



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

XIV МІЖНАРОДНОЇ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ,

ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА

ТА ОБ'ЄКТИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ»

м. Київ, Україна
21 травня 2025

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 XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності» – Випуск 14. – 145 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, 2025*

© КПІ імені Ігоря Сікорського

Алфавітний покажчик

Anatoliy Kyrychenko	92	Захарова Т.М.	112
Bannyi T.	100	Зданевич В. А.	19
Berehovskiyi Oleksii	66	Кальваровська В. М.	61
Budovsky Cyril.....	124	Карімлі Г.Н.	23
Grubych Marija	124	Колган А.В.....	23
Hanna Shepel.....	72	Колесников А. В.....	47
Hnitetska Halyna	66	Колосова О. П.....	47, 53
Hnitetska Tetiana.....	66	Краснощок М.....	116
Kyrylo Karpukhin.....	66	Кресан Т.А.	107
Lebedieva Olha.....	57, 124	Кудряшов Я.С.....	95
Mykola Volokha.....	43	Кундрат Т. М.	19
Nadkernychma Tetiana.....	57, 124	Лабжинський В. А.....	81
Nataliia Bondarenko	92	Лазарчук-Воробйова Ю. В.	33
Nor Oleksandr	57	Лебедєва О. О.	61
Oleksii Vorobiov	43, 120	Лисенко К.Ю.	8
Olena Kolosova	43	Літницький С. І.....	19
Olga Golova.....	120	Мартиненко П.О.....	95
Pavlo B. Oliinyk	28	Мартинов В.Л.	85
Pavlo Mamontov	72	Мартинюк О.Л.....	85
Savchuk Valentina.....	120	Муртазієв Е.Г.	8
Saveliy Kukharets.....	43	Надкернична Т. М.	61
Sergey Zalevsky	43	Несвідомін А.В.....	13, 112
Stadnyichuk D.	100	Овсієнко Л.Г.	129
Valentyna Otrashkevskaya	92	Пилипака С.Ф.	13, 107
Yuliia Lazarchuk-Vorobiova.....	120	Полович Валерія.....	135
Адоньєв Є.О.	8	Поляк Ю.Ю.....	85
Баскова Г. В.....	47	Пугачов Є. В.	19
Бібік Софія	135	Савчук П.В.....	129
Ботвіновська С.І.....	23	Снігур В. В.....	81
Ванін В. В.	4	Стаднійчук Д.М.....	85
Верещага В.М.	8	Терещук М. О.	78
Верещага І.В.....	8	Шаніна А.	116
Вірченко Г. А.	4, 33	Шепель Ганна.....	135
Воліна Т.М.	107	Шльонкіна Анастасія.....	135
Воробйов О. М.	33	Яблонський П. М.	33
Грубич М.В.	116	Януш О.О.....	129
Грубич Марія	95		

З НАГОДИ XIV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ОБ'ЄКТИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ»

Ванін В. В., д. т. н., професор,
vaninvladimir30@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7008-7269

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

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

***Анотація** – уже в чотирнадцятий раз щорічно на кафедрі нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки фізико-математичного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» проводиться Міжнародна науково-практична конференція «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності». Головною метою цього заходу є обмін новими отриманими науковими результатами, встановлення й розширення зв'язків між ученими, які працюють у галузі прикладної геометрії, інженерної графіки та об'єктів інтелектуальної власності, налагодження партнерських відносин між вітчизняними й закордонними навчальними та науковими закладами, залучення студентів до наукової роботи, розвиток їх творчого потенціалу. У цій публікації подано короткий історичний огляд даної конференції, висвітлено певні наявні її здобутки, окреслено перспективи подальшого розвитку.*

***Ключові слова** – міжнародна науково-практична конференція, прикладна геометрія, інженерна графіка, об'єкти інтелектуальної власності, КПІ ім. Ігоря Сікорського.*

Постановка проблеми. Нинішній етап розвитку України характеризується великими труднощами, що пов'язані з військовими діями на її території. У теперішній час трагічно гинуть люди, отримують каліцтва, руйнується інфраструктура держави, мають місце різноманітні інші збитки. Зазначені обставини становлять головну проблему сьогодення нашої країни. Незважаючи на означені скрутні умови, життя продовжується. Це стосується, в тому числі, й науково-освітньої діяльності, яка здійснюється на кафедрі нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки фізико-математичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського. Зокрема, мається на увазі проведення щорічної Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності».

Аналіз досліджень і публікацій. Певне уявлення про історичний шлях даного організаційно-наукового заходу дають видання [1-6]. Зауважимо, що протягом років назва конференції дещо змінювалася, адаптуючись до існуючих потреб. Уже перший збірник [1] мав обсяг 168 сторінок та містив 58 статей близько 100 авторів. Це були представники багатьох вищих навчальних закладів і вітчизняних підприємств. Охоплювана тематика досліджень доволі різноманітна, стосується питань нарисної, диференціальної, фрактальної та багатовимірної геометрії; автоматизованого проєктування; навчальних методик; сільськогосподарського машинобудування, комп'ютерних систем обчислювальної математики; композиційних матеріалів, опрацювання фізичних явищ, соціально-економічних проблем і т. д. Матеріали III конференції [2] висвітлюють роль Пимоненка Миколи Корнійовича, як засновника кафедри графіки Київського політехнічного інституту в часи становлення нашого навчального закладу, традиційно подають нові результати в галузі прикладної геометрії, освітнього процесу, моделювання різноманітних технічних об'єктів, охорони здоров'я, нанотехнологій, об'єктів інтелектуальної власності тощо. На додаток до наведених тематик на V конференції обговорювалися задачі дискретного геометричного моделювання, дистанційне навчання, комп'ютерна графіка в кінематографії, формування матеріальних виробів на основі цифрових моделей, створення рекламної продукції. З більш сучасними збірниками [4-6] можна ознайомитися в електронному вигляді за наведеними в бібліографічному списку до цієї статті посиланнями.

Метою публікації є стислий опис історичного шляху щорічної науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності», що проводиться на кафедрі нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки фізико-математичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Основна частина. Одним із фундаторів конференції був д. т. н., проф. Юрчук Володимир Петрович, якого, на жаль, уже немає з нами. Основний напрямок його наукової діяльності становили геометричне моделювання в галузі сільськогосподарського машинобудування та агротехнічних процесів, об'єкти інтелектуальної власності, що і знайшло належне відображення в матеріалах даної конференції. Як свідчать наявні збірники, в опрацюванні окресленої тематики приймали активну участь велика кількість викладачів кафедри, аспірантів, студентів, а також представники інших вищих навчальних закладів, співробітники вітчизняних промислових підприємств.

Незважаючи на початок військових дій на території України, чергова конференція відбулася й у 2022 році. За її матеріалами опубліковано 39 праць, обговорення відбувалося в дистанційному форматі з використанням відеозв'язку. Через певні складні обставини зазначений режим спілкування застосовується до теперішнього часу. XII Міжнародну науково-практичну конференцію «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти

інтелектуальної власності» присвячено 125 річниці КПІ ім. Ігоря Сікорського. Співорганізаторами виступили Національна академія наук вищої освіти України та Українська асоціація з прикладної геометрії. Міжнародний програмний комітет представляли українські вчені та закордонні колеги. У конференції взяли участь 58 науковців, викладачів, аспірантів та студентів. Були присутні іноземні представники, зокрема, University of Malta, Georgia Civil Council on Defence and Security, ІТК-Engineering GmbH (Germany), а також вітчизняні фахівці Національного університету цивільного захисту України (м. Харків), НДІ фізики НАН України (м. Київ), Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького (м. Запоріжжя), Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ), Київського національного університету будівництва і архітектури, Київської державної академії декоративно-прикладного мистецтва і дизайну імені Михайла Бойчука. Опубліковані матеріали включають 32 наукові статті.

На XIII конференції, на додаток до перерахованих вище, були колеги з Національного університету кораблебудування імені адмірала Степана Макарова (м. Миколаїв), Національного університету водогосподарства та природо-користування (м. Рівне), Таврійського національного університету імені Вернадського (м. Київ). З доповідями на пленарному засіданні, зокрема, виступили: Куценко Л. М., д. т. н., професор Національного університету цивільного захисту України; Верещага В. М., д. т. н., професор Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького. Матеріали виконаних дисертаційних досліджень презентували Яблонський П. М., к. т. н., доцент кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки КПІ ім. Ігоря Сікорського; Хропост В. І.; аспірант Національного університету біоресурсів і природокористування України; Мазурик Р. В., аспірант КПІ ім. Ігоря Сікорського. Також були доповіді, які активно обговорювалися, багатьох викладачів, студентів і представників промислових підприємств України.

Тематика XIII конференції охоплювала питання комп'ютерного варіантного формоутворення сільськогосподарських ґрунтообробних знарядь із метою проведення їхньої комплексної оптимізації; застосування властивостей кривих Безье для відтворення обводів технічних об'єктів; проєктування сонячних колекторів; раціонального розташування світлопрозорих конструкцій на гранях будівель; ефективного розв'язування задач диференціальної та дискретної геометрії; моделювання насосів Муано; аналізу конструкційних і технологічних схем дискових та якірних сошників для прямого посіву зернових; регульованих систем крапельного зрошення; 3D-друку; розв'язування геометрично-нелінійних задач; використання методів біоніки в комп'ютерній графіці; об'єктів інтелектуальної власності, напрацьованих у рамках виконуваних розвідок та підготовлених до захисту дисертаційних робіт; самостійної роботи студентів в умовах дистанційного навчання та ряд інших.

Таким чином, здійснювані наукові дослідження й отримувані внаслідок цього результати спрямовані на виконання актуальних завдань, які стоять перед нашою державою взагалі та вищими навчальними закладами зокрема. Мається на увазі, наприклад, проблема подальшого підвищення ефективності сільського господарства, яке в нинішній важкий воєнний час відіграє одну з провідних ролей в економіці України. Також це стосується покращення енергозбереження в галузі будівництва, належної організації освітнього процесу в умовах дистанційної форми навчання студентів. Не виключенням є питання загального розвитку теоретичних основ прикладної геометрії та методології її продуктивного практичного застосування.

Висновки. У даній публікації подано короткий опис історичного шляху науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності», яка вже в чотирнадцятий раз проводиться на кафедрі нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки фізико-математичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського. Представлено основну її тематику, проаналізовано деякі здобутки та отримані результати, визначено перспективні напрямки подальшого розвитку. Організатори конференції вдячні всім її учасникам, які, незважаючи на існуючі труднощі сучасного життя в Україні, продовжують успішно займатися науковою та викладацькою діяльністю в галузі прикладної геометрії, інженерної графіки, об'єктів інтелектуальної власності. Окрема подяка закордонним колегам за належну підтримку.

Бібліографічний список

1. Збірник тез доповідей I Конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Прикладна геометрія, дизайн та інноваційна діяльність». Відпов. ред. Ванін В. В. Київ: НТУУ «КПІ», 2012 р. 168 с.
2. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Прикладна геометрія, дизайн та об'єкти інтелектуальної власності». Вип 3. Київ: ДІА, 2014 р. 230 с.
3. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Прикладна геометрія, дизайн та об'єкти інтелектуальної власності». Вип 5. Київ: ДІА, 2016 р. 294 с.
4. Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності». 2022 р. URL: <https://jagegip.kpi.ua/issue/view/15550>
5. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності». 2023 р. URL: <https://jagegip.kpi.ua/issue/view/16388>
6. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності». 2024 р. URL: <https://jagegip.kpi.ua/issue/view/17978>

КОМПОЗИЦІЙНА ГЕОМЕТРІЯ. ВИЗНАЧЕННЯ

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

Лисенко К.Ю., PhD

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

Верещага І.В., системний програміст

ivereshchaha@gmail.com

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

Мелітопольська школа прикладної геометрії імені Володимира Найдюша

Анотація – вперше надано визначення композиційної геометрії, у якому вказується, що будь-який геометричний об'єкт в ній, розглядається як композиція точок. Наголошується, що точкові рівняння утворюються відносно базисних точок об'єкта, тобто вони є безвідносними щодо системи координат. Крім того, надаються пояснення щодо індиферентності компооб'єктів стосовно розмірності координатного простору. Показано, що функціональний базис створюється індивідуально для кожного компооб'єкту, виходячи з його розмірів і кожний елемент функціонального базису є інваріантом паралельного проєктування. Йдеться про те, що будь-які проєкції паралельного проєктування утворюються через проєктування на осі системи координат. Показано, що будь-яка композиційна точка (компоточка) може описуватися точковими поліномом n -го степеня. Вперше надається метод утворення рівняння геометричного тіла довільної форми у вигляді трипараметричного точкового поліному, який детермінує точки компотіла як на його поверхні, так і всередині нього. Вказується, що в компогеометрії розроблено теорію композиційних матриць для формалізації компооб'єктів і узагальненого розв'язання задач з ними. Показано, що методом композиційної геометрії є метод відношень, тобто для кожного об'єкту розглядаються не розміри, а відношення розмірів, що вибудовуються за певними правилами.

Ключові слова – композиційна геометрія, композиційні матриці, точковий поліном однопараметричний, точковий поліном двопараметричний, точковий поліном трипараметричний.

Постановка проблеми. Композиційна геометрія, що розглядатиметься у цій статті, являє собою потужний інструментарій для опису та дослідження процесів з великими базами даних у n -вимірному просторі. Однак у ці скрутні часи її розповсюдження сповільнилося. Для пошуку нових напрямів досліджень із застосуванням композиційної геометрії маємо розповсюджувати інформацію про її можливості. Отже, наразі є актуальною проблема популяризації можливостей методів композиційної геометрії, яка частково вирішується і у цій статті.

Аналіз останніх досліджень. Першою роботою [1], в якій йдеться про композиційне геометричне моделювання була монографія професора Верещаги В.М. Більш ґрунтовні дослідження композиційного методу геометричного моделювання багатофакторних систем були виконані Євгеном Адоньєвим [2]. Подальший розвиток теоретичних методів утворення композиційних ліній і поверхонь дістали в дисертаційній роботі Ксенії Лисенко [3]. Сучасні питання композиційної геометрії та напрями подальшого її розвитку розглянуті у роботах [4, 5, 6] та інших.

Формулювання цілей статті. З метою розширення застосування композиційної геометрії надати її визначення, сформулювати основний метод та анотаційно викласти коло питань, які можуть розв'язуватися із використанням її методів.

Основна частина. Розробка методів композиційної геометрії розпочалося у 2015 році з досліджень Євгена Адоньєва. Однак її визначення вперше надаємо лише зараз у цій статті.

Композиційна геометрія – це синтетична геометрія, у якій параметричні рівняння об'єктів (точок, ліній, поверхонь, геометричних тіл) утворюються на основі функціональних базисів, складові яких є інваріантами паралельного проєктування, а їхня сума дорівнює одиниці, при цьому, параметризуються елементи цих базисів враховуючи відстані між точками об'єкта, що являють собою його вихідну геометричну композицію.

Надамо пояснення щодо наведеного визначення. Будь-який об'єкт у композиційній геометрії розглядається як композиція базисних точок, відносно яких здійснюється його параметризації та створюються неперервні множини точок у вигляді параметричних функцій вихідних базисних точок цього об'єкту. Параметричні функції відносно вихідних базисних точок об'єктів названо нами – точкові рівняння. Отже, точкові рівняння є безвідносними щодо будь-якої системи координат, вони утворюються відносно базисних точок. Більше того, і розв'язки метричних та позиційних задач у композиційній геометрії здійснюється між об'єктами без використання системи координат, тобто у синтетичний спосіб. Це докорінно вирізняє її від методів аналітичної геометрії, яка, для розв'язання будь-якої задачі, має попередньо довільним чином обрати систему координат, відносно якої і здійснити розв'язок.

Таким чином, розв'язки у композиційній геометрії здійснюються безпосередньо між об'єктами відносно їхніх базисних точок. Однак, для

оцифровування здобутого розв'язку, відносно нього довільним чином, обирається система декартових координат серед безлічі можливих. В результаті, числові значення координат розв'язку, відносно різних систем координат, будуть різними, однак, розв'язок задачі між об'єктами буде один і той самий.

Крім того, у композиційній геометрії усі об'єкти є індиферентними щодо розмірності простору, у якому розв'язуються задача. Оскільки композиційні математичні моделі об'єктів створюються у точковій формі як сума добутків точок на відповідні характеристичні функції і, при цьому, взагалі не йдеться про координати, то розмірність простору в процесі розв'язання задачі залишається поза увагою. У точковій формі, яка є загальною для будь-якого розміру простору, розв'язок матиме один і той самий запис. Через те, що складові функціонального базису композиційного об'єкту є інваріантами паралельного проєктування, – розв'язок між об'єктами у просторі проєктується на усі його осі координат без зміни записів складових функціонального базису. Тобто у проєкціях розв'язку на осі, змінюються лише значення відповідних координат, а записи параметричних характеристичних функцій на всіх осях є однаковими і не піддаються перетворенням. Виходячи із сказаного, немає значення розмірність простору чи то він одно-, чи то дво-, чи то три-, чи то n -розмірний, записи характеристичних функцій функціонального базису на усіх осях, що визначають простір, буде один і той самий. Тобто, характеристичні функції не підлягатимуть перетворенням. Змінюватимуться лише значення координат для відповідних осей координат.

Зауважимо, у композиційній геометрії, для знаходження будь-яких проєкцій, є обов'язковим проєктування розв'язків на усі осі координат простору, в якому знаходиться об'єкт. У подальшому, об'єднуючи у сукупності необхідні проєкції на осі, діставатимемо розв'язки у параметричній формі на поверхнях, гіперповерхнях, просторах, гіперпросторах. Таким чином, для будь-яких об'єктів у композиційному n -просторі можна утворювати проєкції однорозмірні, дворозмірні, тривимірні, і так далі до $(n - 1)$ -розмірні.

Будь-які точки композиційних об'єктів як базисні так і поточні містять кількість координат, що відповідає розмірності простору, в якому знаходиться об'єкт. Зауважимо, що афінний простір будь-якої розмірності вважається композиційним простором, коли в ньому розглядаються композиційні об'єкти.

Будь-яка композиційна точка у композиційному n -просторі може описуватися точковим поліномом степеня $(k - 1)$. Для цього необхідно цю точку розглядати як k -кратну, тобто таку, в якій збігається k точок композиційного n -простору. При цьому, k -кратна точка (тобто, кожна з них) матиме n координат. Ставлення до k -кратної точки має бути як до лінії, що подана супровідною ламаною лінією, ланки якої дорівнюють нулю.

У композиційних геометрії дискретні лінії подаються базисними точками, які в найбільшій мірі описують її форму. Ці базисні точки з'єднуються відтинками прямих і утворюють супровідну ламану лінію, уздовж ланок якої здійснюється її параметризація однопараметричним точковим поліномом.

Дискретні поверхні довільної форми неперервно описуються двопараметричним точковим поліномом, що утворюється на основі каркасу неперервних композиційних ліній, організованих за двома параметричними напрямками.

Реальні тіла довільної форми наразі визначаються сукупністю нерівностей, які обмежують частину простору відносно певної системи координат. І навпаки, методи композиційної геометрії, чи не вперше в математиці, дозволяють задавати рівняння геометричного тіла, яке визначає точки як на поверхні так і всередині тіла. При цьому, трипараметричне рівняння геометричного тіла довільної форми є безвідносним щодо системи координат. Воно утворюється відносно базисних точок тіла, які організовані за трьома параметричними напрямками у вигляді трьох каркасів дискретних ліній, які подаються відповідними точковими рядами. При цьому, через кожен точку геометричного тіла проходять лінії трьох каркасів.

Чи не найголовнішою особливістю композиційної геометрії є створення і розробка теорії композиційних матриць, які докорінно відрізняються від існуючих в математиці матриць.

Існуючі матриці призначені для обслуговування алгебраїчних методів, а композиційні матриці – для аналітичної формалізації геометричних фігур і узагальненого розв'язку метричних та позиційних задач методами композиційної геометрії.

У чому полягає різниця між алгебраїчними методами і методами композиційної геометрії? У композиційній геометрії рівняння складаються відносно базисних точок геометричних об'єктів і розв'язки здійснюються безвідносно систем координат, а існуючі в геометрії застосовують аналітичні методи розв'язання задач, починаючи з обрання системи координат. У композиційній геометрії також використовуються системи координат але їх призначення полягає не для розв'язку задач, а для обчислення уже отриманого розв'язку відносно базисних точок.

Отже, для кожного композиційного об'єкту утворюються три види компоматриць – точкові, обчислювальні (координатні) та параметричні. Точкова компоматриця складається одна для об'єкта, при цьому, кількість елементів у ній завжди дорівнює кількості базисних точок об'єкта.

Координатних обчислювальних) компоматриць не може бути більше ніж є розмірність простору, в якому розглядається геометричний об'єкт.

Параметрична компоматриця знаходиться у повній відповідності з точковою компоматрицею. Особливістю параметричної компоматриці є те, що всі її елементи є інваріантами паралельного проєктування. Виходячи з усього сказаного наголошуємо, що методом композиційної геометрії є

метод відношень між розмірами об'єкта. Тобто розміри об'єкта необхідні для обчислення відношень для нього, а потім встановлення відношення застосовується для розв'язання задач за участю цього об'єкта.

Висновки. Надано визначення композиційної геометрії та сформульованої її основний метод. Аналогічно викладено усі її наразі методи і можливості, що дозволить діяти більшого розуміння можливостей композиційної геометрії.

Висловлюємо подяку професору Вірченку Г.А, за його прискіпливої уваги до наших досліджень значного підвищилась якість викладення композиційної геометрії.

Вдячні професорці Шмельовій Т.Ф. та професору Ковальову Ю.М., поради яких спрямували дослідження в бік штучного інтелекту. Наразі результати вражаючі.

Поради професора Ваніна В.В. схилили до необхідності досліджень щодо диференціальної композиційної геометрії. Уже почали. Дуже цікаво!

Бібліографічний список

1. Верещага В.М. Композиційне геометричне моделювання: Монографія. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2017, 108с.
2. Адоньєв Є.О. Композиційний метод геометричного моделювання багатфакторних систем: дис. ... д-ра техн. наук. К.: КНУБА, 2018, 512 с.
3. Лисенко К.Ю. Теоретичні основи методів утворення композиційних ліній і поверхонь: дис...к.т.н. Київ. КНУБА, 2022. 267с.
4. Лисенко К.Ю., Верещага В.М. Елементи композиційного диференціювання у точковій формі. Прикладна геометрія, інженерна графіка. Випуск 103. КНУБА, 2023 р. 114-122 с.
5. 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.
6. Павленко О.М. Порівняльний аналіз композиційної інтерполяції з традиційними методами. Прикладна геометрія та інженерна графіка. К., 2022. Вип. 103. С. 162-174.

НЕПЕРЕРВНЕ ЗГИНАННЯ КАТЕНОЇДА РІВНОМІРНИМ РОЗТЯГУВАННЯМ ВЗДОВЖ ЙОГО ОСІ

Пилипака С.Ф., професор,
psf55@ukr.ua, ORCID 0000-0002-1496-4615

Несвідомін А.В., докторант¹

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

***Анотація** – згідно теореми Бура із курсу диференціальної геометрії кожну поверхню обертання можна зігнути у гвинтову і навпаки. Згинання гвинтової поверхні здійснюється поступовим зменшенням її кроку до нуля або ж розтягуванням поверхні обертання вздовж її осі, тобто збільшенням кроку від нуля до максимально можливої величини.*

Розглянуто згинання катеноїда у гвинтовий коноїд, який має широке застосування у техніці. Накладанність поверхні гвинтового коноїда на поверхню катеноїда є класичним прикладом згинання нерозгортних поверхонь. Вона означає можливість деформації початкової поверхні в кінцеву форму без розгляду проміжних положень. Неперервне згинання передбачає побудову однопараметричної множини проміжних положень.

***Ключові слова** – гвинтовий коноїд, крок, перша квадратична форма, параметричні рівняння.*

Постановка проблеми. Поверхня гвинтового коноїда широко використовується при проектуванні гвинтових конвеєрів. Однак вона є нерозгортною, тому не існує точної плоскої заготовки, тобто розгортки, для виготовлення витка. В зв'язку із цим використовують наближену розгортку, яка б чинила найменший опір при деформуванні її у виток гвинтового коноїда. Його згинання у катеноїд дозволяє знайти наближену розгортку. Для цього катеноїд можна апроксимувати зрізаним конусом і точну розгортку зрізаного конуса прийняти за наближену розгортку гвинтового коноїда.

Аналіз останніх досліджень. Неперервне згинання розгортних поверхонь, в тому числі гвинтових, розглянуто у праці [1]. Конструювання витка прямого відкритого гелікоїда із плоскої заготовки розглянуто в праці [2]. В ній показано, що поверхнею обертання, на яку згинається прямий відкритий гелікоїд, є однопорожнинний гіперboloїд. Його теж рекомендується апроксимувати зрізаним конусом з подальшим

¹ Науковий консультант – д.т.н., професор Пилипака С.Ф.

знаходженням його точної розгортки. Такий спільний підхід дає можливість порівняти отримані результати для подібних поверхонь.

Формулювання цілей. Описати математично процес неперервного згинання поверхні катеноїда у гвинтовий коноїд.

Основна частина. Якщо меридіан поверхні обертання описати явним рівнянням $z=f(\rho)$, то сама поверхня буде описана наступними параметричними рівняннями:

$$X = \rho \cos \alpha; \quad Y = \rho \sin \alpha; \quad Z = f(\rho), \quad (1)$$

де α і ρ – криволінійні координати поверхні, при цьому ρ – відстань від вертикальної осі обертання до точки на поверхні, α – кутова координата.

Перша квадратична форма поверхні (1) має наступний вигляд:

$$dS^2 = Ed\alpha^2 + 2Fd\alpha d\rho + Gd\rho^2, \quad (2)$$

де коефіцієнти E, F, G знаходять із наступних виразів:

$$E = \left(\frac{\partial X}{\partial \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \alpha}\right)^2; \quad F = \frac{\partial X}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial X}{\partial \rho} + \frac{\partial Y}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial Y}{\partial \rho} + \frac{\partial Z}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial Z}{\partial \rho};$$

$$G = \left(\frac{\partial X}{\partial \rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \rho}\right)^2. \quad (3)$$

Знайшовши вирази (3) для поверхні обертання (1), отримаємо наступну квадратичну форму:

$$dS^2 = [1 + f'^2(\rho)]d\rho^2 + \rho^2 d\alpha^2.$$

(4)

Відсутність у (4) середнього коефіцієнта F свідчить про те, що сітка із паралелей і меридіанів є прямокутною.

Тепер запишемо параметричні рівняння гвинтової поверхні, в яку ми хочемо зігнути поверхню обертання (1):

$$X = w \cos \alpha; \quad Y = w \sin \alpha; \quad Z = \varphi + h\alpha, \quad (5)$$

де α і w – незалежні змінні поверхні;

h – гвинтовий параметр, який є сталою величиною;

$\varphi = \varphi(w)$ – невідоме рівняння осьового перерізу гвинтової поверхні, яке потрібно розшукати.

Потрібно знайти таке рівняння $\varphi = \varphi(w)$, щоб при $h=0$ воно описувало таку ж криву, тобто меридіан, як і рівняння $f=f(\rho)$.

Коефіцієнти першої квадратичної форми поверхні (5) і сама форма згідно формул (3) і (2) набувають вигляду:

$$E = 1 + \varphi'^2; \quad F = h\varphi'; \quad G = w^2 + h^2. \quad (6)$$

$$dS^2 = (1 + \varphi'^2)dw^2 + 2h\varphi'dw d\alpha + (w^2 + h^2)d\alpha^2. \quad (7)$$

Із виразів (6) і (7) бачимо, що $F \neq 0$, тобто сітка координатних ліній є косокутною. Відомо, що при згинанні гвинтових поверхонь у поверхні обертання гвинтові лінії накладаються на паралелі, а їх ортогональні траєкторії – на меридіани. Таким чином, потрібно перейти до прямокутної сітки таких координатних ліній.

Для такого переходу потрібно розв'язати диференціальне рівняння:

$$Fdw + Gd\alpha = 0. \quad (8)$$

Після підстановки в рівняння (8) виразів коефіцієнтів F і G із (6) одержимо:

$$\alpha = -h \int \frac{\varphi'}{w^2 + h^2} dw + t, \quad (9)$$

де t – стала інтегрування.

Сталій інтегрування t можна надавати різних числових значень. Їм відповідатимуть перпендикулярні лінії до гвинтових. Це означає, що сталу t можна взяти за нову незалежну змінну. Після цього запишемо:

$$d\alpha = dt - \frac{h\varphi'}{w^2 + h^2} dw. \quad (10)$$

Тепер підставимо вирази $d\alpha$ із (10) у (7) і після перетворень отримаємо:

$$dS^2 = \left(1 + \frac{w^2 \varphi'^2}{w^2 + h^2} \right) dw^2 + (w^2 + h^2) dt^2. \quad (11)$$

Як видно із (11), коефіцієнт F відсутній, що свідчить про ортогональність координатної сітки. Далі потрібно привести квадратичну форму (11) до вигляду (4). Це означає, що потрібно в (11) перейти від змінних w і t до змінних α і ρ так, щоб він залишився незмінним. Для цього спочатку прирівняємо праві частини при диференціалах dt^2 і $d\alpha^2$: $\rho^2 = w^2 + h^2$. Після цього отримаємо:

$$\rho = \sqrt{w^2 + h^2}; \quad d\rho = \frac{wdw}{\sqrt{w^2 + h^2}}. \quad (12)$$

Наступний крок – прирівнюємо ліві частини, взявши вираз диференціала $d\rho$ із (12):

$$\left(1 + f'^2 \right) \frac{w^2 dw^2}{w^2 + h^2} = \left(1 + \frac{w^2 \varphi'^2}{w^2 + h^2} \right) dw^2. \quad (13)$$

Розв'яжемо (13) відносно φ' і отримаємо:

$$\varphi' = \frac{\sqrt{w^2 f'^2 - h^2}}{w}, \quad (14)$$

де φ' – похідна рівняння кривої осевого перерізу гвинтової поверхні, яку потрібно знайти;

f' – похідна рівняння меридіана у поверхні обертання (1).

Далі потрібно підібрати таку криву меридіана $z=f(\rho)$, щоб можна було проінтегрувати вираз (14) і зробити відповідні подальші перетворення.

За таку криву взяли ланцюгову лінію – переріз катеноїда:

$$f = a \operatorname{Arccosh}\left(\frac{\rho}{a}\right); \quad f' = \frac{a}{\sqrt{\rho^2 - a^2}}. \quad (15)$$

В похідній (15) потрібно перейти до змінної w згідно (12):

$$f' = \frac{a}{\sqrt{\rho^2 - a^2}} = \frac{a}{\sqrt{w^2 + h^2 - a^2}}. \quad (16)$$

Далі підставляємо (16) у (14):

$$\frac{d\phi}{dw} = \frac{\sqrt{w^2 f'^2 - h^2}}{w} = \frac{1}{w} \sqrt{\frac{a^2 w^2}{w^2 + h^2 - a^2} - h^2}. \quad (17)$$

У виразі (17) повертаємося до змінної ρ . Згідно (12) запишемо:

$$w = \sqrt{\rho^2 - h^2}; \quad dw = \frac{\rho d\rho}{\sqrt{\rho^2 - h^2}}. \quad (18)$$

Після цього підставимо вирази (18) у (17) і після перетворень отримаємо:

$$\frac{d\phi}{d\rho} = \frac{\rho^2}{\rho^2 - h^2} \sqrt{\frac{a^2 - h^2}{\rho^2 - a^2}}. \quad (19)$$

Знайдену похідну(17) підставляємо у (10) і після спрощень отримуємо:

$$d\alpha = dt - \frac{h}{w} \sqrt{\frac{a^2 - h^2}{(w^2 + h^2 - a^2)(w^2 + h^2)}} dw. \quad (20)$$

Після цього переходимо в (20) до змінної ρ . Підставляємо в (20) вирази (18) і після спрощень отримаємо:

$$\frac{d\alpha}{d\rho} = dt - \frac{h}{\rho^2 - h^2} \sqrt{\frac{a^2 - h^2}{\rho^2 - a^2}}. \quad (21)$$

Знайдені вирази (18), (19) і (21) підставляємо у рівняння гвинтової поверхні (5) і отримуємо наступні параметричні рівняння:

$$\begin{aligned} X &= \sqrt{\rho^2 - h^2} \cos\left(t - h \int \frac{1}{\rho^2 - h^2} \sqrt{\frac{a^2 - h^2}{\rho^2 - a^2}} d\rho\right); \\ Y &= \sqrt{\rho^2 - h^2} \sin\left(t - h \int \frac{1}{\rho^2 - h^2} \sqrt{\frac{a^2 - h^2}{\rho^2 - a^2}} d\rho\right); \\ Z &= \int \frac{\rho^2}{\rho^2 - h^2} \sqrt{\frac{a^2 - h^2}{\rho^2 - a^2}} d\rho - h^2 \int \frac{1}{\rho^2 - h^2} \sqrt{\frac{a^2 - h^2}{\rho^2 - a^2}} d\rho. \end{aligned} \quad (22)$$

Перша квадратична форму рівнянь (22) згідно (3) і (4) має наступний вигляд:

$$dS^2 = \left[\frac{\rho^2}{\rho^2 - a^2} \right] d\rho^2 + \rho^2 dt^2. \quad (23)$$

При підстановці у (4) виразу похідної із (15) отримаємо першу квадратичну форму, аналогічну (23) за винятком змінних α і t . Однак це не має значення, бо позначення змінної іншим символом нічого не змінює. Для повної аналогії приймаємо $\alpha=t$.

Підінтегральні вирази у рівняннях (22) можна проінтегрувати. Після інтегрування і заміни символу « t » на символ « α » рівняння (22) набувають остаточного вигляду:

$$\begin{aligned} X &= \sqrt{\rho^2 - h^2} \cos \left(\alpha - \operatorname{Arctg} \frac{h}{\rho} \sqrt{\frac{\rho^2 - a^2}{a^2 - h^2}} \right); \\ Y &= \sqrt{\rho^2 - h^2} \sin \left(\alpha - \operatorname{Arctg} \frac{h}{\rho} \sqrt{\frac{\rho^2 - a^2}{a^2 - h^2}} \right); \\ Z &= \sqrt{a^2 - h^2} \ln \left(\rho + \sqrt{\rho^2 - a^2} \right) + h\alpha. \end{aligned} \quad (24)$$

У першу квадратичну форму (23) стала h не входить, хоча вона впливає на геометрію поверхні. Отже вона є параметром згинання. Якщо для h надати значення $h=0$, то рівняння (24) описують поверхню обертання — катеноїд (рис. 1,а). Стала a визначає радіус найменшої паралелі, отже, змінна ρ не може набувати значень менших за a . У процесі побудови поверхні вона змінювалася в межах $0,1-0,2$ м, що видно на рисунку 1,а.

При деформації катеноїда у коноїд паралелі перетворюються на гвинтові лінії. Така деформація досягається поступовим збільшенням параметра h . За максимального значення $h=a$, найменша паралель із радіусом a витягується у пряму лінію, яка стає віссю гвинтового коноїда (рис. 1,б). Довжина цієї паралелі дорівнює $2\pi a$, що визначає крок гвинтового коноїда.

При заданому максимальному значенні $\rho=0,2$ м, на катеноїді паралель має радіус R_c (рис. 1,а), а на гвинтовому коноїді — гвинтова лінія розташована на циліндрі радіуса R_a (рис. 1,б).

Слід звернути увагу, що при максимальному значенні $h=a=0,1$ в рівняннях (24) виникає ділення на нуль. Щоб запобігти цьому, максимальне значення h було прийнято меншим, а саме $h=0,099$. Отримане при цьому зображення гвинтового коноїда (рис. 1,б) отримано точно, про що свідчить вісь коноїда, яка є прямою лінією. При інших значеннях параметра h , значно менших від максимального, відповідною лінією є гвинтова.

Якби потрібно було сформулювати один виток гвинтового коноїда, зображеного на рис. 1,б, з внутрішнім краєм, що збігається з віссю коноїда, то для дефомації слід було б взяти катеноїд, представлений на рис. 1,а. Умовно його можна замінити зрізаним конусом, як показано на рисунку.

У такому випадку точна розгортка цього конуса могла б слугувати наближеним варіантом розгортки витка коноїда. Проте суттєва різниця між формою поверхні катеноїда та конуса свідчить про значні пластичні деформації, які виникатимуть у процесі формування витка з плоскої заготовки. Однак частина гвинтового коноїда вилучається, тому вона міститься всередині валу, тобто та частина поверхні катеноїда, яка знаходиться в його нижній частині. При такому обмеженні катеноїда частина, що залишилася, значно краще апроксимується зрізаним конусом.

