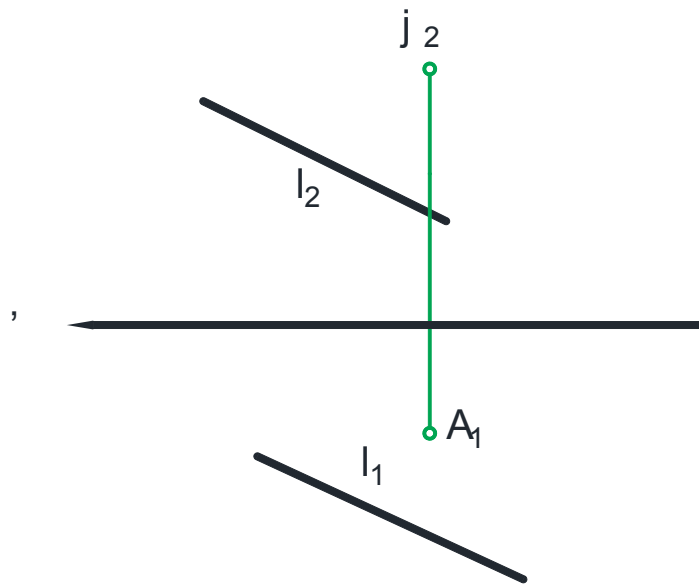


Fig. 1. The graphical initial condition

Consider the solution to this problem without using projection plane transformation methods (Fig. 2). It consists of the following steps:

1. Construct plane  $\Omega(h, f)$  perpendicular to line  $l$  and passing through point  $A$ .
2. By intersecting the constructed plane  $\Omega$  with the given line  $l$ , find point  $O$ , the intersection of the diagonals of the sought square  $ABCD$ . This is done using an auxiliary plane – intermediary  $\Delta(\Delta_2)$ , which intersects  $\Omega$  along line  $a$ . Point  $O$  is found as the intersection of lines  $l$  and  $a$ .
3. Using the right triangle method, obtain the true length of segment  $AO$ , half the length of the diagonal of the sought square  $ABCD$ .
4. Using an auxiliary point  $3$  and the right triangle method, find point  $B$ , equidistant from point  $O$  as point  $A$ .
5. The two remaining vertices of the square – points  $C$  and  $D$  – are constructed as symmetrical to known points  $A$  and  $B$  relative to point  $O$  along directions  $AO$  and  $BO$ .

As shown, this solution method requires a large number of constructions, negatively affecting the accuracy of the result and increasing the risk of errors.

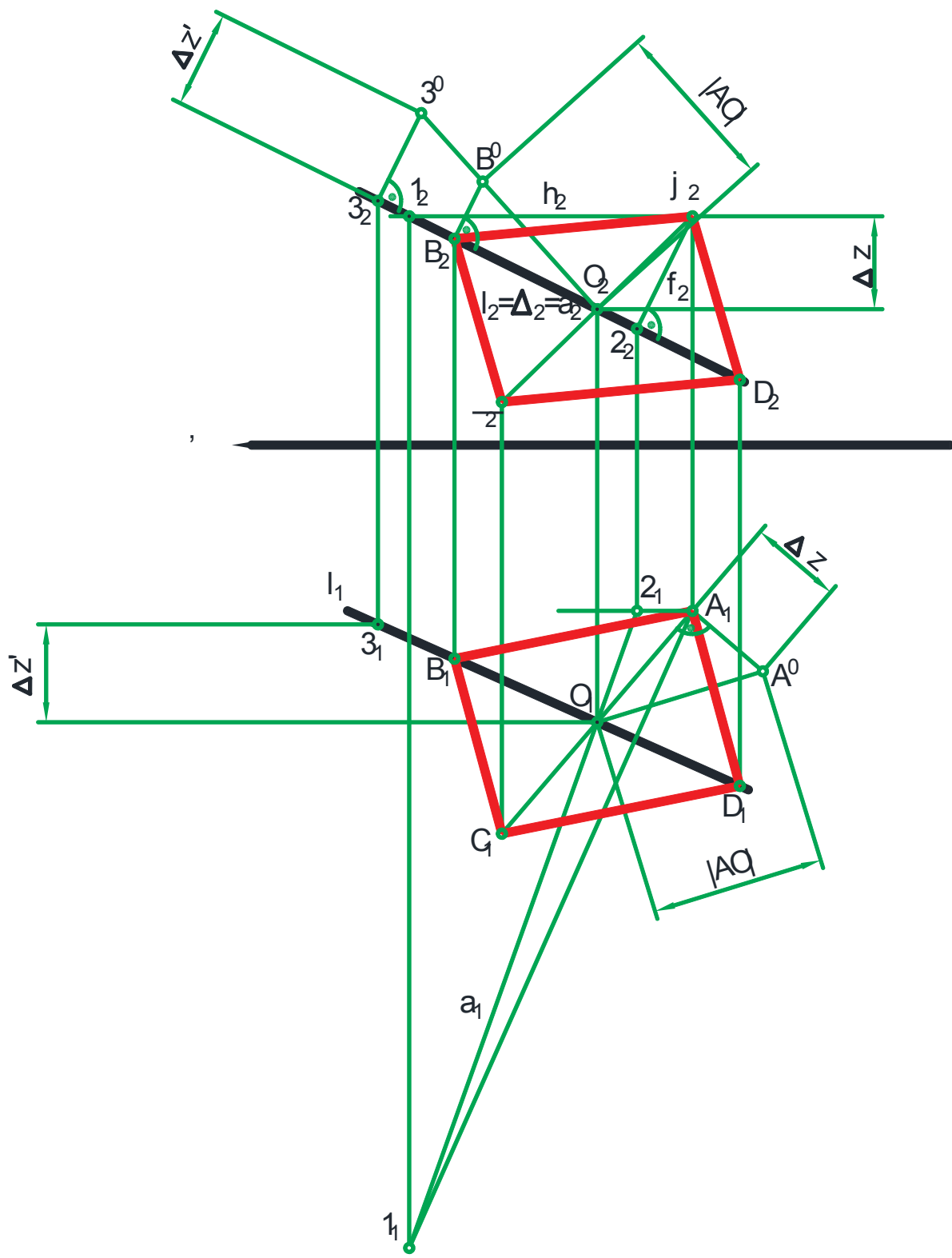


Fig. 2. Solution without using projection transformation methods

Now consider the problem solution using the method of changing projection planes (Fig. 3). Since all geometric objects and the future result – square  $ABCD$  –

are located in one plane, transform this plane into a level plane. The construction occurs in two stages:

1. Transition from the given coordinate system  $x \frac{\Pi_2}{\Pi_1}$  to the new one  $x_1 \frac{\Pi_4}{\Pi_1}$ , where  $x_1$  is perpendicular to  $h_1$  of the plane.
2. Change the system  $x_1 \frac{\Pi_4}{\Pi_1}$  to the new one  $x_2 \frac{\Pi_4}{\Pi_1}$ , parallel to the found  $\Sigma_4$ .

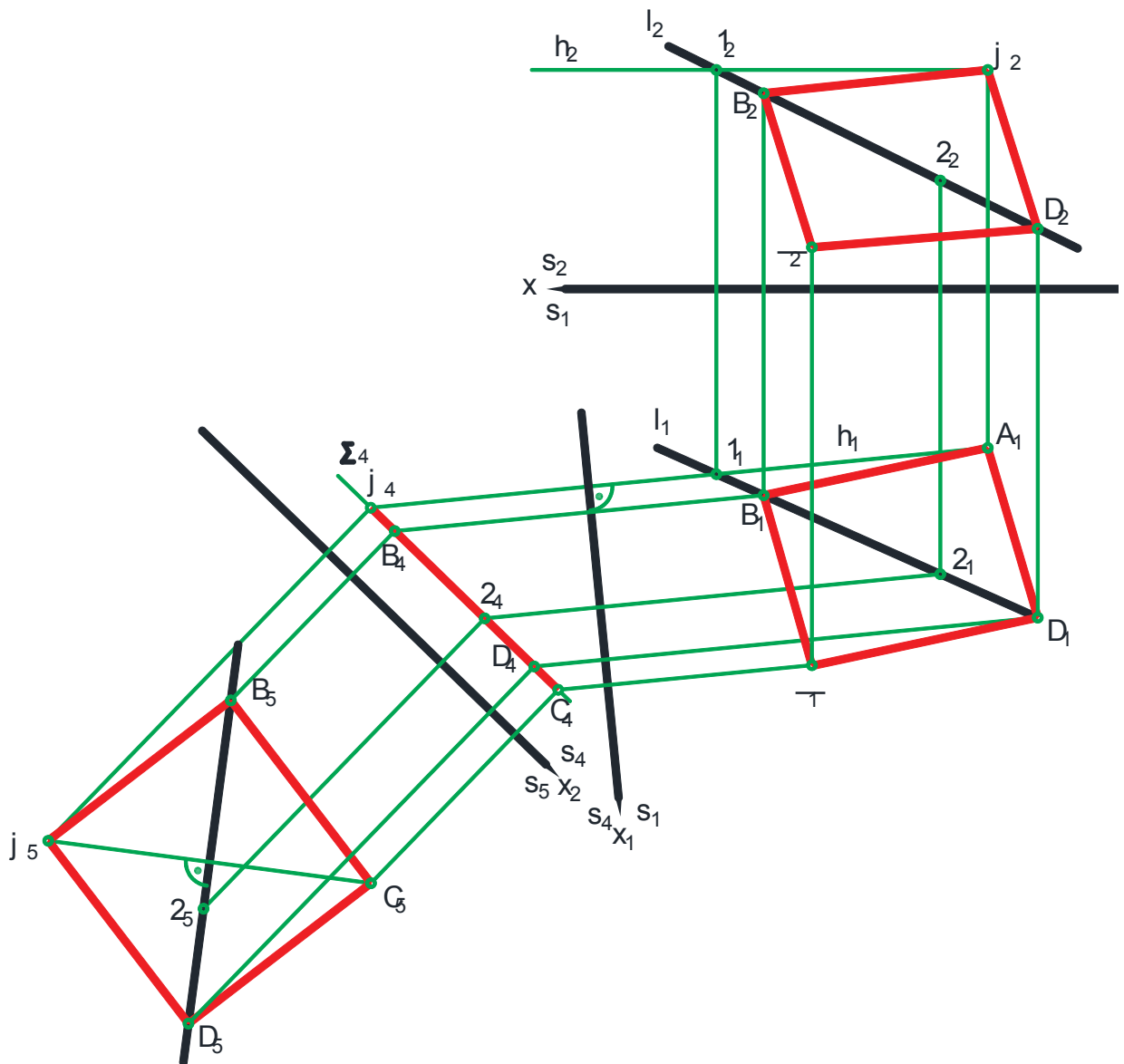


Fig. 3. Solution using projection plane transformation methods

It is evident that the second method is much simpler and clearer, requiring significantly fewer constructions. Additionally, it is more convenient to visualize using computer graphics.

Now change the initial problem condition. Instead of the general position line  $l$ , take the horizontal  $h$  (Fig. 4).



First, solve the problem without using projection transformation methods. Geometrically, all steps coincide with those described above. However, since the line given in the condition is a special position line, the number of required constructions is significantly reduced (Fig. 5).

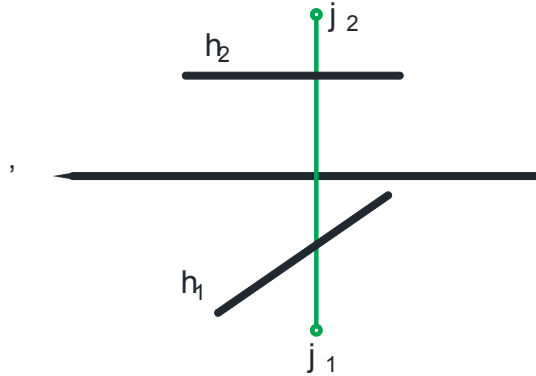


Fig. 4. Changed initial condition

The plane becomes a horizontal projection plane, simplifying the location of point  $O$ . To construct point  $B$ , equidistant from  $O$  by half the diagonal length of the square, directly use the  $h_1$  projection of line  $h$ .

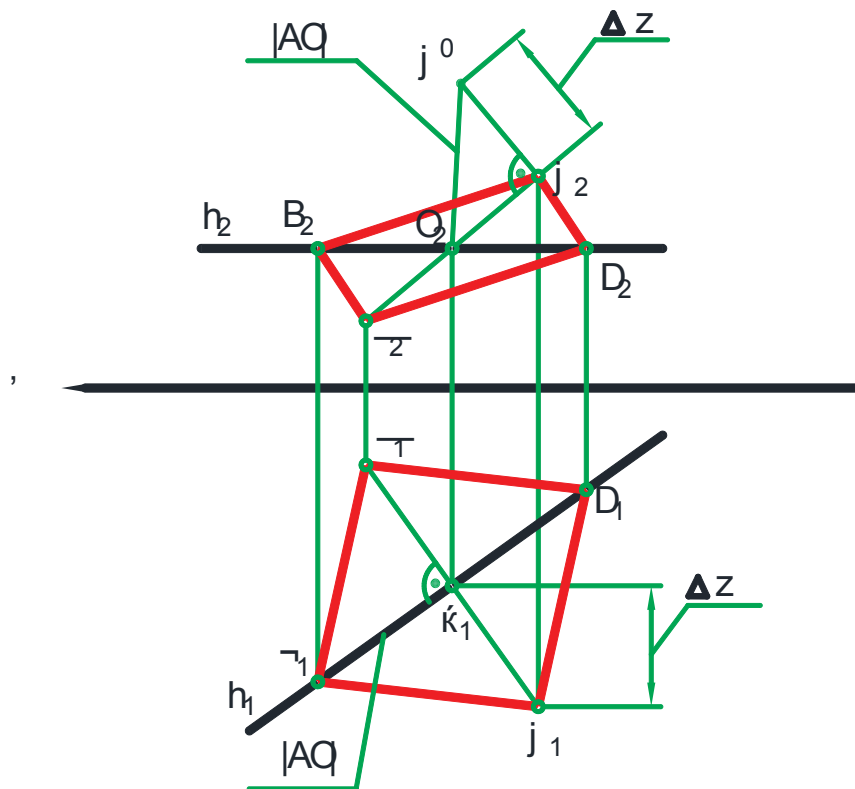


Fig. 5. Solution with changed initial condition without using projection plane transformation methods



## **Conclusions.**

1. Methods of solving problems using projection plane transformations are sufficiently universal and visual, allowing in most cases to find a result with minimal graphic constructions. These techniques streamline the process of transforming complex spatial configurations into simpler, more manageable forms, enhancing the clarity and efficiency of the solution process. By leveraging the inherent properties of projection planes, such methods provide intuitive visualizations that facilitate accurate problem-solving across a wide range of scenarios.

2. However, to choose the most rational solution method, it is necessary to analyze the geometric characteristics of the objects in the initial condition. While projection plane transformations offer significant advantages in simplifying complex problems, the suitability of this approach depends on the specific geometric properties and spatial relationships involved. Factors such as the arrangement of geometric objects, their alignment with principal planes, and the presence of special position lines all influence the effectiveness of projection techniques. Therefore, a thorough understanding of the problem's geometric context is essential for selecting the most appropriate and efficient solution method.

## ***References***

1. Kolosova, O., Baskova, H., Lazarchuk, M. Educational tasks on descriptive geometry, engineering, and computer graphics for programmed learning. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. 95 p. [in Ukrainian]
2. Perepichay S.I., Baskova G.V., Kolosova O.P. The search for effective models of organizing students' independent work in the course of engineering graphics in the conditions of distance learning. - / Collection of reports of the 12th International Scientific and Practical Conference "Applied geometry, engineering graphics and objects of intellectual property". Issue 12. K., KPI named after Igor Sikorskyi, 2023. P. 27-33. [in Ukrainian]
3. Vanin V.V. et al. / Engineering Graphics. - Kyiv: BHV Publishing Group, 2009. – 399 p. <http://jagegip.kpi.ua/article/view/281799> [in Ukrainian]
4. Bilytska N., Hetman O. One of the Directions for Developing the Creative Potential of Student Youth: Applied Geometry, Engineering Graphics, and Intellectual Property Objects: Vol. IX, Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. – P. 16-21. [in Ukrainian]
5. Volochniuk M., Hetman O., Bilytska N. Optimization of Solving Certain Metric Problems in Descriptive Geometry: Applied Geometry, Engineering Graphics, and Intellectual Property Objects: Vol. IX, Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. – P. 84-88. [in Ukrainian]

## DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE CATALOG FOR TILLAGE TOOLS USING DELPHI AND SQL

Hrubykh M.V. assistant

Mariya.grubich@gmail.com, ORCID ID: 0009-0003-9056-3826

Pavlo Mamontov\*, PLC Engineer

pavelmamontov@yahoo.com, ORCID: 0009-0009-8997-8032

\*Premiere Automation (USA)

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute " (Ukraine, Kyiv)

**Annotation** - This article proposes a new approach to selecting and comparing various types of tillage tools, specifically arrow-shaped paw, by combining an interactive database with their images, using Delphi and SQL. The proposed interactive tool allows users not only to view different types but also to analyze their characteristics and visualize their shapes.