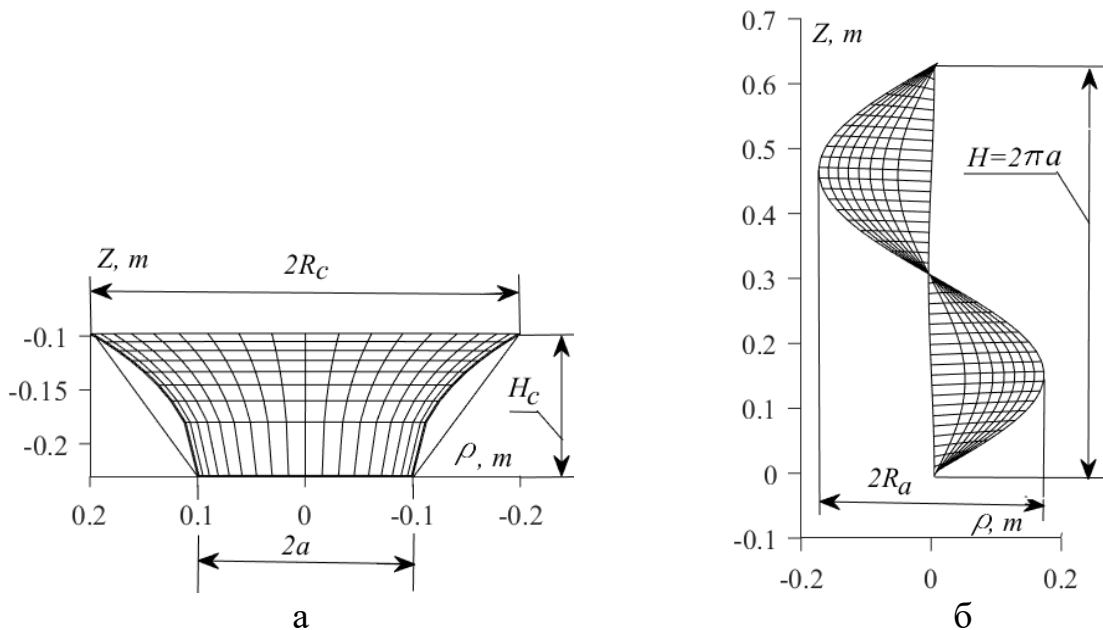


Рис. 1. Фронтальні проекції поверхні, описаної рівняннями (24) при $a=0,1$ м і різних значеннях h : а) катеноїд ($h=0$); б) гвинтовий коноїд ($h=0,099$)

За рівняннями (24) можна отримати проміжні зображення поверхні при її згинанні, задаючи значення параметра згинання h в межах $0,1 > h > 0$.

Висновки. Застосування теореми Бура дало можливість отримати параметричні рівняння, які описують неперервне згинання поверхні обертання у гвинтову. Вихідною умовою є задане неявне рівняння меридіану.

Бібліографічний список

1. Bending of the Torses by Changing the Regularity of the Reverse Edge Angle of Ascent / Pylypaka, S., Volina, T., Hryshenko, I., Trokhaniak, O., Taras, I. // Journal for Geometry and Graphics. – Volume 27 (2023), No. 2, 151 – 157. – Режим доступу: <https://www.heldermann-verlag.de/jgg/jgg27/j27h2pyly.pdf>
2. В. Хропост, Т. Кресан. Конструювання витка відкритого гелікоїда з плоскої заготовки. – Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 105. – К: КНУБА, 2023. – С. 213 – 221. – Режим доступу: <http://ageg.knuba.edu.ua/article/view/297897>

АСТРОНОМІЧНА ТРИВАЛІСТЬ СУМАРНОЇ ІНСОЛЯЦІЇ ПЛОЩИН РІЗНОГО НАХИЛУ ТА ОРІЄНТАЦІЇ ЗА РІК

Кундрат Т. М., к.т.н.

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

Літніцький С. І., к.т.н., доцент

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

Пугачов Є. В., д.т.н., професор

pev1957@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 наведені криві річної астрономічної тривалості інсоляції для площин різної орієнтації та нахилу до площини горизонту на прикладі широти $51,4^\circ$ (м. Сарни Рівненської області). Криві річної тривалості інсоляції отримані шляхом моделювання в середовищі «MathCad». Наведені результати моделювання є показником максимально можливого ресурсу інсоляції площин довільного нахилу (від 0° до 90°) та азимутального кута від 0° (південь) до 90° (схід) для місцевості даної широти. Отримані результати можна використати для визначення можливого опромінення площин чи для визначення тривалості інсоляції площин та їх опромінення, зважаючи на імовірність сонячного сяяння в даній місцевості.*

***Ключові слова** – азимутальний кут, річна астрономічна тривалість інсоляції площини, кут нахилу площини до площини горизонту, час сходу Сонця над площиною, час заходу Сонця за площину.*

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, – протягом всього року. Плоскі сонячні колектори розміщують часто на дахах будівель під певним кутом нахилу до горизонтальної площини. Тому важливо саме для похилих площин різної орієнтації показати, як змінюється їх річна 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 сяння в даній місцевості. В тезах [4] розглядався річний хід астрономічної тривалості інсоляції похилих площин південної орієнтації різних кутів нахилу до площини горизонту, а в роботі [5] – вертикальних площин різної орієнтації.

Формулювання цілей. В цій роботі поставлена мета – візуалізувати річну астрономічну тривалості інсоляції площин різної орієнтації та кута нахилу до площини горизонту.

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 (максимально можливим значенням) для конкретної площини на даний день року.

В цій роботі за допомогою авторської програми, розробленої в середовищі «MathCad», побудовані криві річного ходу тривалості астрономічної інсоляції площин різної орієнтації та нахилу до площини горизонту на прикладі м. Сарни Рівненської області, яке розташоване на широті $51,4^\circ$. В ньому є актинометрична станція.

Похила площина залежно від орієнтації, кута нахилу до площини горизонту та дня року може перетинати траєкторію Сонця або не перетинати. Це призводить до різних варіантів визначення сонячного часу сходу і заходу Сонця над площиною, якщо вона інсоллюється, та ідентифікації випадків, коли площина не інсоллюється взагалі. Для автоматичного розрахунку тривалості інсоляції треба відслідковувати всі можливі варіанти взаємного положення Сонця і площини.

Трансцендентне рівняння [2] для визначення сонячного часу, що відповідає перетину траєкторії сонця на небесній півсфері з великим колом, утвореним на ній похилою площиною (сонячний час сходу Сонця над площиною або заходу за площину) може мати два або один змістовні корені (перетини (перетин) вище площини горизонту), два або один незмістовні корені (перетини (перетин) нижче площини горизонту) або зовсім не мати дійсних коренів (Сонце або інсоллює площину від сходу до заходу, або взагалі не інсоллює). В розробленій MathCad-програмі визначалася сумарна тривалість астрономічної інсоляції за кожен день року, зважаючи на можливі інтервали інсоляції. Для цього розглядалися 14 варіантів можливих ситуацій, пов'язаних як із взаємними положеннями траєкторії Сонця і площини, так і з особливостями обчислювального процесу. Координати Сонця обчислювались за відомими формулами.

Для визначення астрономічної тривалості інсоляції азимутальний кут задавався від 0° (південь) до 90° (схід) через 10° , а кут нахилу площини від 0° (горизонтальна площина) до 90° (вертикальна площина) теж через 10° . Тривалість інсоляції за рік визначалась як сума тривалостей за кожен день

року. В результаті розрахунків отримані десять кривих залежності річної астрономічної тривалості інсоляції в годинах від кута нахилу площини (рис. 1, горизонтальна вісь – кут нахилу площини, град.). Верхня крива відповідає азимутальному куту 0° (південна орієнтація), а нижня – 90° (східна орієнтація). Кожна крива з більшим азимутальним кутом розміщена нижче кривої з меншим азимутальним кутом. Всі криві починаються з одної точки, яка відповідає річній тривалості астрономічної інсоляції горизонтальної площини (для неї тривалість найбільша і становить 4380 годин). Найменша тривалість річної астрономічної інсоляції серед розглянутих площин становить 2190 годин – для вертикальної площини східної орієнтації. Що більший азимутальний кут площини, то стрімкіше зменшується річна тривалість її астрономічної інсоляції.

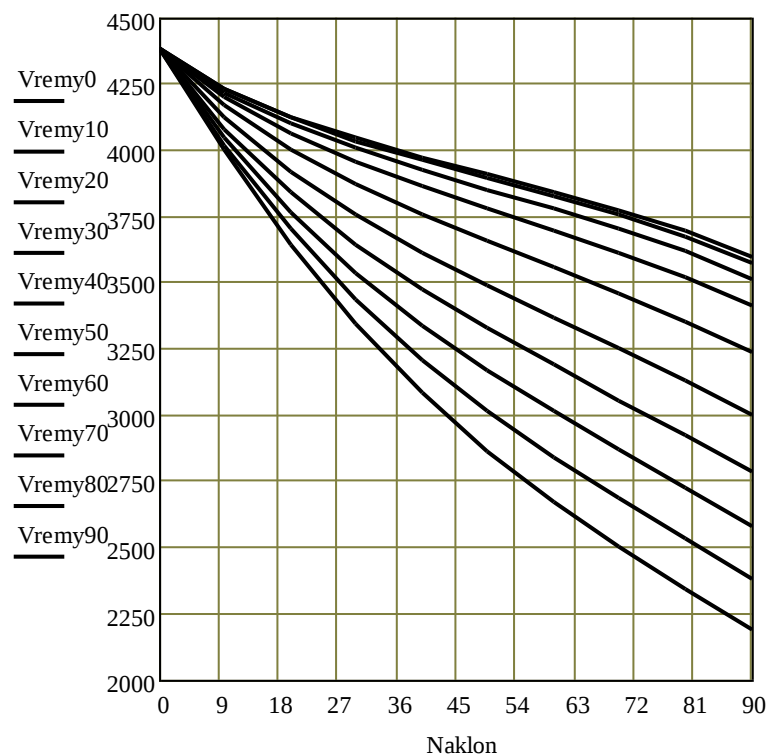
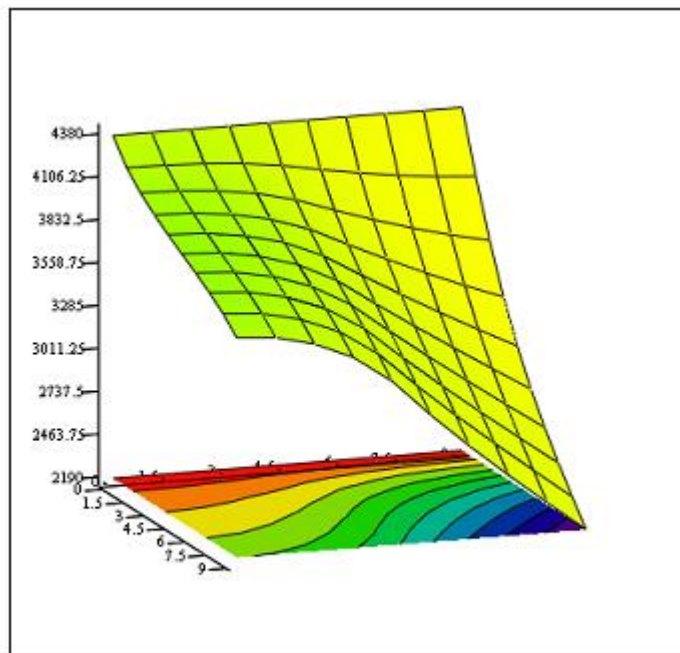


Рис. 1. Криві залежності тривалості в годинах річної астрономічної інсоляції площин різної орієнтації від кута нахилу площини

Для наочності отримані результати показані у вигляді поверхні шляхом об'єднання кривих в середовищі «MathCad» за допомогою функції «augment» (рис. 2). Поверхня представлена у вигляді лінійчатого каркасу та у вигляді ізоліній річної тривалості астрономічної інсоляції (контурний графік із залитими контурами).

Висновок. Отже, візуалізація кривих та поверхні річної тривалості астрономічної інсоляції похилих площин різної орієнтації (від півдня до сходу) та кута нахилу до площини горизонту (від горизонтальної площини до вертикальної) дозволила виявити їх характер та межі зміни, що важливо для оцінки максимального ресурсу інсоляції.



GODSUMVREMY, GODSUMVREMY

Рис. 2. Поверхня річної тривалості астрономічної інсоляції похилих площин

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 київського національного університету технологій та дизайну (спецвипуск). 2006. № 4 (30). С. 133-137.
4. Зданевич В.А., Кундрат Т.М., Літніцький С.І., Пугачов Є.В. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції південно орієнтованих площин різного кута нахилу до площини горизонту. Збірник тез доповідей XVIII-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. Кундрат Т.М., Літніцький С.І., Пугачов Є.В., Зданевич В.А. Річний хід астрономічної тривалості інсоляції вертикальних площин різної орієнтації / Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції "Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності", Київ, 3 травня 2024 р. - С. 71-77.

ВИВЧЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ ФОТОГРАММЕТРІЇ У ПРОГРАМІ RECAP AUTODESK

Ботвіновська С.І., д. т. н., професор, завідувач кафедри НГ та ІГ
botvinovska.si@knuba.edu.ua ORCID: 0000-0002-1832-1342

Колган А.В., асистент кафедри НГ та ІГ
kolhan.av@knuba.edu.ua ORCID: 0000-0002-2167-2864

Карімлі Г.Н., студентка архітектурного факультету
karimli_hn-2023@knuba.edu.ua

Київський національний університет будівництва і архітектури
(Київ, Україна)

***Анотація** - у роботі розглянуто застосування програмного забезпечення Autodesk ReCap Pro [1] для створення 3D-моделей архітектурних об'єктів на основі фотограмметрії в освітньому процесі. Проведено апробацію методики на двох типах об'єктів — малих скульптурах та архітектурних спорудах. Проаналізовано типові помилки, що виникають під час побудови моделей, та запропоновано підходи до їх усунення шляхом оптимізації фотозйомки. Отримані результати демонструють доцільність впровадження ReCap у навчальну і проєктну практику для студентів архітектурного факультету КНУБА.*

***Ключові слова** - фотограмметрія, 3D-моделювання, Autodesk ReCap Pro, цифрова реконструкція, архітектурна спадщина, освітній процес.*

Постановка проблеми. Сучасні цифрові технології відкривають нові можливості для документування, збереження та реконструкції архітектурних об'єктів, зокрема шляхом використання фотограмметрії. Фотограмметрія це дисципліна яка вивчає явища, форми, положення та розміри різних предметів у просторі шляхом вимірювань з фотографічного зображення. Проте на практиці при створенні 3D-моделей на основі фотографій часто виникають дефекти: артефакти, неточності геометрії, "дірки" в текстурах, що знижує якість кінцевого результату. Особливо це стосується складних за формою або масштабом об'єктів, які не можливо охопити повністю під час фотознімання. У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу умов фотознімання, кількості та якості знімків на точність побудови цифрової моделі, а також пошук способів оптимізації цього процесу в рамках навчальних завдань.

Аналіз останніх досліджень Фотограмметрія активно використовується для цифрової реконструкції архітектурних об'єктів, зокрема у сфері збереження культурної спадщини [2].

У багатьох дослідженнях підкреслюється ефективність застосування програмного забезпечення, такого як Autodesk ReCap Pro, для створення високоточної 3D-документації архітектурної спадщини.

Значна увага приділяється проблемам якості моделей, що залежать від умов фотографування, якості камер, кількості знімків та алгоритмів обробки [3]. Розвиток нових спеціалізованих програм для роботи з 3D-об'єктами, що починають активно впроваджуватись у навчальні програми створюють потребу в адаптації методик викладання фотограмметрії.

Формулювання цілей. Метою дослідження є вивчення можливостей програмного забезпечення Autodesk ReCap Pro для створення 3D-моделей архітектурних об'єктів, а також удосконалення підходів до фотографування та обробки фотоматеріалу з метою підвищення точності та якості цифрової реконструкції.

Основна частина. Представники кафедри інформаційних технологій в архітектурі й кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки КНУБА займаються дослідженнями, які дозволять створити репозитарій даних історико-архітектурних пам'яток. У процесі проведення таких досліджень пропонується використання кількісно-якісного аналізу проєктних характеристик історико-будівельної інформаційної моделі із застосуванням лазерного сканування та фотограмметрії, а кінцевою метою є автоматизація такого аналізу. Створення складної організаційної структури сучасного архітектурного середовища, яка виходить із різних критеріїв, дозволить в разі пошкодження або руйнування пам'ятки архітектури під час військових дій, реставрувати, відновити історичну будівлю у вигляді максимально наближеному до оригіналу. З'являється можливість оперативно виготовити проєкт реставрації будівлі.

У сучасній архітектурній та реставраційній практиці все ширше застосовуються цифрові методи фіксації та моделювання об'єктів культурної спадщини. Одним із перспективних інструментів є програмне забезпечення Autodesk ReCap Pro, яке дозволяє перетворювати фотознімки реальних об'єктів на високоточні 3D-моделі.

Метою дослідження є вивчення ефективності та удосконалення методики створення фотограмметричних моделей в освітньому процесі з використанням Autodesk ReCap. Завданням стало апробування цього інструменту в умовах навчального середовища із залученням студентів архітектурних спеціальностей.

У рамках експериментального курсу студентам було запропоновано обрати два типи об'єктів, що відрізняються за розміром та геометричною складністю [4]:

- 1) Малий архітектурний об'єкт, для якого можливе повне охоплення при фотографуванні, наприклад, скульптури з проекту «Шукай!» у місті Києві та інших містах України (рис. 1);



Рис. 1. Модель скульптури Галшки Гулевичівни проекту “Шукай!”

- 2) Архітектурна споруда або її частина, доступна для зйомки з декількох боків, зокрема, «Золоті ворота», «Храм Успіння Богородиці», «Музей гетьманства» тощо (рис. 2).



Рис. 2. Цифрова копія архітектурної будівлі

Для досягнення максимальної точності цифрової реконструкції необхідно забезпечити мінімальний набір знімків – не менше 20 фотографій у форматі .jpg. Зйомка повинна проводитися за короткий проміжок часу, щоб уникнути змін умов освітлення. Усі фотографії мають охоплювати об'єкт з різних ракурсів, забезпечуючи повне покриття його геометрії. Важливо, щоб джерела світла залишались стабільними, а на поверхні об'єкта були відсутні сильні тіні, які можуть призвести до спотворення геометрії в 3D-моделі [5]. Рекомендується дотримуватись основних принципів фотограмметрії: перекриття суміжних знімків має становити 50–80%, необхідно мінімізувати спотворення перспективи,

дотримуватись однакової відстані до об'єкта, а також враховувати світлотіньове моделювання при виборі часу зйомки та положення камери.

У процесі виконання завдання було виявлено типові дефекти, які виникають при моделюванні будівель – артефакти, деформації, «дірки» в геометрії та текстурах (рис. 3). Це спонукало до проведення додаткового дослідження аналізу впливу ракурсу, послідовності зйомки та освітлення на якість моделі, а також здійснення вибіркового підбору фотоматеріалу. Завдяки цьому вдалося суттєво зменшити кількість дефектів і підвищити деталізацію цифрової копії (рис. 4).



Рис. 3. Дефекти моделі цифрової копії



Рис. 4. Покращена деталізація моделі цифрової копії

Такий підхід підтверджує необхідність системного підходу до фотограмметрії в освітньому процесі, а також демонструє потенціал для розвитку індивідуальних дослідницьких проєктів у цій сфері.

Висновки. Використання Autodesk ReCap у навчальному процесі не лише дозволяє ознайомити студентів із сучасними цифровими технологіями, а й формує навички критичного аналізу результатів моделювання. Проведене дослідження показало, що якісний підбір фотоматеріалу та дотримання принципів фотограмметрії істотно впливають

на точність та цілісність 3D-моделі. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації методів цифрової фіксації архітектурних об'єктів у практиці реставрації та архітектурного проектування.

Під час війни в Україні залишається очевидною практична значимість створення репозитарію даних історико-архітектурних пам'яток. Розробка програмного інструменту на основі представленого підходу та подальший аналіз створених BIM-моделей дозволить здійснювати керування якісними характеристиками історико-архітектурних об'єктів згідно існуючих нормативних параметрів, враховувати умови, задані замовником. Крім того, представлений підхід дозволить точніше визначити матеріалоємність архітектурної композиції та загальну вартість реставраційних робіт.

Бібліографічний список

1. Autodesk Recap Pro. Містить інформацію про продукт Recap Pro.
URL: <https://www.autodesk.com/products/recap/overview> (дата звернення 11.05.2025).
2. Товбич. В.В., Михальченко С.В., Репозиторій історико-архітектурних пам'яток України / *Методологія збереження і регенерації історичного міського середовища. Колективна монографія*. Львів : НУ "Львівська політехніка", 2022. Том 1. С. 341-352.
3. Qingquan Li, Hui Huang. Optimized views photogrammetry end its precision analysis. July 2022. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica 51(6):996-1007 DOI:10.11947/j.AGCS.2022.20210685 URL: https://www.researchgate.net/publication/368363734_Optimized_views_photogrammetry_and_its_precision_analysis (дата звернення 11.05.2025).
4. Колган А.В. ReCap Photo. Створення 3D моделі з фотографій: Відеолекція URL : https://youtu.be/E0Fi2SjuiVw?si=SKC5_rO7PDVY_f-w (дата звернення 11.05.2025).
5. Object Reconstruction: Посібник користувача ReCap Photo (2025 та раніше) URL: https://help.autodesk.com/view/RECAP/ENU/?guid=recap_photo_object_reconstruction (дата звернення 11.05.2025).

VIBRATION PHASE MEASUREMENT ERRORS CAUSED BY PHASE SENSOR INSTALLATION MISALIGNMENT

Pavlo B. Oliinyk, Ph.D.

poleinik@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9481-0551

National Technical University of Ukraine

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

Abstract – *Vibration phase measurement errors, caused by phase sensor installation misalignment are considered and estimated. Practical recommendations that allow one to decrease influence of misalignment are presented.*

Keywords – *vibration phase measurement, phase measurement error, balancing.*

Statement of the problem. Imbalance is the most probable root cause of high vibration levels on heavy machinery, especially steam turbines and generators [1, 2]. In order to reduce imbalance, balancing of the machine is performed; to achieve acceptable vibration levels, one has to measure both vibration magnitude and phase at the rotor rotation frequency. Thus, one has to ensure high measurement precision of both those values, which, in turn, cannot be achieved only by using a high-end instrumentation.

Analysis of recent research. In heavy machinery balancing, influence coefficients method [3, 4] is used most often. In order to use that method, one has to know precise values of both trial (or correction) mass and its installation angle and vibration phase and magnitude. Values of mass and of its installation angle can be precisely measured on a stopped machine; vibration phase and magnitude in each measurement point, however, must be measured using two synchronized channels – one is used as a reference, and another as a signal channel. As a reference channel, either eddy current or optical sensor is used. In both cases, when wedge key or optically contrast mark is in the sensor's field of view, pulse is formed at the channel output; that pulse is used as a reference point to calculate phase of the vibration maximum (so-called "heavy point"). Such an approach is prone to errors when the optical phase sensor is used, as its position relative to machine's shaft is always set with some misalignment.

In paper [5], a novel balancing method is presented, which does not require phase measurements. However, in order to implement that method, one has to do two trial runs instead of one per each trial mass, and each trial run significantly

decreases lifetime of the heavy rotating machine; therefore, method is impractical for steam turbines and similar machinery.

In [6], method of fast vibration phase estimation using FFT is proposed; its main drawback is complex phase calculation via trigonometric functions, including sine, cosine and arctangent. Moreover, method, proposed in [6], assumes only ideal sensor positioning, and does not take possible misalignment into account.

Authors of work [7] investigated the effect of imbalance on a rotor shaft using both vibration characteristics and a smart experimental setup based on an algorithm embedded on a FPGA. That setup includes vibration sensors and optic phase sensor, but possible phase estimation errors in [7] are not considered.

Thus, errors of vibration phase measurement caused by phase sensor installation are not discussed or studied in the known references.

Formulation of goals. The goal of the study is to estimate errors, caused by phase sensor misalignment, and to give practical recommendation that allow one to reduce those errors significantly.

Main part. Consider a machine with the horizontal shaft of radius R , on which contrast optic mark is placed. In the ideal case, optic phase sensor should be installed along OA line at the distance l from the shaft surface (Fig. 1); in practice, however, sensor is installed with either angular misalignment α (Fig. 1) or linear misalignment h (Fig.2), or both.

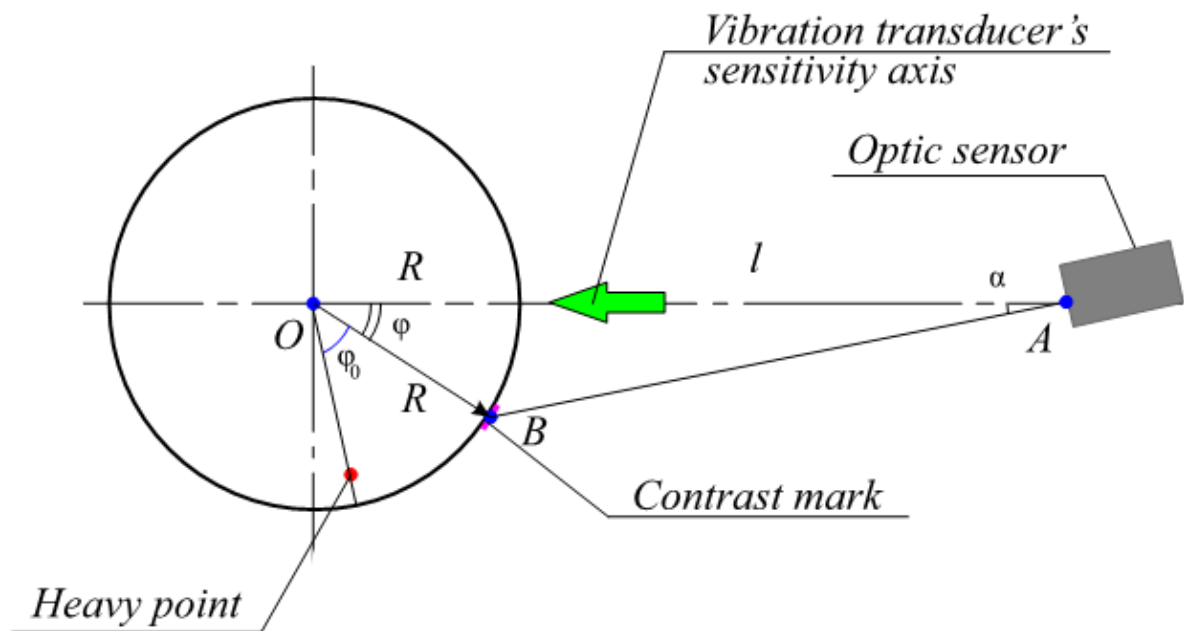


Figure 1. Typical vibration phase measurement setup with angular misalignment of the optical sensor

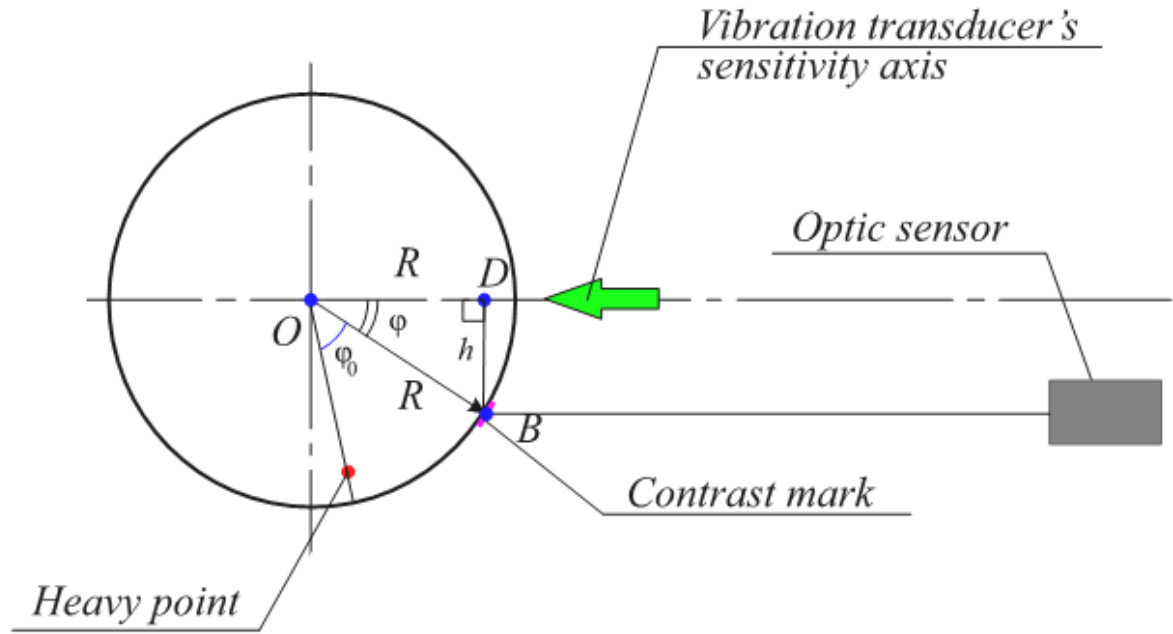


Figure 2. Typical vibration phase measurement setup with linear misalignment of the optical sensor

If optic phase sensor is installed with an angular misalignment α , as shown in Fig. 1, or with a linear one h as shown in Fig.2, measurement system will measure vibration phase as shown in Fig. 3. Grayed pulse is the pulse that corresponds to the real vibration phase $\varphi_0 + \varphi$; dashed pulse corresponds to the phase φ_0 , measured by the system with misalignment. So, phase measurement error is equal to φ .

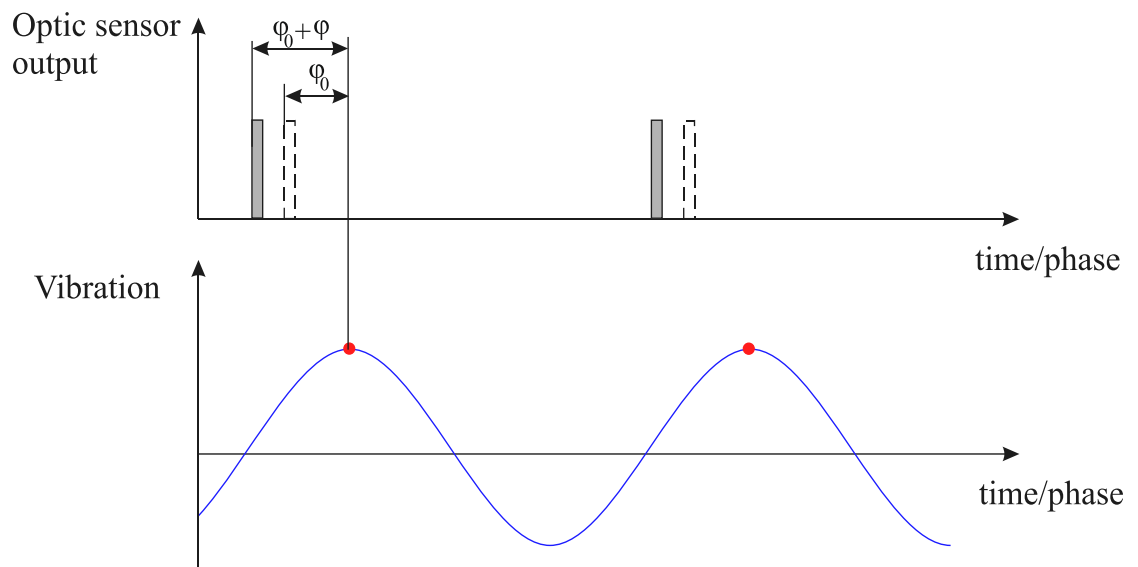


Figure 3. Phase measurement error, caused by phase sensor installation errors

If only angular misalignment is present (Fig. 1), then using sine theorem for triangle OAB , one can easily write down, that

$$\frac{R}{\sin(\alpha)} = \frac{R+l}{\sin(\pi-\varphi-\alpha)} \quad (1)$$

After simple algebraic transforms, and taking into account that both α and φ are acute, one can deduce that

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{R+l}{R} \sin(\alpha)\right) + \alpha \quad (2)$$

If only linear misalignment is present (Fig. 2), then from the right-angled triangle OBD one can deduce, that

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{h}{R}\right) \quad (3)$$

Assuming that $R=150 \text{ mm}$, and different values of distance l , error estimation for different angular and linear misalignment values using (2) and (3) were calculated. Results of calculations are presented in Table 1 and Table 2 respectively.

Table 1. Phase measurement error with angular misalignment

Angular misalignment α , degrees	Phase measurement error φ , degrees	
	$l=300 \text{ mm}$	$l=600 \text{ mm}$
1,0	3,0	5,0
2,0	6,0	10,0
5,0	15,2	25,0
10,0	31,4	60,0
15,0	50,1	shaft is out of sensor's field of view

Table 2. Phase measurement error with linear misalignment

Linear misalignment h , mm	Phase measurement error φ , degrees
1,0	0,38
2,0	0,76
5,0	1,91
10,0	3,82
20,0	7,66

As one can see from Table 1, depending on the distance from optic sensor to the shaft, phase measurement error may have a value from 3-5 degrees (comparable to typical vibration phase angle measurement error) to as much as 50-60 degrees, which is unacceptable. At that, the nearer sensor is to the shaft, and the smaller misalignment is, the smaller phase measurement error is and vice versa. Calculation results, presented in Table 2, show that linear misalignment of even 20 mm causes phase measurement error of 7,66 degrees; thus, angular

misalignment has a much higher influence on the phase measurement error than linear one has. Therefore, in order to mitigate misalignment influence and reduce phase measurement error, one has to minimize angular misalignment of the optical phase sensor in the first place.

As for eddy current sensors, due to small installation distance from the shaft (l is up to 5-10 mm) and the fixed place of sensor installation, the above conclusions do not apply. Those sensors usually provide minimal phase measurement error.

Conclusions. As one can see, phase sensor installation error may have a significant influence on the precision of vibration phase measurement and, as a result, on balancing quality overall. In order to mitigate that influence and thus to reduce phase measurement error, one has to provide minimal angular misalignment of that line of view from the horizon. Minimal vertical misalignment of the optic phase sensor's line of view from the shaft axis is also desirable. Practical check and improvement of the above recommendations may become a goal of the future research.

References

1. Mitchell, John S. Introduction to machinery analysis and monitoring. Penn Well Books, Tulsa, Oklahoma, 1993. 374 p. Lees A.W. Misalignment in rigidly coupled rotors, Journal of Sound and Vibration. 2007. Vol. 305 (1–2). pp. 261–271. DOI: 10.1016/j.jsv.2007.04.008.
2. Xiaoping, Yu. General influence coefficient algorithm in balancing of rotating machinery. The International Journal of Rotating Machinery. 2004. Vol. 10, Issue 2, pp. 85-90. DOI:10.1155/S1023621X04000090
3. Zhou, S.Y.; Shi, J.J. Active balancing and vibration control of rotating machinery: A survey. The Shock and Vibration Digest. 2001. Vol. 33. pp.361–371. DOI:10.1177/058310240103300501
4. Bhende, Amit R. A new rotor balancing method using amplitude subtraction and its performance analysis with phase angle measurement-based rotor balancing method. Australian Journal of Mechanical Engineering. 2017. Vol. 18(1). pp. 112–118. DOI: 10.1080/14484846.2017.1415612
5. Podgórski, Andrzej, Charazka, Pawel. An Algorithm for Estimation of the Amplitude and Phase of a Vibration Signal Used for Determination of Rotating Mass Unbalance. Conference Record. // IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. (2006) pp. 1425-1429. DOI: 10.1109/IMTC.2006.328601.
6. Guilherme, Kenji Yamamoto, da Costa, Cesar, da Silva Sousa, João Sinohara. A smart experimental setup for vibration measurement and imbalance fault detection in rotating machinery. Case Studies in Mechanical Systems and Signal Processing. 2016. Vol. 4. pp. 8-18. DOI: 10.1016/j.csmssp.2016.07.001.

ГНУЧКИЙ МАНІПУЛЯТОР З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ ЯК КОМПОНЕНТ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗНАРЯДЬ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

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

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

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

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

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

Анотація – на сучасному етапі розвитку суспільства, з метою суттєвого підвищення продуктивності праці, в багатьох галузях народного господарства широко застосовуються різноманітні роботизовані системи. В останні роки доволі популярні електромеханічні маніпулятори шарнірного типу. У даній статті розглядається такий пристрій із дистанційно керованими незалежними елементами, який може бути використаний для здійснення різноманітних виробничих операцій. Особливо це стосується випадків, коли виконання поставленого завдання ускладнене або небезпечне для людини. У наш складний час, що пов'язаний з воєнними діями на території України, актуальною постає проблема механічного обробітку ґрунту на аграрних полях, які були заміновані. Тому проєктування, виготовлення та експлуатація відповідних роботизованих комплексів є важливою науково-прикладною задачею.

Ключові слова – гнучкий багатоланковий маніпулятор, дистанційне керування, роботизована система, знаряддя для механічного обробітку ґрунту, конструкційно-експлуатаційні параметри.

Постановка проблеми. На нинішньому етапі розвитку нашої країни, пов'язаному з війною на її території, однією з провідних галузей економіки є сільське господарство. Тому підвищення його ефективності становить актуальну проблему державного рівня. На її вирішення спрямоване велике число наукових досліджень. Через залишки вибухонебезпечних предметів на полях механічний обробіток ґрунту з використанням людської праці стає доволі небезпечним. Зазначені обставини обумовлюють гостру потребу в застосуванні належних роботизованих знарядь. Певним чином вирішити окреслене складне питання дозволяє проаналізований в даній публікації гнучкий маніпулятор з дистанційним керуванням.

Аналіз досліджень і публікацій. У монографії [1] у систематизованій формі подано загальні відомості щодо сучасних наземних роботизованих комплексів, їхньої конструкції та сфери застосування, викладено методи належних досліджень відповідних динамічних процесів. Видання [2] присвячено системно-структурному аспекту формалізації вибору елементів робототехнічних систем. Розглянутий у роботі [3] морфологічний аналіз дозволяє опрацьовувати значне число варіантів створюваних технічних об'єктів зі складових структурних компонентів. У статті [4] наведено удосконалення геометричної форми елементів дискових маніпуляторів. Гнучкий маніпулятор з дистанційним керуванням, представлений у патенті [5], призначений для виконання різноманітних технологічних операцій.

Метою публікації є опис конструкції та функціонування гнучкого маніпулятора з дистанційно незалежно керованими елементами як потенційного компонента роботизованої системи сільськогосподарських знарядь для механічного обробітку ґрунту.

Основна частина. Запропонований пристрій зображено на рис. 1. Його конструкція складається з основи 1, певної кількості однотипних елементів (сегментів) 2 та робочого органу 3. Зазначені компоненти з'єднані поміж собою електропровідним тросом, що є криволінійною віссю маніпулятора. На даному рисунку троса не видно, але конфігурацію у просторі вказаної осі відтворюють показані елементи.

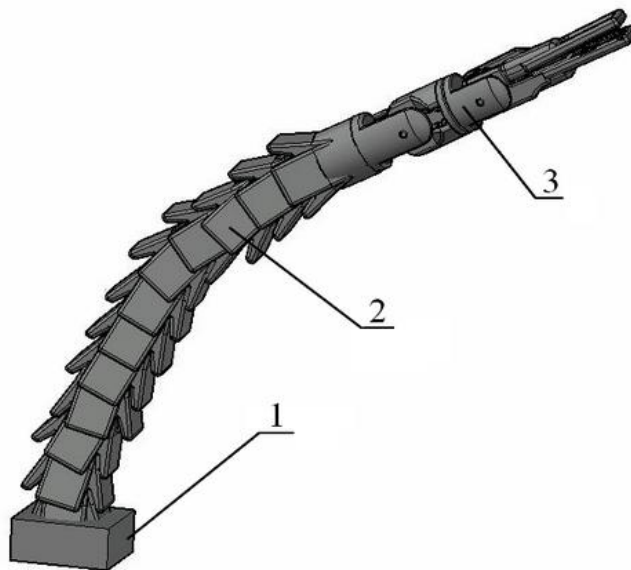


Рис.1 Загальний вигляд гнучкого маніпулятора:
1 – основа; 2 – сегмент; 3 – робочий орган

Необхідна їй форма визначається поточними положеннями сегментів, які керуються дистанційно бездротовим способом. При цьому кожен елемент має два обертальні ступеня свободи.

Джерело живлення маніпулятора знаходиться на мобільній платформі роботизованого комплексу у вигляді акумулятора або

генератора. Діелектричний сегмент 2 має корпус з чотирма пелюстками, на зовнішніх поверхнях яких розміщені електромагніти, а на внутрішніх – металеві пластини. Усередині корпусу є порожнина, де розташована система керування, що складається з блоку живлення, мікропроцесора, чотирьох мікроконтролерів і модуля прийому бездротового сигналу. Призначення мікропроцесора полягає в керуванні мікроконтролерами у відповідності з сигналами від модуля бездротового зв'язку. Живлення для блоку керування та електромагнітів подається завдяки осьовому тросу і сферичним контактам.

Основним компонентом практично кожного маніпулятора є його робочий орган. Ці засоби можуть бути доволі різного призначення, застосовуватися, наприклад, для захвату та перенесення предметів, змінювання їхньої орієнтації, виконання певних виробничих операцій тощо. Конструкція зазначених пристроїв теж достатньо багатоманітна. У даному випадку на рис. 1 показано робочий орган з достатнім числом ступенів рухливості кінематичного ланцюга внаслідок необхідної кількості його ланок.

Під час механічного обробітку ґрунту в сільському господарстві використовується велика номенклатура знарядь. Зокрема, це полицеві, чизельні та дискові. Наведений факт спричинено метою досягнення високих агротехнічних показників в умовах широкого розмаїття ґрунтів за механічним складом (піщані, глинисті, чорнозем тощо), їхньою структурою (тверді, пухкі, грудкуваті і т. д.), іншими властивостями (вологість, аерація, процент гумусу, попередні культури тощо). Адаптація до окреслених обставин зазвичай досягається необхідною конструкцією ґрунтообробних органів та раціональними режимами їхньої експлуатації. У першому випадку це певна форма, розміри й матеріал знарядь, а у другому – глибина та швидкість обробітку, потрібне позиціонування знарядь. Останнє в сучасній аграрній техніці, як правило, реалізується механічним чином з фіксацією найбільш пригідних розташувань для всього вказаного технологічного процесу.

Більш прогресивний напрямок застосування розглянутої сільсько-господарської техніки полягає у використанні відповідних роботизованих комплексів, основою яких може бути подібний до описаного вище маніпулятор з дистанційним керуванням. Їхньою перевагою є здатність гнучко керувати раціональним позиціонуванням ґрунтообробних органів згідно з наявними обставинами в режимі реального часу експлуатації. Це забезпечує не тільки підвищення отримуваних агротехнічних показників, а й економію енергетичних витрат та людської праці. Суттєвий фактор також складає уніфікація, тобто зменшення потрібної номенклатури відповідних сільськогосподарських знарядь за рахунок запропонованої адаптації. Але головним є збереження життя та здоров'я працівників аграрної сфери при роботі на постраждалих від воєнних дій в Україні полях.

Таким чином, викладеним вище проаналізовано деякі питання можливості та доцільності застосування гнучких маніпуляторів з дистанційним керуванням як складових компонентів роботизованих систем знарядь для механічного обробітку ґрунту.

Висновки. Подані в цій публікації відомості присвячено важливій та актуальній тематиці щодо впровадження нових засобів автоматизації в галузі сільського господарства. Це стосується роботизації знарядь для механічного обробітку ґрунту. Було описано гнучкий багатоланковий маніпулятор з дистанційним керуванням як базовий компонент зазначених технічних систем. Розглянуто основні належні їхні конструкційно-експлуатаційні параметри та характеристики. Особливо підкреслено доцільність запропонованого підходу в умовах наявності негативних наслідків щодо безпеки праці на аграрних полях нашої держави через воєнні дії на її території. Проаналізована вище методологія спрямована не тільки на розвиток науково-технічного прогресу, а і збереження здоров'я людей, зайнятих у сільськогосподарському виробництві в поточний складний період життя в Україні.

Бібліографічний список

1. Струтинський В. Б., Гуржій А. М. Наземні роботизовані комплекси. Житомир: ПП Рута, 2023. 497 с.
2. Кравець В., Кравець О., Лапковський С., Фролов В., Гладський М., Данилова Л. Системно-структурний аспект вибору елементів робототехнічних систем. *Технічні науки та технології*, 2023. № 4. С. 40–51. DOI: 10.25140/2411-5363-2023-4(34)-40-51
3. Кравець В. О., Кравець О. М., Фролов В. К., Лапковський С. В., Гладський М. М., Данилова Л. М. Використання морфологічних методів при проектуванні захватних пристроїв. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 2024. № 4. С. 70–75. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2024.4.8
4. Голова О. О., Залевський С. В., Воробйов О. М., Лазарчук-Воробйова Ю. В. Удосконалення геометричної форми незалежно керованого елемента маніпулятора. *Сучасні проблеми моделювання*, 2021. № 21. С. 91–97. DOI: 10.33842/22195203/2021/21/91/97
5. Ванін В. В., Воробйов О. М., Лазарчук-Воробйова Ю. В. та ін. Гнучкий маніпулятор з дистанційним керуванням. Патент на винахід № 129477. Бюл. № 19/2025. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1855235/>

ENGINEERING AND COMPUTER GRAPHICS AS A FOUNDATION OF STEAM-ORIENTED TECHNICAL EDUCATION

Oksana Budnyk Ph.D.^{1,2}

oksana.budnyk@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7940-2376

Hanna Shepel³, Senior Lecturer

h.shepel@kpi.ua, ORCID: 0000-0002-6993-5045

¹ Institute of Physics of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² University of Occupational Safety Management in Katowice, Poland, Katowice

³ National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Ukraine)

Abstract *This article investigates the implementation of STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics) principles in the academic discipline "Engineering Graphics" and "Technical Drawing and Computer Graphics". The subject is presented as an integrative educational tool that connects analytical thinking, spatial visualization, and technological proficiency. By incorporating tasks such as technical drawing, parametric modelling, and object visualization, the course provides a platform for developing students' creativity, engineering literacy, and multidisciplinary problem-solving skills. Practical examples of STEAM-oriented assignments are discussed.*

Keywords *STEAM education, engineering graphics, spatial thinking, creativity, technical drawing, 3D modelling, educational tasks, engineering training.*

Problem statement. Modern higher technical education requires innovative approaches to developing engineering competencies that integrate analytical thinking, creativity, spatial reasoning, and digital literacy. The disciplines "Engineering Graphics" and "Technical Drawing and Computer Graphics" have traditionally been viewed as tools for mastering the graphical language of engineering, primarily focused on adherence to standards and the preparation of technical documentation. However, with the emergence of the STEAM education paradigm, there is an increasing need to reconsider the content, instructional strategies, and integrative potential of these courses. It is now relevant to explore how these disciplines can serve as a foundation for combining science, technology, and engineering in the education of future professionals.

Analysis of Recent Research. Modern technical education increasingly demands a rethinking of the role of creativity, visual literacy, and interdisciplinary integration. The STEAM framework – an extension of STEM through the inclusion of the arts and cultural components – has received significant attention in recent educational discourse. It is based on the recognition that innovation and

creative solutions often arise at the intersection of disciplines and in response to real human needs [1]. Within this approach, the arts are not secondary to science and engineering but are equal contributors to the development of flexible, imaginative, and socially responsive thinking (Table 1).

This integrative vision has important implications for educational practice. Preparing professionals for the challenges of the 21st century requires more than technical accuracy and analytical reasoning; it also calls for the development of design-based problem solving, visual communication skills, and cultural awareness [2]. In the digital era – where the lines between technology, media, and design are increasingly blurred – the traditional division between technical and creative competencies is no longer valid.

Formulation of Goals. The goal of this study is to show how engineering graphics can support STEAM education by combining technical precision with creativity and spatial thinking. The study proposes ways to integrate visual, digital, and interdisciplinary tasks into the curriculum to better prepare students for modern engineering challenges.

The main part. This shift opens new perspectives for traditionally technical disciplines such as Engineering Graphics and Technical Drawing and Computer Graphics. These subjects can serve as effective platforms for implementing STEAM principles, as they combine graphical precision, digital modelling, and creative expression. Furthermore, the integration of digital tools into educational ecosystems enhances interdisciplinary connections and supports flexible, learner-centred approaches that meet the demands of contemporary technical education.

Table 1. Key Differences Between STEM and STEAM Approaches in Education

Characteristic	STEM	STEAM
Focus Areas	Science, Technology, Engineering, Math	+ Art, Creativity, Design
Type of Thinking	Analytical	+ Integrative, Creative
Problem Approach	Technological solution	+ Human-centred, aesthetic and functional
Application Examples	Technical drawings, calculations	+ Form modelling, product casing, visualization

The disciplines of Engineering Graphics and Technical Drawing and Computer Graphics play a central role in implementing the STEAM approach by combining the precision of technical reasoning with the creative potential of art. Studying projections, constructing drawings, and developing 3D models foster spatial imagination, geometric intuition, and aesthetic perception of form.

Example 1. Within the engineering graphics course, students complete tasks involving axonometric projection, which require precise calculations while enhancing their understanding of the relationship between two-dimensional and

three-dimensional object representations. This approach simultaneously cultivates analytical skills and spatial visualization.

Example 2. In the technical drawing and computer graphics course, students design 3D models using software such as AutoCAD. After constructing the basic geometry of a component (e.g., a shaft using a revolve operation), they refine the model by applying ergonomic and functional improvements – adding chamfers, fillets, or structural features. This encourages a shift from mechanical modeling to thoughtful, design-oriented technical creation.

One of the key competencies formed through graphical training is visual literacy – the ability to "read" and "generate" graphical information according to national standards that are standardized and universally applied in engineering practice. Technical drawing serves as the universal language of engineers; however, mastering it requires not only knowledge of rules for presenting and formatting graphic content but also strong spatial imagination, abstraction skills, and the ability to visually structure objects.

Example 3. Students analyse working drawings of mechanical parts based on 2D projections and construct corresponding 3D models. This exercise deepens their understanding of projection principles and their connection to real object geometry.

In Fig. 1, a solid model of a mechanical part is presented alongside a brief design specification, which serves as the starting point for the laboratory task. Students use the provided geometry and dimensions to reconstruct the model in a CAD environment, applying parametric and spatial modelling tools.

In Fig. 2, a projection drawing is shown, generated directly from the 3D model. The drawing includes standard views (front, top, and left), visible and hidden edges, dimensioning, and tolerancing — all according to technical drawing norms. This example demonstrates how engineering graphics enables bidirectional conversion between 2D and 3D formats and strengthens students' skills in both interpreting and producing documentation.

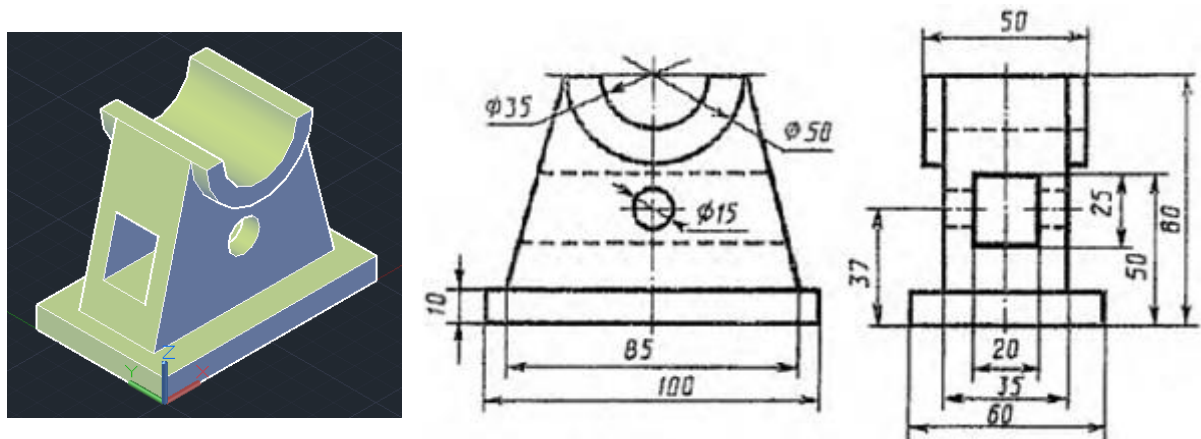


Fig. 1. Solid model and initial task for the laboratory assignment

Example 4. In practical assignments, students are given the reverse task: to create complete working drawings based on 3D models. This develops their

Parametric modelling is one of the key digital technologies that vividly demonstrates the integration of mathematical, engineering, and visual components. Working with parameters helps students not only build precise digital models but also develop design-oriented thinking – by analysing how dimensions and form affect functionality and appearance. Therefore, educational tasks involving parametric modelling naturally support the interdisciplinary logic of the STEAM approach.



Example 5. In the computer graphics course, students create flat geometric profiles with variable parameters – such as side lengths, fillet radii, and the number of holes. The model automatically updates when the values are changed, allowing them to explore various design configurations. This approach fosters

adaptive digital design skills that are essential in engineering, product development, and modern customizable manufacturing.

Example 6. Another example of implementing the STEAM approach is the task of restoring or repurposing existing technical devices using 3D modelling and printing tools. In the study [3], a broken DEWALT DCF610S2 screwdriver was redesigned by students and transformed into a testing device for car window lifting mechanisms. As part of the project, a new 3D model of the casing was created with geometry adapted to the altered function.

This case illustrates not only proficiency in digital tools, but also the application of design thinking, ecological awareness, and engineering creativity. It demonstrates how STEAM-oriented education empowers students to generate innovative solutions that extend the product lifecycle and reduce waste.

One of the promising directions for implementing the STEAM approach in courses such as Engineering Graphics and Technical Drawing and Computer Graphics is the introduction of project-based tasks that combine technical reasoning, visual literacy, aesthetics, and applied engineering. These tasks can simulate real-world scenarios and help students develop interdisciplinary skills.

The practical application of STEAM-based approaches in graphical disciplines is further demonstrated through real examples of student assignments. Samples of work produced within the Engineering Graphics and Technical Drawing and Computer Graphics courses are available on the website of the Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics at Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute [4].

Idea 1. Designing a device casing optimized for 3D printing. Students can be tasked with designing a protective casing for a conceptual electronic module, considering structural, ergonomic, and aesthetic requirements. The model would be created as a parametric sketch using CAD software, adapted for 3D printing, and supplemented with graphical documentation. The theme can be adapted – for instance, a casing for a mobile sensor, mini fan, or battery pack.

Idea 2. Redesigning a household or technical object for use in crisis conditions. As part of a learning project, students may be assigned the task of selecting or being provided with a basic household item (e.g., a handle, container, mount, or connector) and redesigning it to improve its usability under specific conditions such as limited mobility or emergency settings. Special attention should be given to accessibility for people with disabilities. The assignment encourages adaptation to real-life constraints – minimum material use, ease of production, user-friendliness, and modularity.

Idea 3. Microproject “One Object – Three Use Scenarios”. Students may be assigned the task of selecting a basic household item (e.g., a pen, spoon, lamp, or hanger) and designing three versions of it: one for a typical user, one for a child or elderly person, and one for a person with a disability. The project involves

adapting the form, dimensions, and functionality based on anatomical, sensory, and motor characteristics of different users. This type of assignment fosters critical thinking, empathy, and the ability to design human-centred engineering solutions.

Conclusions. The implementation of STEAM principles in courses such as Engineering Graphics and Technical Drawing and Computer Graphics opens new opportunities for developing interdisciplinary thinking among students of technical disciplines. By combining technical precision with a creative approach to form, function, and visualization, these courses can serve as effective tools for shaping modern engineering culture.

Project-based tasks, the integration of digital technologies (CAD/3D modelling), and the inclusion of human-centred design foster spatial reasoning, design sensitivity, and real-world problem-solving skills. The STEAM approach enables the transformation of traditional graphics education into a dynamic, meaningful, and relevant practice.

References

1. Xanthoudaki, M. (2017). From STEM to STEAM (education): A necessary change or 'the theory of whatever'? SPOKES #28, March 2017. National Museum of Science and Technology "Leonardo da Vinci", Milan, Italy. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/315893720>
2. Гриневич Л. М., Морзе Н. В., Вембер В. П., Бойко М. А. (2021). Роль цифрових технологій у розвитку екосистеми STEM-освіти. Інформаційні технології і засоби навчання, 83(3), 1–22. DOI: [10.33407/itlt.v83i3.4461](https://doi.org/10.33407/itlt.v83i3.4461)
3. Shepel H., Golova O., Mamontov P. (2024). A sustainable approach with 3D printing and SolidWorks. 13th International Scientific and Practical Conference "Applied Geometry, Engineering Graphics and Intellectual Property Objects", Vol. 13, pp. 81–84. Retrieved from <https://jagegip.kpi.ua/article/view/310156>
4. Samples of Student Assignments in Engineering and Computer Graphics. Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. Available at: https://geometry.kpi.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=619&Itemid=32

INITIAL DATA FOR DEVELOPING A MODEL OF THE PROCESS OF SEED FURROW FORMATION BY A WEDGE-SHAPED DISC

Mykola Volokha,¹ Ph., Senior Researcher

volmp@i.ua, ORCID: 0000-0002-0112-7324

Saveliy Kukharets,² Ph., Professor

info@vdu.lt, ORCID: 0000-0002-5129-8746

Sergey Zalevsky,¹ Ph.D., Associate Professor

zalsergkpi@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7411-1462

Olena Kolosova,¹ Ph.D., Associate Professor

mrsekolosova@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7795-6412

Oleksii Vorobiov,¹ Ph.D., Candidate

voroba.ua@gmail.com ORCID: 0000-0001-5314-1075

¹ National Technical University of Ukraine

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

² Vytautas Magnus University (Lithuania, Kaunas)

Abstract - In the conditions of domestic agriculture, especially in the soil protection system of tillage, when a significant part of crop residues remains on the soil surface, both disc and anchor coulters do not form a seed furrow with sufficient quality. The created seedbed is not dense enough, including due to soil shedding, which reduces the field germination of seeds and, as a result, crop yields. The article substantiates the initial conditions for developing a model of seed furrow formation when soil is compacted with a wedge-shaped disc.

Keywords - geometric modelling, seed furrow, wedge-shaped disc, soil reaction components.

Problem Statement. Special attention is paid to the quality indicators of the technological process of sowing crops, as they affect the germination of sown seeds, the labour intensity of crop care, and, most importantly, the final result - the yield. It has been established that in order to ensure the most favourable conditions for germination, seeds should be placed in a furrow with a compacted bottom and covered with loose soil. The compaction of the furrow bottom causes the inflow of moisture and nutrients to the seeds from below, which increases their germination, and the loose top layer above the seeds in the furrow does not allow moisture to evaporate and, at the same time, provides air flow to the sprouts, which also has a favourable effect on their growth and development [1, 2, 3].

The analysis of the existing technological methods of sowing crop seeds and the design of furrow forming implements has shown that modern implements

do not create favourable conditions for seed germination and do not work satisfactorily in domestic agriculture, especially in the system of soil conservation tillage, where up to half of the plant residues remain on the soil surface. For example, single or double disc coulters do not compact the bottom of the furrow sufficiently and place the seed unevenly over the depth, anchor coulters get clogged with plant residues, especially in direct drilling, and combined coulters have a complex design. Therefore, the problem of shaping the furrow profile, i.e. improving the furrow forming bodies, is relevant.

Analysis of Recent Research. The quality of the sowing process depends heavily on the technical sophistication of the implement used. Usually, this process is performed by the working bodies of seeders - coulters. Domestic and foreign scientists have proved that the process of sowing seeds includes several operations [4, 5]:

- formation of a furrow of the required depth and width with a compacted bottom;
- directing the seed to the compacted bottom of the furrow;
- random shedding of soil from the furrow walls and partial covering of seeds;
- forced additional soil recycling in the area of the row axis and its compaction.

In addition, according to Salo et al. (2024), seeds that fall to the bottom of a seed furrow at a certain speed after a vertical flight do not remain stationary at the point of contact with the furrow bottom, but bounce several times to different heights before remaining stationary, fixed by the soil. During the next downward fall, after bouncing off the furrow bottom, the seed in most cases falls on a layer of soil of a certain thickness that has covered the bottom as a result of shedding. As a result, the coulters form a furrow of a given depth, and the seeds are located in the furrow at different depths [4]. In addition, the “galloping” of seeds worsens the uniformity of their placement along the row [6].

Formulation of Goals (Task Setting). The aim of the study is to substantiate the initial data for modelling the technological process of seed sowing under the condition of forming a seed furrow with a wedge-shaped disc.

Main Part. Taking into account the disadvantages of disc and anchor coulters, we propose an improved sowing technology, in which the uniformity of the seed placement depth is increased by eliminating soil shedding from the walls to the bottom of the furrow, i.e. to the seedbed. In this case, a wedge-shaped disc is used as a furrow-forming tool.

A wedge-shaped disc consists of a cylindrical part with radius r_l and width b_l and a conical part with taper angle α , height h_k and width b_0 , i.e., the disc has the shape of an equilateral trapezoid in its periphery in radial section (Fig. 1).

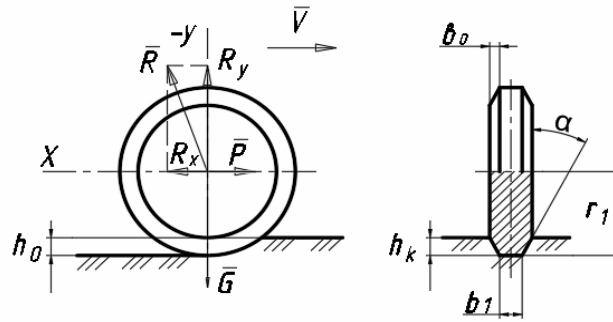


Fig. 1. Diagram of interaction between disc and soil

Rolling at a certain depth $h_0 \approx h_k$ under the influence of traction force P and deepening under the influence of vertical force G , the disc compresses the soil like a roller and forms a seed furrow with a depth h_0 . In the adopted xOy coordinate system, the disc is subjected to a reaction R from the soil (Fig. 2).

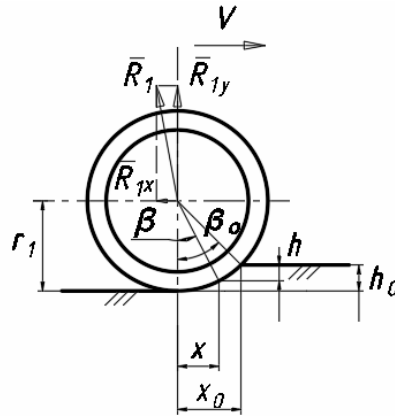


Fig. 2. Diagram of forces acting on the cylindrical part of the disc

The projections of R onto the coordinate axes Ox , Oy are as follows:

$$R_x = R_{1x} + 2R_{2x} \quad (1)$$

$$R_y = R_{1y} + 2R_{2y}, \quad (2)$$

where R_{1x} , R_{1y} are the reaction components of the cylindrical part, R_{2x} , R_{2y} - of the conical part.

The expressions for determining the reactions R_{1x} , R_{1y} are known from the classical theory of calculation and design of tillage rollers of agricultural machines [7]:

$$R_{1x} = qh_0^2 b_1 / 2 \quad (3)$$

$$R_{1y} = 2qb_1(2r_1)^{1/2} h_0^{3/2} / 3, \quad (4)$$

where q is the coefficient of soil volume compression, H/m^3

R_{1y} is the vertical component of the soil response, which is approximately determined by solving the integral:

$$R_{1y} = \int_0^{x_0} qhb_1 dx, \quad (5)$$

Given that the angle between the force vectors R_{1y} and R_1 is quite small, for practical calculations, we can take $R_{1y} \approx R_1$, similarly to $R_{2y} \approx R_2$, with sufficient accuracy.

In addition to the normal reaction N , the conical part of the disc is also subjected to the friction force F_T (Fig. 3), so the total reaction R_2 will be equal:

$$R_2 = N \tan \varphi \cos \alpha + N \sin \alpha = N \sin(\alpha + \varphi) / \cos \varphi, \quad (6)$$

where φ is the angle of friction of the soil on the disc.

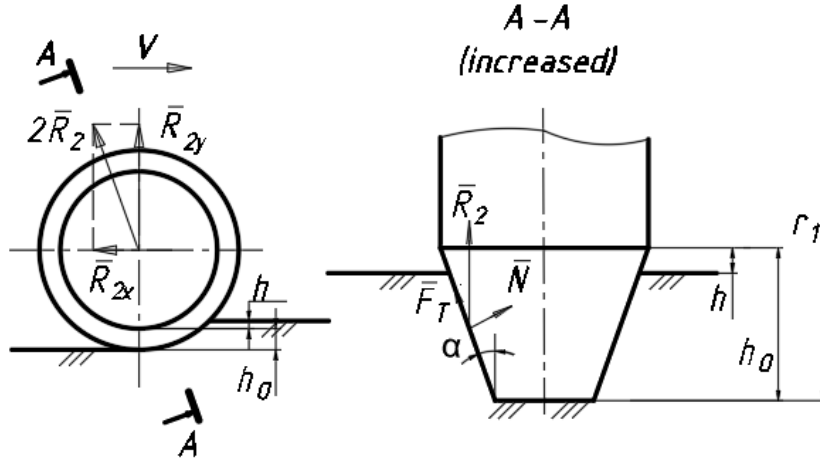


Fig. 3. Diagram of forces acting on the trapezoidal part of the disc

Let us represent the conical part of the disc by an infinitely large number of cylindrical discs of width db , each of which is subjected to the elementary normal reaction given above in (4). Then, in accordance with (4) and (5), the elementary reaction dR_2 acting on the element db of the conical part width:

$$dR_2 = 2qb(2r)^{1/2} h^{3/2} \sin(\alpha + \varphi) / 3 \cos \varphi, \quad (7)$$

where

$$h = b / \tan \alpha; r = r_1 - h_0 + b / \tan \alpha \quad (8)$$

Let's integrate expression (7) and expression (9), which is derived from (3):

$$dR_{2x} = qh^2 db \sin(\alpha + \varphi) / 2 \cos \varphi, \quad (9)$$

get R_2 и R_{2x} .

Conclusions. As a result of the conducted research, initial data were obtained for the development of a model of the process of forming a seed furrow by a wedge-shaped disk in the form of soil reaction to working surfaces. Further research is associated with specific calculations of parameters depending on soil conditions and size and weight characteristics of seeds.

References

1. Malasli, M. & Çelik, A. (2023). Effects of the disc and tilt angle of a single disc-type furrow opener of a no-till seeder on residue distribution and the furrow profile. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, Vol. 47: No. 6, Article 19. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3146>
2. Yablonskyi, P., Rogovskii, I., Virchenko, G., Borek, K., Volokha, M. & Golova, O. (2025). Geometric modeling of disc furrow profile. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 12(1), E1–E8. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).e1](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).e1)
3. Vanin, V., Volokha, M., Lazarchuk, M., Baskova, H. & Mikhlevska, N. (2024). Teoretychni doslidzhennya shchodo vdoskonalennya kombinovanoi sival'ky-kul'tyvatora dlya soyi. [Theoretical studies on improvement of the combined soybean seeder-cultivator]. *Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika*. Kyiv: KNUBA, 2024. Vyp. 105, 23-32. <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2023.105.23-32>. [in Ukrainian]
4. Salo, V., Vovnianko, B., Leshchenko, S. & Luzan, P. (2024). Improvement of quality indicators of sowing process. *Agricultural Machines*, 50, 113-119. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1398>
5. Parihar, D., Dogra, B. & Narang, M. (2023). Performance Evaluation of Different Furrow Openers for Sustainable Tillage: A Review. *Indian Journal of Ecology*, 50(4), 1133-1142. <https://doi.org/10.55362/IJE/2023/4025>
6. Zubko, V. M., Sirenko V. F. & Kuzina T. V. (2016). Analiz konstruktsii soshnykiv posivnykh mashyn. [Analysis of constructions coulter sowing machines]. *Engineering of nature management*, 1(5), 98–102. [in Ukrainian].
7. Letoshnev, M.N. (1955). Agricultural machines: theory, calculation, design and testing. M.: Gos. ed.-in the village of-x. lit.

РОЗРОБКА РОБОЧОГО КРЕСЛЕНИКА ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС» В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ: ОСОБЛИВОСТІ, АЛГОРИТМ І НАВЧАЛЬНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Баскова Г. В., ст. викладач,

baskovagv31@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3385-8404;

Колосова О. П., к. т. н., доцент,

mrselkolosova@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7795-6412;

Колесников А. В., студент.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»,

(Україна, м. Київ)

***Анотація** – у статті розглядається особливості виконання робочого кресленника деталі типу «Корпус» в умовах дистанційного навчання. Проаналізовано методiku подачі навчального матеріалу, складність теми, алгоритм виконання кресленника, а також значення цієї роботи у формуванні професійних навичок студентів. Окреслено доцільність використання типового завдання в навчальному процесі як зручної моделі для засвоєння курсу як інженерної, так і комп'ютерної графіки.*

Ключові слова – інженерна графіка, робочий кресленник, типова деталь, корпус, дистанційне навчання.

Постановка проблеми. Розробка ескізів і робочих креслеників типових деталей є базовим етапом вивчення курсу інженерної графіки. Серед них деталь типу «Корпус» займає особливе місце, оскільки є основною несучою деталлю багатьох механізмів. Вона поєднує в собі конструктивні, технологічні та експлуатаційні особливості, які вирізняють її серед інших типових деталей – гайки, вала, кришки, зубчастого колеса тощо [1, 2].

В умовах дистанційного навчання, коли студенти позбавлені можливості безпосереднього ознайомлення з реальною деталлю, процес засвоєння матеріалу ускладнюється. Виникає потреба в адаптованому, ефективному завданні, що дає змогу відпрацювати всі ключові етапи створення робочого кресленника.

Аналіз останніх досліджень і постановка завдання. Тема «Корпус» охоплюється в розділах курсу, присвячених ескізуванню та деталюванню загального виду. При традиційному навчанні студенти працюють з реальними об'єктами, що дозволяє сформувати просторове уявлення через зорове сприйняття.

У дистанційному форматі цю функцію виконує аксонометричне зображення деталі, яке доповнюється описом її основних конструктивних і технологічних параметрів.

Запропонована модель завдання — це спрощена універсальна деталь типу «корпус підшипника», яка дозволяє ефективно засвоїти етапи створення робочого кресленика навіть без фізичного зразка. Такий підхід сприяє формуванню системного уявлення про деталі та вдосконаленню навичок роботи з кресленнями.

За результатами спостережень та відгуками студентів, завдання на розробку кресленика корпусу сприяє формуванню цілісної картини процесу креслення та систематизації знань.

Це завдання не лише формує графічну грамотність, а й розвиває навички аналізу конструкції, логіки побудови та проектного мислення, що є основою інженерної діяльності.

В умовах дистанційного або заочного навчання воно виявляється найбільш зручним та ефективним інструментом, що дозволяє досягти високого рівня засвоєння матеріалу без втрати якості.

Основна частина. Деталь «Корпус» розглядають в розділах технічного креслення «Розробка ескізів і робочих креслеників типових деталей» та «Деталювання креслеників загального виду» курсу інженерної графіки.

В ході вивчення теми «Розробка ескізів і робочих креслеників типових деталей» кожна деталь розглядається в «натурі» і через зорове сприйняття її за допомогою стандартної системи зображень суміщається з площиною кресленика і оформляється за основними правилами виконання креслеників, згідно стандартів.

Виконання кресленика проводиться за стандартним алгоритмом, але з урахуванням особливостей форми та призначення деталі.

Основні етапи:

1. Ознайомлення з конструкцією деталі: визначення товщини стінок, фланців, виступів з отворами для кріплення, нарізових поверхонь, ребер жорсткості, фасок тощо.
2. Визначення кількості необхідних зображень: головний вигляд, додаткові види, розрізи.
3. Підготовка формату кресленика згідно зі стандартами.
4. Побудова зображень деталі у вибраній проєкції.
5. Нанесення розмірів, позначення шорсткості поверхонь, допусків та посадок.
6. Запис технічних вимог, що регламентують виготовлення та контроль.

Деталювання креслеників загального виду — це вже початковий етап творчої діяльності інженерна-конструктора. Алгоритм виконання робочого кресленика корпусу в ході читання кресленика загального виду або складального кресленика такий самий, але передбачає наявність певного

запасу знань за всіма попередніми розділами курсу і з темою «Складальний кресленик» включно.

В умовах дистанційного та заочного навчання студентів, тобто з відсутністю «натури», моделювання кресленика корпусу реалізується за наведеним завданням (рис.1), яке містить аксонометричне зображення деталі (рис.2) та її конструктивні, технологічні параметри.

Тема: «Виконання робочого кресленика деталі Корпус»

Завдання: виконати кресленик деталі «Корпус», на форматі А3, в масштабі 1:2, згідно варіанту (таблиця 1).