**Keywords** - *interactive catalog; geometric modeling; tillage tools; arrow-shaped paw plows; Delphi; SQL, FastReport framework.*

**Formulation of the problem.** Traditional methods of presenting information, such as catalogs or web resources, are usually quite voluminous and their analysis can take a lot of time and effort. Therefore, there is a need for a new approach that would combine the database with the possibility of visualizing the forms of the working bodies of tillage tools. This would help users better understand and compare different models of these tools. The problem is the need to create a convenient and interactive catalog for the selection and classification of tillage tools, which would take into account its various characteristics.

**Formulation of goals.** The main goal of this article is to propose the creation and application of a new tool for selecting and comparing different types of tillage tools, specifically arrow-shaped paw used in cultivators for soil processing, by combining an interactive database with model visualization. This tool is aimed at providing users the ability to efficiently analyze and compare different types of paws considering their technical characteristics and visual aspects, enabling them to make informed decisions when choosing agricultural equipment for specific conditions and needs.

**Main part.** The interactive information system was developed based on the FastReport framework (Fig.1), which uses the Delphi and SQL programming languages. TreeView components were used to retrieve information from an integrated database processed by SQL tools. The user-friendly interface allows for seamless navigation and efficient data management, ensuring that users can quickly access the required information.

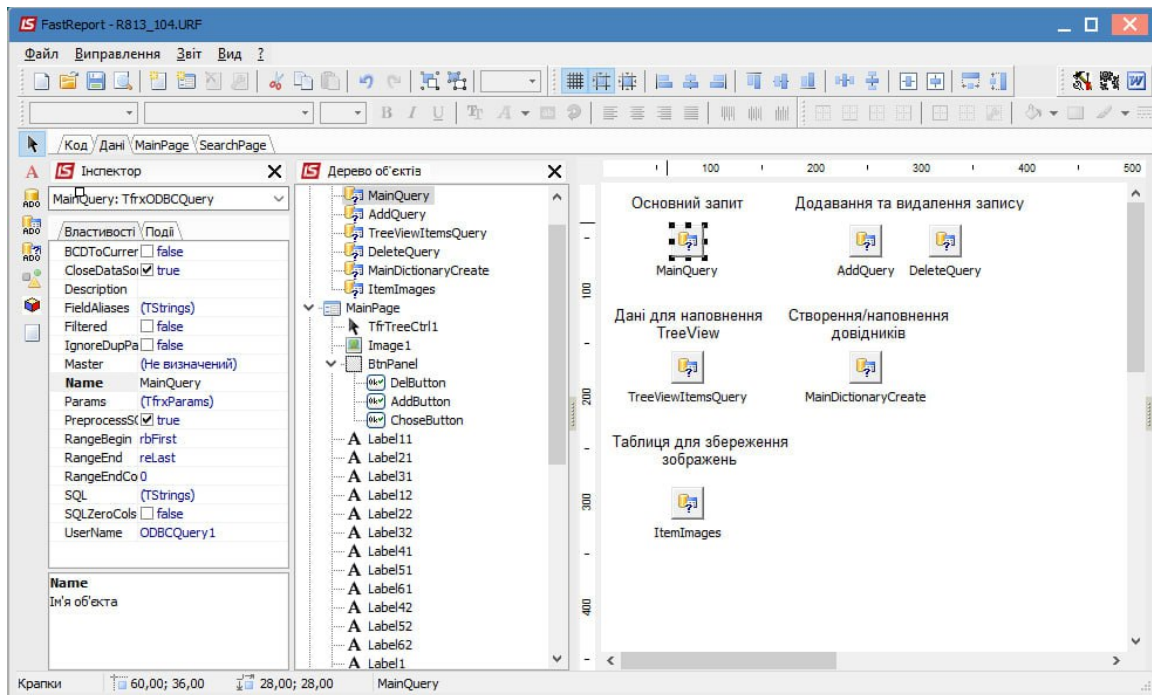


Fig. 1. Fast report development environment

Users can view images of the implements and the characteristics of each type (Fig.2), making comparison and selection easier. The classifier provides quick search and filtering of arrow-shaped paw. This allows you to quickly get information on the specified parameters.

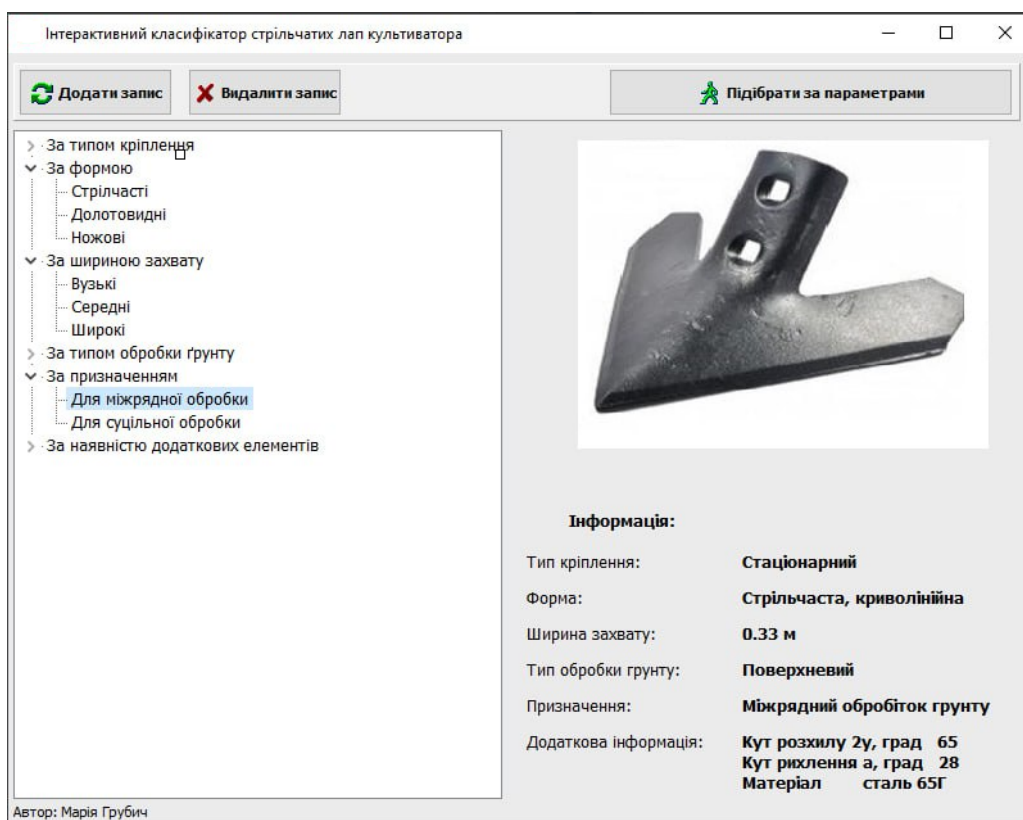


Fig. 2. User interface of application

**Conclusions.** The functionality of the application makes it possible to use it in the future as a web service for placement on profile sites. The architecture of the SQL queries used makes it possible to receive data from various sources and store them in a unified format, which simplifies the further support of the software complex and makes it a convenient tool for aggregation and use of the knowledge base on this topic. This environment allows you to add and change data, and also provides the ability to easily scale the system to a catalog with all existing tillage tools if necessary.

### *References*

1. Mary Anne Poatsy, Jerri Williams, Amy M Rutledge. Exploring Microsoft Office Access 2019 Comprehensive. — B.: Pearson, 2020. — 640 c.
2. *Veres, O.M., & Rishnyak, I.V. (2016).* Database Design in MS Access 2010 Environment. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House.
3. *Voitiuk D.H., Aniskevych L.V., Ishchenko V.V.* Agricultural machines. Kyiv: Ahroosvita, 2015. 679 s.
4. *Hevko R.B., Tkachenko I.H., Pavkh I.I.* Agricultural production machines. Ternopil: TDPU, 2005. 228 s.

## ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ ПОБУДОВИ РОБОЧОГО КРЕСЛЕНИКА ДЕТАЛІ ВРУЧНУ З ВИКОРИСТАННЯМ КРЕСЛЯРСЬКИХ ІНСТРУМЕНТІВ І ЗАСОБАМИ AUTOCAD

Міхлевська Н.В., старший викладач,  
[natavikmih@gmail.com](mailto:natavikmih@gmail.com), ORCID: 0000-0003-3579-2055

Баскова Г.В., старший викладач,  
[baskovagv31@gmail.com](mailto:baskovagv31@gmail.com), ORCID: 0000-0002-3385-8404

Сайко В.С., студент

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

***Анотація** – розглядаються різні способи побудови робочого кресленника деталі на папері з допомогою креслярських інструментів і засобами графічної програми AUTOCAD, проблеми вивчення курсу та шляхи їх розв'язання в умовах дистанційного навчання.*

***Ключові слова** – інженерна графіка, технічне креслення, комп'ютерна графіка, просторова уява, зображення, кресленник, ескіз.*

**Постановка проблеми.** В умовах дистанційного навчання, відсутності живого діалогу викладача зі студентом в аудиторії, вивчення курсу «Інженерна та комп'ютерна графіка» викликає у студентів неабиякі труднощі. Вони стикаються з проблемами при перенесенні тривимірного зображення на площину, а також при читанні креслеників. Ці проблеми пов'язані з недостатнім рівнем базової початкової графічної підготовки та нерозвиненою просторовою уявою. Одночасно, продовжується тенденція скорочення кількості академічних годин на вивчення курсу, перерозподіл навчальних годин курсу «Інженерна графіка. Технічне креслення» на курс «Комп'ютерна графіка». В цих умовах продовжується пошук шляхів оптимізації навчального процесу, удосконалення методики викладання курсу. В процесі навчання в нових умовах з'явилася цікава інформація щодо результатів учбового процесу, а саме, відгуки студентів щодо самостійної роботи з курсом, які треба детально вивчати і реагувати.

**Аналіз останніх результатів.** Реформа освіти призвела до перегляду змісту навчальних дисциплін. Крім того, як відомо, на процес підготовки студентів вплинув розвиток комп'ютерних технологій і, як наслідок, інтенсифікація навчального процесу. На деяких факультетах окремо виділено курс комп'ютерної графіки, який вивчається після курсу інженерної графіки, який в свою чергу складається з дисциплін нарисної геометрії та технічного креслення і, якщо нарисна геометрія закладає

теоретичні основи інженерної графіки, технічне креслення закладає інженерну мову, первинну технічну грамотність, практичні навички творчої конструкторської діяльності, елементарних інженерних досліджень та праці з великим об'ємом довідкової стандартної технічної інформації. Дуже багато питань курсу, які вивчаються до ознайомлення з комп'ютерними технологіями, які в свою чергу постійно удосконалюються, і є питаннями базовими, які формують просторове мислення та практику побудови креслеників. На деяких факультетах навчальна програма об'єднує технічне креслення та комп'ютерну графіку, які вивчаються одночасно, що потребує відповідних змін в процесі навчання. Передати зорове сприйняття геометрії просторового об'єкта на площині можна і не вивчаючи інженерну графіку, але таке зображення буде рисунком [2]. Кресленик, у свою чергу, не просто передає геометрію просторового об'єкта на площині, а є результатом аналізу отриманих знань про нього. Геометричні властивості рисунка і кресленика різні.

Для вивчення теми «Типові елементи деталей. Нарізь» запропоновано моделювання кресленика деталі типу «Гайка накидна», яка є базовою деталлю серед деталей токарної групи і найкраще демонструє сукупність зовнішніх та внутрішніх поверхонь різних форм на деталі: призматичних, циліндричних, конічних, як гладких, так і нарізевих. Це дає змогу детально і найбільш повно вивчити способи і правила зображення цих форм на кресленні, а також закріпити основні навички з нанесення розмірів і узгодження їх зі стандартами.

**Формулювання цілей.** Нажаль, в умовах дистанційного навчання, використання цієї методики не є можливим, або є дуже обмеженим через не однакові технічні можливості студентів і обмеженість за часом. Метою дослідження є порівняння трьох різних способів виконання креслення «Гайка накидна», які можуть бути використані на різних факультетах (інститутах), в залежності від кількості навчальних годин для вивчення технічного креслення і наявності курсу «Комп'ютерна графіка».

**Основна частина.** Вибір деталі типу «Гайка накидна» як моделі для вивчення теми «Робочий кресленик деталі з нарізкою» дозволяє найбільш повно розглянути алгоритм побудови кресленика деталі токарної групи взагалі і значно полегшує перехід до вивчення наступних тем курсу технічного креслення. Зображення нарізаної поверхні, фасок, проточки, виносного елемента дозволяє на практиці вивчити розрахунок параметрів не тільки самої нарізаної поверхні, а й супутніх конструктивних і технологічних елементів цієї деталі, продовжити вивчення теми нанесення розмірів та вивчення теми шорсткості поверхонь найбільш поширених елементів деталей різного функціонального призначення, технології виготовлення, а також набуття навичок роботи зі стандартами та іншою довідковою літературою. Зображення фасок на шестигранній поверхні, а саме дуг гіпербол, дозволяє розширити практичні навички студентів з геометричного креслення, вивчити один з конструктивних способів



побудови, з використанням дуги кола Перший класичний спосіб виконання креслення на папері з використанням креслярських інструментів з врахуванням основних правил ЄСКД. В цьому випадку студенти поетапно виконували за варіантами кресленик моделі:

- визначали головний вид і кількість видів деталі;
- на зображеннях відображали внутрішню поверхню;
- виконували необхідні розрізи; виносні елементи;
- за вимогами стандартів наносили розміри.

В процесі самостійної роботи над завданням і контролем з боку викладача в аудиторії студент отримував практичні базові навички зображення геометричного об'єкта на плоскому рисунку і оформлення кресленика за основними правилами стандартів. При цьому, він виконував зображення натури - моделі на площині за методом ортогонального проєкціювання в безпосередньому спілкуванні з викладачем, яке давало можливість одразу відповісти на всі питання студента, побачити його труднощі в процесі роботи і корегувати їх.

В теперішніх умовах студенти більше працюють самостійно, вони забезпечені необхідними навчальними посібниками, іншими методичними посиланнями.

При цьому студенти достатньо ефективно отримували первинні знання з основ конструювання деталей, складаних одиниць та їх технології виготовлення [4,5].

В результаті такого варіанту організації роботи студент отримував для зарахування кресленик наведений на рис. 1.

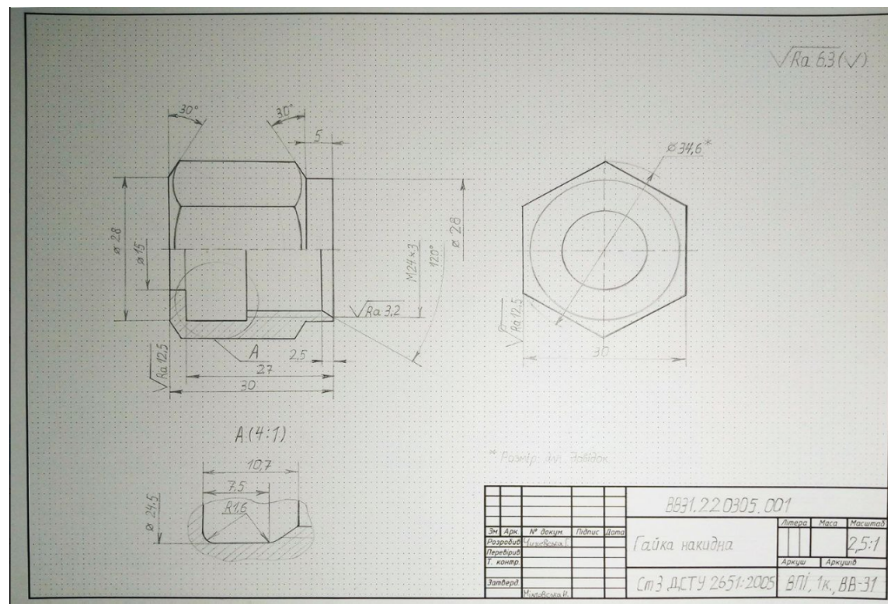


Рис.1 Кресленик з натури

Однак, слід виокремити одну важливу проблему, котра вимагає розв'язання – це дуже короткий термін навчання, який не залишає часу на



(обов'язково виконання ескізу роботи за вивченими правилами оформлення креслеників), особливо в умовах відсутності спілкування з викладачем в аудиторії, де в процесі роботи з моделлю він би мав можливість вивчати всі особливості виконання зображень на кресленику під його контролем.

Якщо у студента просторове уявлення на відповідному рівні, він легко адаптується в реальних умовах і успішно працює над самостійними завданнями. Але навіть для таких студентів потрібен певний час на отримання перших практичних навичок виконання зображень і оволодіння правилами оформлення креслеників за стандартами. Студентам же зі слабо розвиненою просторовою уявою складно вивчати нарисну геометрію, інженерну графіку, їм потрібні додаткові години на оволодіння практичними навичками, на розвиток просторового уявлення, на вивчення способів, алгоритмів побудов зображення предметів на площині, для них є обов'язковою робота з натурою.

Крім проблеми уміння, що називається “читання завдання”, є ще друга проблема. Вона пов'язана з тим, що для виконання кресленика необхідно вивчити та засвоїти досить великий об'єм нової інформації, що є наслідком інтенсифікації учбового процесу, тобто зменшенням учбових годин на вивчення інженерної графіки, та одночасно засвоювати інформацію з основ комп'ютерної графіки.

Якщо за навчальною програмою суміщені інженерна та комп'ютерна графіка, пропонується третій спосіб виконання завдання. Засобами програми AutoCAD будується зображення деталі в 3D. Далі відповідними командами виконуються необхідні ортогональні зображення: види, розрізи, виносні елементи. Основна проблема вивчити команди і в правильній послідовності виконувати необхідні дії. Нанесення розмірів і оформлення текстової частини креслення виконується іншими командами за правилами.

Результат побудови моделі в 3D і ортогональне зображення наведені на рис.3 і рис.4

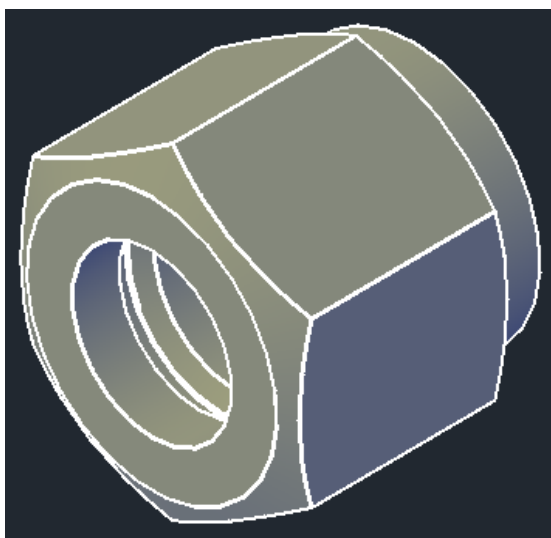


Рис.3 Деталь в 3D.

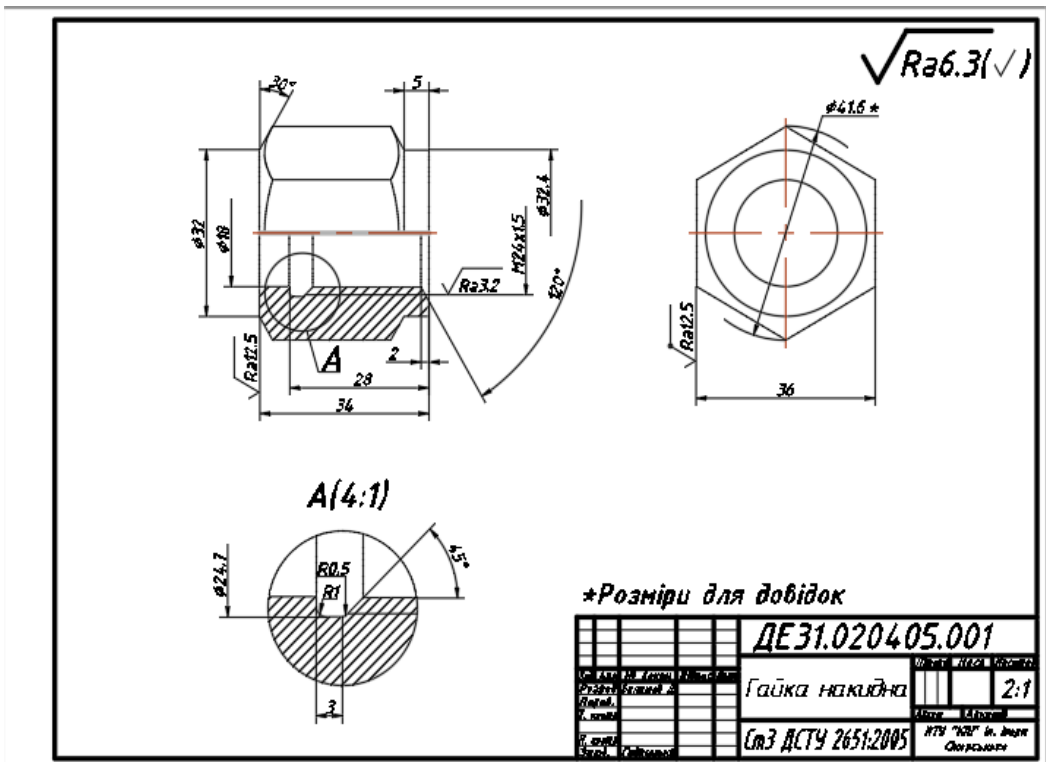


Рис.4 Ортогональне зображення засобами AutoCAD

На рис.4 можна бачити недоліки оформлення кресленика в порівнянні з іншими способами (рис.1 , рис.2 ).

### Висновки

На методику викладання курсу інженерної та комп'ютерної графіки впливають багато факторів, тому вона має бути універсальною, гнучкою, а в теперішніх умовах ще й враховувати всі особливості побудови курсу, початковий рівень графічної підготовки студентів, їх адаптацію в навчальний процес університету, роль інформаційно-комп'ютерних технологій.

Відповідь на кожний з факторів впливу на навчальний процес моделюється роками з урахуванням досвіду роботи викладача зі студентами і відображається в навчальних методичних посібниках, дистанційних курсах та інтегровальному процесі навчання комп'ютерній графіці, іншим спеціальним дисциплінам.

Але особливо треба відмітити, що для графічної підготовки студентів в теперішніх умовах фундаментально важливою була б робота з натурою і, на жаль, констатувати майже повну її відсутність. Запропоноване завдання з теми «Типові елементи деталей. Нарізь» дозволяє вивчити алгоритм розробки кресленика деталі токарної групи, яка є аналогом для цілого ряду деталей складальних одиниць як за функціональним призначенням, так і за технологією виготовлення, і дає можливість отримати практичні навички з

використанням комп'ютерних технологій, які використовуються в курсовому та дипломному проектуванні.

Вирішення задачі дозволяє майбутнім спеціалістам ознайомитися з методами побудови тривимірних моделей деталей, порівняти різні способи побудови кресленика типової деталі, виділити як переваги, так і недоліки їх, що показано на наведених зразках студентських работ.

### ***Бібліографічний список***

1. Ванін В.В., Перевертун В.В., Надкернична Т.М., Власюк Г.Г. Інженерна графіка. - К: Видавнича група ВНУ, 2009. – 399 с.

2. Ванін В.В. Психофізіологічні аспекти графічної інформації.[Текст]/ В.В. Ванін, Г. О. Гнітецька . Збірник доповідей VI-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених». Випуск 6.- К.: Видавництво «Політехніка». 2017. – С. 56-58.

3. Баскова Г.В., Міхлевська Н.В., Герасименко Я.В., Косінська А.А. До питання передачі зорового сприйняття на площині. - / Збірник доповідей X-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених». Випуск 10.- К., КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. С. 73-77.

4. Ванін В.В. Інженерна графіка. Розробка ескізів та робочих креслеників деталей: навчальний посібник/ В.В. Ванін, О.М. Воробйов, А.Є. Изволенська, Н.А. Парахіна. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 106 с.

5. Гетьман О.Г. Технічне креслення. Читання та деталювання креслеників загального виду: навчальний посібник/ О.Г. Гетьман, Н.В. Білицька, Г.В. Баскова. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017.- 144 с.

## ДЕЯКІ ПИТАННЯ СПРИЙНЯТТЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФОРМ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ПСИХОЕМОЦІЙНИЙ СТАН

Надкернична Т. М., старший викладач,

[t\\_nadker@ukr.net](mailto:t_nadker@ukr.net) ORCID: 0000-0002-9147-0512

Лебедева О.О., старший викладач,

[meganom8@ukr.net](mailto:meganom8@ukr.net) ORCID: 0000-0003-1569-5987

Овсієнко Л.Г., старший викладач,

[ovsienko.liudmila@gmail.com](mailto:ovsienko.liudmila@gmail.com) ORCID: 0000-0002-4614-9498

Амінов Ю.Р., студент,

[aminovvbt@gmail.com](mailto:aminovvbt@gmail.com)

Романенко А. І., студентка.

[boogeyanna@gmail.com](mailto:boogeyanna@gmail.com)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського» (Україна, м.Київ)

***Анотація** – у статті розглядається питання сприйняття людиною різних геометричних форм, способів використання особливостей цього сприймання у сучасному світі. Розглянуті історичні аспекти вивчення впливу геометрії предметів на людину, зокрема, теорія ідей та форм Платона. Проаналізовано окремі аспекти впливу візуального відчуття геометрії форм на психоемоційний стан людини, вплив на швидкість сприйняття та запам'ятовування, зроблено огляд результатів сучасних наукових досліджень щодо перцепції геометричних форм та практик їхнього застосування. Крім того, проведено опитування групи студентів першого курсу НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» щодо асоціацій, які викликають у них різні геометричні форми, наведені результати та зроблені висновки.*

***Ключові слова** – геометричні фігури, психологія людини, особливості сприйняття, геометрія*

**Постановка проблеми.** У світі науки та розвинених технологій не все піддається поясненням одразу. Наразі, розумово-емоційна сфера людини надзвичайно складна і потребує додаткових досліджень для ширшого розуміння її механізмів. На допомогу приходять застосування знань з інших наукових галузей. Знання про вплив геометричних фігур на психоемоційний стан людини активно застосовується у сфері реклами та піару, де ним вдало маніпулюють маркетологи та дизайнери.

**Аналіз останніх досліджень.** На сучасний момент науковцями в галузі психології були проведені численні експерименти, на основі яких у подальшому побудували деякі методики аналізу особистості. Одне з таких досліджень провела Сьюзан Деллінгер у 1978 році та створила на основі їхніх результатів психогіометричний тест для майбутніх менеджерів. Ця



система була поширена у 24 країнах і продемонстрована більш ніж для мільйона осіб. У теперешній час експерти намагаються виявити нові залежності та доповнити вже існуючі дані.

**Формування цілей (постановка завдання).** Виявити закономірності у поведінковій реакції людини на різні геометричні об'єкти. Привернути увагу до поведінкових механізмів людини.

**Основна частина.** Світ навколо нас на 80% сприймається візуально. Споглядання різних форм впродовж нашого існування глибоко вплинуло на їх сприйняття. Ще у IV столітті до нашої ери грецьким філософом Платоном була розроблена філософська теорія ідей та форм. Творчість Платона розвивалася у традиції, де основою матеріальних явищ визнавалися нематеріальні начала. Згідно з його вченням, ідеї через геометричні фігури формують фізичний космос. Їхній активний вплив передається на правильні геометричні тіла, що існують поруч, але на нижчому щаблі ієрархії. Ідеться про чотири об'ємні багатогранники, які мають упорядковану геометричну форму. Творчу силу ідей ці фігури конкретизують та породжують стихійні елементи. тетраедр генерує вогонь, октаедр – повітря, ікосаедр - воду, куб – землю. (рис. 1).

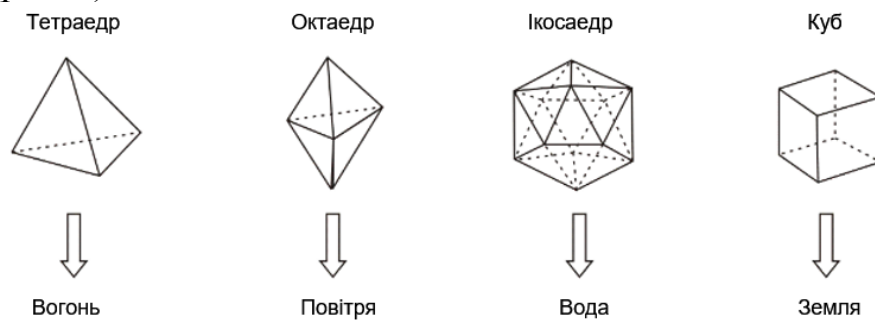


Рис. 1. Стихії, породжені формами згідно теорії ідей та форм Платона

Перелічені правильні геометричні тіла передали вплив ідей на безформну і хаотичну «хору» або на «матір-годувальницю», яку пізніше Аристотель назве «матерією». Хаотична матерія, за Платоном, відіграє роль сировини, яка, подібно до глини, приймає на себе вплив упорядковуючої сили і набуває форми. Структурування матерії, згідно вченню Платона, завершується створенням фізичного космосу, де утворюються всі речі та істоти (рис. 2).

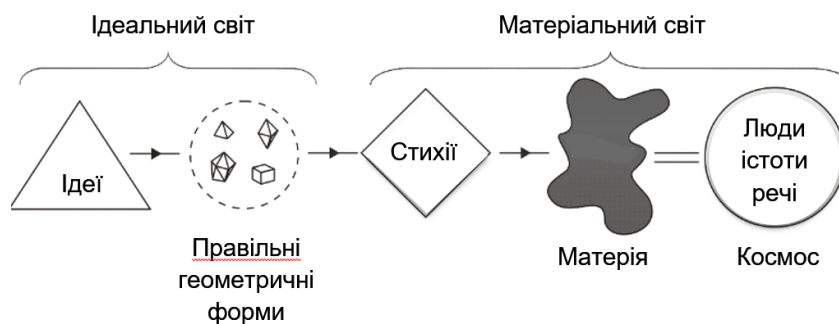


Рис. 2. Ієрархічні щаблі світобудови за Платоном

На протязі всієї історичної пізнавальної діяльності людство сприймало геометричну форму як один з основних інформаційних знаків і символів природи та культури. Дослідниками вже давно доведено що різні геометричні фігури викликають у людини певну емоційно-поведінкову реакцію.

Вплив форми проявляється у трьох аспектах:

- а) чуттєво-оптичному (імпресивному);
- б) психічному (експресивному);
- в) інтелектуально-символічному (конструктивному).

Виокремлюють три основних типи форм:

1. Геометричні – структуровані та переважно симетричні (квадрат, трикутник, коло).
2. Природні – несиметричні та мінливі (листя, хмари).
3. Абстрактні – стилізовані чи спрощені версії природних форм.

Правильні геометричні фігури (наприклад, кола і квадрати) запам'ятовуються набагато краще і сприймаються швидше, ніж складні та неправильні форми, які часто приносять дискомфорт.

Візуальне сприйняття пов'язане з тими чи іншими біологічними потребами організму. Для орієнтації йому необхідна чіткість і простота; для врівноваженості — єдність і баланс; для стимулювання — різноманітність і напруженість.

Певні потреби задовольняються одними формами краще, ніж іншими. Квадрат і круг - прості і врівноважені. Прямокутник із співвідношенням 2:1 навіює дискомфорт (відчуття розпаду на 2 квадрата). У співвідношенні «золотого перетину» (5:8) поєднується непорушна єдність і напруження. Ритмічне чергування різних відчуттів викликає позитивні емоції. Тривале одноманіття чи однорідні враження, навпаки, пригнічують психіку. Необхідність зміни станів, вражень, напруження і розслаблення закладені у біологічній природі людини.

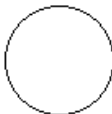
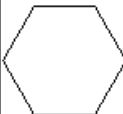



Прості симетричні форми привертають увагу спостерігача, легше сприймаються і запам'ятовуються порівняно з складними неправильними формами, а незбалансовані фігури викликають дискомфорт. Різні форми ліній також впливають на швидкість сприйняття та передачі інформації. Вплив на відчуття форми лінії обумовлений тим, що вона є ознакою розподілу і відмежування. Вертикальні або горизонтальні прямі лінії асоціюються із спокоєм, а вигнуті – з вільним рухом. Однак чим частішими розташовані горизонтальні або вертикальні лінії, тим більший дискомфорт вони викликають. Зигзагоподібні лінії передають враження різкої зміни, концентрації сили, швидкого вивільнення енергії.

Результати чисельних досліджень показують, що вплив певних геометричних форм може мати позитивний вплив на когнітивні здібності, такі як пам'ять, концентрація та творчі здібності. Наприклад, було показано, що вплив золотого перерізу, геометричного візерунка, який зустрічається в природі, підвищує креативність і покращує когнітивні здібності.