Матеріал: чавун СЧ21 ГОСТ 1412 – 85

Таблиця 1

Завдання

Номер варіанту		L ₁	L ₂	H	D ₁	D ₂	D ₃	B ₁	B ₂	B ₃	s	h	d ₁	d*	Р, крок нарізі
1	13	250	210	95	160	135	110	62	58	42	25	12	20	M10	1,5
2	14	255	210	95	165	142	120	64	60	44	25	13	22	M10	1,5
3	15	270	226	105	180	160	140	66	62	46	26	14	22	M12	1,75
4	16	260	216	100	170	150	130	64	60	44	26	13	22	M12	1,75
5	17	245	205	95	155	132	100	60	56	40	24	13	20	M8	1,25
6	18	250	210	95	160	135	110	60	56	40	24	12	20	M10	1,5
7	19	255	210	95	165	142	120	62	58	42	25	13	22	M10	1,5
8	20	270	226	105	180	160	140	64	60	44	26	14	22	M12	1,75
9	21	260	216	100	170	150	130	62	58	42	25	13	22	M12	1,75
10	22	245	205	95	155	130	100	58	54	38	24	13	20	M8	1,25
11	23	250	210	95	160	136	110	58	54	38	24	12	20	M8	1,25
12	24	255	210	95	165	142	120	60	56	40	25	13	22	M10	1,5

d* - номінальний діаметр кріпильної деталі (шпилька ДСТУ ГОСТ 22034:2008)

Довідкові матеріали

Розміри фасок c_1 і c_2 обирати за ГОСТ10948-64* з ряду нормальних довжин: (0,5; 0,6; 0,8; 1; (1,2); 1,6; 2,0; 2,5; (3); 4;...

Рекомендується вибирати $c_1 \leq 0,1D_3$ та $c_2 \leq 0,1 \cdot d_1$.

Глухий нарізевий отвір під шпильку

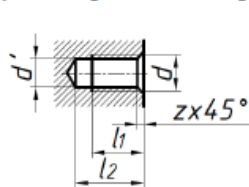


Рис.1

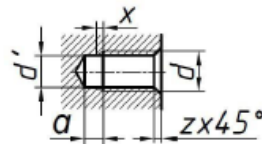


Рис.2

$$d' = d - 1,0825p; \quad d' \approx 0,85d$$

$$l_1 = 1,25d + x$$

$$l_2 = l_1 + a$$

Параметри нарізевого отвору

Таблиця 2

d, діаметр нарізі	$\approx d'$	l_1	l_2
8	6,8	12,5	16,5
10	8,5	15,5	19,5
12	10,2	18,5	23,5

Таблиця 3

Р, крок нарізі	x	a	z
1,25	1,8	4	1,6
1,5	2	4	1,6
1,75	2,5	5	1,6

Рис.1 Завдання до теми «Робочий кресленик деталі Корпус»

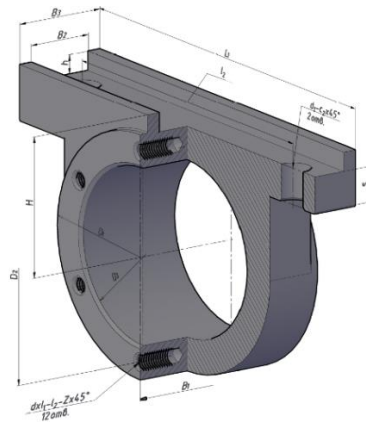


Рис.2. Аксонометричне зображення корпусу.
Основні геометричні параметри

Завдання дозволяє на практиці розглянути питання зображення корпусної деталі, визначення параметрів її конструктивних елементів, нанесення розмірів з урахуванням технологічних процесів її виготовлення та набуття навичок роботи зі стандартами та іншою довідковою літературою.

Воно містить:

1. Значення розмірів параметрів корпусу, наведено за варіантами в таблиці 1.
2. Довідкові матеріали.
3. Аксонометричне зображення корпусу підшипника з нанесеними на ньому параметрами розмірів (рис.2).
3. Зразок кресленика, на якому показано особливості оформлення робочого кресленика корпусу (рис.3).

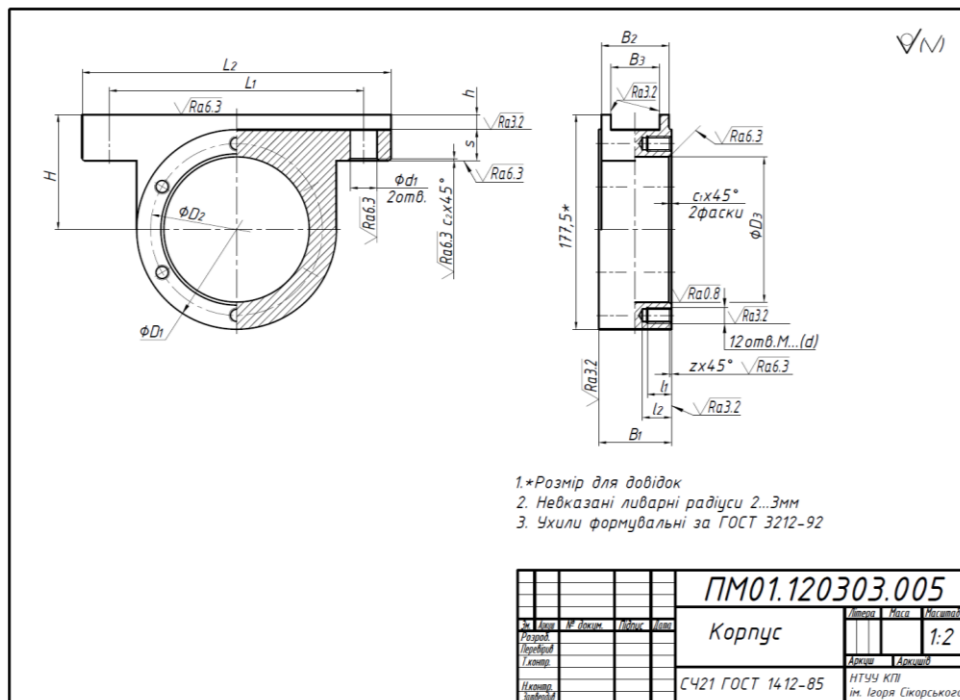


Рис. 3. Робочий кресленик деталі Корпус

Вибір запропонованої в завданні конструкції корпусу підшипника (рис.2) обумовлений тим, що подібні форми поверхонь, характерні конструктивні елементи для з'єднання з іншими деталями та його установка найбільш поширені в техніці.

Така модель є однією з найбільш простих і базовою для моделювання креслеників подібних деталей.

Наведена конструкція дозволяє показати деякі особливості зображення та оформлення креслеників корпусних деталей, тобто наявність елементів з різними формами поверхонь, різними технологічними процесами їх виготовлення.

На рис.1 в таблиці 1 задані такі конструктивні та технологічні параметри, як діаметри отворів під підшипник D_3 , кріпильні вироби d_1 та d , фаски тощо.

Для визначення розмірів глухих нарізевих отворів за стандартом наведено таблицю 2 і таблицю 3 з відповідними рисунками та формулами.

Розміри фасок на деталі (рис.1) відповідають наведеному ряду нормальних довжин за стандартом і таблиці 3.

У ході виконання цього завдання студент продовжує вивчати правила нанесення розмірів на робочих креслениках, поглиблюючи розуміння важливих аспектів, пов'язаних із моделюванням корпусних деталей.

Однією з характерних особливостей корпусу як деталі є поєднання оброблених і необроблених поверхонь, що пов'язано з технологічним процесом виготовлення.

Також при моделюванні корпусної деталі слід враховувати необхідність раціонального використання розмірних ланцюгів для забезпечення точності у ключових зонах, зокрема в зонах встановлення підшипників, осей, ущільнень.

У результаті студент не просто наносить розміри, а навчається аналізувати конструкцію деталі з позиції її реального виготовлення, що є важливим кроком до формування інженерного мислення.

Робота з корпусною деталлю розвиває вміння працювати в межах стандартів і практичних вимог виробництва, формує відповідальне ставлення до технічної точності та читання кресленика.

Висновки. Запропоноване навчальне завдання, адаптоване до умов дистанційного та заочного навчання, ефективно сприяє формуванню і закріпленню практичних навичок студентів у виконанні ескізів та робочих креслеників деталей. Особливу увагу приділено вивченню специфіки моделювання корпусної деталі, яка відіграє ключову роль у конструюванні машин та механізмів.

Чітко структурована схема подання завдання, що включає аксонометричне зображення деталі та опис її конструктивних елементів, дозволяє значно оптимізувати процес опрацювання матеріалу. Це особливо

актуально в умовах вивчення курсу інженерної графіки за скороченою програмою, коли обмежено обсяг аудиторного часу.

Такий підхід забезпечує логічну послідовність дій, дає змогу зосередитись на головних етапах розробки кресленика корпусу та уникнути зайвого перевантаження студента.

Завдання має високу практичну цінність, оскільки закладає фундамент для подальшої навчальної і професійної діяльності студентів — виконання курсових, дипломних проєктів, а також для реальної конструкторської роботи. Здобуті навички орієнтовані на сучасні вимоги виробництва та стандарти технічної документації.

Окрім того, завдання легко інтегрується в навчальний процес із використанням інформаційно-комп'ютерних технологій, що робить його зручним для вивчення дисциплін «Інженерна графіка» та «Комп'ютерна графіка» в умовах дистанційного та заочного формату. Така універсальність і адаптивність змісту дозволяє ефективно використовувати матеріал незалежно від форми навчання та рівня попередньої підготовки студентів.

Бібліографічний список

1. Гетьман О.Г. Виконання робочих креслеників деталей за креслеником загального виду: навчальний посібник для студентів теплоенергетичного факультету усіх форм навчання / О.Г. Гетьман, Н.В. Білицька, Г.В. Баскова. – К.: НТУУ КПІ ім. І. Сікорського, 2016. – 144 с.
2. Ванін В.В. Інженерна графіка. Розробка ескізів та робочих креслеників деталей: навчальний посібник / В.В. Ванін, О.М. Воробйов, А.Є. Ізволенська, Н.А. Парахіна. – К.: КПІ ім. І. Сікорського, 2016. – 106 с
3. Хаскін А.М. Креслення. — К.: Вища шк., 1985. — 440 с.
4. ДСТУ ГОСТ 2.109:2013. Єдина система конструкторської документації. Основні вимоги до креслень.
5. ДСТУ ISO 128-1:2005. Технічні креслення. Загальні принципи представлення. Частина 1: Вступ та терміни.

COMPARISON OF CLASSICAL AND DIGITAL DRAWING METHODS: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Kolossova O., PhD in Engineering, Associate Professor
mrsekolossova@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7795-6412;
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Ukraine, Kyiv)

Abstract. *This article explores the key differences between classical (manual) and digital (computer-based) drawing methods. A comparative analysis is conducted in terms of accuracy, efficiency, cost, flexibility of changes, and learning. The article also outlines the areas where both approaches remain relevant.*

Keywords. *Computer-aided design (CAD), classical drawing methods, digital drafting, engineering graphics, design automation, AutoCAD, SolidWorks, 3ds Max, hybrid design approach, technical education, virtual reality, augmented reality, MAXScript, Simulation API, spatial design.*

Problem Statement. Modern technical design requires a constant choice between traditional and the latest drawing methods. Classical methods, despite their long history and certain advantages, are gradually losing relevance due to limited speed, accuracy, and high labor intensity. At the same time, digital methods, although they provide speed and accuracy, have their challenges, particularly in the context of learning, adapting to software, and possible limitations in the creative part of design.

In light of this, the problem arises of integrating classical and digital methods into a unified system that will provide maximum efficiency and convenience for engineers and designers. It is important to find an optimal balance between hand drawing methods that foster the development of engineering thinking and spatial imagination, and digital tools that allow for rapid editing, complex calculations, and the creation of highly accurate models.

Moreover, a significant problem is the adaptation of educational programs to new technologies. Many technical specialties still rely on traditional methods as the foundation for learning, while graduates face difficulties when transitioning to digital tools, which complicates their professional training process. Effective strategies need to be developed for integrating new methods into the educational process, as well as ways to preserve the value of classical methods in the training of future professionals.

Thus, the problem lies in finding a balanced approach to using classical and digital drawing methods that would ensure efficiency, accuracy, and creative potential at all stages of design. It is also important to address the issue of education and training personnel to use modern technologies, while still preserving the foundations of classical engineering graphics.

Drawing is the foundation of technical design and the visualization of ideas in engineering, architecture, and design. With the shift from drawing boards to

computers, the tools have changed, but the fundamentals of geometric thinking remain unchanged. This article investigates whether it is worth abandoning classical methods in favor of digital ones, or whether effective integration is possible.

Analysis of recent research. Recent studies have increasingly focused on the automation of engineering design processes in CAD environments. In particular, Cenaj and Leti [1] proposed the use of AutoCAD scripts for optimizing spatial planning and reducing the number of manual operations in drawing. In SolidWorks, the Simulation API is actively used to automate analyses, significantly speeding up calculations and standardizing design solutions [2]. Meanwhile, in the 3ds Max environment, approaches to automating routine tasks using MAXScript are being developed, opening opportunities for personalizing workflows and reducing labor costs [3]. All of these approaches reflect a trend towards shifting from manual to algorithmic interaction with digital design systems.

Classical drawing methods involve the use of paper, pencils, rulers, compasses, templates, and drawing boards. These tools have formed the basis of technical illustration for centuries and are still used in the educational process. Manual drafting allows for deeper immersion in the construction process, promoting the development of spatial imagination. Students gain a better understanding of design principles when they construct geometric figures by hand, apply dimensions, and perform projections.

Moreover, classical drawing does not require electronic equipment, making it accessible in any conditions. It develops attentiveness, precision, and a consistent workflow. On the other hand, making changes to such drawings often requires redrawing the entire sheet, which complicates editing. When creating a large number of similar drawings, the time investment grows exponentially. Archiving and sharing such drawings between professionals also becomes more challenging. Nevertheless, manual graphics remain indispensable in the early stages of creative exploration or when producing sketches. They are actively used in artistic modeling, architectural sketching, and situations where the individuality of the image is important. Therefore, classical drawing methods retain their value, especially as a foundation for learning and developing engineering thinking.

Digital drawing methods are based on the use of computer programs such as AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360, and ArchiCAD, which offer extensive capabilities for creating 2D and 3D models. The main advantages of such methods are automation and precision. With the help of coordinate grids, snapping tools, and templates, users can quickly construct geometrically accurate objects with minimal error probability. It is easy to make changes in digital drawings: altering a single parameter can automatically update the entire model. This is particularly important in engineering projects where revisions are frequently required. Furthermore, digital drawing allows for storing drawings in digital archives, sharing them via the internet, and integrating them with other software. For example, drawings from AutoCAD can be exported to CAM systems for direct manufacturing of parts on CNC machines.

Programs like SolidWorks provide simulation, load analysis, and even photorealistic visualization capabilities. These features significantly expand the boundaries of classical drafting. However, digital methods require technical equipment—a computer, licensed software, and user training. They demand basic knowledge of computer literacy and the logic of digital object construction. In some cases, beginners may lose sight of the essence of geometric constructions due to excessive automation. Therefore, it is important to combine digital drafting with the study of geometric fundamentals and engineering graphics. Despite this, digital methods are becoming the standard in modern design activities due to their versatility, scalability, and compatibility with other digital technologies. They significantly increase an engineer’s productivity and the quality of the final result, while opening up new possibilities in production automation.

The integration of classical and digital drawing methods is a promising direction that allows for maximizing the advantages of each approach. For example, in the early stages of design, hand-drawn sketches can be used to rapidly develop ideas and maintain creative freedom. Meanwhile, in more detailed phases of a project or when precise measurements and complex models are required, digital tools are employed. This integration helps to avoid the limitations that may arise from using only one method. Modern CAD systems also support hand sketching as part of the design process—for instance, AutoCAD allows users to create sketches by hand and then refine them in a digital environment. The future development of this integration can be seen in areas such as virtual reality (VR) and augmented reality (AR), enabling engineers and designers to combine real-world sketches with digital models for a more accurate representation of the final product. A comparison of the main characteristics of classical and digital drawing methods is presented in Table 1.

Table 1.

Comparison of Classical and Digital Drawing Methods by Key Criteria

Criterion	Traditional drawing	Digital drawing
Accuracy	High accuracy depends on the skill of the person. Errors may occur due to human factors	Automatic accuracy provided by software. Lower likelihood of mistakes
Speed	Significant limitations in speed, especially with large volumes of drawings.	Faster execution due to automation and the ability to copy and edit elements.
Reusability	Do not allow direct reuse; each element requires manual redesign.	Easy to reuse elements, create templates, and make copies.
Initial Costs	Low costs for equipment (paper, pencils, rulers, etc.).	High initial costs for software and computer hardware.
Learning	Require significant time to learn the basics of geometry and drafting.	Require training in software usage, but reduce the need for geometric skills.

Conclusions. Classical and digital drawing methods have their unique advantages and disadvantages, and their effective use depends on specific tasks and stages of design. Despite their limitations in speed and accuracy, classical

methods remain indispensable in the early stages of the creative process, when flexibility and freedom in developing ideas are crucial. They help to better understand the fundamentals of geometry, projection, and precision.

On the other hand, digital drawing methods significantly increase efficiency in the subsequent stages of design, where high precision, speed of execution, and the ability to edit are important. Software such as AutoCAD, SolidWorks, or Fusion 360 allows for complex calculations, simulations, and visualizations, making the design process more integrated and convenient. These methods also offer convenience in data storage and exchange, which is especially important in modern manufacturing processes and global teams.

However, it is important to note that technologies, even the most advanced, should not replace the fundamentals of classical drawing, especially in the learning process. Without understanding the basics of geometry and engineering graphics, even the most powerful software cannot be used to its full potential. An engineer who masters both classical and digital methods can quickly adapt to the demands of different projects and environments.

The conclusions of this article suggest that the optimal approach is the integration of both methods. Using classical methods for the creative stage and digital methods for technical realization allows for the best results. This combination helps to maintain engineering thinking at the proper level while reducing task execution time and improving accuracy and quality of the final product.

Furthermore, the development of cutting-edge technologies such as virtual and augmented reality opens new horizons for the combined use of classical and digital methods. For example, the ability to interactively view drawings in VR or AR could significantly improve the understanding and evaluation of projects at all stages of their creation. In the future, engineers and designers will be able to use hybrid methods that combine hand drawing and modern digital technologies to achieve the best results in design.

References

1. Cenaj A., Leti M. AutoCAD Scripting for Efficient Spatial Design and Drafting // ResearchGate. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/382636656_AutoCAD_Scripting_for_Efficient_Spatial_Design_and_Drafting (дата звернення: 23.04.2025).

2. Automation using SOLIDWORKS Simulation API // SOLIDWORKS Blog. 2015.

URL: <https://blogs.solidworks.com/solidworksblog/2015/03/automation-using-solidworks-simulation-api.html> (дата звернення: 23.04.2025).

3. Automating Tasks Using MAXScript in 3ds Max // Pluralsight. URL: <https://www.pluralsight.com/courses/automating-tasks-maxscript-3ds-max-1826> (дата звернення: 23.04.2025).

A MODERN VISION OF THE APPLICATION OF GEOMETRIC MODELING METHODS IN THE REMOTE FORM OF EDUCATIONAL

Lebedieva Olha, senior lecturer

meganom8@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1569-5987

Nadkernychma Tetiana

t_nadker@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9147-0512

Nor Oleksandr, student gr. ОФ-41МП,

nor.oleksandr@lil.kpi.ua

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Ukraine, Kyiv)

Abstract – the article discusses the current situation and prospects for the use of software products in distance, asynchronous and blended learning in higher education institutions, in particular in the field of mechanical engineering. The emphasis is placed on the peculiarities of perception when using multimedia tools, their disadvantages and advantages from the point of view of specialists from different countries

Keywords – distance learning, asynchronous learning, perception, multimedia, animated geometric modelling, software for geometric modelling

Problem Statement. The Covid-19 pandemic and the military invasion of Ukraine have led to a change in the organisation of the educational process in higher education institutions and led to an urgent transition from traditional full-time education to distance learning in synchronous, asynchronous or mixed forms.

In this regard, there is a need to find new approaches and methods in teaching technical disciplines, select and improve innovative technologies for use in distance learning in higher education institutions that would ensure high quality training.

Analysis of Recent Research. In the opinion of Ovsyannikova V. V. (2016), the existing experience of using the newest technologies in higher technical education in the online format shows that they are sufficiently effective and have broad prospects for development and application. In addition, it can be reasonably predicted that even after the circumstances of forced use of distance learning are eliminated, such education will be in demand, as its advantages have become apparent: visibility, convenience, accessibility, the ability to choose the schedule and form of education or work.

According to the theory of multimedia learning developed by psychologist Richard E. Meyer (2001), optimal perception is achieved when verbal and visual materials are synchronised in time. Such conditions in the presentation of educational materials and in the development of new devices may be achieved by using animated geometric modelling with appropriate text or voice commentary.

With Clark, Ruth Colvin (2003) delve deeper into the study of perception issues in e-learning and develop recommendations for software developers.

Grabchenko A.I., Dobroskok V.L. (2009) devoted much attention to the mathematical apparatus of 3D modelling for solving problems of computer-aided industrial design (design). The use of computer modelling enables us to see an object that does not yet exist, obtain its geometric characteristics, study its physical properties by setting up numerical experiments, make the necessary changes, prepare production and, finally, manufacture the object. CAD/CAM/CAE systems serve as a tool for solving these tasks. One of the elements of such systems is a mathematical model of the geometry of the designed object.

Romanko I. I. (2021) analysed the didactic problems and prospects of using information technologies in education. According to Romanko I. I. (2021), informatisation of education will ensure the transition from illustrative and explanatory teaching methods and mechanical assimilation of factual knowledge to mastering the ability to independently acquire new knowledge using modern methods of information presentation, means of information interaction with objects of the subject environment created on the basis of multimedia technologies, "virtual reality", using the capabilities of peripheral equipment of modern computing.

Formulation of Goals (Task Setting). The purpose of this article is to demonstrate some approaches to the use of multimedia in higher education institutions in teaching engineering disciplines.

Main Part. Geometric modelling is considered as a branch of mathematical modelling that includes the description of geometric images and the performance of certain operations on them in two-dimensional, three-dimensional or multidimensional space.

The theoretical basis of geometric modelling is differential and analytical geometry, topology and branches of computational mathematics. Geometric modelling studies methods of constructing curved lines, surfaces and solids, methods of performing various operations on them various operations and methods of managing numerical models.

For example, G. Raikovska (2018) interprets geometric modelling as "a set of operations and procedures that include the formation of a geometric model of an object and its transformation in order to obtain the desired image of the object and determine its geometric properties".

According to Boyko V.A. (2015), geometric modelling is a basic function of engineering and design practice, which is widely used in professional design and development activities and in the system of professional training of engineering and technical specialists. At the present stage of development, this type of modelling involves the necessarily use of computer modelling.

Raikovska H. O. (2018) concludes that the formation of metalworking machines today puts forward a lot of fundamental questions to the designer. The clarity and simplicity of the forms are intended to optimise the working conditions and use modern technology of machine tools production.

The main conditions for the rational ergonomic design of products in the machine-building industry include the necessary consideration of the specific components of the human-technology-environment system that manifest themselves in the functioning of the product. These features include: the type of product and its operation; the characteristics of the human body; and environmental conditions. However, for the large majority of consumers, the ergonomics of any product is easily determined.

Grabchenko A.I., Dobroskok V.L. (2009) devoted much attention to the mathematical apparatus of 3D modelling for solving problems of computer-aided industrial design (design).

The use of computer modelling enables us to see an object that does not yet exist, obtain its geometric characteristics, study its physical properties by setting up numerical experiments, make the necessary changes, prepare production and, finally, manufacture the object.

CAD/CAM/CAE systems serve as a tool for solving these tasks. One of the elements of such systems is a mathematical model of the geometry of the designed object.

Polischuk, M.M., Tkach M.M. (2021) presented the history of CAD systems, the main functions of CAD/CAM/CAE systems, as well as the Architecture and principles of CAD construction and Structural subsystems in an expanded manner.

The list of CAD systems is quite numerous and is constantly being enriched by new applications.

The most famous are the following:

- SolidWorks: 3D modelling and creation of associative drawings, a system for engineering calculations SolidWorks Simulation (strength calculations, etc.), SolidWorks Motion (kinematics and dynamics of technical systems), CAMWorks module for SolidWorks (creation of programmes for computer numerically controlled machines), and Intermech (design and technological preparation of production - Cadmech and Techcard).

- AutoCAD is a two- and three-dimensional computer-aided design and drawing system that includes a full set of tools for complex three-dimensional modelling (solid, surface and polygonal modelling is supported). AutoCAD allows you to get high-quality visualisation of models using mental ray rendering.

The programme also implements 3D printing management (the modelling result can be sent to a 3D printer) and support for point clouds (allows you to work with 3D scanning results). However, it should be noted that the lack of three-dimensional parameterisation does not allow AutoCAD to compete directly with engineering CAD systems such as Inventor, SolidWorks and others.

- Inventor (Autodesk) 3D CAD software for creating and studying the behaviour of digital prototypes of products and parts. Developed by Autodesk. Created for 3D design of mechanics, product emulation, and toolkit creation.

Conclusions. As practice has shown, the use of computer geometric modelling in CAD systems allows us to organise a number of training courses at a qualitatively new, modern level to organise a number of training courses in professional training in the the field of mechanical engineering.

References

1. Ovsyannikova V. V. (2016). Distance learning in the educational process of a higher educational institution. Bulletin of Zaporizhzhia National University. Pedagogical sciences. 2, 56-60 [in Ukrainian].
2. Richard E. Mayer (2001). Multimedia learning. New York: Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-78749-9
3. With Clark, Ruth Colvin (2003). E-learning and the science of learning: Proven recommendations for consumers and developers of multimedia learning. San Francisco, CA: Jossey-Bass/Pfeiffer, ISBN 978-0-7879-6051-3
4. Romanko I. I. (2021). Distance education of the XXI century: world and national practice. Education for the XXI century: challenges, problems, prospects: materials of the III international scientific and practical conference (16-17 November 2021, Sumy). Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko, 2021. Vol. 1. pp. 141-143 [in Ukrainian].
5. Raikovska H. O. (2018). Design and ergonomics in the professional training of specialists in the speciality "industrial engineering". Pedagogical Sciences Issue, 139, 192-199 [in Ukrainian].
6. Boyko V.A. (2015). On the Content Characteristics of the Concept of Computer Geometric Modelling. Scientific Journal of the National Pedagogical Dragomanov University. Series 5: Pedagogical sciences: realities and prospects: [collection of scientific papers] Issue 51, 26-32 . [in Ukrainian].
7. Grabchenko A. I., Dobrovskok V. L. (2009). Theory of 3D modelling. Textbook National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute." - Kharkiv: NTU "KhPI", 230 p. (in Ukrainian)
8. M.M. Polishchuk, M.M. Tkach (2021). CAD-systems and multimedia Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. 112 c [in Ukrainian].

СИМУЛЯЦІЯ БІОМОЛЕКУЛЯРНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ

Кальваровська В. М., студентка, факультет біотехнології і біотехніки
bluepantiesss@gmail.com

Надкернична Т. М., старший викладач
t_nadker@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9147-0512

Лебедева О. О., старший викладач
meganom8@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1569-5987

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

***Анотація** - у статті розглянуто методи комп'ютерної симуляції в дослідженнях у сучасній біології та медицині, які відіграють важливу роль у вивченні молекул та їх взаємодій, зокрема біомолекул, таких як білки, ДНК, РНК та ліпіди. Симуляції молекулярної динаміки в поєднанні з інженерно-комп'ютерною графікою дозволяють моделювати та візуалізувати біомолекулярні процеси на атомному рівні, що дає змогу дослідникам аналізувати молекулярні структури та їхню динаміку. Візуалізація таких процесів є потужним інструментом для розуміння молекулярних механізмів, що важливо для розробки нових лікарських засобів та терапевтичних стратегій. У цій статті розглядаються основні методи та підходи до візуалізації біомолекулярних процесів, їх застосування в симуляціях молекулярної динаміки, а також використання графічних моделей для вивчення молекулярних взаємодій та змін у часі*

Ключові слова - біомолекули, білки, молекулярні моделі, симуляція молекулярної динаміки, комп'ютерна графіка, візуалізація молекул, рендеринг поверхонь, молекулярні інтеракції

Постановка проблеми. У сучасному світі наука стрімко розвивається завдяки використанню новітніх технологій. Однією з найперспективніших галузей є симуляція біологічних процесів, яка дозволяє досліджувати складні механізми живих організмів за допомогою комп'ютерних моделей та графіки. Такі підходи допомагають науковцям імітувати взаємодії клітин, органів і навіть організмів, створюючи умови для аналізу, які неможливо досягти в традиційних лабораторіях.

Цей метод дозволяє не лише вивчати біологічні системи, а й проводити експерименти, які в реальних умовах світі можуть бути небезпечними, дорогими або технічно складними. Наприклад, моделювання

поширення захворювань, створення ліків або дослідження генетичних змін стало набагато ефективнішим завдяки розвитку симуляцій [1].

Формулювання цілей. Метою цієї роботи є огляд сучасних методів комп'ютерної графіки, які застосовуються для візуалізації біомолекулярних процесів, їх застосування в дослідженнях та розробці інноваційних рішень.

Основна частина. Моделювання та симуляція спрямовані на використання систематичних кількісних даних зображень для побудови прогнозних моделей біологічних систем, які можна змодельовати за допомогою комп'ютера. Це дозволяє відокремити молекулярні механізми від ефектів форми та геометрії.

Моделювання біологічних процесів не лише дозволяє аналізувати складні системи організму, але й відкриває нові горизонти для дослідження на молекулярному рівні. Основна мета молекулярної візуалізації — підтримати наше розуміння багатого, складного матеріального світу, зробивши молекулярні структури, їхні властивості та взаємодію зрозумілими. Крім того, цей метод спрямований на підтримку «раціонального» дизайну нових молекул, таких як фармацевтичні активні сполуки, або налаштовані речовини зі специфічними властивостями.

Сфера біомолекулярної візуалізації - графічні зображення структури, взаємодії та функціонування біомолекул, біомолекулярних комплексів, молекулярних машин і цілих біологічних функціональних одиниць, які зустрічаються в біологічних клітинах. До того ж молекулярна візуалізація доповнює набір інструментів біоінформатики, надаючи засоби для інтегрованого візуального аналізу даних послідовності та структури.

Симуляція біомолекулярних процесів є важливою складовою частиною сучасної науки, що допомагає досліджувати молекулярну динаміку, взаємодії білків, ДНК, РНК, та інших макромолекул. Використання інженерно-комп'ютерної графіки дозволяє візуалізувати ці процеси та підвищувати точність аналізу, що має значення для розробки нових лікарських препаратів.

Сучасна візуалізація біомолекул базується на кількох основних підходах до моделювання.

1. Атомістичні моделі (Рис. 1), які забезпечують точне зображення окремих атомів молекул і хімічних зв'язків між ними. Найчастіше такі моделі використовуються для симуляції молекулярної динаміки, де кожен атом описується як окрема частинка, яка рухається згідно з законами класичної механіки [2].

2. Молекулярна динаміка (MD), яка описує рух атомів у часі під дією міжатомних сил, та використовується для аналізу динаміки білків, ДНК, РНК, ліпідів тощо;

3. Метод Монте-Карло (Рис. 2), що використовуються для дослідження рівноважних станів молекул шляхом статистичного аналізу;

4. Квантово-механічні розрахунки, що забезпечують високу точність у розрахунках енергій і електронних структур, але мають високу обчислювальну складність.

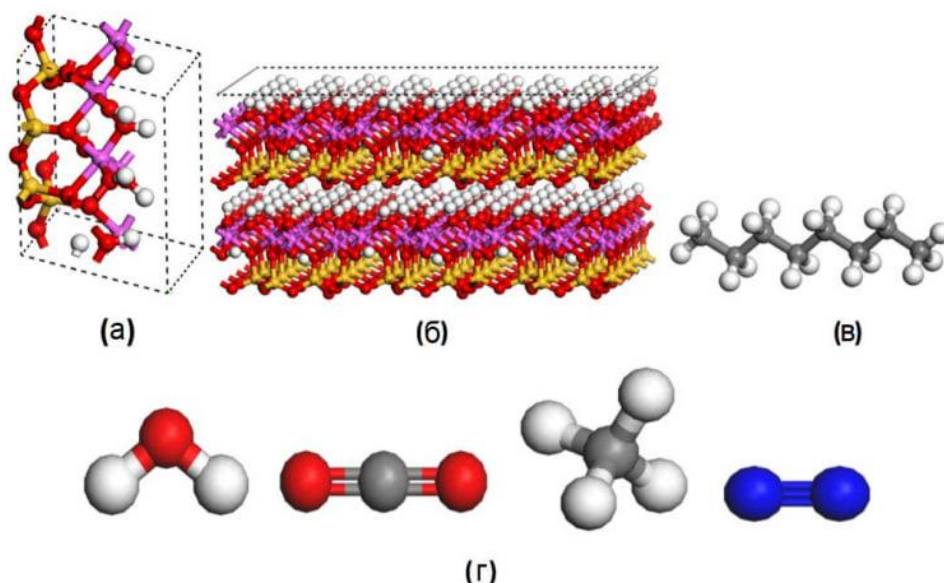


Рис. 1. Молекулярні структури, отримані в результаті симуляції:
а) тривимірна модель молекули з показом просторової орієнтації атомів,
б) структурна схема молекулярної решітки, в) лінійна форма молекул,
г) відображення молекул в різних формах

Атомістичні моделі забезпечують високий рівень точності завдяки детальному опису міжатомних взаємодій. Вони широко застосовуються для вивчення структури, функцій і динаміки біомолекул [4, 5]. Ці моделі дозволяють проводити обчислення, які неможливо реалізувати експериментально, наприклад, прогнозувати поведінку молекул в екстремальних умовах. Завдяки застосуванню молекулярної динаміки та інших методів, можна глибше зрозуміти механізми біохімічних процесів. Атомістичні моделі є універсальними і підходять для досліджень у фармакології, біотехнології, молекулярній біології та інших галузях.

Головним обмеженням є висока обчислювальна складність, що вимагає значних ресурсів для моделювання великих систем або тривалих процесів. Часові масштаби симуляцій зазвичай обмежуються наносекундами чи мікросекундами, що може бути недостатньо для повного вивчення повільних біологічних процесів. Крім того, точність результатів залежить від параметрів моделі та обраних потенціальних функцій, які можуть спрощувати реальні фізико-хімічні явища. Атомістичні моделі вимагають ретельного калібрування і не завжди враховують всі квантово-механічні ефекти через складність їх розрахунків.

Поверхневі моделі включають в себе відображення форми молекули через її межі. Найпопулярнішим прикладом є ван-дер-вальсова поверхня, яка визначає простір, зайнятий атомами [3].

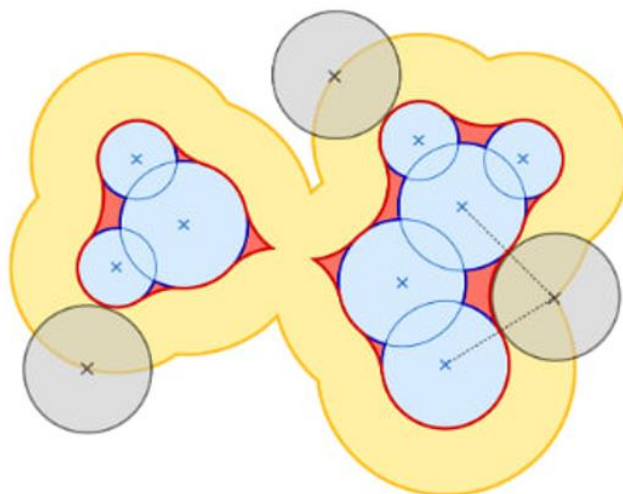


Рис. 2. Двовимірна схема поверхні vdW (ван-дер-вальсова) (синя), SAS (жовта) і SES (червона). SAS і SES визначаються сферичним зондом (сірий), який котиться поверхнею VdW.

Завдяки такій візуалізації [3] можна аналізувати фізичні властивості молекули, наприклад, її об'єм, можливість утворення зв'язків з іншими молекулами та структурну геометрію.

Ілюстративні моделі (Рис. 3) спрощують візуалізацію, дозволяючи користувачам зосередитись на ключових особливостях молекули, таких як функціональні групи чи активні ділянки.