Студентами – співавторами даної статті були проведені опитування серед студентів першого курсу щодо вибору певної фігури у відповідь на задане питання, й отримали результати, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

<i>Статистика вибору фігур серед студентів на основі асоціативного чинника (%)</i>						
<i>№</i>	<i>Питання</i>					
<i>1</i>	<i>Яка фігура викликає у вас відчуття захищеності, безпеки?</i>	<i>38,46</i>	<i>7,7</i>	<i>15,37</i>	<i>34,62</i>	<i>3,85</i>
<i>2</i>	<i>Яка фігура викликає у вас відчуття дискомфорту?</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>60</i>
<i>3</i>	<i>Яка фігура на ваш погляд найбільш гарна та досконала?</i>	<i>25</i>	<i>40</i>	<i>25</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>4</i>	<i>Яка фігура асоціюється у вас з рухом, динамічністю?</i>	<i>28,6</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>57,1</i>	<i>14,3</i>
<i>5</i>	<i>Яка фігура викликає у вас почуття довіри, міцності та опору?</i>	<i>14,2</i>	<i>22,4</i>	<i>42,5</i>	<i>20,9</i>	<i>0</i>

Проаналізувавши дану таблицю, ми можемо зробити такі висновки щодо впливу геометричних фігур на сприйняття людини:

- Квадрат та прямокутник – найбільш звичні форми, що асоціюється з чесністю, викликають почуття безпеки, довіри, міцності, стабільності та комфорту.
- Трикутник – енергійна і динамічна форма, яка завжди пов'язана з рухом і напрямком. Прямокутний трикутник приносить почуття стабільності та рівноваги, але гострокутний виглядає ризикованим і готовим впасти, даючи людям відчуття напруженості.

- Правильний шестикутник – ця геометрична форма часто зустрічається в природі у вигляді бджолиних стільників та будови складних молекул. З точки зору психології, правильний шестикутник асоціюється з гармонією і красою; викликає захоплення та бажання вдосконалюватись.
- Коло символізує безкінечність, цілісність, гармонію, захищеність. Коло є динамічною, акцентуючою фігурою, що притягує до себе найбільшу увагу глядача, налаштовує на позитивні емоції. Круглі елементи сприймаються, як знак спільноти, дружби, любові і єдності. Кільця асоціюються з партнерством і припускають стабільність і витривалість.
- Еліпс символізує інволюцію і еволюцію. Трохи нахилений еліпс асоціюється з динамікою, напором, прагненням йти вперед і інноваційністю.

**Висновки.** Вплив форм на свідомість складний та багатогранний. Геометричні форми, від складних до простих, з якими ми стикаємось у повсякденному житті, мають глибокий вплив на наш психічний та емоційний стан. Розуміючи їх силу, ми можемо користуватися ними для сприяння внутрішньому спокою, творчості та особистому зростанню. Вивчення геометричних форм та їхнього впливу на свідомість є захоплюючою сферою, яка має потенціал відкрити нове розуміння природи людського розуму. З часом, ми можемо відкрити нові способи їх використання для особистого та колективного зростання.

### *Бібліографічний список*

1. Пуць В. С., Г. В. Єфімчук. Основи ергономіки та художнього конструювання : навчальний посібник. – Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2018. – 128с.
2. Васянович Г. П. Основи психології : навчальний посібник . – К. : Педагогічна думка , 2012. – 114 с.
3. Jordan Ellenberg. Shape: The Hidden Geometry of Information, Biology, Strategy, Democracy, and Everything Else. – Math Horizons, 29(3) 2022. – 18 p.
4. Хмеленко О. С. Нарисна геометрія. Підручник.– К.:Кондор, 2008 р. – 440 с.
5. Основи філософії: навч. посіб. / Л. О. Сандюк та ін. – К.: Центр учбової літератури, 2017. – 412 с.

## ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСИЧНИХ МЕТОДІВ БІОНІКИ У КОМП'ЮТЕРНІЙ ГРАФІЦІ

Шаблій М.Г., студент

[msabliij06@gmail.com](mailto:msabliij06@gmail.com)

Вірченко Г.А., д.т.н., професор,

[krivir@gmail.com](mailto:krivir@gmail.com), ORCID: 0000-0001-9586-4538

Надкернична Т.М., старший викладач

[t\\_nadker@ukr.net](mailto:t_nadker@ukr.net) ORCID: 0000-0002-9147-0512

Лебедева О.О., старший викладач

[meganom8@ukr.net](mailto:meganom8@ukr.net) ORCID: 0000-0003-1569-5987

Овсієнко Л.Г., старший викладач,

[ovsienko.liudmila@gmail.com](mailto:ovsienko.liudmila@gmail.com) ORCID: 0000-0002-4614-9498

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського» (Україна, м. Київ)*

***Анотація** – у статті розглядаються історія виникнення та різноманітні типи методів біоніки, яка є прикладною наукою про застосування в технічних пристроях та системах принципів організації, властивостей, функцій і структур живої природи. Суть цього перспективного науково-технологічного напрямку полягає в тому, щоб запозичити у природи цінні ідеї та реалізовувати їх у вигляді оригінальних конструкторських і дизайнерських рішень, а також нових інформаційних технологій. Приведені приклади та проведений аналіз можливостей застосування її для розробки інженерних рішень та технологічних методів. З погляду авторів, використання методів біоніки є ефективними та допомагають розв'язанню інженерних задач*

***Ключові слова** – метод, біоформа, функціональні аналогії, фокальні об'єкти, комбінаторика, комп'ютерна графіка, інженерна задача*

**Постановка проблеми.** Аналіз використання методів біоніки для розв'язання інженерних задач за допомогою використання комп'ютерної графіки.

**Аналіз останніх досліджень.** У статті наводиться аналіз методів: біоформ, функціональних аналогій, фокальних об'єктів та комбінаторний метод з погляду можливості їх оптимального застосування для розв'язання інженерних задач, що розв'язуються за допомогою комп'ютерної графіки. А саме: моделювання систем рухомих платформ, використання природних закономірностей, як готового інженерного рішення, моделювання функціональності об'єкта, проектування об'єктів за технологією вільного простору.

**Формулювання цілей (Постановка завдання).** Проаналізувати можливості використання методів біоніки для розв'язання інженерних задач

за допомогою комп'ютерної графіки з визначенням найбільш ефективних сфер їхнього застосування.

**Основна частина.** Перед тим, як перейти до аналізу та занурення в тему «Застосування класичних методів біоніки у комп'ютерній графіці», хочеться провести невеликий екскурс в історію.

З давніх-давен, люди вивчали навколишній світ та аналізували форми пристосування різних організмів до середовищ існування під впливом еволюції. Батьком біоніки вважають художника, письменника, науковця Леонарда да Вінчі, саме йому належать перші зображення літального апарата, що були зроблені ще в 1485-му році. Це були креслення орнітоптера, позиченої у природи моделі птаха.

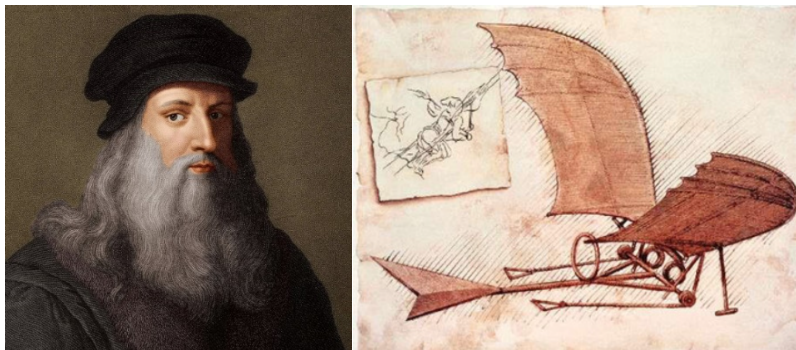


Рис.1. Портрет Леонарда да Вінчі та його винахід – летальний апарат

Велику роль в 90-і роки зіграло стрімке вторгнення комп'ютерних технологій. Завдяки комп'ютеру стало можливо описати складний біологічний об'єкт, наприклад, людський скелет звичною для конструктора мовою креслення. Сучасні фахівці у сфері біоніки мають ті самі етапи розроблення винаходів: «натхнення, задум, інженерні аспекти проектування та, власне, створення кресленика». Єдине, що зараз допомагає спеціалістам у цій сфері, це новітні комп'ютерні програми, що створюють більш точні кресленики, ніж створені за допомогою олівця, лінійки та циркуля на аркуші паперу. Прикладом таких програм є AutoCAD, SolidWorks, та інші.

Таким чином можна дійти висновку, що тема, яка розглядається у статті є актуальною, як з наукової, так і з практичної точки зору. При цьому робиться наголос на важливості розвитку та підтримки такої науки, як біоніка. Бо це дуже перспективна галузь, що робить живу природу джерелом інженерних винаходів, які відіграють важливу роль у різних сферах життя людини. Буде доречним навести цитату, що вдало відображає головну мету біоніки: “Птах - це інструмент, який працює за математичними законами, а людина здатна відтворити цей інструмент” (Леонардо да Вінчі).

До основних методів біоніки, наукова спільнота відносить: метод біоформ, метод функціональних аналогій, метод фокальних об'єктів та комбінаторний метод. Розглянемо окремо кожний із методів.

Метод біоформ полягає в детальному вивченні форм біологічних об'єктів, що існують в навколишньому середовищі. Спеціалісти у сфері біоніки детально вивчають форми біологічних об'єктів та на їх основі

створюють моделі певних технічних об'єктів за допомогою комп'ютерної графіки. На рис. 2 наведено приклад використання форми лапи орла для створення скопи екскаватора.



Рис.2 Порівняння органа живого організму з технічним інструментом

В теперішній час біоніка отримала значний імпульс до нового розвитку. Це пов'язано з тим, що сучасні цифрові технології дозволяють копіювати мініатюрні природні конструкції з небувалою раніше точністю. Сучасна біоніка в основному пов'язана з розробкою нових матеріалів, які копіюють природні аналоги, робототехнікою і штучними органами (рис. 3).

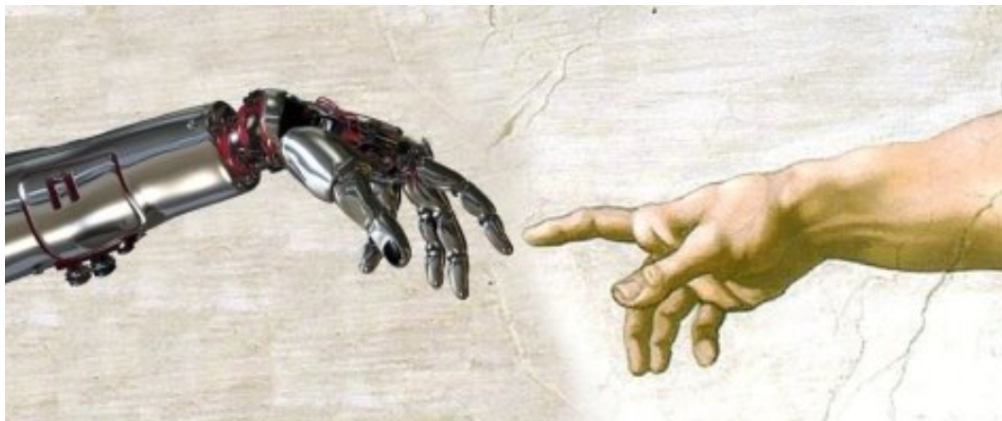


Рис.3 Протез та рука

*Метод біоформ* доцільно застосовувати для моделювання систем рухомих платформ (авіаційних, морських, автомобільних тощо), а також при протезуванні.

*Метод функціональних аналогій* заснований на абсолютному запозиченні готових моделей або систем у живих організмів, без змін принципу дії.

Прикладом цього методу може стати морський кальмар, бо його спосіб пересування – це реактивна тяга. Цей винахід використовується для проектування космічних кораблів, рухомих платформ, де застосовуються реактивні двигуни.

Ще метод функціональних аналогій може застосовуватися в дизайнерських проєктах, до них відносяться: раковина у формі перерізаного



равлика, будинок у формі закрученої спіралі ДНК, кухонні стільці у формі листів кущів тощо.

Застосування цього метода оптимальне для створення простих форм інженерних виробів. Тобто запозичення природних закономірностей та їх застосування, як готового інженерного рішення.

*Метод фокальних об'єктів* представляє особливий інтерес серед основних методів біоніки, бо він полягає в перенесенні ознак випадково вибраних об'єктів на об'єкт, що вдосконалюється. У результаті можна знайти кілька цілком несподіваних варіантів вирішення проблеми. До будь-якого неживого об'єкта застосовуються властивості живого об'єкта. Цей метод був винайденим американським ученим Ч. Вайтингом.



Рис.4 Функції, приналежні новітнім годинникам

Зазвичай, цей метод розглядають на прикладі наручного годинника (рис. 4), бо в новітніх годинниках існує безліч функцій, таких як: функція хронографа (записування/фіксування часу), таймер, логарифмічна лінійка (можливість проводити математичні операції без допомоги калькулятора), будильник, репетир тощо.

На думку авторів цей метод найкраще може бути застосований для розв'язання складних інженерних задач моделювання функціональності об'єкта.

*Комбінаторний* – це метод проектування, що полягає у знаходженні різних комбінацій з обмеженою кількістю елементів. зазвичай найефективніше застосовується задля розміщення об'єктів, деталей чи систем у просторі з метою економії простору чи з метою підвищення коефіцієнта корисної дії. До цього методу можна віднести розкладку клавіатури на комп'ютері, розміщення частин лінзи Френеля в автомобільній фарі та ін. На рис. 5 показаний приклад використання структури качана кукурудзи як джерела комбінованих рішень для висотних споруд.



Рис.5 Качан кукурудзи та висотні споруди

**Висновки.** Проведено аналіз можливості використання методів біоніки для розв'язання інженерних задач за допомогою комп'ютерної графіки з визначенням найбільш ефективних сфер їхнього застосування. На підставі проведеного аналізу застосування методів біоформ, функціональних аналогій, фокальних об'єктів та комбінаторного методу з погляду можливості їх оптимального застосування для вирішення визначених інженерних задач, що розв'язуються за допомогою комп'ютерної графіки, автор дійшов висновку, що використання методів біоніки є ефективним. При цьому, з практичної точки зору, найбільш ефективними є:

- метод біоформ для моделювання систем рухомих платформ (авіаційних, морських, автомобільних тощо);
- метод функціональних аналогій для створення простих форм інженерних виробів. Тобто запозичення природних закономірностей та їх застосування, як готового інженерного рішення;
- метод фокальних об'єктів для розв'язання складних інженерних задач моделювання функціональності об'єкта;
- комбінаторний метод для проєктування об'єктів за технологією вільного простору.

#### ***Бібліографічний список***

1. Мигаль С. П., Дида І. А., Казанцева Т. Є. Біоніка в дизайні просторово-предметного середовища : навч. посіб. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 228 с.
2. Сьомка С. В. Біоніка в дизайні середовища : навч. посіб. – К. : Ліра-К, 2018. – 248 с.
3. Волик Б. Аналіз будови тіла морських тварин та можливість прийняття її за біологічний аналог ґрунтообробних робочих органів. Техніка і технології АПК. 2018. Вип. 5. С. 7-9.
4. Сорочан О., Московцова О. Ефективність використання адитивних технологій при накістковому остеосинтезі. Біомедична інженерія і технологія. 2020. Вип. 4. С. 28-35.
5. Зубков С. В. Цифровий спірометр / С. В. Зубков, Ю. О. Цибань // Біомедична інженерія і технологія. 2019. № 2. С. 30-34.

## РІЗНІ ВАРІАНТИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕНОЇ СКЛАДНОСТІ З КУРСУ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

Мерещенко Д.Д., студент НН ІАТ

Овсієнко Л.Г., ст. викл.,

ovsienko.forstudents@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4614-9498

Мирошніченко Д. О., студентка

[myroshnichenkodarynaal31@gmail.com](mailto:myroshnichenkodarynaal31@gmail.com)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського» (Україна, м. Київ)

**Анотація** – у статті наведено спостереження багатьох років за головними тенденціями розвитку курсу нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки та до зміни часу, що ним приділяється. Запропоновано один із методів підвищення мотивації студентів до вивчення цих дисциплін. Розглянуто складну задачу з нарисної геометрії, яка потребує високого рівня знань та вмінь для її розв'язування. Запропоновано детальне покрокове розв'язання цієї задачі, що включає всі необхідні теоретичні та практичні аспекти. Крім того, у статті запропоновано новий, нестандартний підхід до розв'язування подібних задач, який може бути корисним як для студентів, так і для викладачів.

**Ключові слова** - нарисна геометрія, точка, пряма, площина проєкцій, метод заміни площин проєкцій, проєкціуюча площина, натуральна величина, катет, перпендикулярність, перетворення.

**Постановка проблеми.** Курс нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки відноситься до фундаментальних дисциплін, без яких стає неможливим підготовка кваліфікованого інженера. Проте, в останні роки бурхливий розвиток комп'ютерних технологій та дистанційний формат навчання знизили зацікавленість студентів у вивченні курсу нарисної геометрії, що є перешкодою й у розвитку творчого мислення майбутніх інженерів та конструкторів.

**Аналіз останніх досліджень.** З кожним роком зменшується кількість академічних годин, виділених на вивчення курсу нарисної геометрії, що негативно впливає на обсяг практичних завдань. Відповідно, скорочується і час для пояснень викладача, необхідний для формування у студентів творчого підходу до кожної геометричної задачі та алгоритму їх розв'язання.

Одним із ефективних способів зацікавити студентів і підвищити їх мотивацію до вивчення курсу нарисної геометрії є участь у студентських олімпіадах. В Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» щороку проводяться



олімпіади з нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки. Окрім участі в олімпіаді, важливою складовою є підготовка до неї. Для цього в університеті створюються гуртки, проводяться консультації, на які запрошуються всі бажаючі. Студенти додатково практикуються в розв'язуванні задач, знаходженні власних творчих методів та алгоритмів їх розв'язання.

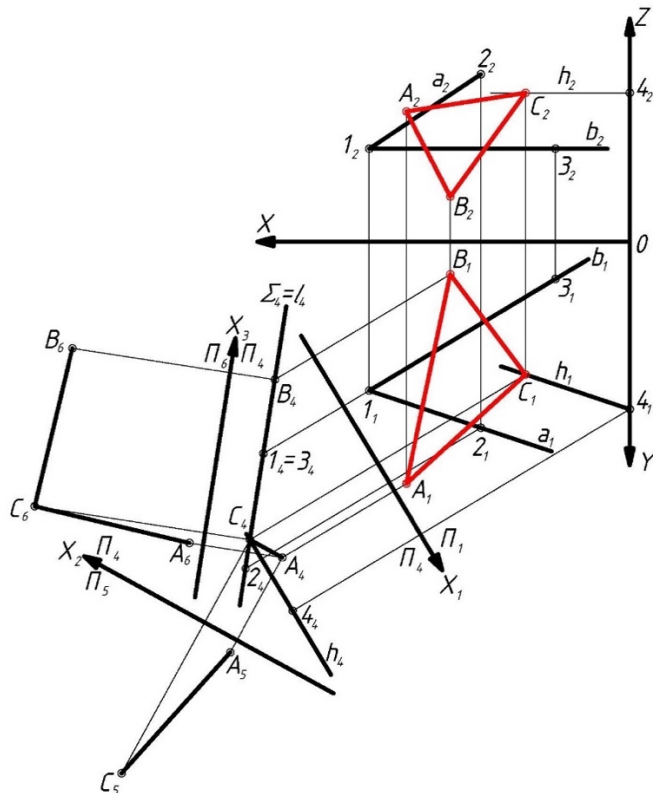
Під час підготовки розглядаються задачі вищого рівня складності, вивчається просторове моделювання. Студенти навчаються знаходити найраціональніші методи розв'язування задач та геометрично втілювати їх. Такий підхід полегшує сприйняття студентами нового предмету, вивчення якого на початку курсу у багатьох викликає труднощі, і водночас зацікавлює та мотивує їх вивчати ці фундаментальні дисципліни.

**Формулювання цілей.** В умовах зменшення уваги, що приділяється курсу нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки, щоб зацікавити студентів та стимулювати їх вивчати ці дисципліни, в якості підготовки до студентської олімпіади пропонується задача вищого рівня складності. При цьому використовуються не лише класичний метод, але й нестандартний підхід до її розв'язування.

**Основна частина.** Сформулюємо задачу:

Дано: Площина  $\Sigma(a \cap b)$ , горизонталь  $h$  і точка  $A$ , де  $A(60,65,35)$ ,  $1(70,40,25)$ ,  $2(40,50,45)$ ,  $3(20,10,25)$ ,  $4(0,45,40)$ .  $h_1 \parallel a_1$ . Побудувати прямокутний рівнобедрений трикутник  $ABC$  з вершиною прямого кута  $C$ , що належить  $h$  і катетом  $BC$  у площині  $\Sigma$ .

Почнемо з класичного методу розв'язання (рис. 1). Розглянемо алгоритм розв'язування задачі, а далі - детальний опис кожного кроку.



**Алгоритм.**

1.  $h \cap \Sigma$
2.  $AC = A \cap C$
3.  $\theta \perp AC, \theta \supset C$
4.  $l = \theta \cap \Sigma$
5.  $BC = AC, B \in l$
6.  $AB = A \cup B$   
 $BC = B \cup C$

Рис. 1. Кресленик та алгоритм класичного варіанту розв'язання задачі

**Порядок розв'язування задачі.**

- 1) Накреслимо умову.
- 2) Перетворимо площину  $\sum(a \cap b)$  в проєкціювальну, для цього зробимо наступне перетворення:  $\frac{\Pi_1}{\Pi_2} X \rightarrow \frac{\Pi_1}{\Pi_4} X_1, X_1 \perp b_1$ , в площині  $\Pi_4$  площина  $\sum$  спроекціювалася в пряму ( $\sum_4 \equiv l_4$ ).

Як відомо з умови, точка С одночасно належить і горизонталі  $h$ , і катету ВС, що лежить в площині  $\sum$ . Отже, звідси слідує очевидний висновок: точка  $C_4$  буде точкою перетину  $l_4$  та  $h_4$ .

- 3) З'єднаємо точки  $A_4$  та  $C_4$ , отримуючи проєкцію катета АС на площині  $\Pi_4$ .

- 4) Отримаємо натуральну величину катета АС. Для цього зробимо наступне перетворення:  $\frac{\Pi_1}{\Pi_4} X_1 \rightarrow \frac{\Pi_4}{\Pi_5} X_2, X_2 \parallel A_4 C_4$ , у площині  $\Pi_5$  отримуємо натуральну величину катета АС ( $A_5 C_5$ ).

- 5) Тепер залишилось знайти точку В. Ми знаємо натуральну величину катета ВС ( $BC=AC$ , так як трикутник АВС – рівнобедрений). Крім цього, ми знаємо взаємне розташування катетів ВС та АС ( $BC \perp AC$ ).

Тобто, для знаходження точки В, нам потрібно зробити перетворення, в ході якого катет ВС ми побачимо в натуральну величину, а також збережеться перпендикулярність проєкцій катетів АС та ВС.

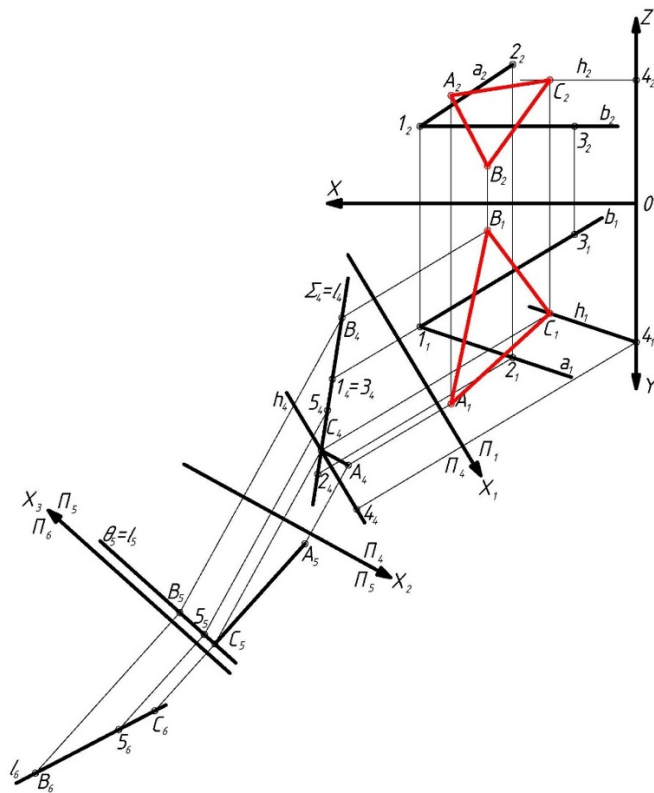
Ми знаємо, що катет ВС лежить у площині  $\sum$ , яка спроекціювалася в пряму на площині  $\Pi_4$  ( $\sum_4=l_4$ ), тобто  $B_4 C_4 \subset l_4$ . І до того ж, нам відомо, що катет АС, як і катет ВС належить площині трикутника, отже в площині проєкцій, де ми бачимо катет ВС в натуральну величину, обов'язково зберігатиметься перпендикулярність проєкцій катетів ВС та АС.

Тож достатньо зробити перетворення  $\frac{\Pi_1}{\Pi_4} X_1 \rightarrow \frac{\Pi_4}{\Pi_6} X_3, X_3 \parallel l_4$ , спроекціювати на площину  $\Pi_6$  катет АС, провести перпендикуляр до нього в точці  $C_6$  та відкласти від точки  $C_6$  відрізок  $C_6 B_6$  довжиною АС, що належить перпендикуляру до  $A_5 C_5$  ( $|C_6 B_6| = |AC|, C_6 B_6 \perp A_5 C_5$ ).

- 6) Отримавши проєкції всіх вершин трикутника АВС, можемо, за правилами зміни площин проєкцій, перенести їх на площини  $\Pi_1$  та  $\Pi_2$ .

Таким чином отримаємо трикутники  $A_1 B_1 C_1$  та  $A_2 B_2 C_2$ , які є проєкціями трикутника АВС на площини  $\Pi_1$  та  $\Pi_2$ , відповідно. Це і буде розв'язком.

В процесі роботи студентом було запропоновано інший нетрадиційний варіант розв'язання (рис. 2). Як і в попередньому випадку, розглянемо алгоритм розв'язування задачі, а далі - детальний опис кожного кроку.



### Алгоритм.

1.  $h \cap \Sigma$
2.  $AC = A \cap C$
3.  $\theta \perp AC, \theta \supset C$
4.  $l = \theta \cap \Sigma$
5.  $BC = AC, B \in l$
6.  $AB = A \cup B$   
 $BC = B \cup C$

Рис. 2. Кресленик та алгоритм нетрадиційного варіанту розв'язання задачі

### Порядок розв'язування задачі.

- 1) Накреслимо умову.
- 2) Перетворимо площину  $\Sigma(a \cap b)$  в проєкціювальну, для цього зробимо наступне перетворення:  $\frac{\Pi_1}{\Pi_2} X \rightarrow \frac{\Pi_1}{\Pi_4} X_1, X_1 \perp b_1$ , в площині  $\Pi_4$  площина  $\Sigma$  спроектувалася в пряму ( $\Sigma_4 = l_4$ ). Як відомо з умови, точка C одночасно належить і горизонталі  $h$ , і катету BC, що лежить в площині  $\Sigma$ . Отже, звідси слідує очевидний висновок: Точка  $C_4$  буде точкою перетину  $l_4$  та  $h_4$ .
- 3) З'єднаємо точки  $A_4$  та  $C_4$ , отримуючи проєкцію катета AC на площині  $\Pi_4$ .
- 4) Отримаємо натуральну величину катета AC. Для цього зробимо наступне перетворення:  $\frac{\Pi_1}{\Pi_4} X_1 \rightarrow \frac{\Pi_4}{\Pi_5} X_2, X_2 \parallel A_4 C_4$ , у площині  $\Pi_5$  отримуємо натуральну величину катета AC ( $AC = A_5 C_5$ ).
- 5) Нам відомо, що катет BC лежить в площині  $\Sigma$ , а також відомо, що катет BC належить прямій, перпендикулярній до катета AC. Такою є пряма  $l$ , що є перетином площини  $\Sigma$  та площини  $\theta \perp AC$ .
- 6) Оскільки на площині проєкцій  $\Pi_5$  ми бачимо катет AC в натуральну величину ( $\Pi_5 \parallel A_4 C_4$ ), зберігається перпендикулярність катета AC з прямою  $l$  та площиною  $\theta$ . А отже площина  $\theta$  на  $\Pi_5$  проєкціюється в пряму, що співпадає з проєкцією

прямої  $l$  ( $l_5$ ) ( $\theta_5 \equiv l_5$ ). Для того, щоб побудувати  $l_5$ , потрібно просто відкласти пряму, перпендикулярну до  $A_5C_5$  через точку  $C_5$ .

7) Для спрощення наступних побудов, на прямій  $l_5$  виберемо довільну точку  $5_5$  і побудуємо її проєкцію на площині  $\Pi_4$ , що буде перетином перпендикуляру до  $X_2$ , проведеного з точки  $5_5$  та прямої  $l_4$ .

8) Для того, щоб знайти точку  $B$ , нам потрібно зробити перетворення, що дозволить побачити катет  $BC$  в натуральну величину, яка нам вже відома ( $AC = BC$ ). Ми також знаємо, що точка  $B$  належить прямій  $l$  ( $B \in l$ ). Тож зробимо наступне перетворення:  $\frac{\Pi_4}{\Pi_5} X_2 \rightarrow \frac{\Pi_5}{\Pi_6} X_3$ ,  $X_3 \parallel l_5$ , знайдемо проєкцію точки  $C$  ( $C_6$ ) та точки  $5$  ( $5_6$ ), а з'єднавши їх - проєкцію прямої  $l$  ( $l_6$ ). Вздовж проєкції прямої  $l$  ( $l_6$ ) від проєкції точки  $C$  ( $C_6$ ) відкладемо відрізок довжиною натуральної величини катета  $AC$  ( $|C_6B_6| = |AC|$ ), кінцем відрізка і буде проєкція точки  $B$  ( $B_6$ ).

9) Отримавши проєкції всіх вершин трикутника  $ABC$ , можемо, за правилами зміни площин проєкцій, перенести їх на площини  $\Pi_1$  та  $\Pi_2$ . Таким чином отримаємо трикутники  $A_1B_1C_1$  та  $A_2B_2C_2$ , які є проєкціями трикутника  $ABC$  на площини  $\Pi_1$  та  $\Pi_2$ , відповідно. Це і буде розв'язком.

**Висновки.** Для розв'язування продемонстрованих задач необхідно володіти глибокими знаннями та практичними навичками у сфері нарисної геометрії. Вивчення методів розв'язування таких задач сприятиме поглибленню знань студентів з даного курсу, а також розвитку їхнього просторового та аналітичного мислення. Розгляд подібних завдань є відмінною підготовкою до олімпіад і слугує ефективним засобом для зацікавлення студентів у вивченні цієї дисципліни.

### ***Бібліографічний список***

1. Ванін В.В. Навчальні завдання з нарисної геометрії та інженерної графіки/ Ванін В.В., Білецька Н.В., Гетьман О.Г., Міхлевська Н.В.// Нарисна геометрія та інженерна графіка. Навчальні завдання для програмованого навчання. Навчальний посібник для студентів немеханічних спеціальностей. Київ: НТУУ «КПІ», 2018. 64 с.

2. Білицька Н. В. Олімпіада як спосіб підвищення зацікавленості студентів при вивченні курсу нарисної геометрії. / Н. В. Білицька, Г.М. Коваль, М. М. Бережнюк - Матеріали VI-ї Всеукраїнської науковопрактичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених". Вип.6. Київ: ДІА, 2017. с.41-45.

3. Розв'язування задач підвищеної складності з нарисної геометрії: навч. посіб./ Кривцов В.В., Козяр М.М., Полінчук А.Е. Київ: Гельветика, 2019. 224 с.

4. Нарисна геометрія (теорія та приклади рішення задач): підручник/ Хмеленко О.С. Київ: Кондор. 2008. 440 с.

5. Теоретичні основи розв'язування задач з нарисної геометрії: навч. посіб./ Кривцов В.В., Науменко Ю.В. Рівне: НУВГП, 2013. 267 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ХАРАКТЕРНОЇ ПЛОЩІ ПРОЄКЦІЙ ЕЛІПСОЇДНИХ ПОВЕРХОНЬ У ЗАДАЧАХ ЗОВНІШНЬОЇ БАЛІСТИКИ

Котляр Д.В. к.т.н., доцент без вченого звання

[yardnight@gmail.com](mailto:yardnight@gmail.com), ORCID: 0000-0003-1718-753X

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
(м. Миколаїв, Україна)

***Анотація** – Представлено результати дослідження зміни характерної площі проєкції еліпсоїдного тіла, що формує носову частину кулі під час польоту по балістичній траєкторії. Досліджено ряд еліптичних поверхонь з різними коефіцієнтами співвідношення півосей, які відповідають геометричним параметрам носових частин еталонних куль G1 та G7. Особлива увага приділяється впливу різних коефіцієнтів співвідношення півосей еліптичних поверхонь на зміну характерної площі та їх взаємозв'язок з аеродинамічним опором. Метою роботи є розробка аналітичних моделей для визначення зміни характерної площі нормальних проєкцій еліпсоїдних поверхонь, які можна використовувати для оптимізації аеродинамічних форм куль. Предметом дослідження є зміна характерної площі нормальних проєкцій еліпсоїдних поверхонь вздовж балістичної траєкторії руху.*

***Ключові слова:** балістичний коефіцієнт, траєкторія балістична, характерна площа, сила опору потоку, кут атаки, нормальна площина.*

***Постановка проблеми.** Відомо, що кінцевою задачею зовнішньої балістики є виявлення балістичного коефіцієнту, який допомагає стрільцям прогнозувати поведінку кулі на різних відстанях та налаштовувати приціли для підвищення точності стрільби. Застосування балістичних калькуляторів спрощує цей процес, дозволяючи швидко і точно налаштувати приціл під конкретні умови стрільби. Під терміном балістичний калькулятор мається на увазі математичний апарат, що дозволяє прорахувати рух кулі та визначити її балістичну траєкторію на задану прицільну дистанцію за вхідними параметрами зовнішньої балістики, такими як: маса кулі, калібр, швидкість у дульному зрізі та інші[1]. Після пострілу, вилітаючи з нарізного ствола, куля отримує кутову швидкість для стабілізації завдяки гіроскопічному ефекту. Це призводить до появи кутів атаки аеродинамічного опору на її балістичній траєкторії. Гіроскопічна стабілізація тримає кут вектору нахилу кулі вздовж всієї траєкторії польоту, але, з іншого боку, є причиною девіації кутів атаки аеродинамічного опору. Оскільки кут атаки аеродинамічного опору кулі змінюється під час її руху*

по балістичній траєкторії, варто розглянути геометричні аспекти цього руху. Це допоможе врахувати їх вплив у аналітичній моделі балістичного калькулятора і точніше визначити коефіцієнт опору кулі, який є ключовим для розрахунку балістичного коефіцієнта. [2].