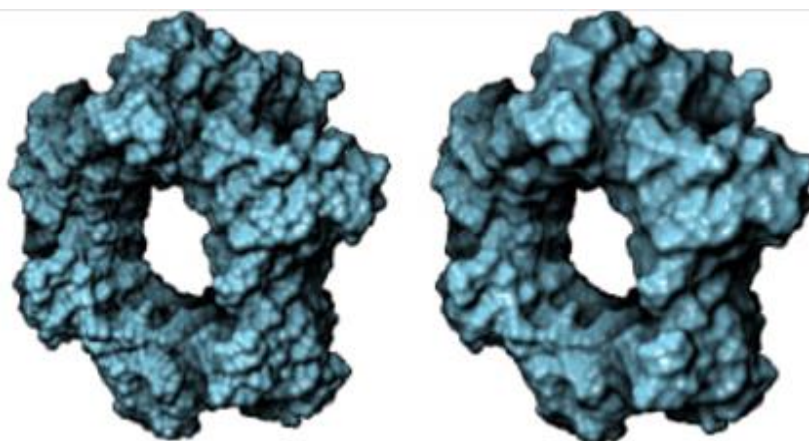


Рис 3. Структурні та поверхневі моделі білка з різною деталізацією

Методи візуалізації біомолекул можна поділити на кілька основних категорій в залежності від типу молекулярної інформації та рівня деталізації, який вони забезпечують. Зокрема, розрізняють:

- Рендеринг молекулярних поверхонь
- Ілюстративні та абстрактні моделі для великих молекул
- Візуалізація молекулярної динаміки за допомогою анімацій

Ці підходи забезпечують точний аналіз структури та динаміки біомолекул, сприяючи розробці нових лікарських засобів, вивченню генетичних змін і прогнозуванню поведінки молекул у різних умовах.

Висновки. Симуляція біологічних процесів за допомогою комп'ютерних моделей і графіки є потужним інструментом сучасної науки. Вона дозволяє аналізувати складні системи на молекулярному рівні, розширюючи наше розуміння фундаментальних принципів біології. Завдяки таким технологіям можливе створення ефективних інновацій у фармакології, генетичній інженерії та біотехнологіях. Подальший розвиток комп'ютерних методів моделювання відкриває нові горизонти для наукових досліджень та забезпечує більш глибокий погляд на функціонування живих організмів. Використання методів такого моделювання та візуалізації не обмежується лише біологією або медициною. Їх потенціал для впровадження в галузі матеріалознавства, хімії та екології відкриває нові можливості для міждисциплінарних досліджень.

Бібліографічний список

1. Olson A. J. Perspectives on structural molecular biology visualization: from past to present, *Journal of Molecular Biology (JMB)*, Volume 430, Issue 21, 19 October 2018, Pages 3997-4012
2. Хоменко О. В., Захаров М. В., Гопинченко М. О. Аномістичне моделювання формування та тертя матеріалів із нанорозмірними поверхнями. *Журнал фізичних досліджень*. Т. 26, №1, 2022.
3. Van Der Waals Surface. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2004
4. Seán I. O'Donoghue. Grand Challenges in Bioinformatics Data Visualization Front. Volume 1 - 2021 | <https://doi.org/10.3389/fbinf.2021.669186>
5. A three component-based van der Waals surface vertically designed for biomolecular recognition enhancement. *Electrochimica Acta*. Volume 376, 20 April 2021, <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.138025>

ON THE QUESTION OF CHANGES TO THE GENERAL RULES FOR THE DEVELOPMENT AND EXECUTION OF DESIGN DOCUMENTATION

Hnitetska Tetiana, Ph.D., Associate Professor,
gnitetsk@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9682-6488

Hnitetska Halyna, Ph.D., Associate Professor,
gnitetsk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2864-3142

Berehovskiy Oleksii, Student,

Kyrylo Karpukhin, Student.

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

Abstract – After Ukraine joined the World Trade Organization, the task of its integration into the international community arose. One of the priority areas in resolving these issues is the harmonization of standardization systems. This is solved by introducing international and European standards through the national standards of Ukraine. In this regard, the standard DSTU 1.7:2015 (ISO/IEC Guide 21-1:2005, NEQ; ISO/IEC Guide 21-2:2005, NEQ) National standardization was developed. Rules and methods for adopting international and regional regulatory documents, which regulates the procedure for performing this work. That is, significant changes are taking place in the modern national standardization of Ukraine. This article provides a brief overview of the first group of standards relating to the general provisions for the development and execution of design documentation. Familiarization of students with the provisions of these standards at the beginning of studying the course of engineering graphics lays the foundations of their engineering education.

Keywords – national standards of Ukraine, international standardization system, design documentation, professional competencies of students.

Statement of the problem. One of the main links in the creation of technical products is the development of design documentation. The level of execution of design documents is significantly reflected in the terms and labor intensity of the production of designed technical objects, their quality, reliability of operation and other characteristics of the product. The quality of execution of technical documentation largely depends on the standards that regulate this activity. The use of standards in the development of design documentation allows the use of a single technical language and terminology, which ensures mutual exchange between enterprises both within the country and between partner countries without its re-registration. Therefore, it is important to reflect in the educational

process changes in the modern system of standardization when studying by students of educational institutions of the technical direction of courses in engineering and graphic disciplines, which form the professional competencies of students starting from the first years of their studies.

Analysis of recent research. The International Organization for Standardization has developed international standards (ISO), which are not mandatory for use in the development of design documentation in any country in the world. They often operate on an alternative basis. The level of application of international standards in the development of design documentation in a country depends on the solution of the issue of its integration and cooperation with international organizations.

Formulation of goals. Since Ukraine has become a member of the World Trade Organization, the issue of its integration into the international community is quite relevant. It is also being addressed in the area of the creation and formatting of technical documentation. Largely, the quality of creating this documentation is influenced by the use of relevant standards. Currently, the transition and harmonization of state standards of Ukraine with the international standardization system is underway. Therefore, it is advisable to consider this issue in terms of standards that relate to the general rules for formatting design documentation, which are studied in courses of engineering and graphic disciplines.

Main Part. Currently, the standards GOST 2.301, GOST 2.302, GOST 2.303, DSTU GOST 2.305, GOST 2.109, etc. are no longer valid. Instead, the DSTU ISO standards [1 - 8] are valid, which have been in effect in Ukraine on an alternative basis since 2005. That is, current recommendations on the use of sizes of drawing sheets for use in design documentation are regulated by the DSTU ISO 5457:2006 standard [1]). Compared to the DSTU GOST 2.305:2013 standard, the sizes of drawing sheets have remained the same, but the margins have changed (left 20 mm, top, right and bottom - 10 mm). The location of drawing sheets should be only landscape (A4 drawing sheets is located portrait). The current standards for basic inscriptions are DSTU GOST 2.104:2006 and DSTU EN ISO 7200:2005. The DSTU ISO 5455:2005 standard [2] regulates a number of scales (see Table 1).

Table 1

Scale series			
Category	Recommended scale ranges		
Enlargement scales	50:1	20:1	10:1
	5:1	2:1	
Full size scale			1:1
Reduction scale	1:2	1:5	1:10
	1:20	1:50	1:100
	1:200	1:500	1:1000
	1:2000	1:5000	1:10000

The DSTU ISO 128-24:2005 standard establishes the types of lines used on drawings [3]. The DSTU ISO 3098-6:2007 standard establishes the recommended font for technical drawings [4]. According to the DSTU ISO 5456-2:2005 standard [5], two methods of orthogonal projection are used – first angle projection and third angle projection. In this case, it is recommended to use a graphic symbol on technical drawings to indicate the method of projection (Fig. 1)..

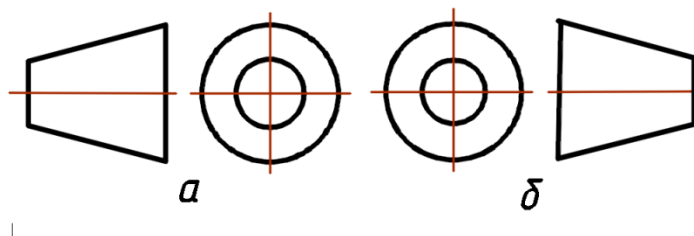


Fig. 1 Image of graphic symbols of the projection method

The graphic symbol indicates the use of the selected projection method (a – first angle projection, b – third angle projection), which is indicated in the corresponding column of the main inscription (above its upper right corner). The first angle projection method is used in the vast majority of countries and is considered European. The depiction of species is regulated by the standards DSTU ISO 128 - 30:2005 [6] and DSTU ISO 128 - 34:2005 [7]. The requirements for the location of the main views are the same as in the canceled standard DSTU GOST 2.305:2013. According to the specified DSTU ISO standards the views:

- *views that are determined by the chosen projection method;*
- *extended views;*
- *partial views;*
- *special position of views;*
- *local views.*

Extended views are views that are not placed in direct projection relation with the main image. In this case, the direction of projection is indicated by a reference arrow on the corresponding image and is indicated by a capital letter of the Latin alphabet. The size of this letter should be 1.4 times larger than the height of the dimension number on this drawing. In this case, it is recommended to give preference to the font type B without inclination in accordance with DSTU ISO 3098:2005 [4]. Other fonts of this standard can be used.

Partial views are used when it is necessary to show the design features of the part, but the image of the full view is impractical. The partial view is limited by a thin solid line with zigzags (type 01.1.19 in accordance with DSTU ISO 128 – 24:2005 [3]). If the image of the view is symmetrical, it can be limited to parts of the axes of symmetry (Fig. 2). In this case, the long-dashed line of symmetry is

denoted by a special graphic symbol of symmetry (thin parallel lines). The length of these lines is h , and the distance between them is $0.3 h$ (h is the height of the inscription).

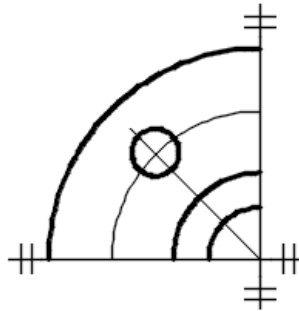


Fig. 2 Using a graphic symbol indicating image symmetry

Special position of views are views obtained in positions other than the selected orthogonal projection method to obtain the main views. If necessary, they can be rotated on the drawing. In this case an arc arrow is used in the view designation and the angle of rotation is indicated (Fig. 3). The height and radius of the arc arrow are shown in Fig. 3 (h is the height of the inscription).

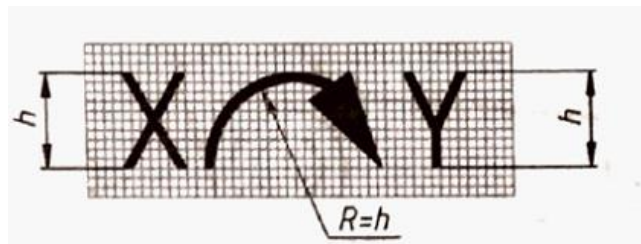


Fig.3 Arc-shaped arrow indicating image rotation

Local views are images of a separate type of symmetrical parts. They are performed by projection in the third angle projection, regardless of the method selected on the drawing for obtaining other images. The image of the local view is performed with a solid thick line of type 01.2. The local view is placed next to the main view and connected to it with a thin long-dashed-dotted line of type 04.1.

General rules for sections and cross-sections are regulated by the standards DSTU ISO 128 – 40:2005 and DSTU ISO 128 – 44:2005 [8]. When applying sections and cross-sections an imaginary plane is used, which is called a section. The positions of the cutting planes on the images are shown with a long-dashed-dotted thick line (according to DSTU ISO 128 – 24:2005 [3]) of type 04.2. If necessary, the line of the cutting plane can be additionally shown completely with a long-dashed thin line of type 04.1. The direction of view is indicated by section arrows. For mechanical engineering drawings, arrows with an angle of 30° are mainly used. A capital letter of the Latin alphabet is placed next to the arrow parallel to the main inscription of the drawing. Its size should be 1.4 times larger than the height of the dimensional number on this drawing. Above the image of

the section or cross-section, its designation is placed, consisting of two letters that denote the cutting plane, written through a hyphen. Sections are divided into:

- *sections made with one cutting plane;*
- *sections made with two (or more) cutting planes:*
 - *the cutting planes are parallel (Fig. 4);*
 - *intersecting secant planes (then the planes not parallel to the main projection planes are returned to coincide with the position of the projection planes selected by the main projection method) (Fig. 5);*
- *local sections.*

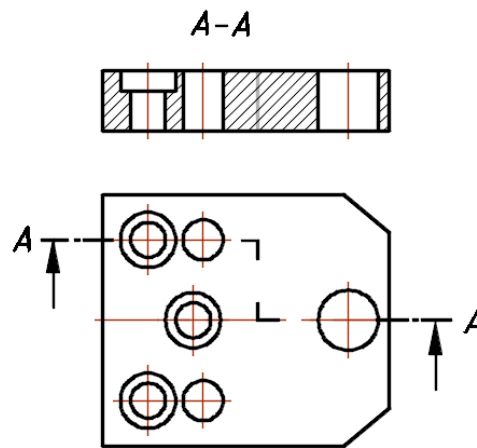


Fig. 4 The section is made by two intersecting parallel planes

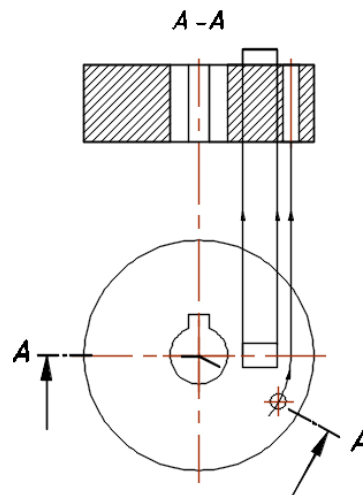


Fig. 5 The section is made by two intersecting cutting planes

Sections are used revolver in the relevant view and extended. Sections and extended sections may not be in a projection relationship with the main image. In that case, they are marked. If they are rotated, then the marking must be supplemented with an arc arrow and the angle of rotation must be indicated.

Conclusions. This article briefly presents material on changes in the design of design documentation in relation to the first group of standards. Changes in standards relating to other sections of design documentation and used in the

educational process are planned to be covered in subsequent publications. Changes to the national standardization system relating to the rules for design documentation require constant attention as the process continues. Teachers of technical educational institutions are faced with the task of familiarizing themselves with the changes taking place in the national standardization system and timely introducing them into the educational process [9, 10]. Timely implementation of innovations in the educational process allows students to obtain knowledge that meets the modern requirements of society and be successful in their chosen profession.

References

1. DSTU ISO 5457:2006 Technical product documentation. Drawings. Dimensions and drawing sheets.
2. DSTU ISO 5455:2005 Technical product documentation. Technical drawings. Scales.
3. DSTU ISO 128-24:2005 Technical drawings. General principles of presentation. Part 24. Lines on mechanical engineering drawings.
4. DSTU ISO 3098-6:2007 Technical product documentation. Fonts. Part 6. Cyrillic alphabet.
5. DSTU ISO 5456-2:2005 Technical drawings. Projection methods. Part 2. Orthogonal images.
6. DSTU ISO 128-30:2005 Technical drawings. General principles of presentation. Part 30. Basic provisions of views.
7. DSTU ISO 128-34:2005 Technical drawings. General principles of presentation. Part 34. Views on mechanical engineering drawings.
8. DSTU ISO 128-44:2005 Technical drawings. General principles of presentation. Part 44. Sections of mechanical engineering drawings.
9. Hnitetska T.V., Hnitetska H.O. (2022) Course "Engineering and Computer Graphics" for students of technical universities. "Information Technologies and Learning Tools" , 89-101, 2022-09-29 DOI:10.33407/itlt.v90i4.4738 [in Ukrainian]
10. Hnitetska T.V., Hnitetska H.O. (2020) Interactive course "Descriptive geometry and engineering graphics" for distance learning. Applied geometry and engineering graphics, No99, 79 - 89. DOI:10.32347/0131-579x.2020.99.79-89 [in Ukrainian]

FUNCTIONAL REDESIGN WITH SOLIDWORKS AND 3D PRINTING

Pavlo Mamontov, PLC Engineer

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

Mercedes Benz Vans (USA)

Hanna Shepel,

h.shepel@kpi.ua, ORCID: 0000-0002-6993-5045

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

Abstract – *The article demonstrates how additive manufacturing can enhance the functionality and ergonomics of industrial testing devices. A redesign case of a control unit housing for heavy industry is presented, emphasizing form optimization, power portability, and connector limitations. The design process included concept analysis, comparison with existing solutions, modelling in SolidWorks, and adaptation for 3D printing.*

Keywords – *3D printing, industrial design, additive manufacturing, device housing, SolidWorks, redesign, rapid tooling.*

Problem statement. In modern engineering practice, the ability to rapidly and effectively redesign or replace components of a technical system is essential. Devices frequently need to be adapted for new working conditions, space constraints, or operational improvements. Traditional manufacturing methods are often limited by time, tooling, and production costs. In contrast, 3D printing offers a flexible and efficient solution, enabling quick customization of components in response to real-world requirements. It allows engineers to modify the configuration, shape, and internal structure of a part without significantly increasing development time or resources. This approach is particularly relevant for enclosures and functional housing in industrial devices, where ergonomics, size, power supply, and mounting constraints often vary. This paper presents a case study in redesigning housing for an industrial control unit, demonstrating how 3D modelling and printing support the creative engineering process.

Analysis of Recent Research. Modern engineering increasingly demands faster and more creative approaches to problem-solving. Over the past decade, 3D printing has become a widely adopted tool across nearly all engineering domains—from aerospace to automotive industries. Additive manufacturing enables rapid prototyping, ergonomic optimization, and miniaturization of existing systems while maintaining functionality and structural integrity [1].

3D printing, as a form of additive manufacturing, constructs physical objects layer by layer based on digital CAD models. This method offers flexibility in producing complex and customized components quickly and cost-effectively,

especially for low-volume applications. Unlike traditional prototyping systems, modern 3D printers are more accessible and seamlessly integrated with CAD environments, making them well-suited for tasks such as functional prototyping, small-batch manufacturing, and fast part replacement [2]. At the provided link [3], viewers can watch a video that demonstrates how 3D printing is used for rapid tooling – producing molds, patterns, and dies for low- to medium-volume manufacturing. The video outlines the workflow from CAD design to the practical use of the printed tool in real production settings.

Formulation of Goals. These examples illustrate the broad potential of 3D printing in both household and industrial settings, from part replacement to rapid tooling. In this paper, we focus on a practical redesign case involving an industrial testing device enclosure. The goal was to reduce the overall dimensions of the housing, improve its ergonomics, and integrate a portable power supply – while preserving compatibility with a fixed central connector. The redesigned model was developed using SolidWorks and prepared for 3D printing, demonstrating how additive manufacturing can be used not only for prototyping, but also for functional, customized product improvement.

The main part. The subject of this case study is a control unit used for testing industrial control panels. The original device featured an outdated and oversized plastic enclosure that was no longer optimal for use. The main constraint in redesigning the housing was the presence of a fixed HARTING central connector measuring 145.6×55 mm, which could not be altered due to standardized mounting requirements. Additionally, the locking mechanism required significant force to secure, necessitating strong and well-aligned attachment points.

The objective was to improve the form factor of the device without compromising its functionality. The updated design included the following improvements:

- Reduced external dimensions to enhance portability and usability in constrained workspaces;
- Internal optimization of component placement, including LED indicators and control elements;
- Integration of a 9V battery slot, allowing the device to function independently from a stationary power source;
- Refined geometry of mounting brackets and wall thickness to ensure durability under mechanical stress.

The entire redesign was executed in SolidWorks [4], where the geometry was modelled parametrically for flexibility. Attention was paid to tolerances relevant for FDM or SLA 3D printing, and materials were selected based on the required mechanical strength and thermal resistance. After completing the model, prototypes were printed and tested to verify fit, ergonomics, and component access. Minor adjustments were introduced, and the final version was prepared for deployment.

The print settings were configured to achieve a balance between mechanical strength and printing efficiency. Some selected parameters are illustrated in Fig. 1–2. The part was printed using FDM technology with the following key parameters:

- Layer height: 0.2 mm; first layer – 0.24 mm, for better adhesion to the build plate.
- Wall structure: 3 perimeters and 3 solid layers for both top and bottom surfaces, ensuring sufficient mechanical strength.
- Infill: 15% grid pattern with aligned rectilinear structure, balancing strength and material efficiency.
- Print speed: up to 140 mm/s for perimeters and infill, with reduced speeds for external walls and first layers to improve surface quality.
- Acceleration and autospeed: Acceleration for external perimeters was limited to 5000 mm/s² to reduce vibrations, while infill and general motion reached up to 10,000 mm/s². Autospeed limited the max print speed to 140 mm/s.
- First layer speed: set to 100 mm/s for reliable adhesion.
- No ironing or extra top surface smoothing was used, prioritizing mechanical functionality over aesthetic finish.

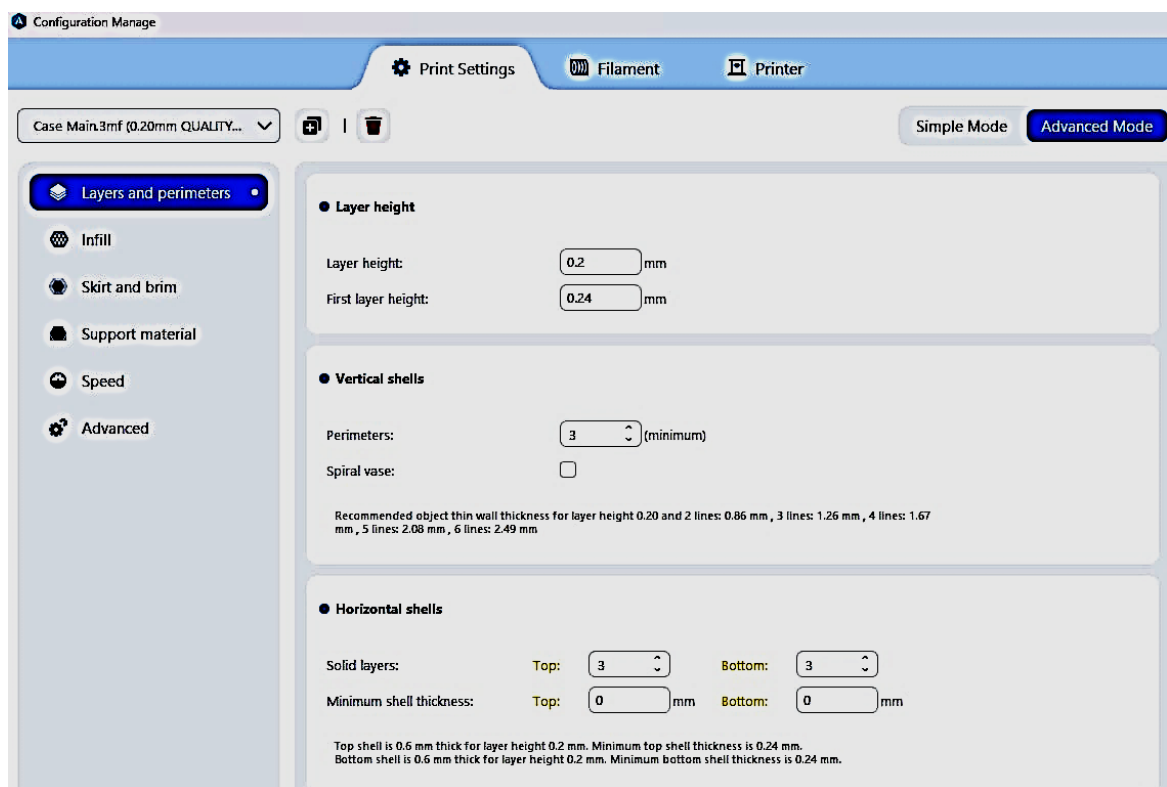


Fig. 1. Layer height and wall structure parameters

The selected parameters represent a typical balance for technical enclosures: moderate wall thickness, low infill density, and reduced speed for outer surfaces to improve accuracy. The model was printed using the Anycubic

Kobra 3 Combo FDM 3D printer [4], equipped with a high-speed CoreXY system and multi-material capabilities. Its stable structure and auto-levelling system ensured high dimensional accuracy and adhesion throughout the process.

As printing material, Polymaker PLA filament (1.75 mm) was used [5]. This filament is known for its high rigidity, excellent surface quality, and low warping, making it a reliable option for functional prototyping of enclosures.

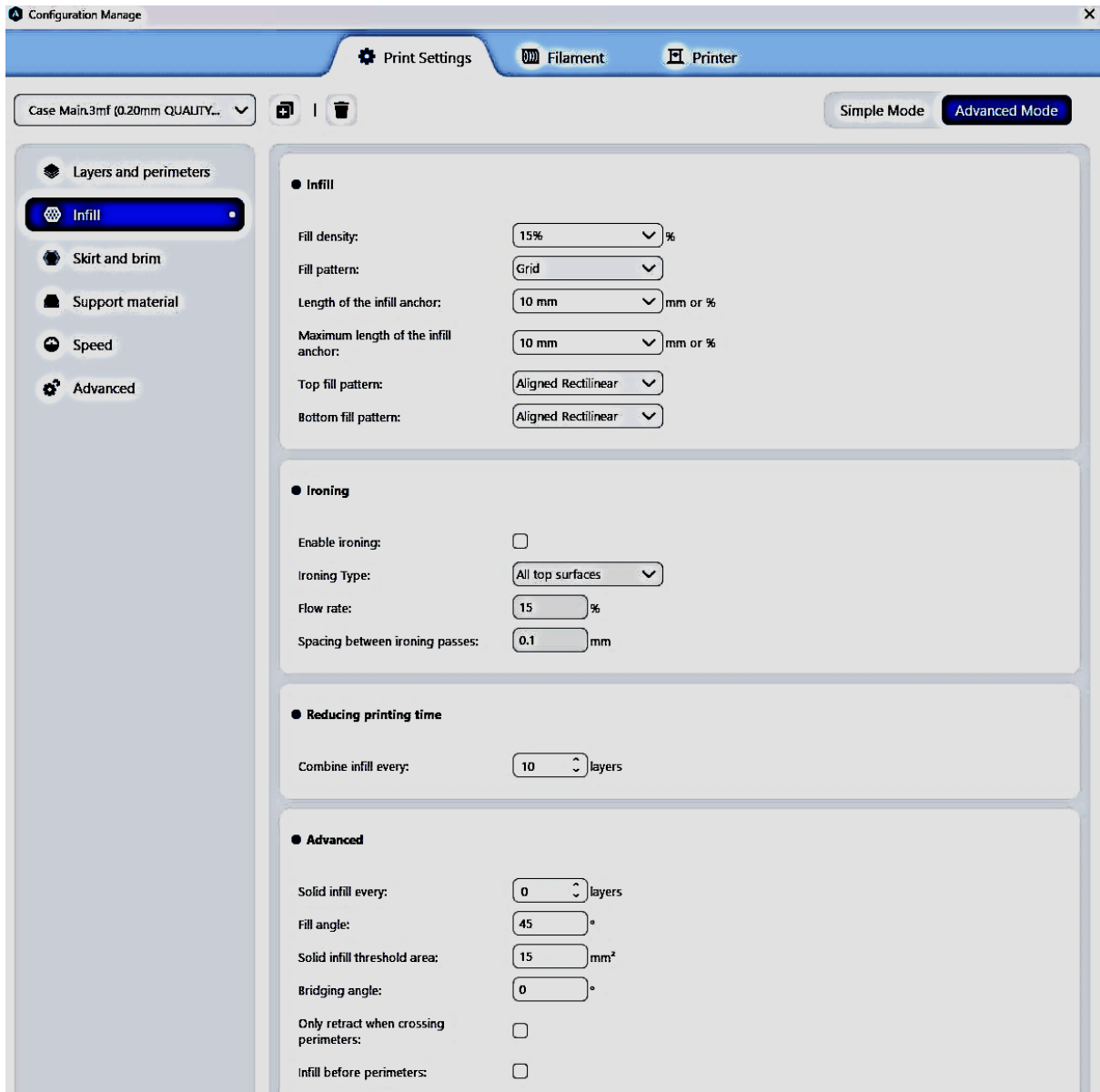


Fig. 2. Infill configuration with 15% grid pattern and aligned rectilinear structure

The final version of the redesigned enclosure is shown in Figures 3 and 4. A similar redesign task was conducted in a previous student project, where a broken DEWALT screwdriver was successfully repurposed for testing automotive components [6].



Fig. 3. Front view of the finalized 3D-printed enclosure for the industrial control unit



Fig. 4. Front view of the finalized 3D-printed enclosure for the industrial control unit

The presented case study demonstrates the practical value of 3D modelling and additive manufacturing in solving real-world engineering problems. Through the redesign of an industrial testing device enclosure, we showed how 3D printing enables compact design, functional integration, and improved usability, while adapting to fixed structural constraints such as standardized connectors.

Importantly, this project highlights the educational potential of additive technologies, encouraging students to apply technical knowledge creatively and to iteratively improve their designs. The use of SolidWorks and FDM 3D printing offered a flexible, cost-effective, and accessible workflow for rapid prototyping and functional customization.

When combined with other examples, such as the repurposing of an old power tool, it becomes clear that 3D printing supports diverse applications – from sustainable product reuse to small-batch manufacturing. This confirms its relevance not only as a prototyping tool but as a viable method for engineering innovation in both academic and industrial contexts.

This and the current case illustrate the versatility of additive manufacturing in addressing different engineering objectives – from component miniaturization and functional integration to the creative reuse of existing devices. This example highlights how additive manufacturing facilitates iterative product development and supports functional redesign tailored to specific technical and environmental constraints.

Conclusions. This article presented a practical application of 3D modelling and printing in the redesign of an industrial device enclosure. The project demonstrated how additive manufacturing supports compact, functional, and customizable design solutions. The approach proved effective for both technical problem-solving and creative engineering tasks.

References

5. Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., Zavattieri, P. D. (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design*, 69, 65–89. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2015.04.001>
6. Berman B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>
7. How Does Rapid Tooling With 3D Printing Work | Process, Applications, Examples & More. (2023). Formlabs. [YouTube Video]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=lkghAmdo344>
8. Anycubic Kobra 3 Combo – Product Page. (2024). Anycubic Official Store. Available at: <https://store.anycubic.com/products/kobra-3-combo>
9. Polymaker PLA Filament 1.75 mm – Product Specification. (2024). Amazon. Available at: <https://www.amazon.com/dp/B0B45RNT1Q>
10. Mamontov, P., Golova, O., & Shepel, H. (2024). A Sustainable Approach with 3D Printing and SolidWorks. In: Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference "Applied Geometry, Engineering Graphics and Intellectual Property Objects" (No. XIII). National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine. <https://doi.org/10.20535/ngikg2024.XIII.310156/>
<https://jagegip.kpi.ua/issue/view/17978>

ДО ПИТАННЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ АРХІТЕКТУРНОЇ СПАДЩИНИ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ СУЧАСНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Терещук М. О., к. т. н.,

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

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

***Анотація** – нинішнє життя в нашій державі пов'язане з важкими воєнними випробуваннями, які приносять страждання людям, руйнують міста та села. Унаслідок цього знищується житло, промислові підприємства, заклади освіти, охорони здоров'я та інша інфраструктура. Не виключенням є й об'єкти історичної архітектурної спадщини. Деяким питанням їхнього відновлення за допомогою сучасних засобів комп'ютерного геометричного моделювання присвячено дану статтю. Мається на увазі збереження, з метою забезпечення можливості подальшого якісного ефективного відтворення, належних параметрів форми, розмірів та положення вказаних будівель і споруд. Зазначені властивості слугують об'єднуючим фактором для багатьох спеціалістів різного профілю, наприклад, істориків, мистецтвознавців, архітекторів, будівельників та інших фахівців, що реалізують на практиці окреслене важливе завдання.*

***Ключові слова** архітектурна спадщина, відновлення та реконструкція, геометричне моделювання, методологія структурно-параметрична формо-утворення, BIM технології.*

Постановка проблеми. Сьогодення України є важким періодом життя нашої держави, пов'язаним із воєнними діями. Після настання миру зруйновані будівлі та споруди потребуватимуть свого відновлення, реконструкції та реставрації. Особливо гостро стоятиме це питання для об'єктів історичної архітектурної спадщини, оскільки вони, як правило, характеризуються значною індивідуальністю використаних конструкційних форм. Тому належне збереження вказаних властивостей на нинішньому етапі становить актуальну науково-прикладну проблему.

Аналіз досліджень і публікацій. Базові нормативні положення стосовно охорони культурної спадщини України викладено у виданнях [1, 2]. Працю [3] присвячено такому прогресивному сучасному напрямку в архітектурній галузі, як інформаційне моделювання в будівництві, тобто BIM (Building Information Modeling). Це стосується об'єктно-орієнтованого

параметричного автоматизованого проектування. Зазначений підхід комплексно поєднує напрями комп'ютерного конструювання (CAD – Computer-Aided Design), керування даними продукції (PDM – Product Data Management) та управління життєвим циклом виробів (PLM – Product Lifecycle Management). В основі наведеного лежить тривимірна комп'ютерна геометрична модель будівлі або споруди, що ефективно інтегрує різноманітну інформацію про опрацьовуваний об'єкт, зокрема, його конструкцію, технологію зведення, кошторис, експлуатацію, утилізацію і т. д. Описана методологія забезпечує проведення відповідної оптимізації. У публікації [4] розглядається можливість застосування BIM-технологій для відновлення пам'ятників архітектури, пошкоджених унаслідок воєнних дій.

Метою публікації є викладення запропонованого підходу щодо використання методології структурно-параметричного формоутворення для збереження архітектурної спадщини.

Основна частина. Уявлення про руйнації будівель унаслідок військових дій у нашій державі на прикладі історичних освітніх закладів надає стаття [5]. У ній акцентується, що найбільш розповсюдженими пошкодженнями є спричинені вибухами тріщини у стінах і фундаментах; викидання певних їхніх фрагментів, порушення облицювання, знищення перекриттів та покриття і т. д. Важливий аспект відновлення об'єктів архітектурної спадщини полягає в максимальному збереженні їхньої історико-культурної цінності при мінімальному втручанні в існуючі конструкції та зовнішній вигляд будівель і споруд.

Рис. 1 ілюструє теперішні пошкодження двох історичних навчальних закладів України.



а



б

Рис. 1. Зруйновані об'єкти архітектурної спадщини [5]:
а – ліцей імені Миколи Аркаса (м. Миколаїв); *б* – корпус Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (м. Харків)

Одним із шляхів відновлення будівельних об'єктів за відсутності потрібних для цього докладних креслеників, тобто тільки за наявними фотографіями, обмірами тощо, є створення належних комп'ютерних

тривимірних параметричних геометричних моделей. Головну вимогу до останніх становить реалізація гнучкої продуктивної адаптації до потрібних форм, розмірів і положення різноманітних архітектурно-конструкційних елементів. З наведених вище зображень видно, що це в першу чергу стосується стін, вікон та дверей. Їхнє ефективне моделювання за допомогою структурно-параметричної методології розглядається, зокрема, в роботі [6] на прикладі таких історичних будівель, як православні християнські храми.

Висновки. Дану публікацію присвячено актуальному в наш час питанню забезпечення необхідних умов для майбутнього відновлення, реконструкції та реставрації архітектурних об'єктів культурної спадщини України, які зруйновані або потенційно можуть бути пошкоджені внаслідок воєнних дій на території нашої держави.

Запропонований підхід реалізується завдяки поєднанню наявних певних джерел (фотографій, обмірів тощо) з комп'ютерною методологією структурно-параметричного формоутворення. Це забезпечує побудову реалістичних тривимірних твердотільних геометричних моделей, які з достатньою точністю відтворюють будівельні конструкційні елементи об'єктів історичної архітектурної спадщини.