**Аналіз останніх досліджень.** Відомо, що коефіцієнт опору кулі ( $C_d$ ) визначає, наскільки сильно повітря впливає на кулю під час польоту. Оскільки політ кулі є дуже динамічним процесом, коефіцієнт опору змінюється в залежності від швидкості та форми кулі. Його визначення є складним завданням, яке вимагає врахування багатьох фізичних аспектів взаємодії кулі з повітрям.

У формулі (1) подається аналітичний вираз для визначення коефіцієнту аеродинамічного опору  $C_d$  [1,7]:

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho v^2 \cdot A}, \quad (1)$$

де  $F_d$  – сила опору,  $\rho$  – щільність повітря,  $v$  – швидкість кулі (швидкість взаємодії кулі з потоком),  $A$  – характерна площа кулі (площина поперечного перерізу нормального до напрямку руху).

При виборі аеродинамічної форми кулі слід враховувати, що зі зменшенням опору тиску збільшується сила тертя. Це пов'язано з тим, що видовження форми кулі зменшує опір, але одночасно збільшує площу її поверхні [3]. Розглянемо формулу визначення сили аеродинамічного опору (2).

$$F_d = \int_A (-P \cos \theta + \tau_w \sin \theta) dA, \quad (2)$$

де  $P$  – напруга, викликана тиском від опору форми;  $\tau_w$  – опір від сили тертя викликаний напругами зсуву. Варто зазначити, що при визначенні компоненти сили опору форми враховують площу характерного перерізу, а при визначенні компоненти сили тертя – площу поверхні кулі, яка взаємодіє з повітрям і розщеплює його шари. У задачах зовнішньої балістики, зокрема при визначенні сили опору, основну увагу приділяють компоненті опору від форми, оскільки її вплив значно перевищує вплив сили тертя [7]. Цьому сприяють геометричні аспекти польоту куль по балістичній траєкторії, врахувавши які можна уточнити математичний апарат оптимізації аеродинамічної форми.

У даній роботі, предметом дослідження є зміна характерної площі кулеподібних геометричних форм, що описують носову частину кулі як еліпсоїдальну поверхню, вздовж балістичної траєкторії.

**Метою роботи** є розробка аналітичних моделей зміни характерної площі проєкцій еліпсоїдних поверхонь на нормальну площину кривої лінії балістичної траєкторії, які можна використовувати для оптимізації аеродинамічних форм куль.

**Основна частина.** В даній роботі, у якості геометричного аспекту руху кулі на балістичній траєкторії прийнято зміну характерної площі кулі

в залежності від кута девіації сили опору  $\gamma$ . Під терміном характерної площі кулі будемо розуміти площу її обводу, яка утворюється проєкцією кулі на площину, що нормальна до кривої лінії траєкторії польоту. Зважаючи на складну форму кулі яку умовно можна розділити на три частини: носову, циліндричну та хвостову, у цій статті основна увага приділена, саме носовій частині.

З урахуванням вище зазначеного, у якості дослідної форми було взято фрагмент еліпсоїдної поверхні утворений обертанням чверті еліптичної кривої навколо більшої півосі. Дослідження проводилося з групою фрагментів еліпсоїдних поверхонь, що мають спільне значення величини малої півосі. За малу піввісь прийнято половину калібру кулі .338 (8,58мм). Довжину більшої півосі розраховано в залежності від коефіцієнтів еліптичності  $k$ , де максимальне значення дослідного діапазону значень  $k$  прийнято 0,111, що відповідає пропорції 1:9, яка достатньо точно відповідає формі носової частини кулі .338 Lapua Mag. SWISS P Target 19,4g / 300 gr. (еталонне співвідношення пропорцій кулі – G7[4]) див. рис. 1.

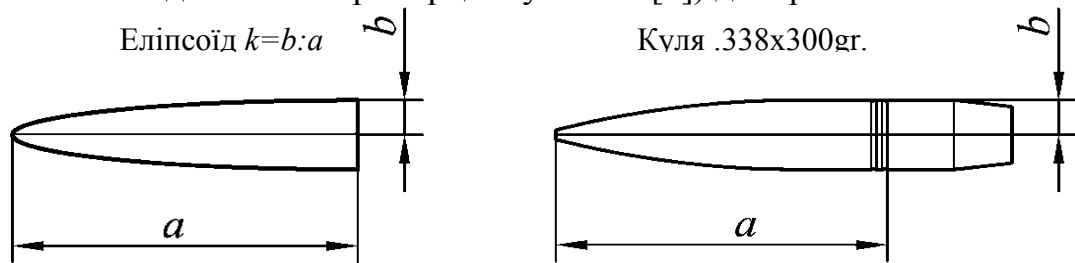


Рис. 1. Носова частина кулі

Мінімальним коефіцієнтом еліптичності приймаємо значення 0,166 (співвідношення півосей 1:6), що відповідає еталонному співвідношення пропорцій кулі – G1[4]. У таблиці 1 наведемо геометричні параметри побудови еліпсоїдних поверхонь.

Таблиця 1

Індекс форми $i$	Коефіцієнт еліптичності $k$	Калібр $2b$ , мм	Довжина $a$ , мм	Площа повздовжнього перерізу еліпсоїда $A_i$ , мм <sup>2</sup>
1	0,111 (1:9)	8,58	38,61	260,1762
2	0,125 (1:8)	8,58	34,32	231,2678
3	0,143 (1:7)	8,58	30,03	202,3593
4	0,154 (1:6,5)	8,58	27,89	187,9051
5	0,166 (1:6)	8,58	25,74	173,4508

Параметр  $k$  є керуючою змінною, за допомогою якої можна впливати на геометричну форму носової частини кулі, що доцільно використовувати у оптимізаційній задачі пошуку ефективної аеродинамічної форми.

Відомо, що аеродинамічна куля не повинна перевертатися на 360° на балістичній траєкторії. Поворот в 90° є можливим, але свідчить про не стабільний політ кулі [7]. Тому розглянемо девіацію кута атаки аеродинамічного опору  $\gamma$  підчас руху кулі по балістичній траєкторії в

діапазоні від  $0^\circ$  (коли вектор руху співпадає з вектором осі гіроскопічного обертання) до  $90^\circ$  (коли вектори зазначених осей перпендикулярні, тобто куля летить боком). Розрахуємо характерні площі проєкцій всіх п'яти еліпсоїдальних форм, з градієнтом зміни кута девіації  $5^\circ$  у зазначеному діапазоні.

На рис. 2 зображено графік зміни характерних площ від кута девіації в межах запропонованого діапазона. Проаналізувавши графік можна відмітити плавність зміни кривих для всіх досліджуваних форм еліпсоїдної поверхні.

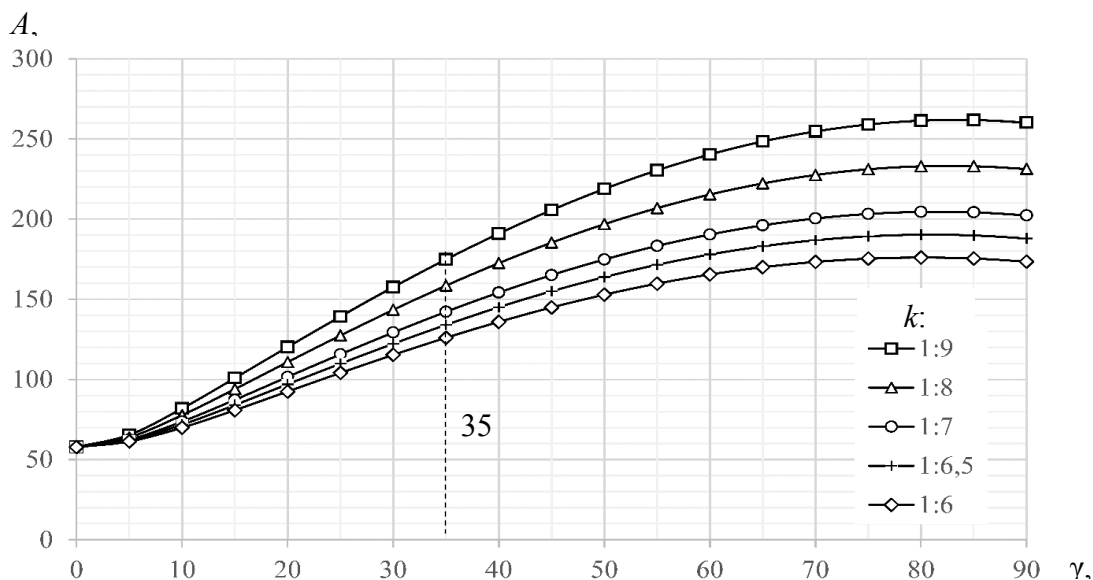


Рис. 2. Діаграма зміни характерної площі від кута девіації для еліпсоїдальних форм відповідно до коефіцієнтів

Також явно виражено швидкий приріст площі при малих кутах девіації, які характерні на підйомній частині балістичної траєкторії [5]. Судячи з вигляду отриманого графіку можна зробити висновок про поліноміальний характер залежності, аналітичну форму якого потрібно уточнити провівши додаткове дослідження. В свою чергу треба відмітити зменшення характерної площі для всіх дослідних форм після кута девіації  $80^\circ$ , це імовірно пов'язано зі зниканням додаткової площі від колової кромки границі еліпсоїдної поверхні, яка утворилася половинним січним перерізом еліпсоїда при створенні кулеподібної форми.

Дослідивши криволінійний рух кулі .338 Lapua Mag. SWISS P Target 19,4g / 300 gr. за діаграмою висот траєкторії на прицільну дальність 1400м, яка була надана виробником у відповідних специфікаціях, можна розрахувати максимальний кут девіації аеродинамічного опору кулі в  $35^\circ$  [4]. Тобто для вирішення прикладних задач зовнішньої балістики доцільно обмежити діапазон кутів девіації в інтервалі від 0 до  $35^\circ$  для конкретної балістичної траєкторії. З урахуванням вище наведеного, характер аналітичної моделі графіків на рис. 2 можна описати як кубічну залежність характерної площі від кута девіації. Така кубічна поліноміальна залежність достатньо точно описує криві, а рівномірний інтервал їх взаємного розміщення дозволяє



сформувати універсальну аналітичну модель для еліпсоїдних форм з різними коефіцієнтами еліптичності (3).

$$A^m(\gamma, k) = f_3(k)\gamma^3 + f_2(k)\gamma^2 + f_1(k)\gamma + \frac{\pi d^2}{4}. \quad (3)$$

де  $d$  – калібр кулі, мм;  $k$  – коефіцієнт еліптичності;  $f_{1..3}(k)$  – поліноміальні коефіцієнти, що розраховуються як функції коефіцієнту еліптичності;  $\gamma$  – кут сили опору в цільовій точці траєкторії.

Щоб відслідкувати прискорення зміни площі побудуємо графік залежності інтегрального коефіцієнту зміни характерної площі еліпсоїдної поверхні  $S_i$ , від дискретного коефіцієнту зміни характерної площі  $R_i$  (рис. 3).

Треба відзначити, що, інтегральний коефіцієнт росту площі  $S_i$  розраховується як відношення характерної площі при цільовому куті девіації до початкової характерної площі при відсутності кута девіації, а дискретний проміжний коефіцієнти росту  $R_i$  розраховуються, як відношення двох суміжних значень характерних площ (4).

$$R_i = \frac{A_i(\gamma_n)}{A_i(\gamma_{n-1})}; S_i = \frac{A_i(\gamma_n)}{A_i(\gamma_0)}, \quad (4)$$

де  $i$  – індекс форми еліпсоїдної поверхні з відповідним  $k$ ;  $n$  – порядковий номер дискретного кута девіації;  $\gamma_n$  – цільовий кут сили опору;  $\gamma_{n-1}$  – попередній  $n$ -ому суміжний дискретний кут сили опору;  $\gamma_0$  – нульовий кут сили опору (кут атаки відсутній).

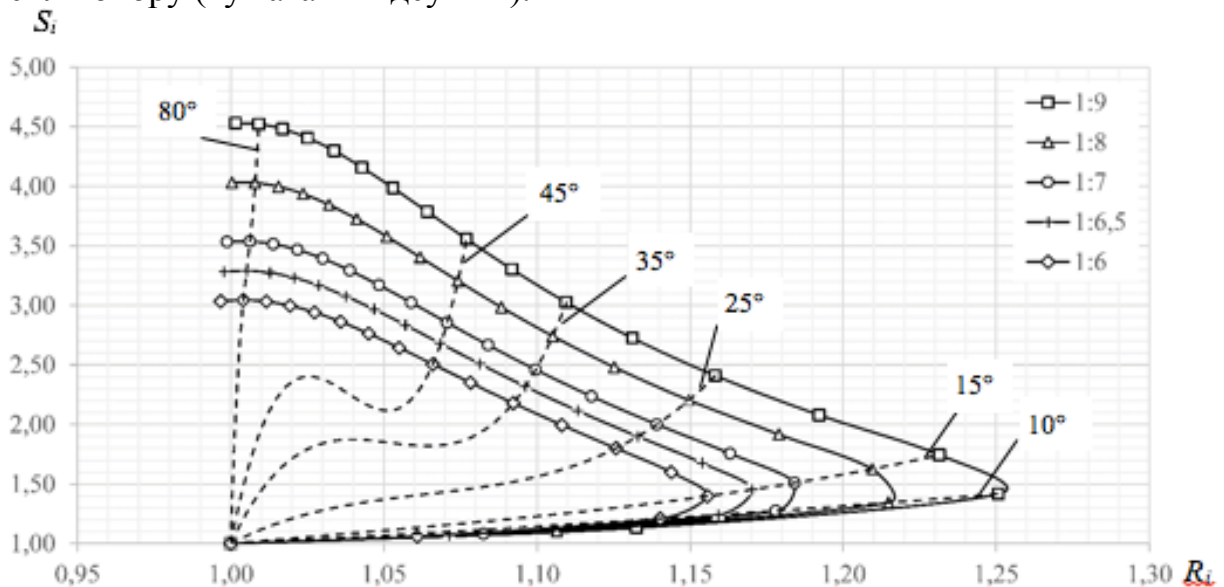


Рис. 3. Графік прискорення зміни характерної площі дослідних еліпсоїдних форм

Як видно з графіку на рис. 3 характерна площа поверхонь прискорено збільшується до кута атаки аеродинамічного опору в  $10^\circ$  у поверхонь з більшими коефіцієнтами еліптичності, та при куті  $15^\circ$  для форм з низьким  $k$ . Всі дослідні форми показали практично лінійну залежність прискорення

росту характерної площі від величини кута девіації сили опору до  $10^\circ$ . На графіку нанесено аналітично отримані ізолінії для кутів 10, 15, 25, 35, 45, 80 градусів.

Дослідивши характер кривизни ізоліній доцільно припустити їх поліноміальний характер залежності у дослідному діапазоні зміни  $k$ . Допускаючи випадок коли коефіцієнт еліптичності дорівнює 1 при якому ми одержимо сферичну форму носової частини кулі, можна прийти до логічного висновку, що всі ізолінії зійдуться в "початковій точці", коли  $R_i=1,0$  та  $S_i=1,0$ . Це підтверджується тим, що характерна площа сферичної поверхні буде сталою в незалежності від кута атаки. Враховуючи цю додаткову "початкову точку" аналітичну модель ізоліній треба допустити такою, що може мати кубічну поліноміальну залежність для уточнення якої потрібно виконати додаткові дослідження з меншими значеннями коефіцієнту еліптичності ніж тими, що приймалися в цій роботі.

У таблиці 2 наведено результати розрахунків характерних площ  $A_i$  і коефіцієнтів росту площі  $R_i$  та  $S_i$  від кутів атаки аеродинамічного опору у цільовому діапазоні їх девіації.