Бібліографічний список

1. Про охорону культурної спадщини. Закон України від 08.06.2000 р. № 1805-III, Редакція від 15.11.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text>
2. ДБН В.3.2-1-2004. Реставраційні, консерваційні та ремонтні роботи на пам'ятках культурної спадщини. Київ: Держбуд України, 2005. 124 с.
3. Трач Р. В. Інформаційне моделювання в будівництві (BIM): сутність, етапи становлення та перспективи розвитку. *Глобальні та національні проблеми економіки*, 2017. Вип. 16. С. 490–495.
4. Білов В. А. Інноваційні методи використання будівельного інформаційного моделювання (BIM) у процесі реставрації пам'яток архітектури, пошкоджених внаслідок воєнних дій. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2023. Вип. 6. С. 230–239. DOI: 10.32782/tnv-tech.2023.6.26
5. Molodid O., Skochko V., Plokhuta R., Molodid O., Musiiaka I., Benderskyi S., Bogdan S. Modern restoration methods for damaged historical buildings as a result of military aggression. Case of educational institutions. *International Journal of Conservation Science*, 2024. Vol. 15. P. 205–220. DOI: 10.36868/IJCS.2024.SI.17
6. Терещук М. О. До питання варіантного геометричного моделювання дверей та вікон православних храмів. *Збірник доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності»*. URL: <https://jagegip.kpi.ua/article/view/310125>

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІД КІБЕРАТАК

Лабжинський В. А., к. т. н., доцент,

labzhynskyi.volodymyr@lil.kpi.ua, ORCID: 0000-0003-0970-770X

Снігур В. В., студентка, НН ІАТЕ

Національний технічний університет України

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

***Анотація** – у статті розглянуті питання запобігання кібератакам та аналізу їх наслідків на мережеву інфраструктуру. Метою роботи є розроблення імітаційної моделі, що дозволить протестувати вплив поширених типів атак на мережу та оцінити ефективність впроваджених механізмів захисту. Для досягнення мети було використано Cisco Packet Tracer – середовище, що дозволить налаштувати мережу, реалізовувати політики безпеки та здійснювати імітаційне моделювання атак. У ході дослідження була створена імітаційна модель, що дає можливість здійснити оцінку ефективності захисних механізмів. Отримані результати показали, що застосування комбінованого підходу, що включає в себе ACL, VPN та фаєрволи, значно знижує шанс успішної атаки. Було також встановлено, що використання Syslog та NetFlow дозволяє своєчасно ідентифікувати аномальну активність у мережі.*

***Ключові слова** – кіберзахист, DDoS, MITM, SQL Injection.*

Постановка проблеми. Перехід від індустріального суспільства до інформаційного, що відбувається в теперішній час, поряд з безсумнівними перевагами несе з собою й негативні фактори, обумовлені можливістю завдання збитків з використанням дистанційного доступу до інформаційних і автоматизованих систем. На сьогоднішній день відсутня необхідність безпосереднього фізичного впливу на технічну систему з метою порушення її нормального функціонування. Набагато простіше, дешевше й безпечніше порушити керування такою системою, що й здійснюється шляхом деструктивного інформаційного впливу на об'єкти критичної інформаційної інфраструктури. Численні приклади свідчать про зростання частоти випадків комп'ютерних атак на вищезгадані об'єкти, що здійснюють керування різними технічними системами забезпечення життєдіяльності держави й суспільства. Більше того, останнім часом відзначається тенденція на підвищення вибіркової таких впливів. Очевидним є той факт, що розроблення систем виявлення кібератак пов'язана з численними викликами, які вимагають від дослідників пошуку оптимальних підходів для забезпечення високого рівня захисту мережевих середовищ.

З кожним роком кількість кібератак на мережеву інфраструктуру зростає, що вимагає створення більш ефективних механізмів захисту. Атаки типу DDoS, MITM та SQL Injection можуть нашкодити роботі інформаційних систем або спричинити витік конфіденційної інформації. Власне крім перерахованих втрат, фінансові є найбільш непередбачуваними та їх дуже складно прорахувати, а їх вартість з кожним роком прогнозовано зростає, що продемонстровано на рисунку 1.

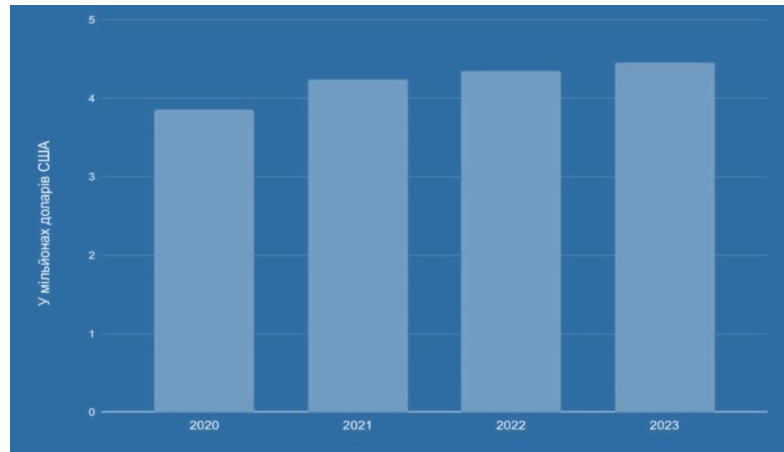


Рис. 1. Середня вартість збитків від одного витоку даних [1]

Формулювання цілей (Постановка завдання). Метою дослідження є розроблення імітаційної моделі, що дозволить протестувати вплив поширених типів атак на мережу та оцінити ефективність впроваджених механізмів захисту. Для цього буде використано Cisco Packet Tracer – середовище, що дозволить налаштувати мережу, реалізовувати політики безпеки та здійснювати симуляції атак.

Аналіз останніх досліджень. У сучасних дослідженнях значну увагу приділено методам запобігання атакам та аналізу їх наслідків. Наприклад, системи виявлення вторгнень, що аналізують поведінку мережевого трафіку та дозволяють виявляти аномалії [2]. Такі системи формують профіль нормальної активності та фіксують відхилення, які можуть вказувати на ймовірні атаки, несанкціонований доступ чи зловмисне програмне забезпечення. Вони використовують методи машинного навчання, статистичного аналізу та евристичних підходів для виявлення незвичних явищ у мережевій активності.

В теперішній час користувачі часто здійснюють підключення до інтернету через загальнодоступні Wi-Fi мережі, які більш вразливі до атак перехоплення даних (Packet Sniffing). VPN є вдалим працюючим рішенням захисту трафіку завдяки шифруванню з'єднання між клієнтом і віддаленим сервером. VPN створює захищений тунель між ними, використовуючи протоколи шифрування, що унеможливорює перехоплення даних третіми особами. Дослідження ефективності VPN для захисту конфіденційних

даних у публічних мережах [3] виявили ряд переваг, проте виявлено деякі обмеження та ризики.

Деякі роботи пропонують використання штучного інтелекту для прогнозування атак [4]. Цей метод має великий потенціал, однак багато досліджень не враховують тестування за реальних умов, що може призвести до хибних спрацьовувань. Крім того, подібні системи передбачувано матимуть обмежену ефективність реагування на нові або комбіновані види атак, що не входять до навчального набору моделі.

Основна частина. Наслідки кібератак на об'єкти критичної інфраструктури порівняно з традиційними галузями застосування інформаційних технологій можуть бути набагато важчими, навіть катастрофічними. Ефективна протидія атакам, що здійснюються зловмисниками на автоматизовані систем управління технологічними процесами, неможлива без врахування особливостей та відмінностей кіберзахисту таких систем від захисту традиційних інформаційно-комунікаційних об'єктів та ресурсів.

Серед сучасних підходів до протистояння інформаційним загрозам є системи виявлення вторгнень (IDS/IPS), фаєрволи та VPN, проте у конкретних сценаріях їх ефективність є недостатньо вивченою.

За даними McAfee та Cybersecurity Ventures збитки від кіберзлочинності уряду та бізнесу обчислюються трильйонами доларів, що ускладнює можливість їх передбачити та є важчим завданням порівняно з традиційними, що викликають фінансові втрати, наприклад стихійні лиха чи класична, фізична злочинна діяльність. На рисунку 2 зображена діаграма кіберзлочинів, здійснених у 2022-2023 роках.

Оскільки більшість досліджень аналізують атаки теоретично або надають методи захисту без їх використання та тестування у мережі призначення, що не дає можливості проведення більш “чутливих” налаштувань – це все ще залишається проблемою. Саме тому необхідність створення середовища для імітації атаки та застосування захисних механізмів у відповідь є актуальною, а також це дасть змогу краще оцінити ефективність цих механізмів захисту максимально наближено до цільових систем.

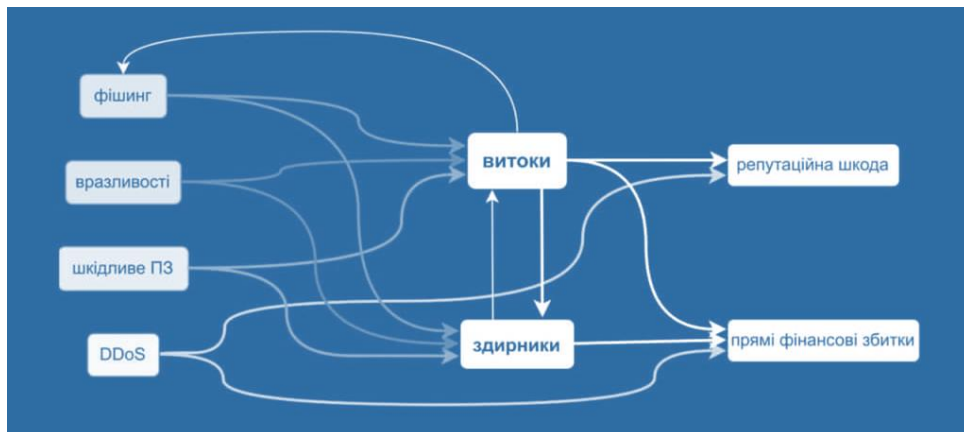


Рис. 2. Діаграма кіберзлочинів за 2022-2023 роки [5]

Основними методами дослідження є аналіз наукових публікацій у сфері кібербезпеки, налаштування тестового середовища, моделювання атак та оцінка ефективності застосованих механізмів захисту. Зокрема, у роботі буде використано механізми ACL, фаєрволи, VPN, VLAN, NetFlow та Syslog з метою контролю мережевого трафіку та виявлення атак.

У ході дослідження була створена імітаційна модель, що дає можливість здійснити оцінку ефективності застосованих захисних механізмів. Було налаштовано мережу з клієнтами, серверами та точками доступу, після чого змодельовано кілька типових атак, зокрема DDoS, MITM та спроби несанкціонованого доступу. Отримані результати показали, що застосування комбінованого підходу, що включає в себе ACL, VPN та фаєрволи, значно знижує шанс успішної атаки. Було також встановлено, що використання Syslog та NetFlow дозволяє своєчасно ідентифікувати аномальну активність у мережі.

Висновки. Запропонована модель дозволяє тестувати та аналізувати кіберзагрози в безпечних, ізольованих та контрольованих умовах, що може бути важливим для навчання фахівців з кібербезпеки та покращити показники мережевої безпеки у корпоративних системах. Наукова новизна полягає у практичному дослідженні відпрацювання захисних механізмів на атаки у єдиному середовищі та у розробленні алгоритму з метою автоматизації блокування атак. Результати роботи можуть бути використані у навчальних закладах для підготовки фахівців з кібербезпеки, а також у реальних організаціях для тестування мережевих політик безпеки. Шляхом їх оптимізації буде знижено ризики на всіх етапах взаємодії з мережею. Такий підхід зменшить час реакції на атаки, надаючи можливість зосередитись на вдосконаленні стратегій безпеки.

Бібліографічний список

1. Середня вартість збитків від витоку даних. URL: <https://www.h-x.technology/wp-content/uploads/2023/12/The-average-cost-of-damages-from-data-breach-ua-1024x678.jpeg> (дата звернення: 24.02.2025).
2. Parhizkari S. Anomaly Detection in Intrusion Detection Systems. IntechOpen, 2023. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.112733> (дата звернення: 24.02.2025).
3. Sharma Y. K., Kaur C. The vital role of VPN in making secure connection over internet world. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). 2020. V. 8, № 6. P. 2336–2339. URL: <https://doi.org/10.35940/ijrte.F8335.038620> (дата звернення: 24.02.2025).
4. Ahmed T., Kim D. AI-Based Anomaly Detection in Cybersecurity. IEEE Transactions on Network Security. 2023. V. 19, № 1. P. 1–14.
5. Статистика кіберзлочинності 2022-2023. URL: <https://www.h-x.technology/wp-content/uploads/2023/12/cybercrime-2022-2023-diagram-ua-min-1024x534.jpg> (дата звернення: 24.02.2025).

СТРУКТУРІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЗАХОДІВ З ОПТИМІЗАЦІЄЮ ГЕОМЕТРІЇ ЗЕЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ

Мартинов В.Л., д.т.н., професор,

arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970

Мартинюк О.Л., аспірант кафедри архітектурних конструкцій КНУБА

martynuk@ukr.net

Поляк Ю.Ю., аспірант кафедри архітектурних конструкцій КНУБА

y_polyk@gmail.com

Стаднійчук Д.М., аспірант кафедри архітектурних конструкцій КНУБА

111222@ukr.net

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

Анотація. У сучасних умовах зростаючої кліматичної кризи, дефіциту ресурсів та необхідності скорочення вуглецевих викидів, проєктування зелених будівель набуває ключового значення. Такі об'єкти інтегрують інноваційні технології, відновлювальну енергетику та екологічні матеріали, що не лише зменшує навантаження на довкілля, а й забезпечує економічні вигоди для власників. Відповідно до жорстких екостандартів і потреби в стійких рішеннях, зелені будівлі стають основою сталого розвитку та конкурентної переваги у будівництві.

Процес проєктування та модернізації зелених будівель потребує системного підходу до вибору заходів підвищення енергоефективності. Для цього запропоновано структурований комплекс рішень, спрямованих на зниження енергоспоживання, зокрема: оптимізацію геометрії будівлі (форми, орієнтації, теплозахисних характеристик тощо), раціоналізацію параметрів інженерних систем для інтеграції відновлювальної енергетики.

На основі досліджень визначено вагові коефіцієнти впливу кожного заходу на енергоспоживання, а також розроблено аналітичні моделі для оцінки їх ефективності. Це дозволяє проєктувальникам та енергоаудиторам оперативно прогнозувати зміни енергоспоживання при впровадженні конкретних рішень; отримувати обґрунтовані показники ефективності ще на етапі проєктування або реконструкції.

Запропонований підхід спрощує прийняття рішень щодо енергооптимізації, забезпечуючи точність розрахунків та адаптацію до сучасних вимог стійкого будівництва.

Ключові слова: зелені будівлі, енергоефективні будівлі, оптимальні параметри, геліосистеми, оптимізація геометричних параметрів, геометричне моделювання, архітектурне проєктування.

Актуальність. Сьогодні проєктування зелених будівель набуває особливої ваги як в Україні, так і в усьому світі. Це зумовлено низкою глобальних чинників, а саме кліматичними змінами, стрімким зростанням населення, обмеженістю природних ресурсів, необхідністю зниження викидів парникових газів, вимогами до скорочення енергоспоживання будівель.

Енергоефективні рішення в зеленій архітектурі

Сучасні зелені будівлі інтегрують енергоефективні інноваційні підходи, такі як: використання сонячних панелей, системи рециркуляції води, «розумні» системи управління освітленням та вентиляцією, оптимізація геометричних та теплотехнічних параметрів будівель (рис. 1).

Ці рішення дозволяють істотно знизити витрати на енергоносії та сприяють стабільному екологічно орієнтованому розвитку.

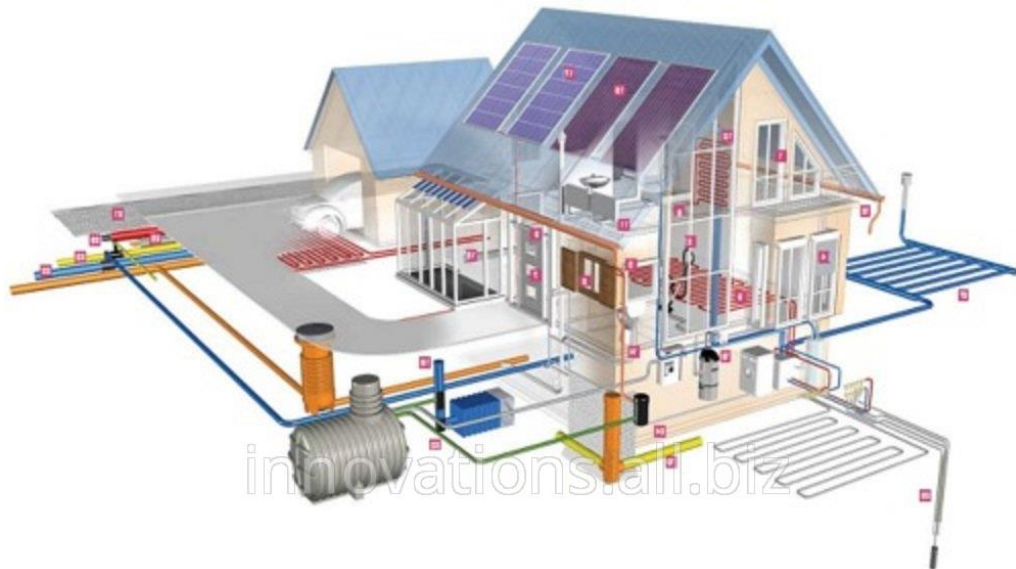


Рис.1. Енергоефективні зелені будівлі з використанням фотоелектричних модулів та теплових насосів для енергозабезпечення

Для досягнення оптимального рівня енергоефективності зелених будівель необхідно розробити комплексну систему заходів та визначити коефіцієнти їх впливу на споживання енергії.

Такий підхід має ключове значення як для нового будівництва, так і для термомодернізації існуючих об'єктів.

Основні етапи реалізації цього підходу включають визначення переліку енергоефективних заходів, розрахунок вагових коефіцієнтів впливу кожного заходу, розробку аналітичної моделі для оцінки сумарного ефекту.

Створення такої системи аналітичних розрахунків дозволить точніше прогнозувати енергоспоживання будівель, оптимізувати вибір заходів

підвищення енергоефективності, досягати запланованих показників енергозбереження, обґрунтовувати інвестиції в енергоефективні рішення

Реалізація цього підходу забезпечить системне управління енергоефективністю будівель на всіх етапах їх життєвого циклу.

Аналіз попередніх досліджень. У напрямку використання геліосистем, підвищення енергоефективності будівель, визначення оптимальних геометричних параметрів будівель було проведено наступні дослідження.

У роботі [1] питання оптимізації параметрів утеплювача розглянуто в загальному вигляді без урахування гранної форми будівлі. У дослідженні [2] досліджувалося залежність оптимальної форми тіла від характеристик теплового поля, у якому воно знаходиться. Таке тіло названо квазікулею. Питання оптимального розподілу утеплювача по теплоізоляційній оболонці не розглядалося. У працях [3, 4, 5] розглядалося питання визначення оптимальної та раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій з урахуванням теплового балансу конструкцій. У роботах [6, 7] розглядалися питання оптимізації геометричної форми будівлі та розміру світлопрозорих будівель. У роботі [8] досліджувалося питання оптимізації форми енергоефективних будівель, оптимізації орієнтації та площі вікон, оптимізації теплоізоляційної оболонки будівель. Але питання вагових коефіцієнтів та впливу заходів на енергоспоживання зелених будівель не розглядалося. У дослідженні [9] розглядалися питання щодо використання сонячної енергії для енергозабезпечення будівель. У дослідженні [10] розглядалися питання оптимізації процесу проєктування висотних будівель з інтегрованими геліосистемами, але питання вагових коефіцієнтів і впливу їх на енергоефективність не розглядалися.

Разом з тим, у наведених дослідженнях питання систематизації впливу факторів на енергоспоживання зелених будівель та визначення їх вагових коефіцієнтів для розрахунку не розглядалося.

Мета дослідження. Провести дослідження та розробити структуру застосування заходів та вагові коефіцієнти їх впливу на енергоспоживання зелених будівель, а також аналітичні залежності впливу заходів на енергоспоживання будівель.

Хід дослідження. Проведено аналіз основних показників енергоспоживання будівель (рис. 2) використовуючи енергетичні сертифікати. Згідно енергетичного сертифікату будівель енергоспоживання будівлі виглядає наступним чином.

Переважну більшість енергетичних витрат, як правило, становлять наступні показники.

1. Енергоспоживання систем опалення $Q_{оп}$ (трансмісійні витрати Q_t через огорожувальні конструкції та витрати Q_v на вентиляцію та нагрів повітря).

2. Енергоспоживання $Q_{гв}$ систем горячого водопостачання.

3. Енергоспоживання $Q_{\text{осв}}$ систем освітлення.
4. Енергоспоживання $Q_{\text{ох}}$ систем охолодження (кондиціювання).
5. Енергоспоживання систем вентиляції $Q_{\text{вент}}$.



Рис. 2. Сертифікат житлової будівлі.
Діаграма річного енергоспоживання будівлі

Проведено дослідження, та для зменшення енергоспоживання зелених будівель запропоновано комплекс засобів (рис.3), що приведуть до зменшення енергоспоживання будівель.

Кожний засіб характеризується ваговим коефіцієнтом $K_{x,x}$, зменшення енергоспоживання. Також визначено геометричні параметри будівлі та інженерних систем, оптимізація яких призведе до мінімізації енергоспоживання будівель.

Наприклад ваговий коефіцієнт «Оптимізації пропорцій будівлі» $K_{1.1.3}$ [1, 0.66] може змінюватися від 1 до 0.66. Змінними параметрами є геометричні параметри форми (довжина a , ширина b , висота h , радіус r) та інше.

Заходи для зменшення енергоспоживання за рахунок оптимізації геометричних параметрів будівель на малюнку виділено кольором.

Після проведення заходів зі зменшення енергоспоживання будівель проєктувальник може визначити змінені показники $\Delta Q_{\text{оп}}$ енергоспоживання за групами та будівлі уцілому.

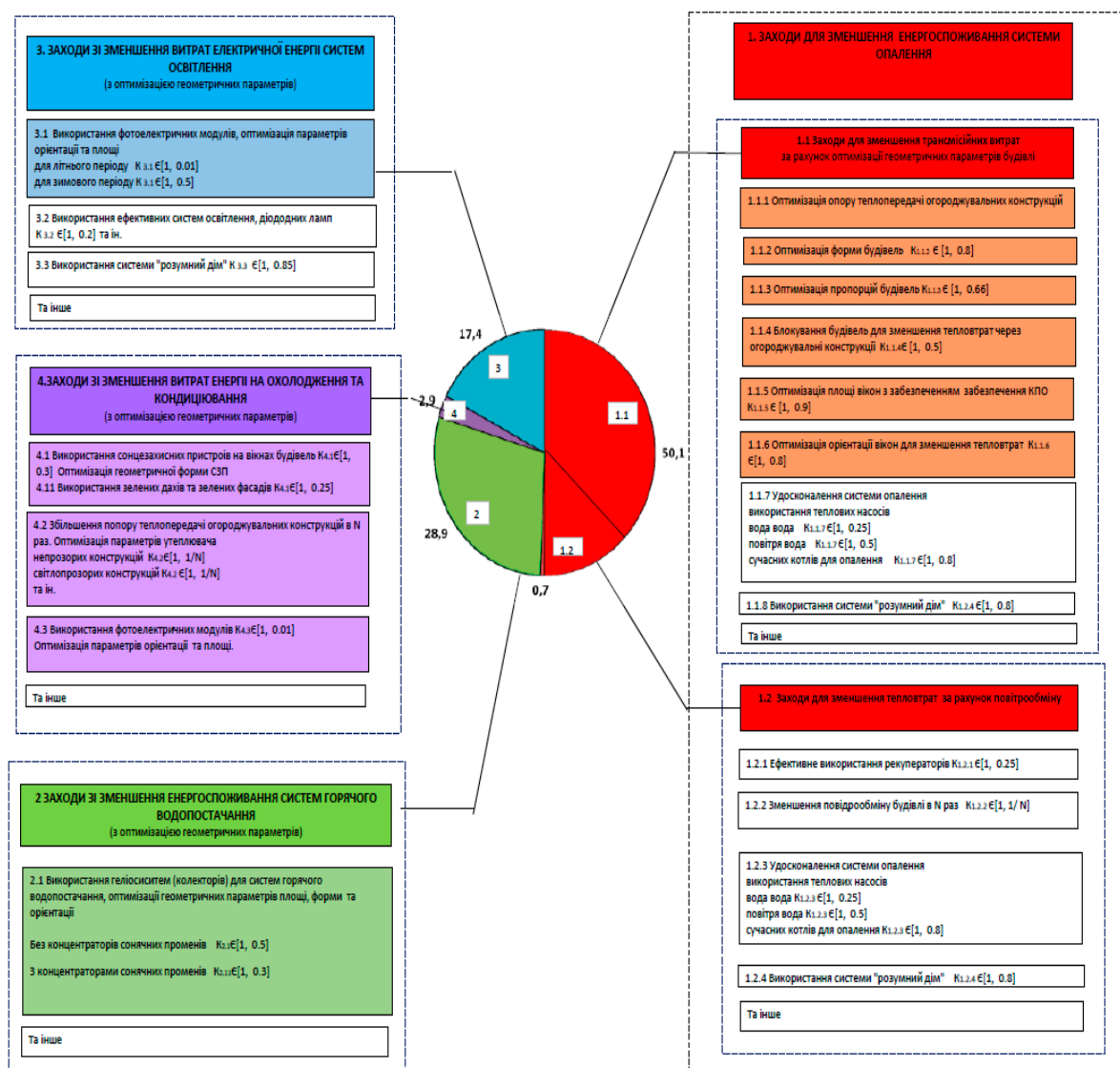


Рис. 3. Структура заходів для зменшення енергоспоживання зелених будівель з ваговими коефіцієнтами $K_{x,x}$, впливу на енергоспоживання

Аналітичний розрахунок визначення енергоспоживання

Основні показники енергоспоживання будівель (рис. 2) після застосування заходів з енергозбереження розраховуються аналітично.

1. Енергоспоживання систем опалення $\Delta Q_{\text{оп}}$.

1.1 Трансмісійні витрати ΔQ_T через огорожувальні конструкції

$$\Delta Q_T = Q_T \cdot K_{1.1.1} \cdot K_{1.1.2} \cdot K_{1.1.3} \cdot K_{1.1.4} \cdot K_{1.1.5} \cdot K_{1.1.6} \cdot K_{1.1.7} \cdot K_{1.1.8} \quad (1)$$

1.2 Енергоспоживання за рахунок енерговитрат ΔQ_V на підігрів повітря, що надходить

$$\Delta Q_V = Q_V \cdot K_{1.2.1} \cdot K_{1.2.2} \cdot K_{1.2.3} \cdot K_{1.2.4} \quad (2)$$

2. Енергоспоживання $\Delta Q_{\text{ГВ}}$ систем горячого водопостачання

$$\Delta Q_{\text{ГВ}} = Q_{\text{ГВ}} \cdot K_{2.1}. \quad (3)$$

3. Енергоспоживання $\Delta Q_{\text{осв}}$ систем освітлення

$$\Delta Q_{\text{осв}} = Q_{\text{осв}} \cdot K_{3.1} \cdot K_{3.2} \cdot K_{3.3} \quad (4)$$

4. Енергоспоживання $\Delta Q_{\text{ох}}$ систем охолодження (кондиціювання)

$$\Delta Q_{\text{ох}} = Q_{\text{ох}} \cdot K_{4.1} \cdot K_{4.2} \cdot K_{4.3} \quad (5)$$

Загалом енергоспоживання $\Delta Q_{\text{оп}}$ після використання заходів з енергозбереження визначається

$$\Delta Q_{\text{оп}} = \Delta Q_{\text{т}} + \Delta Q_{\text{в}} + \Delta Q_{\text{ГВ}} + \Delta Q_{\text{ох}} + Q_{\text{вент}} \quad (6)$$

Таким чином проєктувальник може визначити межі допустимого зменшення енергоспоживання будівель і вибрати раціональне вирішення.

Висновки. Проведено комплексне дослідження, в рамках якого запропоновано структуру заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності зелених будівель та зменшення їх енергоспоживання. Визначено вагові коефіцієнти $K_{x,x}$, що відображають вплив кожного з запроваджених заходів, а також розроблено аналітичні залежності для розрахунку зниження рівня енергоспоживання $\Delta Q_{\text{оп}}$ будівель.

Окрему увагу приділено заходам, пов'язаним із оптимізацією геометричних параметрів будівель та інженерних систем, що дозволяє досягти суттєвого підвищення ефективності експлуатації.

Запропонована структура та аналітичний інструментарій можуть бути використані проєктувальниками та енергоаудиторами як під час термомодернізації існуючих будівель, так і при новому будівництві. Це дозволить обґрунтовано визначати оптимальні рішення для досягнення значного зниження енергоспоживання та створення екологічно стійких об'єктів.

Бібліографічний список

1. *Сергейчук О.В.* Оптимізація розподілу утеплювача по поверхні будівлі при заданому класі його ефективності /О. В. Сергейчук // Матеріали VI Міжнародної Кримської науково-практичної конференції «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн». – Сімферополь, 2009. – С. 44–49.
2. *Сергейчук О. В.* Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків : Автореферат дис. ... доктора техн. наук : 05.01.01 / Сергейчук Олег Васильович. – К., 2008. – 341 с.

3. *Мартинів В. Л.* Визначення допустимої зони розташування світлопрозорих конструкцій на фасадах енергоекономічних будівель / В. Л. Мартинів // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. – Вип. 1/2011(66), ч. 1. – С. 104–108.
4. *Мартинів В. Л.* Раціональна орієнтація віконних прорізів енергоефективних будівель [Текст] / В. Л. Мартинів // *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. – К. : КНУБА, 2013. – Вип. 4. – С. 185–189.
5. *Мартинів В. Л.* Оптиміальне розташування вікон в огорожувальних конструкціях енергоефективних будівель для п'яти кліматичних районів України / В. Л. Мартинів // *Енергоефективність в будівництві та архітектурі* : наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2014. – Вип. 6. – С. 192–198.
6. *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>
7. *Sergeychuk O., Martynov V., Usenko I.* The definition of the optimal energy-efficient form of the building International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.2) (2018) 667-671. DOI: [10.14419/ijet.v7i3.2.14611](https://DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14611)
8. *Мартинів В. Л.* Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми : автореф. дис. докт. техн. наук : 05.01.01 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2015. 39 с.
9. *Константиновский Ю.А., Заваров А.И., Рабинович М.Д., Ферт А.Р.* Использование солнечной энергии для тепло-снабжения зданий. К.:Будівельник, 1985.–104с.
10. *Кривенко О.В., Сингаєнко О.І.* Оптимізація процесу проєктування висотних будівель з інтегрованими геліосистемами / О.В. Кривенко, О.І. Сингаєнко // *Містобудування та територіальне планування: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць* /– К. :КНУБА, 2022. – Вип. 81. – С. 208–218.

CONSTRUCTION OF SPATIAL PYTHAGOREAN HODOGRAPH CURVES BY GAUSS-RADAU POLYGONS

Nataliia Bondarenko, assoc. prof.

Anatoliy Kyrychenko, assoc. prof.

Valentyna Otrashevskaya, assoc. prof.

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA))

Abstract. *The method for constructing spatial polynomial Pythagorean hodograph curves (PH curves) from the given Gauss-Radau polygon is considered. An equation has been found that describes infinitely many RH curves that have the same Gauss-Radau polygon.*

Key words: *Pythagorean hodograph curves; Gauss-Radau quadrature; Gauss-Radau polygon; interpolation.*

Problem statement. Spatial Pythagorean-hodograph (PH) curves were first studied independently by Farouki and Dietz [1], and by Dietz et al. [2]. They established the conditions under which the arc length derivative of such curves with respect to the curve parameter is a polynomial rather than a radical function. This property offers numerous computational advantages in areas such as computer-aided geometric design, animation, robotics, and motion planning. The polynomial speed functions of PH curves allow for exact arc length computation, rational offset generation, and the determination of rational unit tangent vectors. PH curves are effective for interpolation and approximation of space curves, especially when a specific shape is required. The problem of constructing spatial PH curves with a given shape is of important practical importance.

Analysis of recent research. To control the shape of PH curves, the use of a straightening control polygon based on Gauss-Lobatto quadrature was proposed in [3]. This approach preserves the desirable properties of PH curves while avoiding the drawbacks associated with modifying Bézier control points. As an alternative to the Bézier polygon, the Gauss-Legendre polygon of a PH curve is considered in [4], [5], with its vertices obtained by evaluating derivatives at the nodes of the Gauss-Legendre quadrature. A drawback of the Gauss-Legendre polygon is that it does not define tangent vectors at the endpoints. PH curves with the same Gauss-Legendre polygon may have different endpoint tangents, since all quadrature nodes are interior points.

Formulation of goals. In this work, we consider the construction of spatial PH curves using a control polygon derived from Gauss-Radau quadrature, building on the methods described in [4], [5]. Employing the Gauss-Radau polygon, as an alternative to Gauss-Legendre and Gauss-Lobatto polygons, enables the development of another class of adaptive-shape spatial PH curves. A notable advantage of this method is that the Gauss-Radau polygon naturally

defines the initial tangent vector of the PH curve, since the initial point of the Gauss-Radau quadrature is a predetermined node.

Main part. Let a spatial polynomial PH curve be defined by a quaternion-valued function $p(t) = x(t)i + y(t)j + z(t)k$, $x(t), y(t), z(t) \in \mathbf{R}[t]$, $t \in \mathbf{R}$. We consider the concept of a Gauss-Radau polygon based on the Gauss-Radau quadrature over the interval $[0;1]$. The Gauss-Radau quadrature with n nodes for an integrable function $f(x)$ defined on the interval $[0;1]$, is a quadrature formula given by the expression

$$\int_0^1 f(x)dx = \omega_0 f(0) + \sum_{i=1}^{n-1} \omega_i f(x_i) + \varepsilon_n.$$

Nodes x_i for $i = 1, \dots, n-1$ are the roots of the polynomial $\frac{P_{n-1}(x) + P_n(x)}{x+1}$, where $P_k(x)$ is the k -th Legendre polynomial of degree k . The weighting coefficients have the form:

$$\omega_0 = \frac{1}{n^2}, \quad \omega_i = \frac{1-x_i}{2(nP_{n-1}(x_i))^2} = \frac{1}{2(1-x_i)(P'_{n-1}(x_i))^2}, \quad (x_i \neq 1), i = 1, \dots, n-1.$$

$$\text{Residual term is } \varepsilon_n = \frac{2^{2n-2} n((n-1)!)^4}{((2n-1)!)^3} f^{(2n-1)}(\xi), \quad (0 < \xi < 1).$$

The Gauss-Radau polygon of a curve $p(t)$ with m edges is defined as $G_m(p) = [r_0, r_1, \dots, r_m]$, where

$$\begin{aligned} r_0 &= p(0), \\ r_{k+1} &= r_k + \omega_k p'(x_k), \text{ for } k = 0, \dots, m-2. \\ r_m &= r_{m-1} + \omega_{m-1} p'(x_{m-1}) + \varepsilon_m. \end{aligned} \tag{1}$$

In [6] it is shown that the derivative $p'(t)$ is the $*$ -square of some quaternion polynomial $A(t)$ of degree n : $p'(t) = A(t)^{2*} = A(t)i\overline{A(t)}$. We write the polynomial $A(t)$ in the form of a Bezier polynomial $A(t) = \sum_{l=0}^n B_l^n(t)A_l$, where $B_l^n(t) = C_n^l(1-t)^{n-l}t^l$ are Bernstein polynomials.

Let $[r_0, r_1, \dots, r_{n+1}]$ be the Gauss-Radau polygon of the curve $p(t)$ with $n+1$ edges. Let us write equation (1):

$$\begin{aligned} \square r_k &= \omega_k p'(x_k) = \omega_k \left(\sum_{l=0}^n B_l^n(x_k) A_l \right)^{2*}, \quad k = 0, \dots, n-1, \\ \square r_n &= \omega_n p'(x_n) + E_n = \omega_n \left(\sum_{l=0}^n B_l^n(x_n) A_l \right)^{2*} + \varepsilon_n. \end{aligned}$$

Each of these equations can be represented in the form ([5]):

$$\sum_{l=0}^n B_l^n(x_k) A_l = \sqrt[n]{\left(\frac{\square r_k}{\omega_k}\right)} e^{i\varphi_k}, \quad k = 0, \dots, n-1, \quad (2)$$

$$\sum_{l=0}^n B_l^n(x_n) A_l = \sqrt[n]{\left(\frac{\square r_n - \varepsilon_n}{\omega_n}\right)} e^{i\varphi_n}, \quad \text{where } \varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_n \in \mathbf{R}.$$

Equations (2) form a linear system with a unique solution $A_0, A_1, \dots, A_n$, so the quaternion polynomial $A(t) = A[\varphi_0, \dots, \varphi_n](t)$ depends on the $n+1$ a set of free parameters $\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_n \in \mathbf{R}$. We show that the function $A[\varphi_0, \dots, \varphi_n](t)$ with a fixed parameter $\varphi_0 = 0$ describes all possible spatial PH curves in which the Gauss-Radau polygon with $n+1$ edges is the given polygon $[r_0, r_1, \dots, r_{n+1}]$. Thus, the polynomial $p[0, \varphi_1, \dots, \varphi_n](t)$, as a solution to the equation $p'(t) = A(t)^{2*}$, specifies all spatial PH curves of degree $2n+1$ such that $G_{n+1}(p) = [r_0, r_1, \dots, r_{n+1}]$.

Conclusions. Constructing spatial polynomial PH curves from a Gauss-Radau polygon yields infinitely many curves with the same polygon, defining the tangent only at the initial point. This is useful for spline interpolation, where the initial tangent at internal nodes must be specified.

Reference

1. Farouki R., Sakkalis T. Pythagorean-hodograph space curves. *Adv. Comput. Math.*. Vol. 2, 1994, P. 41–66.
2. Dietz R, Hoschek J. and Jüttler B., An algebraic approach to curves and surfaces on the sphere and on other quadrics, *Comput. Aided Geom. Design*. V. 10, 1993, P. 211–229.
3. Kim S.H., Moon H.P. Gauss–Lobatto polygon of Pythagorean hodograph curves, *Comput. Aided Geom. Des.* 74, 101768.
4. Kim S.H., Moon H.P. Rectifying control polygon for planar Pythagorean hodograph curves, *Comput. Aided Geom. Des.* V. 54, 2017, P. 1–14.
5. Kim S.H., Moon H.P. Deformation of spatial septic Pythagorean hodograph curves using Gauss–Legendre polygon, *Comput. Aided Geom. Des.* V. 73, 2019, P. 16–34.
6. Choi H., Lee D., and Moon H. Clifford algebra, spin representation and rational parameterization of curves and surfaces, *Advances in Computational Mathematics*. V.17, 2002, P. 5–48.

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМИ FUSION 360 ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕЯКИХ КОМПОНЕНТІВ РІДКОПАЛИВНОГО ДВИГУНА

Грубич Марія, асистент

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

Кудряшов Я.С., студент, ІАТ

yakbrofunt@gmail.com

Мартиненко П.О., студент, ІАТ

pavelmartinenko205@gmail.com

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

***Анотація** – у статті розглянуто алгоритм побудови 3D моделі компонентів реактивного двигуна, з наведенням необхідних для побудови команд у програмі Fusion 360 та поясненням принципу їх роботи. Також окрему увагу приділено аналізу частини механізму об'єкта, що моделюється, оскільки розуміння його функціонального призначення є важливою складовою коректного просторового відтворення. Матеріал буде корисним для фахівців і студентів, які займаються 3D-моделюванням інженерних об'єктів.*

***Ключові слова** – Fusion 360, 3D моделювання, двигун, Revolve, Circular Pattern, Fillet, алгоритм побудови.*

Постановка проблеми. У сучасній інженерній практиці стрімко розвиваються технології 3D-моделювання та 3D-друку, які суттєво прискорюють, спрощують та автоматизують виробничі процеси. Завдяки цим технологіям стало можливим створення моделей об'єктів будь-якого рівня складності. У процесі навчання та професійної підготовки фахівців інженерного профілю виникає необхідність не лише в теоретичному вивченні принципів роботи складних технічних систем, зокрема реактивних двигунів, але й у візуалізації їх конструкції за допомогою сучасних засобів комп'ютерного моделювання. Однак на практиці майбутні інженери часто стикаються з труднощами при створенні 3D-моделей технічних об'єктів у CAD-середовищах, особливо таких як Fusion 360, що потребує розуміння як інструментарію програми, так і функціональних особливостей об'єкта, що моделюється.

Аналіз нещодавніх досліджень. Питання тривимірного моделювання інженерних об'єктів є предметом численних наукових та прикладних досліджень. У працях низки авторів розглядаються особливості використання САПР-систем для створення технічних моделей різної

складності, зокрема у сфері машинобудування та авіаційної техніки. Дослідники акцентують увагу на важливості поетапного проєктування, врахування технологічних допусків і взаємодії компонентів у складальних одиницях. Окрему нішу займають публікації, присвячені роботі у програмному середовищі Fusion 360, яке вирізняється інтуїтивним інтерфейсом, широким функціоналом та можливістю інтеграції з хмарними сервісами.

Формулювання цілей статті.. Мета публікації - продемонструвати алгоритм побудови тривимірної моделі компонентів реактивного двигуна в середовищі Fusion 360 із поясненням принципу роботи застосованих команд.

Основна частина. Моделювання реактивного двигуна, як і будь-якого іншого об'єкта у 3D, починається з аналізу його геометричної форми. Використовуючи креслення, аналізуємо геометричну форму профіля камери згоряння та сопла (рис. 1, а), далі відтворюємо за наявними розмірами їх півконтур (рис. 1, б). Використовуючи команду «Revolve», виконуємо обертання створеного півконтура навколо осі симетрії, та отримуємо тривимірну об'ємну фігуру (рис. 1, в).

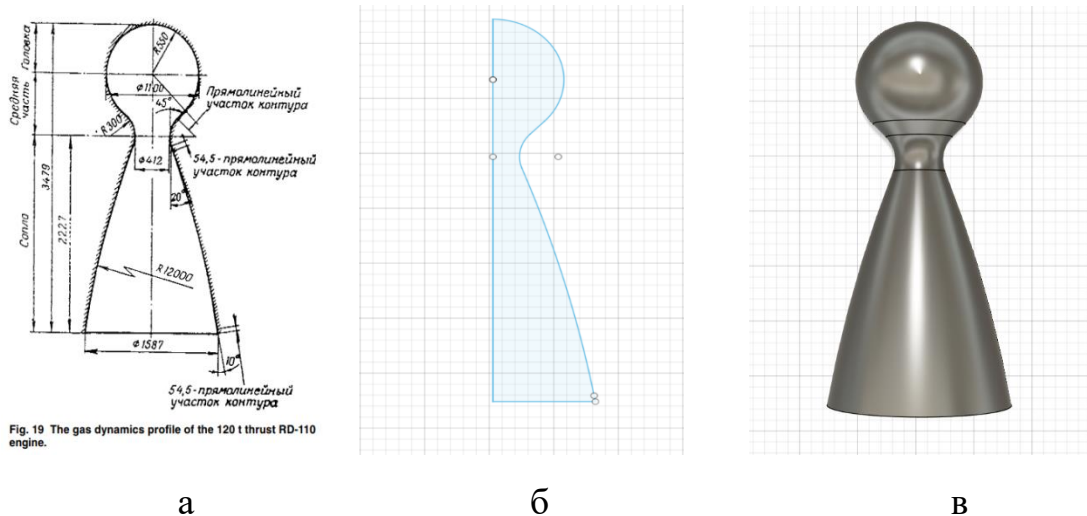
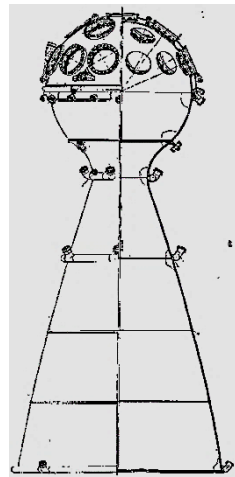


Рис. 1. а) кресленик профіля; б) півконтур камери згорання та сопла двигуна; в) фігура, отримана в результаті обертання

Після чого додаємо на отриману фігуру 18 інжекторних дисків орієнтуючись на кресленик (рис.2,а). Розташовуємо 12 дисків, рівновіддалених один від одного, на нижньому рівні, та 6 дисків на верхньому рівні. Далі додаємо охолоджувальні труби на горловини (рис.2,б). Розташування елементів, рівновіддалених один від одного уздовж кола, здійснюється за допомогою команди «Circular Pattern».



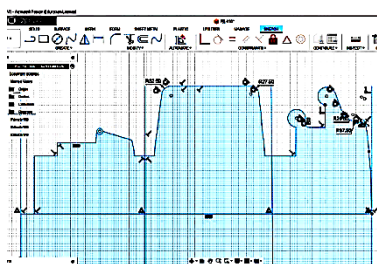
а



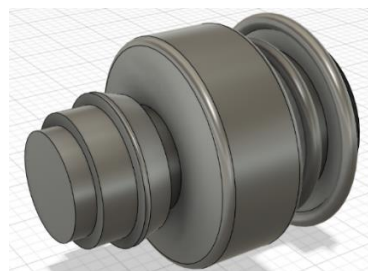
б

Рис. 2. а) кресленик сопла та камери згорання; б) готове сопло та камера згорання

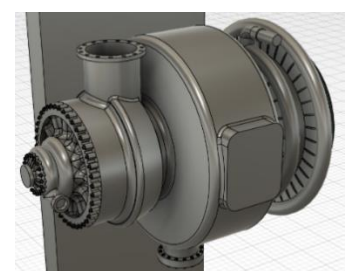
Далі будуємо турбонасосний агрегат та з'єднуємо його з камерою згорання. Для цього використовуються фотоматеріали, які розташовуються у фронтальній площині. Масштаб зображення встановлюється так, щоб при накладанні його на вже готову камеру згорання та сопло, основні лінії збігалися. Побудову турбонасосного агрегату починаємо з його контуру (рис. 3, а), потім обертаємо його навколо осі симетрії на 360° за допомогою команди «Revolve» (рис. 3.б). На наступному кроці додаємо ребра жорсткості, що повторюють форму лопаток турбіни, гайки та шайби, точки входу та виходу палива і окислювача. Спряження деталей виконуємо за допомогою команди «Fillet». В результаті отримуємо готовий турбонасосний агрегат (рис. 3,в.).



а



б

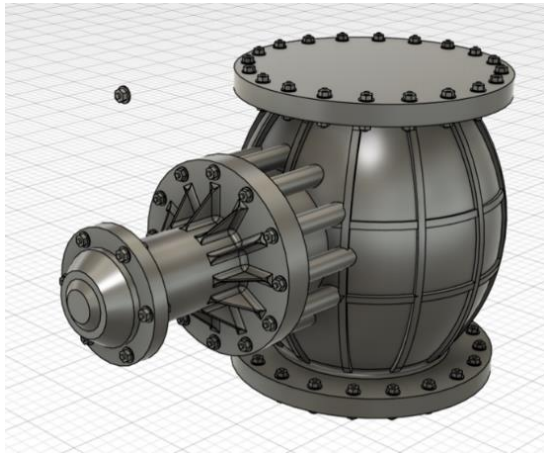


в

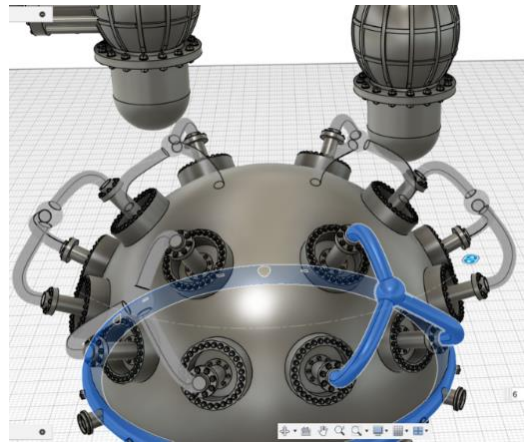
Рис.3.а) контур турбонасоса; б) фігура, отримана в наслідок обертання; в) вигляд готового турбонасосного агрегату

Створення перехідних вузлів для підключення трубопроводів подачі газу і рідкого кисню починається з моделювання двох розподільних деталей (рис. 4, а). Далі ці елементи розгалужуються на 6 трубок (рис. 4, в), а ті в свою чергу на ще 3 трубки (рис. 4, б.). Це забезпечує рівномірну подачу окислювача та палива до камери згорання.

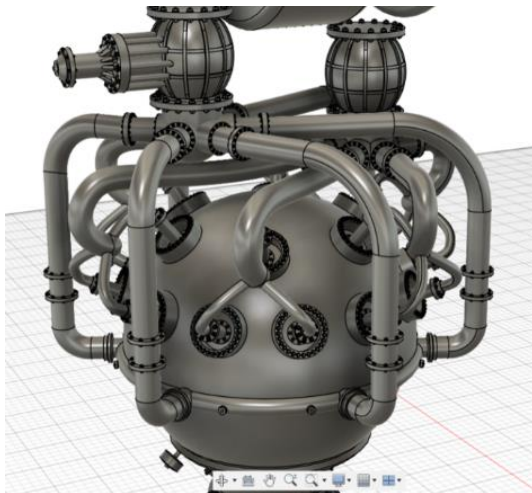
Потім здійснюється моделювання інших магістралей, які подають паливо в камеру згоряння, перед тим як вони пройдуть через простір між подвійними стінками двигуна (рис. 4, г).



а



б



в



г

Рис. 4. а) розподільна деталь, до якої входить рідина з насосу; б) трубки, які з'єднують між собою 3 інжекторні плити; в) дві з'єднані розподільні деталі; г) трубки, що пропускають паливо крізь подвійні стінки сопла

Останнім етапом створення моделі є конструювання газогенератора та балона зі стисненим повітрям, які приводять всю турбіну в рух. Встановлення каркасу жорсткості, який підтримує весь турбонасосний агрегат над камерою згоряння, та інших невеликих деталей.



Рис. 5. 3D модель двигуна, виконана в різних ракурсах в середовищі Fusion 360

Висновки. У результаті виконання роботи було створено тривимірну модель реактивного двигуна (Рис.5), яка включає всі основні конструктивні елементи, необхідні для його функціонування. Поставлені завдання було успішно реалізовано: побудовано деталізовану та коректну з інженерної точки зору модель об'єкта. Розглянуто найважливіші кроки моделювання, команди та графічні зображення етапів побудови двигуна в середовищі Fusion 360. Досвід, отриманий під час створення цієї моделі є дуже корисним для студентів, що навчаються на спеціальності авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Бібліографічний список

1. Przybiski O. H. *Institute for Aerospace Engineering, Technical University Dresden.* D-01062 Dresden, F. R. Germany. [Електронний ресурс] <https://www.raketenspezialisten.de/pdf/jbisdruckvorlage.pdf>
2. Kiseleva M. *Soviet Rocket Engines* [Електронний ресурс] <https://everydayastronaut.com/soviet-rocket-engines>

RESEARCH OF GEOMETRIC SHAPES AND VOLUME-PLANNING SOLUTIONS OF BUILDINGS IN VARIOUS REGIONS OF UKRAINE

Bannyi T. Postgraduate student,

tarasbannyi@gmail.com

Stadniychuk D. Postgraduate student,

111222@ukr.net

Department of Architectural Structures

Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture (Kyiv, Ukraine)

Abstract. *Ukrainian architectural heritage was formed under the influence of a complex interaction of climatic, geographical and historical and cultural factors. This study reveals characteristic geometric forms and spatial planning solutions in different architectural and climatic regions of Ukraine, analyzing the key factors of their formation.*

Keywords: *geometric shape of the building, spatial planning solutions, geometric modeling, architectural design.*

Ukraine has diverse climatic, historical-cultural and natural conditions that influence the architectural forms of buildings in different regions. The architecture of Ukraine is a pattern woven from climatic conditions, historical influences and material capabilities of each region. From the dense forests of the Carpathians to the endless steppes of the Black Sea region, from the rocky cliffs of the Crimea to the industrial spaces of the Donbass - each region has developed its own unique spatial planning solutions that combine functionality and aesthetics.

Objective. To analyze the geometry of spatial planning solutions for buildings for different regions of Ukraine.

Research progress. Research [1,2] was conducted for different regions of Ukraine.

1. *Western Ukraine* (Carpathians, Galicia, Bukovina).

Building forms. Use of high roofs (gable, four-pitched) with steep slopes for snow loads. Elongated rectangular plans (long houses) with porches and attics. Compact volumes with wooden log cabins or frame-column structures.

Factors that influenced. Climate – high precipitation (over 150 mm), snow loads (over 150 mm), temperature. Materials – availability of wood (spruce, fir). Traditions – influence of Hutsul, Boyko, Lemko architecture.

2. *Central Ukraine* (Podillia, Kyiv region, Poltava region) [3,4].

Building forms. Forms are close to cubic volumes with small roof slopes. Cross-symmetrical plans (houses with 3 or 5 windows). Use of white walls and wooden clay structures.

Factors that influenced. Climate – temperate, less snow than in the mountains. Materials – clay, wood, later brick. Historical influence – baroque, classicism in sacred architecture.

3. *Southern Ukraine* (Steppe zone, Black Sea region, Crimea) [5,6].

Forms. Flat or single-pitched roofs (due to low rainfall). Spacious layout with courtyards (from Turkish-Tatar architecture). Use of stone and adobe walls for thermal insulation.

Factors. Climate: arid, hot, windy. Influence of Crimean Tatar and Greek architecture.

4. *Eastern Ukraine* (Donbas, Slobozhanshchyna) [7,8].

Forms. Brick buildings with simple rectangular shapes. Tall brick pipes (due to industrial traditions). Combination of brick decor with wooden elements.

Factors. Industrial development (impact of mines, factories). Climate. Cold winters, dry summers.

Conclusion. Analysis of architectural and climatic regions of Ukraine allows us to identify fundamental patterns.

Geometric determination. A clear connection between climatic parameters and the geometry of forms, Mathematical expression of architectural proportions. Spatial organization as a function of natural conditions.

Volumetric and planning adaptation. Optimization of internal space for specific climatic requirements. Development of unique constructive solutions for each region. Formation of local architectural schools

Cultural and historical perspective. Accumulation and transfer of construction experience. Formation of regional architectural identities. Interpenetration of different construction traditions. This heritage is not only of historical value, but also contains the potential for modern architectural development. The study of traditional design principles allows us to create energy-efficient, environmentally balanced, green buildings that organically fit into the local context.

Reference

1. Gutsulyak M. Folk housing of the Ukrainian Carpathians. – Lviv, 2005.
2. Logvin G. Ukrainian Carpathians. Architecture of folk housing. – Kyiv, 1993.
3. Zaremba R. Ukrainian folk architecture. – Kyiv, 1987.
4. Taranushenko S. Monumental wooden architecture of Left-bank Ukraine. – Kharkiv, 1926.
5. Belyaev L. Architecture of Crimea. – Simferopol, 2003.
6. Krykun E. Architectural monuments of Crimea. – Kyiv, 1991.
7. Petrenko V. Architecture of Slobozhanshchyna. – Kharkiv, 2010.
8. Shulyka V. Industrial architecture of Ukraine of the 19th–20th centuries. – Dnipro, 2008.

PECULIARITIES OF SOLVING POSITIONAL PROBLEMS OF DESCRIPTIVE GEOMETRY ON DRAWINGS WITH NUMERICAL MARKS

Sergey Zalevsky¹, PhD,
zalsergkpi@gmail.com, ORCID 0000-0002-7411-1462;
Oleksandra Boiko², Senior Lecturer,
o.boiko@zsi.slupsk.pl, ORCID: 0009-0001-0652-9074;
Valentina Savchuk¹, Assistant,
svs_sav@ukr.net, ORCID: 0009-0005-4776-7916;
Oleksii Vorobiov¹, Student gr. TA-33,
ta33.vorobiov.oleksii@gmail.com

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Ukraine, Kyiv)

²Unification of IT schools in Slupsk, Slupsk, Poland

Abstract - In the training of mining engineers, it is necessary to master the means of developing projections with numerical marks that are most rational when depicting surfaces in which the height dimensions are much smaller than the horizontal ones. The absence of the usual coordinate system, namely the frontal and profile planes of projections, makes some adjustments to the methodology of depicting geometric elements and leads to the need to use specific notations and methods for solving geometric problems. The paper considers the peculiarities of solving a typical problem of descriptive geometry on a drawing with numerical markings. Also, the basic terms and concepts used in the development of surveying drawings are given.

Keywords - numerical marks, topographic drawing, intersection of a line with a plane, embedding, horizontal spacing, line of incidence, scale of embedding, lines of extension.

Problem statement. For the training of mining engineers, a very important component is mastering the course of surveying and topographic drawing. This gives students the opportunity to master the necessary tools and skills to draw up surveying drawings, which are an integral part of the design of mining enterprises. Such drawings depict the shape and conditions of minerals, as well as the surface topography. The use of projections with numerical markings should be introduced into the professional training of students of mining specialties.

Analysis of recent research. The vast majority of works devoted to the development of numerical markings drawings consider in detail the principles of depicting geometric objects and surface relief, but insufficient attention is paid to covering methods for solving geometric problems. Paper [1] describes in detail

the features of depicting a line and a plane on a drawing with numerical marks, but does not provide features of solving geometric problems. Work [2] discusses some basic concepts of the relative position of two lines and a straight plane, but does not provide methods for solving practical problems related to the intersection of these geometric elements.

Formulation of goals (task setting). The method of using projections with numerical marks is the basis of graphic documents of mining enterprises (plans of mining operations; floor, horizontal, summary and other plans). knowledge of this method is a necessary component of the professional training of a mining engineer.

The main part. In descriptive geometry, three orthogonal projection planes are used to depict an object. But this is possible only when the vertical and horizontal dimensions of the object are approximately the same. If the height of the figure is much lower than its horizontal dimensions, it is inconvenient to use the system of three projection planes. In this case, instead of building frontal and profile projections, you use numerical marks that are placed near the projections of points on the horizontal plane. Numeric marks indicate the distance to the horizontal projection plane (Z coordinate of a conventional drawing book). They are positive (the point is above P_1) or negative (the point is below P_1). In surveying plans, the most common unit of measurement is the meter. To set points, you need to have a scale (Fig. 1).

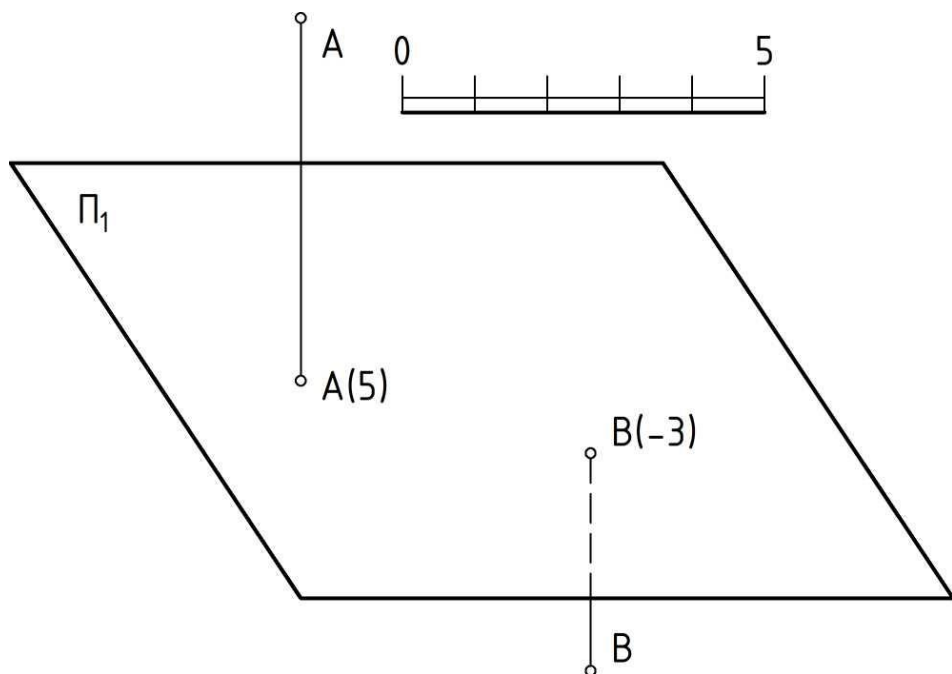


Figure 1. A point on a drawing with numerical marks

The position of a line in space can be determined by two points or by one point and a direction with a given slope angle (Figure 2), where i is the slope of the line. It is calculated as the ratio of the difference in the heights of the points to

the line's slope. The line's intercept is the length of the line's projection onto the plane P_1 . The arrow indicates the direction of the line's slope.

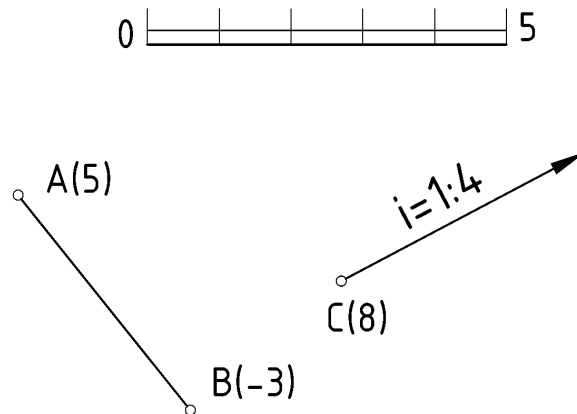


Figure 2. Image of a line on a drawing with numerical marks

The length of the embedding that corresponds to the unit of excess is called the line interval. To solve problems, it is convenient to use graduated lines, i.e. lines with integer numerical marks. The line is graduated using Thales' theorem (Fig. 3).

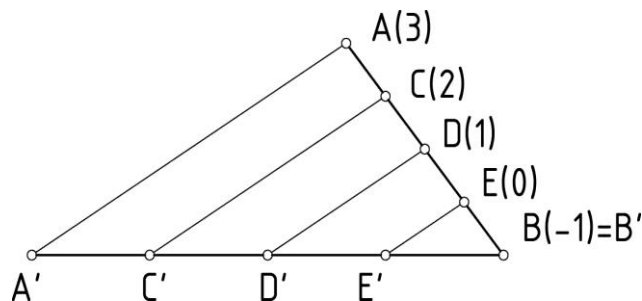


Fig. 3. Graduation of a straight line

A plane can be defined by three points that do not lie on the same line, two intersecting lines, two parallel lines, and so on. In drawings with numerical symbols, it is customary to define a plane using its characteristic lines: the horizontal and the plumb line (line of greatest inclination) of the plane. In mining, instead of the term "line of greatest inclination", the term "dip line" is used and instead of "horizontal" - "strike line". In the projection on P_1 , α is indicated - the angle of extension of the plane, which is measured from the north direction (X coordinate) clockwise to the direction of projection of the extension line. The plan depicts the "embedding scale" - a graded projection of the dip line. It is depicted as a double line (thin and thick) with divisions that correspond to the elevation (Fig. 4)

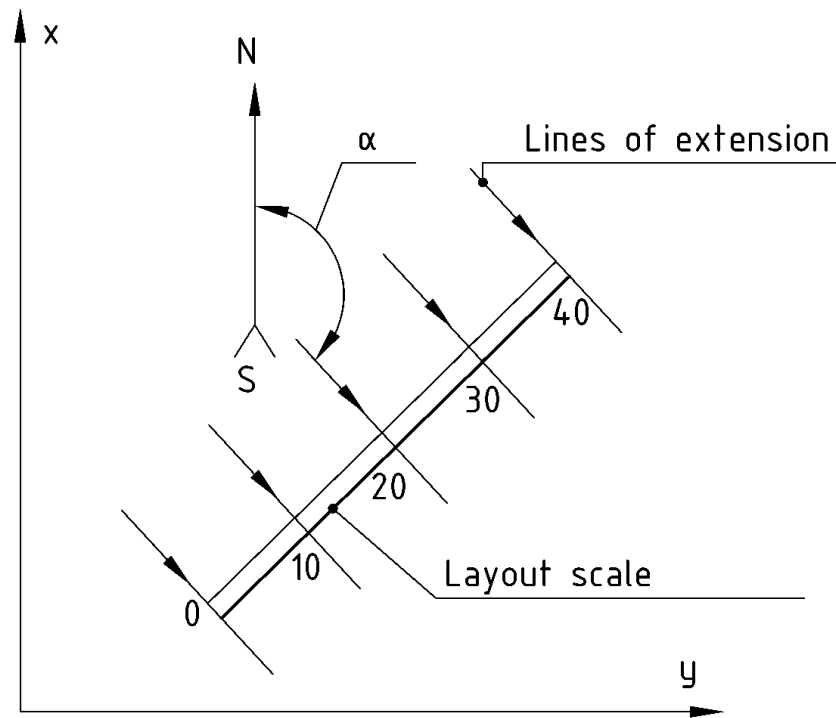


Figure 4. Image of a plane on a drawing with numerical marks

Let's consider solving the problem of intersection of a line with a plane on a drawing with numerical symbols. To do this, we include the line in the auxiliary plane-mediator of the general position (Fig. 5)

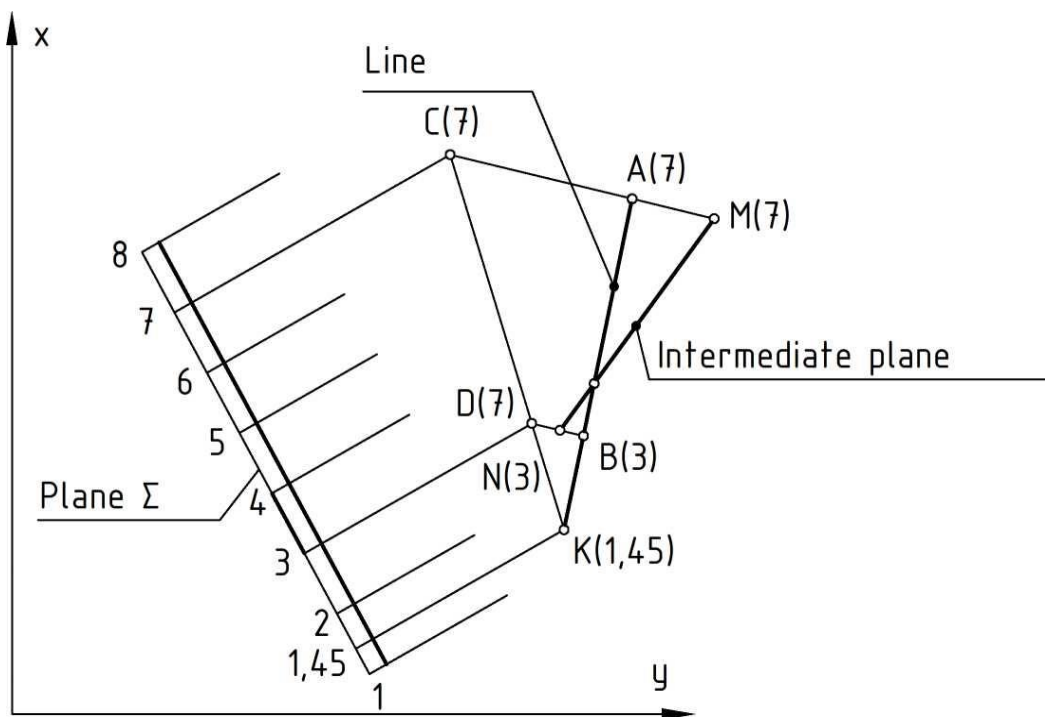


Figure 5. Intersection of a line with a plane

Next, we look for the line of intersection of the given plane Σ and the intermediary plane. To do this, draw a horizontal at the numerical mark of the line through point A(7). Using the rule of parallelism of plane horizontals, we get the line of extension at point B(3). The line C(7)D(3), drawn through the obtained intersection points of the horizontals with the same numerical values, is the line of intersection of the intermediary plane and the given plane Σ . Next, we define the desired point K as the point of intersection of the line of intersection of the planes with the given line. The numerical designation of the resulting point is sought by projecting it onto the slope scale line of the given plane Σ or by graduating the line A(7) B(3).

Conclusions. The paper considers the issues of creating drawings with numerical marks. The basic principles of creating images on topographic maps are presented. The application of general methods for solving problems of descriptive geometry when using images of objects with numerical marks is shown. An example of solving a typical problem of descriptive geometry is given.

References.

1. Mining computer graphics in projections with numerical marks. Methodical instructions for performing laboratory work for students of the direction 6.050301 Mining / O.I. Dodatko: NSU, 2012. - 49 p. [in Ukrainian].
2. Pik A.I., Kovbashin V.I., Rasskazov Y.S. Projections with numerical markings. Ternopil: Ivan Puluj TNTU Publishing House, 2010. 58 p. [in Ukrainian].
3. Sz. Chmielewski, T.J. Chmielewski, A. Mazur Publisher. Engineering graphics in environmental protection, landscape architecture and urban planning. Volume I. Lublin: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, 2009. p. 231. [in Polish].
4. Robert Molasy. Inzynierska grafika: principles of projection and dimensioning. Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2012. p. 256. [in Polish].
5. Nikulina V. Descriptive geometry. Study guide / V. Nikulina - Lutsk: LNTU, 2008. - 134p. [in Ukrainian].
6. Section: descriptive geometry. A course of lectures for distance learning. Study guide - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021. 171 p. [in Ukrainian].
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/39819>
7. Vanin V.V., Bilytska N.V., Hetman O.G., Mikhlevska N.V. Educational tasks in descriptive geometry and engineering graphics for programmed learning of students of non-mechanical specialties - K.: NTUU "KPI", 2013. - 60 p. [in Ukrainian]. https://ng-kg.kpi.ua/files/Vanin_Bilitska.pdf

КРИВА ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛІНДРА, ЯКА ЗАБЕЗПЕЧУЄ СТАЛУ ШВИДКІСТЬ РУХУ ЧАСТИНКИ

Пилипака С.Ф.¹, д.т.н., професор,
psf55@ukr.ua, ORCID 0000-0002-1496-4615

Воліна Т.М.¹, к.т.н., доцент,
volina@nubip.edu.ua, ORCID 0000-0001-8610-2208

Кресан Т.А.², к.т.н., доцент,

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України,
(Україна, м. Київ)

tsm0515tsm@gmail.com, ORCID 0000-0002-8280-9502

² Відокремлений підрозділ НУБіП України «Ніжинський агротехнічний
інститут» (Україна, м. Ніжин)

Анотація – відомо, що по площині, нахиленій під кутом тертя до горизонту, частинка може рухатися по прямій найбільшого нахилу із заданою сталою швидкістю. Ця швидкість залежить від початково заданої і може мати різну величину включаючи і нуль. Це означає, що при відсутності поштовху частинка рухатися не буде, а її стала швидкість руху буде залежати від сили поштовху в напрямі лінії найбільшого нахилу.

В статті розглянуто питання, чи існує криволінійний аналог прямолінійної траєкторії руху частинки по площині. Для цього розглядається крива ортогонального перерізу циліндричної поверхні з горизонтальними прямими. Якщо взяти довільний циліндр, то швидкість ковзання частинки по кривій його поперечного перерізу буде змінною. Розв'язується задача знаходження кривої поперечного перерізу для циліндра, по якій частинка могла б рухатися із сталою швидкістю під дією сили власної ваги.

Ключові слова – прискорення, відцентрова сила, сила ваги, диференціальні рівняння, тригранник Френе, стала швидкість.

Постановка проблеми. Відомо, що під дією сили тяжіння частинка рухається по похилій площині вздовж напрямку найбільшого спуску. Такий рух може бути рівномірним, якщо кут нахилу площини дорівнює куту тертя, або рівноприскореним – коли цей кут перевищує кут тертя. Виникає питання: чи можуть існувати циліндричні поверхні з горизонтальними прямолінійними твірними, які забезпечують сталу швидкість руху частинки? Рух по такому циліндру можна розглядати як рух по кривій у його поперечному перерізі. Отже, просторову задачу можна звести до площинної, а визначення форми циліндра – до пошуку відповідної кривої, що є його поперечним перерізом.

Аналіз останніх досліджень. Існують численні праці знаходження траєкторій руху окремої частинки як по нерухомих, так і по рухомих поверхнях. Щодо нерухомих або стаціонарних поверхонь здебільшого вони стосуються гвинтових поверхонь як таких, що широко використовуються для сепарації технологічного матеріалу в гірничорудній промисловості та різного роду гравітаційних спусків. Прикладом може служити праця [1], в якій розглянуто рух частинки під дією власної ваги по поверхні розгортного гелікоїда. Стосовно циліндричних стаціонарних поверхонь заслуговує на увагу праця [2], в якій розглянуто рух частинки по їх внутрішній поверхні.

Формулювання цілей. Розробити аналітичний опис руху частинки, яка ковзає по кривій поперечного перерізу горизонтального циліндра під дією сили власної ваги і при цьому має сталу швидкість.

Основна частина. Якщо в точці A (рис. 1,а) помістити частинку, то під дією сили власної ваги вона рухатиметься по кривій поперечного перерізу циліндра. При цьому може виникати як тангенціальне прискорення внаслідок зміни швидкості V руху, так і доцентрове внаслідок криволінійної траєкторії. Складання диференціальних рівнянь руху частинки зручно робити в проєкціях на орти супровідного тригранника Френе кривої поперечного перерізу циліндра. Вершина тригранника збігається із положенням частинки, при цьому орт бінормалі $\bar{b}$ проєкціюється в точку (рис. 1,б). Під час руху точки по кривій завжди виникає прискорення w , навіть якщо швидкість V залишається сталою. Це прискорення має дві складові. Перша — тангенціальне прискорення — описує зміну модуля швидкості, проєкціюється на напрям дотичної до траєкторії, тобто на орт $\bar{\tau}$ та визначається як похідна швидкості за часом t : $w_{\tau} = dV/dt$.