Таблиця 2

$k$	Кут $\gamma$ , градус	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
1:9	$A_1, m^2$	57,80	65,48	81,90	100,9	120,2	139,3	157,6	174,8	190,9	205,6
	$R_1$	1,000	1,133	1,251	1,231	1,192	1,158	1,131	1,110	1,092	1,077
	$S_1$	1,000	1,133	1,416	1,741	2,080	2,409	2,725	3,024	3,302	3,556
1:8	$A_2, m^2$	57,80	63,98	77,72	94,01	110,8	127,4	143,4	158,5	172,5	185,3
	$R_2$	1,000	1,107	1,215	1,210	1,179	1,150	1,125	1,105	1,088	1,074
	$S_2$	1,000	1,107	1,344	1,620	1,917	2,204	2,480	2,741	2,984	3,205
1:7	$A_3, m^2$	57,80	62,59	73,73	87,30	101,6	115,7	129,3	142,2	154,2	165,1
	$R_3$	1,000	1,083	1,178	1,180	1,16	1,139	1,118	1,100	1,084	1,071
	$S_3$	1,000	1,083	1,275	1,510	1,76	2,001	2,237	2,459	2,666	2,855
1:6,5	$A_4, m^2$	57,80	61,95	71,81	84,04	96,98	109,9	122,3	134,1	145,0	154,9
	$R_4$	1,000	1,071	1,159	1,170	1,154	1,133	1,113	1,096	1,081	1,069
	$S_4$	1,000	1,071	1,242	1,454	1,677	1,900	2,116	2,319	2,508	2,680
1:6	$A_5, m^2$	57,82	61,34	69,94	80,84	92,47	104,1	115,4	126,0	135,9	144,9
	$R_5$	1,000	1,06	1,14	1,156	1,144	1,126	1,108	1,092	1,078	1,066
	$S_5$	1,000	1,061	1,210	1,398	1,599	1,801	1,995	2,180	2,350	2,505

**Висновки та перспективи.** У дослідженні проаналізовано зміну характерної площі нормальних проєкцій еліпсоїдних поверхонь носової частини кулі вздовж її балістичної траєкторії.

Виявлено, що зміна площі залежить від кута атаки аеродинамічного опору, що підтверджується аналітичними моделями. З огляду на формулу (1) можна зробити висновок, що коефіцієнт опору ( $C_d$ ), який є обернено-пропорційним до характерної площі кулі, може бути уточнений в кожній точці траєкторії польоту через кут вектору аеродинамічного опору за наведеною формулою (5).

$$C_d(\gamma, k) = \frac{Fd}{\frac{1}{2}\rho \cdot v^2 \cdot A^m(\gamma, k)}. \quad (5)$$

Дослідження показало, що геометричні параметри носової частини кулі, зокрема коефіцієнт співвідношення півосей, значно впливають на аеродинамічні характеристики кулі. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення конструкцій куль.

Дослідивши інтегральний коефіцієнт росту характерної площі кулі встановлено, що в підйомній фазі польоту кулі характерна площа прискорено зростає в середньому у 1,4 рази.

Такий суттєвий приріст характерної площі на початковій ділянці траєкторії з надзвуковою швидкістю в 3Маха, значно впливає на силу опору кулі та, як результат, на її аеродинамічну ефективність та дальність польоту, що має бути враховано при визначенні балістичного коефіцієнту. Поволі падіння швидкості кулі вздовж балістичної траєкторії, приріст характерної площі зменшується, а разом з цим і зменшується вплив зміни характерної площі на зміну коефіцієнту опору.

Математичні моделі розрахунку балістичного коефіцієнту, які використовують усереднене або сегментне значення коефіцієнту опору кулі, можуть бути уточнені запропонованою моделлю розрахунку коефіцієнту опору у кожній цільовій точці траєкторії, який можна виразити через функцію кута девіації сили пору та коефіцієнта еліптичності.

Такий підхід врахування геометричних аспектів кулі у кожній розрахунковій точці на балістичній траєкторії через запропоновані аналітичні моделі дозволить реалізувати апарат розрахунку коефіцієнту опору у програмах обчислювальної газодинаміки.

Планується дослідити вплив інших геометричних форм кулі, крім еліпсоїдних, на їхні аеродинамічні властивості з метою виявлення більш ефективних форм.

### **Бібліографічний список**

1. Litz B., Applied Ballistics for Long Range Shooting. *Applied Ballistics, 3rd edition LLC*. 2015. 144p. ISBN 978-0-9909206-1-8.[in English]
2. Verma A., Kapil P., Sharma V. CFD Analysis of Different Shapes of Projectile. Dehradun: University of Petroleum & Energy Studies. 2011. April. 76 p. [in English]
3. Jang Y., Huh J., Lee N., Lee, S., Park Y. Comparative study on the prediction of aerodynamic characteristics of aircraft with turbulence models. *Int. J. Aeronaut. Space Sci.* 2018. Vol. 19. P. 13–23. [in English]
4. Beech D., Aerodynamic drag measurement and modeling for small arms – improving on ballistic coefficients. *Applied Ballistics the science of Accuracy*. 2019. P.1-5. [in English]
5. Nennstiel R., How do bullets fly. *AFTE Journal*. 1996.Vol. 28, No. 2, April. P. 104-143. [in English]
6. Litz B., Aerodynamic Drag Modeling for Ballistics, *Applied Ballistics the science of Accuracy*. 2021. P. 1-17. [in English]
7. Carlucci D.E., Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition. CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2007. P. 185-256 [in English]

## ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ОСНОВИ САПР: ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ І ПІДСУМКОВИЙ КОНТРОЛЬ

Дорошенко Ю.О., д.т.н., професор,  
dua159@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6050-4401  
Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського  
(Україна, м. Київ)

*Анотація* – у статті розглянуто зміст та проведення підсумкового контролю з інтегративної навчальної дисципліни «Інженерна графіка та основи САПР». У екзаменаційному білеті одним комплексним завданням визначається рівень знань з нарисної геометрії, креслення, алгоритмізації, інтерфейсу САПР.

*Ключові слова* – інженерна графіка, система автоматизованого проектування (САПР), зміст освіти, педагогічний контроль.

**Постановка проблеми.** Інженерно-графічна підготовка є фундаментальною складовою інженерної освіти і виступає своєрідним пролонгованим інтегратором освітнього процесу з підготовки інженерних кадрів від формування основ графічної грамоти до написання і захисту випускової кваліфікаційної роботи. Впродовж свого існування зміст інженерно-графічної освіти та назви її навчальних дисциплін перманентно змінювалися за сталості її двоєдиної мети, якою є поєднання підготовки здобувачів вищої інженерної освіти у плані *зображально-графічного аспекту* їхньої професійної діяльності згідно з чинними міжнародними нормами і правилами з одночасним *інтелектуальним розвитком особистості*, її здатності до продуктивної мисленнєвої діяльності з пріоритетним розвитком просторової уяви та логіко-алгоритмічного мислення.

Такі зміни зумовлювалися процесами, що відбувалися у сфері продуктивної життєдіяльності людства і спрямовувалися на органічне задоволення його потреб насамперед у виробничій сфері. Унаслідок цього значно скоротився обсяг інженерно-графічної освіти за рахунок вилучення другорядної інформації та такої, що втрачала свою актуальність у зв'язку з розвитком технологій і появою нових засобів діяльності. При цьому змістове ядро повинно залишатися незмінним, аби реалізовувати мету інженерно-графічної підготовки. А власне варіація змісту освіти такої підготовки за великим рахунком має підкорятися правилам теорії сталого розвитку.

Історично інженерно-графічну освіту започаткувала навчальна дисципліна «Нарисна геометрія» як освітнє втілення однойменної науки. З часом теорія нарисної геометрії опрацювалася у навчальній дисципліні

«Креслення». А їх інтеграція породила навчальну дисципліну «Інженерна графіка», яка донині є базовою у інженерно-графічній освіті. З розвитком інформатики і комп'ютерних технологій та появою галузі знань і навчальної дисципліни «Комп'ютерна графіка» стали викладати «Інженерну комп'ютерну графіку» або «Комп'ютерну інженерну графіку». Хоча доречніше залишити усталену назву «Інженерна графіка», оскільки сутність дисципліни залишається незмінною, а змінюються лише засоби і методи інженерно-графічної діяльності. З відповідним її змістовим і інструментальним доповненням.

Звісно, зазначені вище зміни актуалізують відповідну модернізацію методики інженерно-графічної підготовки. При цьому слід пам'ятати, що основу інженерно-графічної підготовки традиційно становить Нарисна геометрія. І вона залишиться такою в силу своєї фундаментальності – з професійних і особистісних позицій для кожного здобувача вищої технічної освіти.

Нині в освіті – загальній середній і вищій – спостерігається інтеграція шкільних предметів і навчальних дисциплін. У результаті зменшується номенклатура і демонструється єдність світу, штучно порушена поділом на окремі предмети і дисципліни. Сказане має місце і в інженерно-графічній підготовці. Зокрема, у контексті цієї публікації, за рахунок проникнення комп'ютерних технологій. При цьому доповнення інженерної графіки комп'ютерною графікою вже є недостатнім і не задовольняє вимоги випускових кафедр до базової інженерно-графічної підготовки. Адже в епоху суцільної інформатизації уже йдеться про комп'ютерні графічно-інформаційні технології у всьому їх розмаїтті. Потрібно впроваджувати й відповідні інноваційні навчальні дисципліни з акцентом на їх практичному застосуванні за певною спеціальністю. До таких навчальних дисциплін, що викладаються в ТНУ, зокрема відноситься й «Інженерна графіка та основи САПР», якою закладаються підвалини інженерно-графічної підготовки та відбувається її опрацювання під час синхронного опанування комп'ютерних технологій у середовищі промислових САПР, однією з яких є AutoCAD. У зв'язку з певною інноваційністю зазначеної початкової дисципліни та процесом перманентного її розвитку актуалізується потреба в розгляді її змістового наповнення з позицій гармонійної інтеграції різних її складових та проведення підсумкового контролю щодо визначення рівня навченості (сформованості предметних компетентностей) здобувачів вищої освіти. Звісно, що предметні компетентності повинні мати інтегральний характер і демонструвати рівень підготовки з інженерної графіки та користування комп'ютерними технологіями у середовищі САПР.

**Аналіз останніх досліджень.** Модернізація інженерно-графічної підготовки в Україні має перманентний характер і відбувається регіонально, здебільше у міських науково-педагогічних осередках, серед яких насамперед слід назвати ті, що сформувалися у Києві, Харкові, Вінниці, Рівному на базі провідних закладів вищої освіти. Їх здобутки

оприлюднюються статтями у наукових виданнях, але більшою мірою презентуються на тематичних конференціях з прикладної геометрії [1–6].

Деякі аспекти окресленої вище проблеми висвітлюються у авторській публікації [1]. Найбільш результативною можна вважати модернізацію базової інженерно-графічної підготовки, що здійснюється на кафедрі нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки фізико-математичного факультету НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (URL: <https://geometry.kpi.ua/index.php>).

Сказане підтверджується значним за обсягом і різноплановістю дидактичними і методичними матеріалами, розробленими викладачами кафедри. Окремо слід відзначити Міжнародну науково-практичну конференцію "Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності" (URL: [https://geometry.kpi.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=204&Itemid=21](https://geometry.kpi.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=204&Itemid=21)), яка щорічно проводиться цією ж кафедрою. На цих конференціях зокрема презентуються методичні інновації з інженерно-графічної підготовки – власні та учасників конференції з інших ЗВО України і зарубіжжя [3]. Цікаві підходи, співзвучні тематичній спрямованості цієї публікації, пропонуються рівненським осередком [4,5].

Загалом, дисциплінарно-інтегративні тенденції у інженерно-графічній і фаховій підготовці набирають силу. Тому треба на них зважати і адекватно модернізувати дидактику і методику інженерно-графічної підготовки у технічних ЗВО.

**Формулювання цілей.** Метою публікації є презентація змісту та особливостей проведення підсумкового контролю з інтегративної навчальної дисципліни «Інженерна графіка та основи САПР», яка демонструє сучасні тенденції щодо комплексної модернізації інженерно-графічної підготовки шляхом органічної інтеграції її базової та спеціальної (фахової) складових з акцентом на проєктно-моделювальній діяльності.

**Основна частина.** Комп'ютерні технології у всьому їх розмаїтті все глибше проникають у інженерну діяльність, наповнюючи її новими засобами та методами з одночасною адаптацією усталених методів і підходів до нового інструментарію.

Діяльність сучасного інженера уже не може здійснюватися без використання інтегрованих комп'ютерно-технологічних систем CAD/CAM/CAE, де помітне місце відводиться геометрії і графіці. Геометричні та графічно-зображальні модулі є обов'язковими структурними компонентами програмного ядра таких систем, оскільки проєктно-конструкторська діяльність ґрунтується на геометрії і потребує певної візуалізації результатів роботи. Тому належна геометро-графічна підготовка є визначальною для успішної проєктно-конструкторської діяльності будь-якого інженера.

Зміст такої діяльності адекватно визначив зміст навчальної дисципліни «Інженерна графіка та основи САПР», яка є інтегративною і призначена для початкового опанування проектно-моделювальної роботи у середовищі САПР на основі попередньої базової інженерно-графічної підготовки, яка характеризується органічним поєднанням технологічних інструментаріїв «ручної» та комп'ютерної графіки.

Сказане проявляється у синхронному виконання усіх завдань з нарисної геометрії та креслення у «ручному» і «комп'ютерному» виконанні. У такий спосіб реалізуються мета і завдання сучасної інженерно-графічної підготовки з органічною інтеграцією матеріальних і віртуальних засобів геометро-графічно-зображальної діяльності сучасного інженера.

Часовий обсяг навчальної дисципліни становить 4 кредити (120 годин), де 51 година відводиться на аудиторні лекційно-практичні заняття та 69 годин – на самоосвітню діяльність студентів. Інструментальним програмним засобом обрано САПР AutoCAD завдяки її універсальності й поширеності. Змістове ядро Нарисної геометрії не змінилося, тільки зменшився часовий обсяг. Креслення включає 5 характерних креслень. Опанування інтерфейсу та роботи у середовищі AutoCAD починається уже під час вивчення теми «Проекції точки» синхронним виконанням простих побудов «вручну» і на комп'ютері. Робота у середовищі AutoCAD опановується поступово з акцентом на інструментах, методах і режимах роботи.

Побудова креслеників у AutoCAD розпочинається з практичної роботи, де передбачається побудова кресленика «Плоский контур» за протоколом. Цим підвищуються швидкість та ефективність початкового опанування роботи у програмі.

Окремо зауважимо на проведенні підсумкового контролю – іспиту. Для цього розглянемо екзаменаційний білет та методичні настанови щодо складання іспиту.

За своїм змістом екзаменаційний білет передбачає визначення рівня навченості студента з Нарисної геометрії та Основ САПР. Тому має інтегральний характер, що проявляється у його завданні.

Завдання поєднує теоретичну (алгоритм і його покрокове обґрунтування) і практичну (виконання графічних побудов і робота у програмі) частини іспиту. Тому відповідь студента складається з двох частин: теоретичної і практичної, які органічно інтегруються в одному завданні.



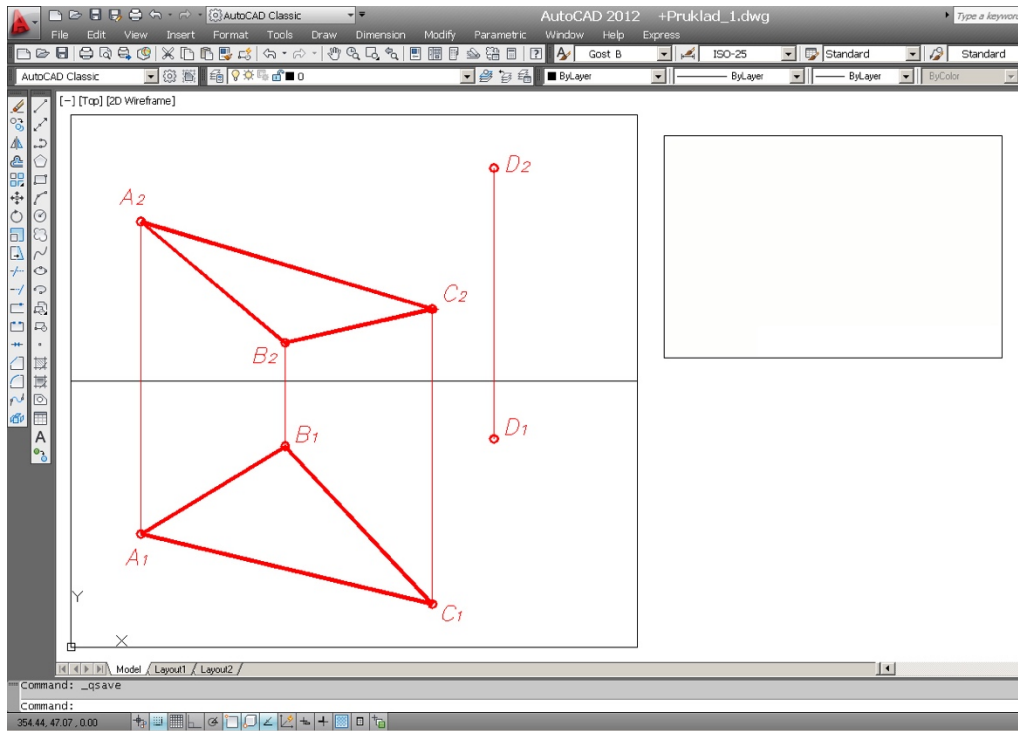


Рис. 1. Приклад умови екзаменаційного завдання

Формулювання завдання. За заданою графічною умовою, що міститься у файлі №«dwg» за номером екзаменаційного білета, шляхом виконання графічних побудов у середовищі САПР AutoCAD, визначити відстань від точки до площини.

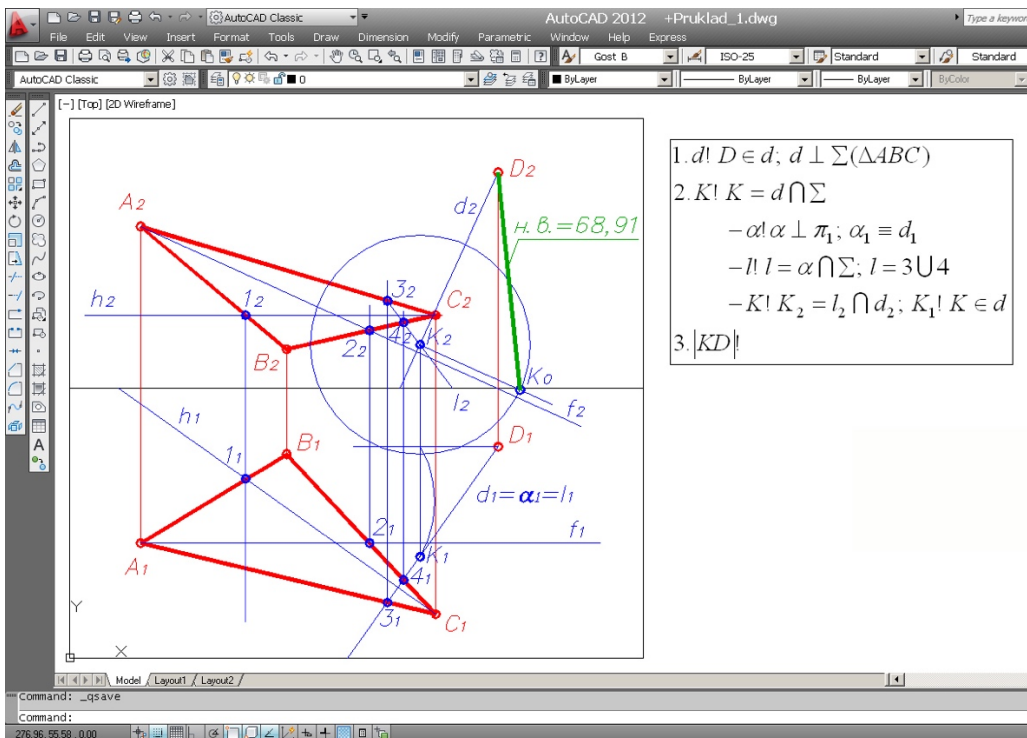


Рис. 2. Результат виконання екзаменаційного завдання

Пояснення. Метод розв'язання графічного завдання не регламентується і обирається студентом самостійно на його розсуд. Усі графічні побудови виконуються у середовищі САПР AutoCAD. Розв'язання завдання супроводжується алгоритмом, який записується з використанням знаків символічних позначень. Відповідь студента оформляється як текстовий документ (або мультимедійна презентація), який містить алгоритм (з теоретичним обґрунтуванням виконуваних покрокових дій) та екранні копії покрокового розв'язання завдання (згідно із зразком).

Завдяки такій комплексності екзаменаційного завдання, інтегрально перевіряються теоретичні знання з Нарисної геометрії, уміння розв'язувати графічні задачі з Нарисної геометрії зі складанням алгоритму, навички виконання простих побудов у середовищі САПР AutoCAD та здатність оформляти звітний документ. На екзамені студент може (бажано) користуватися власним ноутбуком.

Студент має право відмовитися від розв'язання екзаменаційного завдання у середовищі САПР AutoCAD і виконати завдання з використанням «ручної графіки» з ретельним відтворенням початкової графічної умови задачі. У такому разі зі студентом проводиться співбесіда щодо призначення та інтерфейсу САПР.

Алгоритм розв'язання завдання подається у будь-який спосіб, друкований чи рукописний. Тривалість складання іспиту – одна година. Результати іспиту (файл «dwg»), звітний текстовий документ з екранними копіями покрокових побудов, алгоритм записуються окремими файлами і розміщуються у ГуглеКласі.

**Висновки.** Особливістю сучасної модернізації вищої освіти є введення інтегративних навчальних дисциплін, де поєднується фундаментальна і фахова освіта. Сказане проілюстровано у статті на прикладі навчальної дисципліни «Інженерна графіка та основи САПР». Підсумковий контроль має свої особливості, які проявляються у екзаменаційному білеті, формі складання іспиту та у підсумкових результатах.

У екзаменаційному білеті одним комплексним завданням визначається рівень знань з нарисної геометрії, креслення, алгоритмізації, інтерфейсу САПР.

### ***Бібліографічний список***

1. Дорошенко Ю.О. Полемічні аспекти методичної трансформації базової інженерно-графічної підготовки в сучасних умовах вищої освіти України// Обуховські читання: Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 28 березня 2024 р.). К.: Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С.20–27. URL: <https://nubip.edu.ua/node/1157/5> «Обуховські читання».
2. Дорошенко Ю.О., Очеретний В.О. Динамічні зображення у мультимедійному супроводі лекції// Архітектура та екологія:

Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції (м.Київ, 30 жовтня – 1 листопада 2018 року). – К.: НАУ, 2018. – С.38–39. URL: <http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/37206> (дата звернення 25.03.2024р.).

3. Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Прикладна геометрія, дизайн та інноваційна діяльність". URL: [https://geometry.kpi.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=204&Itemid=21](https://geometry.kpi.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=204&Itemid=21) (дата звернення 25.03.2024р.).
4. Козяр М.М., Кривцов В.В., Тимошук О.М. Створення та використання педагогічних програмних засобів із вивчення нарисної геометрії майбутніми фахівцями технічної галузі. Оновлення змісту, форм та методів навчання і виховання в закладах освіти : збірник наукових праць. Наукові записки Рівненського державного гуманітарного університету. 2017. Вип. 16(59). С. 118–122.
5. Козяр М.М., Парфенюк О.В., Сасюк З.К. Формування графічної компетентності здобувачів вищої освіти за допомогою електронного програмного засобу «Інженерна графіка». Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах. К., 2021 р., № 75, Т. 1. С. 175–182.
6. Слободянюк О. В. Особливості дистанційного курсу інженерної та комп'ютерної графіки / Слободянюк О. В.: Матеріали міжнародної НПК [«Гуманізм та освіта»]. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004 р. – 299 с.

## ЗМІСТ

<b>КОМП'ЮТЕРНЕ ВАРІАНТНЕ ФОРМОУТВОРЕННЯ СТІЛЧАСТИХ ЛАП.</b>	<b>4</b>
Вірченко Г.А., Волоха М.П., Яблонський П.М., Воробйов О. М., Лазарчук-Воробйова Ю.В.	
<b>ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОСПРЯЖЕНИХ ПРОФІЛІВ ОДНОГВИНТОВИХ НАСОСІВ МУАНО</b>	<b>8</b>
Куценко Л. М. Калиновський А. Я., Поліванов О. Г., Сухарькова О. І.	
<b>ОБЧИСЛЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ТРАДИЦІЙНОЇ ПЕРШОЇ ПОХІДНОЇ СЕГМЕНТУ ТОЧКОВОГО ПОЛІНОМУ ЧЕТВЕРТОГО СТЕПЕНЯ У ПОЧАТКОВІЙ ТОЧЦІ</b>	<b>17</b>
Лисенко К.Ю., Верещага І.В.,Кривенко О.В., Гончар Т.О.,	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ НА ОСНОВІ ВАРІАТИВНОГО ФОРМУВАННЯ РІЗНИЦЕВИХ СХЕМ КУТОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ЗГУЩЕННЯ НАПЕРЕД ЗАДАНОЇ ФОРМИ КРИВОЇ</b>	<b>21</b>
Шликов С.Ю., Геращенко А.Ю., Спиринцев Д.В.,	
<b>STUDY OF THE GEOMETRIC STRUCTURE OF PHASE PORTRAITS OF A NONLINEAR SYSTEM IN A PLANE</b>	<b>25</b>
Hnitetska Tetiana., Hnitetska Halyna., Danyliuk Artem,	
<b>КОНСТРУЮВАННЯ ГВИНТОПОДІБНИХ НОЖІВ ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО БАРАБАНА ІЗ РОЗГОРТНОЇ І НЕРОЗГОРТНОЇ ПОВЕРХОНЬ</b>	<b>30</b>
Пилипака С.Ф., Кресан Т.А., Хропост В.І.,	
<b>ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗНАТЬ СТУДЕНТІВ З КУРСУ ІНЖЕНЕРНОЇ ГРАФІКИ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ.</b>	<b>35</b>
Баскова Г.В., Колосова О.П., Біленький М.О.,	
<b>АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ КРИВИХ БЕЗЬЄ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОБВОДІВ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ</b>	<b>41</b>
Бідніченко О.Г.	
<b>ІНТЕРАКТИВНІ МОДЕЛІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ГЕОМЕТРІЇ НА ПРИКЛАДІ ВИКОРИСТАННЯ ТРИГРАННИКІВ ФРЕНЕ ТА ДАРБУ</b>	<b>44</b>
Несвідомін А.В., Верещага В.М., Адоньев Є.О., Муртазієв Е.Г., Верещага І.В.	
<b>ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНЦЕНТРАТОРІВ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ</b>	<b>53</b>
Мартинов В.Л. д.т.н., Поляк Ю.Ю., Мартинюк О.Л.	
<b>РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ РОЗТАШУВАННЯ СВІТЛОПОРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ГРАНЯХ ЗЕЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ В ПЕРШОМУ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОМУ АРХІТЕКТУРНО-КЛІМАТИЧНОМУ РАЙОНІ УКРАЇНИ</b>	<b>58</b>
Мартинов В.Л., Стаднійчук Д.М., Банний Т.А., Волков А.В.	
<b>ANALYSIS OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL SCHEMES OF DISK AND ANCHOR COULTERS FOR DIRECT SOWING OF GRAIN</b>	<b>62</b>
Lazarchuk M.V., Loginov P.I., Volokha M.P.,	

<b>ДО ПИТАННЯ ВАРІАНТНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДВЕРЕЙ ТА ВІКОН ПРАВОСЛАВНИХ ХРАМІВ .....</b>	<b>67</b>
Терещук М.О.	
<b>ADJUSTABLE DRIP IRRIGATION SYSTEM.....</b>	<b>78</b>
Oksana Budnyk, Olga Golova, Sergey Zalevsky, Petro Yablonskyi, Oleksii Vorobiov.	
<b>A SUSTAINABLE APPROACH WITH 3D PRINTING AND SOLIDWORKS .....</b>	<b>81</b>
Pavlo Mamontov, Olga Golova, Hanna Shepel,	
<b>ГЕОМЕТРИЧНО-НЕЛІНІЙНІ БАЛКИ В ЗАДАЧАХ ПОБУДОВИ СПЛАЙНІВ ОПТИМАЛЬНОЇ ФОРМИ.....</b>	<b>85</b>
Мазурик Р.В. ,Кольцов Д.Р. ,Ориняк І.В.	
<b>ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНИХ РОБІТ У SOLIDWORKS.....</b>	<b>92</b>
Шейн В.В., Залевський С.В.	
<b>ДИСКРЕТНА МОДЕЛЬ АРКИ, ФОРМА ЯКОЇ НАБЛИЖЕНА ДО ЛАНЦЮГОВОЇ ЛІНІЇ.....</b>	<b>100</b>
Колган А.В	
<b>THE ISSUE OF CHOOSING A RATIONAL METHOD FOR SOLVING POSITIONAL PROBLEMS DEPENDING ON INITIAL CONDITIONS .....</b>	<b>105</b>
Monchenko Taras, Savchuk Valentyna, Hanna Shepel	
<b>DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE CATALOG FOR TILLAGE TOOLS USING DELPHI AND SQL.....</b>	<b>112</b>
Hrubbych M.V., Pavlo Mamontov	
<b>І ВРУЧНУ З ВИКОРИСТАННЯМ КРЕСЛЯРСЬКИХ ІНСТРУМЕНТІВ І ЗАСОБАМИ AUTOCAD .....</b>	<b>115</b>
Міхлевська Н.В., Баскова Г.В., Сайко В.С.	
<b>ДЕЯКІ ПИТАННЯ СПРИЙНЯТТЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФОРМ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ПСИХОЕМОЦІЙНИЙ СТАН.....</b>	<b>122</b>
Надкернична Т. М., Лебедева О.О., Овсієнко Л.Г., Амінов Ю.Р., Романенко А. І.	
<b>ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСИЧНИХ МЕТОДІВ БІОНІКИ У КОМП'ЮТЕРНІЙ ГРАФІЦІ.....</b>	<b>127</b>
Шаблій М.Г., Вірченко Г.А., Надкернична Т.М., Лебедева О.О., Овсієнко Л.Г.	
<b>РІЗНІ ВАРІАНТИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧИ ПІДВИЩЕНОЇ СКЛАДНОСТІ З КУРСУ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ.....</b>	<b>132</b>
Мерещенко Д.Д., Овсієнко Л.Г., Мирошніченко Д. О	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ХАРАКТЕРНОЇ ПЛОЩІ ПРОЄКЦІЙ ЕЛІПСОЇДНИХ ПОВЕРХОНЬ У ЗАДАЧАХ ЗОВНІШНЬОЇ БАЛІСТИКИ .....</b>	<b>137</b>
Котляр Д.В.	
<b>ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ОСНОВИ САПР: ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ І ПІДСУМКОВИЙ КОНТРОЛЬ.....</b>	<b>145.</b>
Дорошенко Ю.О.	

## Алфавітний покажчик

Адоньєв Є.О.....	46	Надкернична Т. М.....	122
Амінов Ю.Р.....	122	Надкернична Т.М.....	127
Банний Т.А.....	58	Несвідомін А.В. ....	44
Баскова Г.В. ....	35, 115	Овсієнко Л.Г.....	122, 127, 132
Бідніченко О.Г. ....	41	Ориняк І.В.....	85
Біленький М.О. ....	35	Пилипака С.Ф. ....	30
Верещага В.М.....	46	Поліванов О. Г. ....	8
Верещага І.В. ....	17, 46	Поляк Ю.Ю. ....	53
Вірченко Г.А.....	4, 127	Пугачов Є. В. ....	71
Волков А.В. ....	58	Романенко А. І.....	122
Волоха М.П.....	4	Сайко В.С. ....	115
Воробйов О. М. ....	4	Спірінцев Д.В.....	21
Герашенко А.Ю. ....	21	Стаднійчук Д.М. ....	58
Гончар Т.О. ....	17	Сухарькова, О. І.....	8
Дорошенко Ю.О. ....	145	Терещук М.О. ....	67
Залевський С.В. ....	92	Хропост В.І. ....	30
Зданевич В. А. ....	71	Шаблій М.Г. ....	127
Калиновський А. Я., ....	8	Шейн В.В. ....	92
Колган А.В.....	100	Шликов С.Ю.....	21
Колосова О.П.....	35	Яблонський П.М.....	4
Кольцов Д.Р.....	85	Danyliuk Artem.....	25
Котляр Д.В. ....	137	Hanna Shepel .....81, 105	
Кресан Т.А. ....	30	Hnitetska Halyna ..... 25	
Кривенко О.В.....	17	Hnitetska Tetiana ..... 25	
Кундрат Т. М. ....	71	Hrubbych M.V. ....	112
Куценко Л. М.....	8	Lazarchuk M.V. ....	62
Лазарчук-Воробйова Ю.В.....	4	Loginov P.I. ....	62
Лебедева О.О.....	127	Monchenko Taras.....	105
Лебедева О.О. ....	122	Oksana Budnyk.....	78
Лисенко К.Ю.....	17	Oleksii Vorobiov ..... 78	
Літніцький С. І.....	71	Olga Golova .....78, 81	
Мазурик Р.В.....	85	Pavlo Mamontov .....81, 112	
Мартинов В.Л.....	53, 58	Petro Yablonskyi.....	78
Мартинюк О.Л.....	53	Savchuk Valentyna, ....	105
Мерещенко Д.Д. ....	132	Sergey Zalevsky ..... 78	
Мирошніченко Д. О. ....	132	Volokha M.P. ....	62
Міхлевська Н.В.....	115		