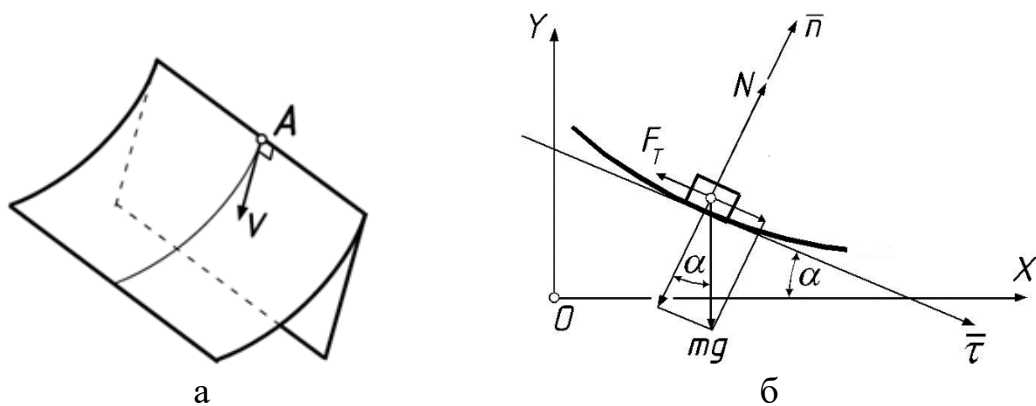


Рис. 1. Графічні ілюстрації до руху частинки по кривій поперечного перерізу горизонтального циліндра:

- а) траєкторія руху частинки по поверхні циліндра вздовж кривої поперечного перерізу;
- б) супровідний тригранник Френе траєкторії (бінормаль $\bar{b}$ проєкціюється в точку) та проєкціювання на його орти діючих сил

Друга складова — нормальне або доцентрове прискорення — відображає зміну напрямку вектора швидкості і проєкціюється на орт

головної нормалі тригранника Френе. Вона розраховується як добуток кривини k на квадрат швидкості V : $w_n = V^2 k$. Під час такого руху орієнтація супровідного тригранника змінюється, і її можна охарактеризувати кутом α , який утворює орт дотичної $\vec{\tau}$ з віссю OX нерухомої системи координат (рис. 1,б).

Запишемо відомі диференціальні рівняння руху частинки в проєкціях на орти супровідного тригранника Френе:

$$m \frac{dV}{dt} = F_\tau; \quad mV^2 k = F_n, \quad (1)$$

де m – маса частинки;

F_τ і F_n – проєкції прикладених до частинки сил.

Прикладеними силами є: сила ваги mg ($g=9,81 \text{ м/с}^2$), спрямована вниз; реакція N поверхні, спрямована вздовж головної нормалі тригранника; сила тертя F_T , спрямована в протилежну сторону напрямку руху частинки (рис. 1,б). Дві останні сили збігаються із ортами тригранника і не змінюють свого напрямку в його системі. Силу ваги розкладаємо на орти тригранника через кут α . Після цього рівняння (1) набувають вигляду:

$$m \frac{dV}{dt} = mg \sin \alpha - F_T; \quad mV^2 k = N - mg \cos \alpha. \quad (2)$$

Сила тертя F_T визначається через силу реакції N : $F_T = fN$, де f – коефіцієнт тертя. Реакцію N знаходимо із другого рівняння (2): $N = mg \cos \alpha + mV^2 k$. Таким чином, вираз для сили тертя запишеться: $F_T = fm(g \cos \alpha + V^2 k)$. Підставляємо цей вираз у перше рівняння (2) і після скорочення на масу m отримаємо диференціальне рівняння руху частинки по кривій:

$$\frac{dV}{dt} = g(\sin \alpha - f \cos \alpha) - fV^2 k. \quad (3)$$

Отримане рівняння (3) неможливо розв'язати, тому що змінні величини t , V , α , k не приведені у функціональну залежність від однієї незалежної змінної. За таку змінну приймемо кут α нахилу орта дотичної до горизонтальної прямої. Отже швидкість V є функцією кута α , тобто $V = V(\alpha)$. Кривину, яка визначається, як швидкість зміни кута α від довжини дуги s , тобто $k = d\alpha/ds$, запишемо через обернену величину ρ : $\rho = 1/k = ds/d\alpha$. Здійснюємо наступне перетворення: $dV/dt = dV/d\alpha \cdot d\alpha/dt = \omega \cdot dV/d\alpha$, де ω – кутова швидкість повороту дотичної до кривої. Знайдемо її вираз через швидкість руху частинки і кривину кривої наступним чином: $\omega = d\alpha/dt = d\alpha/ds \cdot ds/dt = V \cdot d\alpha/ds = V/\rho$. Таким чином, вираз прискорення набуває наступного вигляду: $dV/dt = V \cdot V'/\rho$. Із врахуванням цього рівняння, а також після заміни кривини k на обернену величину ρ рівняння (3) запишеться:

$$\frac{VV'}{\rho} = g(\sin \alpha - f \cos \alpha) - \frac{fV^2}{\rho}. \quad (4)$$

Розв'яжемо (4) відносно $\rho = ds/d\alpha$ і отримаємо:

$$\frac{ds}{d\alpha} = \frac{V(V' + fV)}{g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}, \quad (5)$$

де швидкість V є функцією кута α її похідна визначається як $V' = dV/d\alpha$.

Залежність $\rho = ds/d\alpha$ є внутрішнім рівнянням кривої, не прив'язаним до системи координат. Перехід до координатного запису у вигляді параметричних рівнянь здійснюємо інтегруванням відомих виразів:

$$x = \int \rho \cos \alpha d\alpha; \quad y = \int \rho \sin \alpha d\alpha. \quad (6)$$

Після підстановки (5) у (6) і інтегрування отримуємо параметричні рівняння кривої поперечного перерізу циліндра:

$$\begin{aligned} x &= \frac{fV^2}{g} \int \frac{\cos \alpha d\alpha}{\sin \alpha - f \cos \alpha} = \frac{fV^2}{g(1+f^2)} [\ln(f \cos \alpha - \sin \alpha) - f\alpha]; \\ y &= \frac{fV^2}{g} \int \frac{\sin \alpha d\alpha}{\sin \alpha - f \cos \alpha} = \frac{fV^2}{g(1+f^2)} [f \ln(f \cos \alpha - \sin \alpha) + \alpha]. \end{aligned} \quad (7)$$

За рівняннями (7) на рис. 2 побудовано криві при різних сталих значеннях швидкості V і коефіцієнті тертя f . Вітки кривої прямують у нескінченність, при цьому асимптотично наближаються до прямої лінії. Можна допустити, що прямолінійні ділянки віток нахилені під кутом тертя $\alpha_\infty = \arctg f$ до горизонтальної прямої. До рівнянь (7) входить вираз $\ln(f \cos \alpha - \sin \alpha)$. Знайдемо границю цього виразу при прямованні кута α до кута тертя:

$$\lim_{\alpha \rightarrow \arctg f} \ln(f \cos \alpha - \sin \alpha) = -\infty. \quad (8)$$

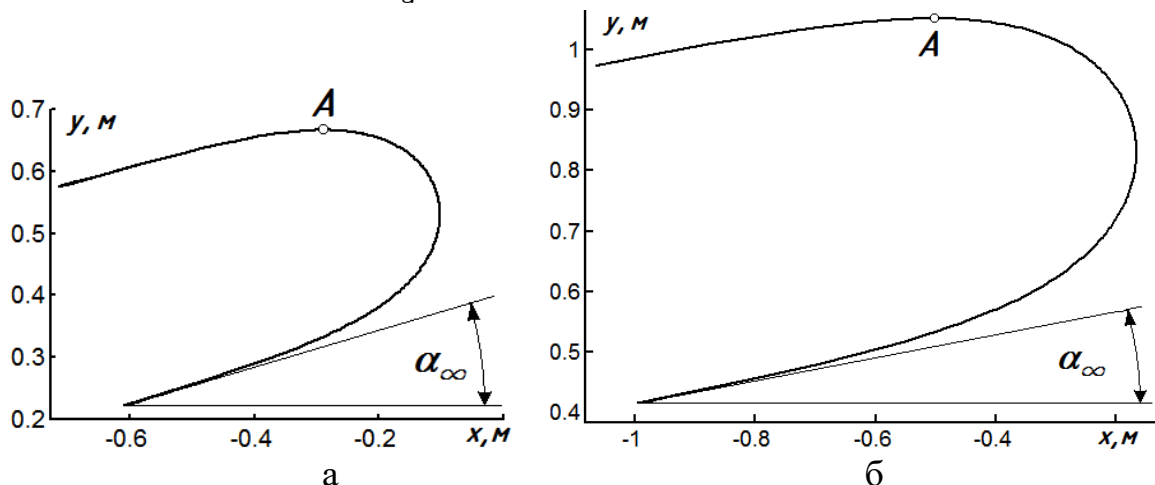


Рис. 2. Криві поперечного перерізу циліндра, які забезпечують сталу швидкість руху частинки V по них під дією сили своєї ваги:

- а) $V=2$ м/с, $f=0,3$;
- б) $V=3$ м/с, $f=0,2$

Це вказує на те, що наше допущення правильне. Криві на рис. 2 розбиті на дві ділянки точкою A . Якщо в точці A надати матеріальній частинці початкову швидкість V , спрямовану вліво, вона почне рухатися по опуклій стороні кривої, яка поступово наближатиметься до прямої, нахиленої до горизонту під кутом тертя. У разі, коли частинка отримує початкову швидкість V , спрямовану вправо, вона так само рухатиметься по кривій, що з часом наближається до прямої, але вже з увігнутої сторони. У цьому випадку ділянку кривої можна розглядати як своєрідний кожух, який змінює

траєкторію руху частинки під час її вільного польоту. Без такого кожуха частинка рухалася б по параболі з прискоренням (якщо не враховувати опір середовища). Завдяки тертю, що діє в межах кожуха, прискорення гаситься, і частинка продовжує рух із сталою швидкістю. На відміну від похилої площини, форма кривої в поперечному перерізі циліндра визначається заданою швидкістю V руху частинки. Якщо площина нахилена під кутом тертя до горизонту, то по ній частинка може рухатися з будь-якою заданою початковою швидкістю. Для циліндричної поверхні рух частинки відбувається інакше. Крива перерізу знаходиться для конкретної швидкості. Для різних сталих швидкостей форма перерізу змінюється. Це пояснюється тим, що при русі частинки по кривій виникає відцентрова сила, яка відсутня при русі по прямій.

Висновки. Отримано аналітичний опис руху частинки під дією сили своєї ваги по кривих, які представляють собою поперечний переріз циліндра із горизонтальними прямолінійними твірними. Розв'язання задачі відбувається у два етапи. На першому етапі складається диференціальне рівняння руху у проєкціях на орти супровідного тригранника Френе кривої. Його розв'язком є внутрішнє рівняння кривої, що задає залежність довжини дуги від кута нахилу дотичної. На другому етапі здійснюється перехід від цього внутрішнього опису, незалежного від декартової системи координат, до параметричних рівнянь. Запропонований підхід дозволяє будувати форму поперечного перерізу циліндра відповідно до заданих умов руху частинки. Зокрема, знайдено криву поперечного перерізу циліндра, яка є траєкторією руху частинки із заданою сталою швидкістю.

Бібліографічний список

1. Войтюк Д.Г. Знаходження траєкторії руху матеріальної точки по гравітаційній розгортній поверхні на прикладі розгортного гелікоїда / Д.Г. Войтюк, С.Ф. Пилипака // *Механізація і енергетика сільського господарства*. IV міжнародна науково-технічна конференція MOTROL-2003. - К.: НАУ, 2003. – Том 6. – С. 113-126.

2. Лінник М.К. Дослідження руху матеріальної частинки по внутрішній поверхні стаціонарного циліндра / М.К. Лінник, С.Ф. Пилипака // *Вісник аграрної науки*. – К., 2006. № 2. – С. 48–54.

ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ МЕТОДІВ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ГЕОМЕТРІЇ КРИВИХ ЛІНІЙ ТА ПОВЕРХОНЬ

Несвідомін А.В., к.т.н., докторант,

a.nesvidomin@gmail.com

Захарова Т.М., к.т.н., доцент

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

***Анотація** – будь-які сучасні дослідження, в тому числі геометричне моделювання технічних форм, процесів та явищ методами диференціальної геометрії кривих ліній та поверхонь, потребують розробки відповідного програмного забезпечення в існуючих пакетах символьної математики. На прикладах побудови тригранника Френе показано особливості його програмування в CAS MapleSoft та функцій Wolfram Mathematica.*

***Ключові слова** – диференціальна геометрія, криві лінії, поверхні, тригранник Френе, об'єктно-орієнтоване та, функціональне програмування.*

Постановка проблеми. До характерних ознак диференціальної геометрії кривих ліній, як предметної області програмування, віднесемо: 1) необмежену кількість їх назв та різноманітні форми їх аналітичного запису, що потребує формування баз даних, наприклад, за допомогою асоціативних списків; 2) методи дослідження їх геометричних властивостей нараховують десятки назв, наприклад для кривої, знаходження її довжини, дотичної, нормалі, бінормалі, кривини, скруту тощо; 3) подібні дослідження виконуються через виконання ланцюга аналітичних перетворень з використанням диференціально-інтегральних числень, результатом яких є досить громіздкі формули; 4) суттєву роль у дослідженні кривих ліній та поверхонь відіграє необхідність різноманітної візуалізації цих багатовидів для практичного їх використання та інтерактивного діалогу впливу змінних параметрів форм та положень.

Враховуючи вищевикладене, потрібно визначитися у виборі найбільш зручної та ефективної парадигми програмування методів диференціальної геометрії в існуючих пакетах комп'ютерної алгебри (символьних перетворень). Для середнього класу ПК на сьогодні таким CAS-пакетами є взаємно конкуруючі *Maple* [1] і *Mathematica* [2], які різняться стилями програмування, можливостями розширення користувацького функціоналу, засобами інтеграції з іншими середовищами програмування.

Аналіз останніх досліджень. Аналізуючи існуючі дослідження з комп'ютеризації диференціальної геометрії кривих ліній та поверхонь з використанням різноманітних сервісів штучного інтелекту (LLM) та кодування (*vibe coding*) на сьогодні можна стверджувати про необхідність органічного поєднання науковця з цими невпинно розвиваючими технологіями. Вибір парадигми програмування залежить від науковця, оскільки впливає не тільки на структуру коду та загальний підхід до розв'язання задачі, але і на спосіб мислення розробника програмного забезпечення, його бачення кінцевого результату.

Формулювання цілей. Розкрити особливості застосування *Mathematica* та *Maple* до розробки відповідно функціонального та об'єктно-орієнтованого програмування методів диференціальної геометрії кривих ліній та поверхонь, їх представлення та оперування.

Основна частина. Виходячи з основних принципів об'єктно-орієнтованого програмування (ООП), комп'ютеризацію диференціальної геометрії кривих ліній та поверхонь в *Maple* будемо здійснювати як створення системи взаємодіючих багатовидів:

1. *CURVes* - крива лінія, як вектор-функція $r(u)$ одної змінної u ;
2. *SURFace* - поверхня, як вектор-функція $r(u,v)$ двох змінних u і v ;
3. *SOLiD* - тіло, як вектор-функція $r(u,v,w)$ трьох змінних u , v і w ;
4. *SURF_CURV* - крива лінія $r(t)$ на поверхні $r(u,v)$ і т.д.

Хоча *Maple* (версія 2024 року) має потужний інструментарій програмування власних процедур (*proc*) та модулів (*module*), але повнофункціональна підтримка принципів об'єктно-орієнтованого програмування (клас, поліморфізм, наслідування) в ньому відсутня. Нижченаведений фрагмент програмного коду демонструє можливість інкапсуляції атрибутів кривої (на прикладі гвинтової лінії, область визначення параметра u) та методи її дослідження (кількість яких нараховує більше 60 назв).

```
CURV:=proc(fr::list:=[a cos(u),a sin(u),b u],fu::anything:=u=0..2Pi)
  description "Curve methods":
  module()
    export set,get,..., frene;
  frene := proc(uu::anything := NULL, $)
    description "Frene vectors of the curve cr at the point u=ui";
    [tang(uu), norm(uu), binorm(uu)];
  end proc;
```

Створення об'єкта "гвинтова лінія" здійснюється викликом процедури *CURV*:

```
o1 := CURV(uabHelixCylinder(u, a, b), u = 0 .. 2 Pi);
```

Визначення ортів тригранника Френе (дотичної, нормалі та бінормалі) в точці $u=\pi$ гвинтової лінії відбувається викликом методу *frene* об'єкта *o1*:

```
o1.-frene(u=Pi);
```

$$\left[\left[-\frac{a \sin(u)}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \frac{a \cos(u)}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right], [-\cos(u), -\sin(u), 0], \left[\frac{b \sin(u)}{\sqrt{a^2 + b^2}}, -\frac{b \cos(u)}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right] \right]$$

Зображення гвинтової кривої з тригранником Френе здійснюється викликом методу *frenePlot* об'єкта *o1* (рис.1,а), а його використання для формування поверхні дотичних показано на рис.1,б.

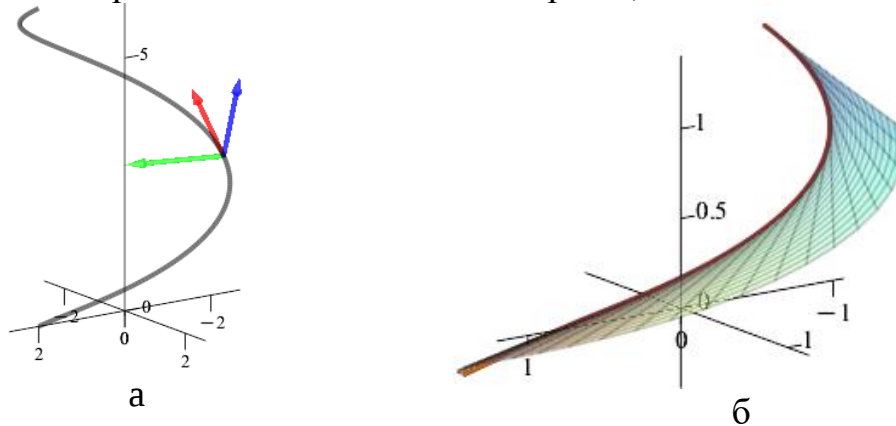


Рис.1. Гвинтова лінія: а) орти тригранника Френе; б) розгортний гелікоїд

До основних принципів функціонального програмування (ФП) в пакеті *Mathematica* відноситься незмінність даних, декларативний стиль опису задачі, перетворенню даних за допомогою композиції функцій. Вся багатогранність кривих ліній, поверхонь, їх методів дослідження в *Mathematica* реалізується за допомогою пакетів (packages) функцій, як задання багатовидів диференціальної геометрії, так і їх досліджень. Наприклад, створений пакет *curves* включає сотні функцій параметрично заданих кривих ліній у вигляді асоційованого списку – назва кривої, її параметричне рівняння, параметри форми, незалежний параметр, його область визначення тощо. Для гвинтової лінії це буде функція *abHelixCylinder[a,b][u]*, яка повертає асоційований список у вигляді:

$\langle |rr \rightarrow \{a \cos[u], a \sin[u], b u\}, uu \rightarrow \{u, 0, 2\pi\}, pp \rightarrow u, ff \rightarrow \text{helixCylinder} \rangle |$

Інший пакет функцій *curveProperties* включає десятки назв методів дослідження будь-якої кривої, як вектор-функції одної змінної $r[u]$. Знаходження вектора дотичної у символьному вигляді або ж у вигляді числових даних в заданій точці кривої потрібно викликати одну і ту ж функцію *crTangent* але з різними параметрами, наприклад:

$\text{crTangent}[\text{abHelixCylinder}[a,b][u], u] \rightarrow \{-\sin[u], \cos[u], 0.5\};$
 $\text{crTangent}[\text{abHelixCylinder}[1,0.5][u], \{u, \pi\}] \rightarrow \{0, -1, 0.5\}.$

Побудова ортів тригранника Френе в точці $u=\pi$ (рис.2,а) здійснюється викликом функції *crTNBfrenetPlot*:

$\text{crTNBfrenetPlot}[\text{abHelixCylinder}[1,0.5][u], \{u, \pi\}].$

Для побудови евольвенти (рис.2,б) гвинтової лінії потрібна функція *crEvolventPlot*
 $\text{crEvolventPlot}[\text{abHelixCylinder}[1,0.5][u], \{u, 2\pi\}].$

Звернемо увагу на вкладеність функцій – внутрішня функція визначає задану криву $\text{abHelixCylinder}[1,0.5][u]$ з відповідними параметрами її форми, а зовнішня функція *crEvolventPlot*[...] - її властивість (метод). Об'єкт, який зберігає властивості гвинтової лінії, тут відсутній, а дані передаються між функціями у вигляді їх композицій.

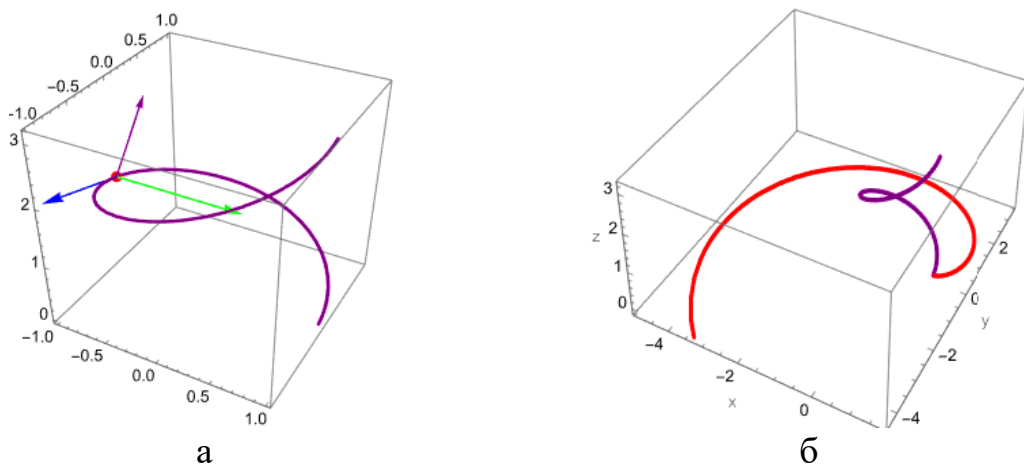


Рис.2. Орти тригранника Френе та евольвента гвинтової лінії

Зазначимо, що пакет *Maple* в повній мірі реалізує і функціональне програмування подібно до пакету *Mathematica*.

Таким чином, вибір парадигми програмування тієї чи іншої предметної області залежить не тільки від складності задач, вимог до надійності та зручності супроводу коду, але і від специфіки використовуваної CAS, звичками розробника програмного забезпечення. На нашу думку, парадигма об'єктно-орієнтованого програмування більш природно дозволяє моделювати такі геометричні сутності як криві лінії, поверхні, тіла - об'єкти, що об'єднують різнобічні властивості та операції над ними. Цей підхід є інтуїтивно більш зрозумілим при моделюванні конкретних геометричних багатовидів, програмний код є більш компактним. В той же час, функціональне програмування має свої переваги в надійності та передбачуваності кінцевого результату, виразності коду, і що в подальшому кодуванні важливо – це розпаралелювання обчислень (чим *Mathematica* суттєво відрізняється від *Maple*).

Висновки. Оскільки диференціальна геометрія включає як велику кількість досить складних сутностей (криві, поверхні, криві на поверхнях, тіла), так і складні послідовності математичних дій над ними (обчислення кривин, скруту, квадратичних форм тощо), то жодна із парадигм програмування ідеально не покриває обидва аспекти одночасно - ООП організовує код навколо сутностей (об'єктів), тоді як ФП організовує його навколо дій (функцій). Усунення трудомісткості кодування сучасними сервісами штучного інтелекту призведе до можливої інтеграції цих двох парадигм програмування диференціальної геометрії кривих ліній та поверхонь.

Бібліографічний список

1. <https://www.maplesoft.com/>
2. <https://www.wolfram.com/mathematica/>

ВИКОРИСТАННЯ FUSION 360 І 3D-ДРУКУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ СТІЙКИ ШАСІ ЛІТАКА CESSNA 205

Грубич М.В., асистент

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

Краснощок М. студент ІАТ

markkrasnoshek@gmail.com

Шаніна А., студентка ІАТ

nastyashanina23@gmail.com

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

***Анотація** – у статті розглянуто процес створення 3D-моделі авіаційної стійки шасі літака малої авіації Cessna 205 з використанням сучасного програмного забезпечення Fusion 360. Подано етапи побудови моделі, особливості застосування інструментів програми та обґрунтовано вибір геометричних параметрів. Окрему увагу приділено підготовці моделі до 3D-друку та практичній реалізації фізичного зразка за допомогою принтера Bambu Lab A1 Mini. Результати роботи можуть бути корисними для студентів і фахівців, які вивчають 3D-моделювання та прототипування в авіаційній галузі.*

***Ключові слова** – адитивні технології, Fusion 360, 3D-моделювання, 3D друк, 3D принтер, стійка шасі.*

Постановка проблеми. Сучасна інженерна освіта та авіаційна промисловість вимагають ефективних підходів до вивчення та відтворення просторових технічних об'єктів, зокрема за допомогою засобів 3D-моделювання та прототипування. Одним із актуальних завдань є формування практичних навичок створення складних конструктивних елементів авіаційної техніки. Впровадження таких технологій у навчальний процес сприяє не лише закріпленню теоретичних знань, але й розвитку інженерного мислення та технічної креативності. У зв'язку з цим постає необхідність у дослідженні методики створення функціональних 3D-моделей та їх відтворення засобами 3D-друку.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження у сфері 3D-моделювання та авіаційного проєктування демонструють активне впровадження генеративного дизайну та адитивних технологій для оптимізації конструкцій. Зокрема, використання Fusion 360 дає змогу створювати легкі, але міцні моделі авіаційних компонентів, у тому числі

стійок шасі. Досвід практичного застосування 3D-друку, зокрема на компактних пристроях типу Bambu Lab, підтверджує ефективність такого підходу як в освітньому процесі, так і для створення прототипів у машинобудуванні та аерокосмічній сфері.

Формулювання цілей. Метою дослідження є розробка 3D-моделі стійки шасі до літака Cessna 205 в середовищі Fusion 360 та її реалізація на 3D-принтері. Робота спрямована на вивчення сучасних інструментів CAD та адитивних технологій для створення функціональних прототипів авіаційних компонентів.

Основна частина. Процес створення 3D-моделі стійки шасі розпочався з аналізу конструктивних вимог і параметрів, які необхідно врахувати для точного відтворення компонента. У середовищі Fusion 360 було використано інструменти для параметричного моделювання, що дозволяють задавати точні геометричні характеристики (рис.1).

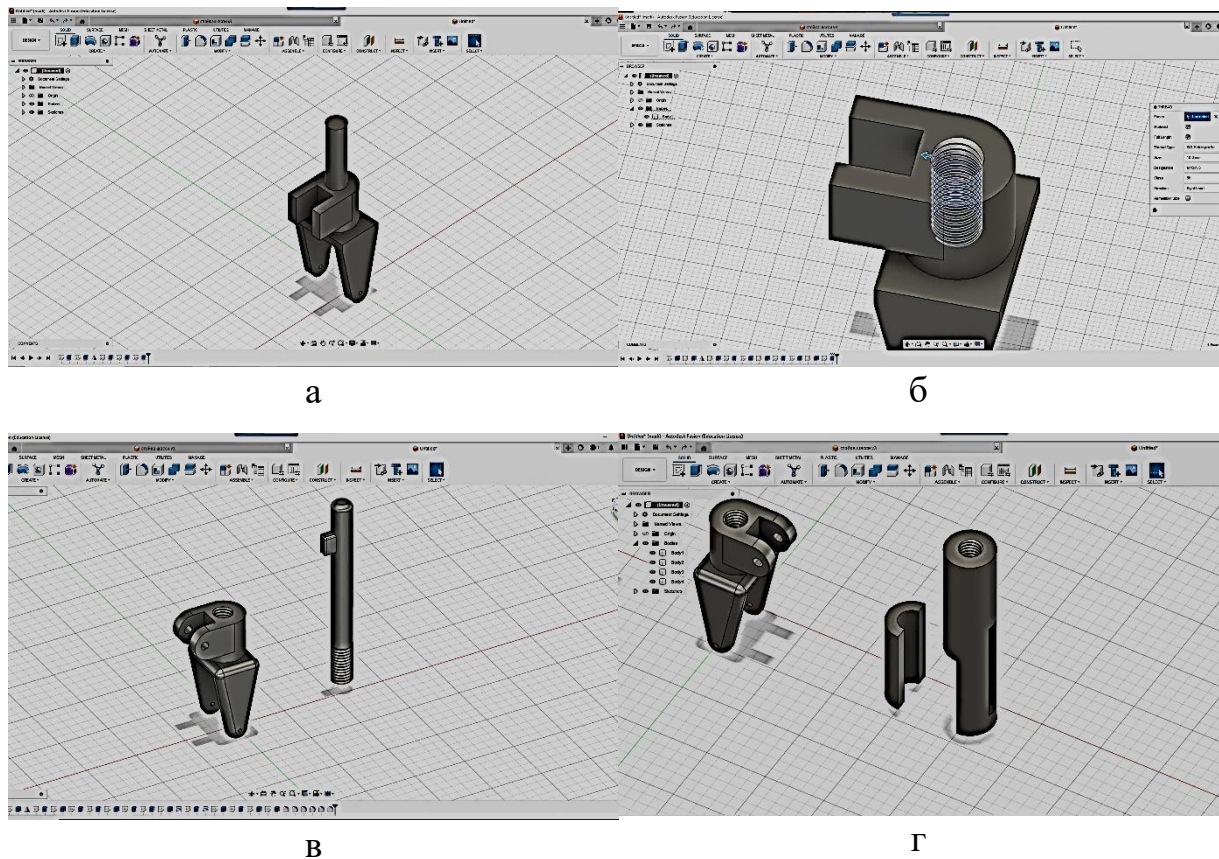


Рис. 1. Етапи створення моделі в середовищі Fusion 360; а) основна заготовка; б) створення нарізі командою THREAD; в) закруглення кутів за допомогою команди FILLET; г) вигляд трьох деталей

Після завершення моделювання, наступним етапом стало підготування моделі до друку. Враховуючи особливості 3D-принтера, було проведено аналіз товщини стінок, вибір матеріалу (PLA) та налаштування параметрів друку, таких як висота шару та швидкість друку (рис. 2). Завдяки

використанню Fusion 360, модель була експортована у формат STL, який є сумісним з більшістю 3D-принтерів.

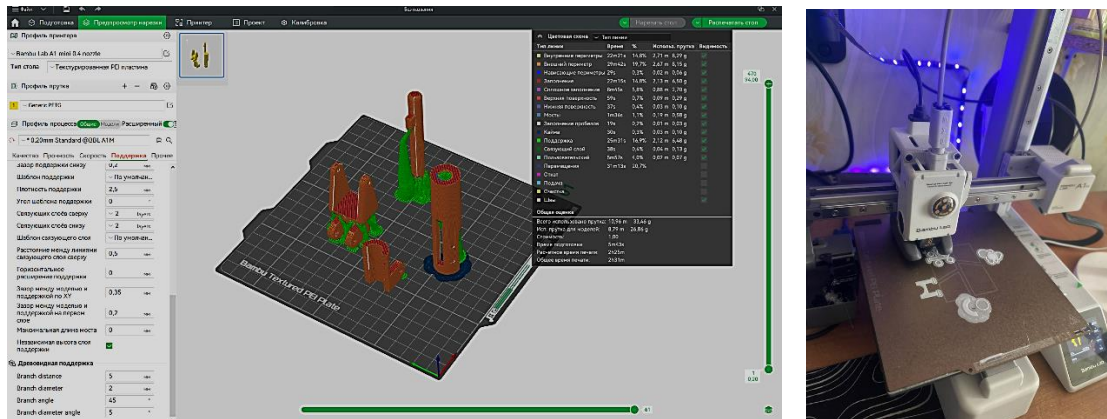


Рис.2. Етапи друку

Для друку був використаний принтер Bambu Lab A1 Mini, який продемонстрував хорошу точність та стабільність під час виготовлення деталі.

Модель була роздрукована за кілька етапів, що дозволило провести необхідні коригування в разі виявлення помилок. Завдяки високій точності принтера, прототип виявився функціональним та придатним для подальших тестувань. Розроблена 3D модель представляє собою стійку шасі з модернізованою конструкцією, яка поєднує в собі міцність і функціональність (рис. 3).

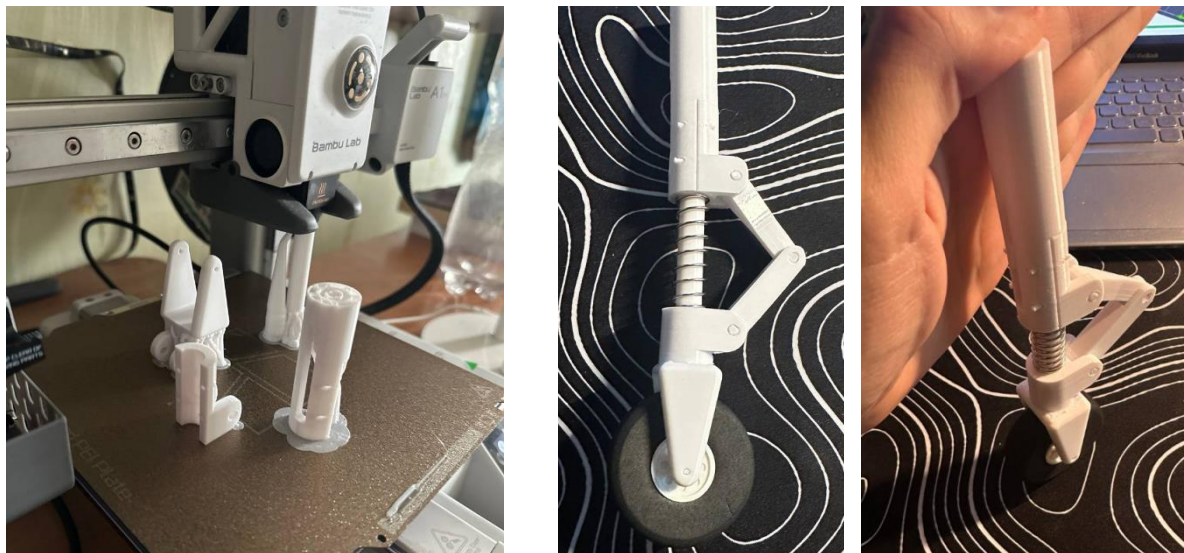


Рис.3. Готова 3D-модель стійки шасі

Особливістю конструкції є рухомий механізм, що забезпечує ефективне поглинання та розподіл ударних навантажень.

При дії зовнішніх сил стійка працює як амортизуючий елемент, контролювано деформуючись для зменшення ударного імпульсу, що передається на конструкцію в цілому.

Висновки. Розробка та друк 3D-моделі стійки шасі літака малої авіації Cessna 205 показала ефективність використання Fusion 360 та 3D-друку для створення прототипу цього авіаційного компонента. Незважаючи на деякі труднощі, такі як висока вартість окремих видів обладнання та необхідність у навичках моделювання, 3D-друк має значний потенціал для подальшого використання. Поєднання цих технологій дозволяє знижувати витрати на виготовлення, скорочувати час розробки та полегшувати верифікацію конструкцій. Подальші дослідження можуть включати вдосконалення моделі та адаптацію процесу для більш складних компонентів.

Бібліографічний список

1. Андрощук Г. О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку [Електронний ресурс] / Г. О. Андрощук. <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a3298ea5-614c-4937-9771-b5f54600bfb2/content>
2. Berman B. 3D Printing and the Future of Manufacturing // Business Horizons. — 2012.
3. Gibson I., Rosen D. W., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing. — Springer, 2020. — 684 p.
4. Гібсон І., Розен Д., Стердвант Б. Адитивні технології виробництва. — К.: Нова Книга, 2020. — 312 с.
5. Кириченко С. М., Остапчук О. М. 3D-технології в машинобудуванні. — Харків: УкрДНТЦ, 2019. — 192 с.
6. Матієк С. 3D-технології: історія розвитку [Електронний ресурс] / С. Матієк. https://library.udpu.edu.ua/library_files/stud_konferenzia/2016_2/7.pdf
7. STEM is FEM: проект про освіту та 3D-друк [Електронний ресурс]: <https://stemisfem.org>
8. Tokar.ua. Що таке 3D-друк? [Електронний ресурс] <https://web.archive.org/web/20180929000527/https://tokar.ua/read/26214>.
9. What is 3D printing? [Електронний ресурс] <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/history/>

STUDY OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE AVERAGE RESIDENCE TIME OF LIQUID IN A ROTARY FILM APPARATUS (RFA)

Olga Golova, Ph.D.,

golova.olga@lil.kpi.ua, ORCID: 0000-0001-6984-8673

Oleksii Vorobiov, Senior Lecturer,

vorobyov.kpi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5314-1075

Yuliia Lazarchuk-Vorobiova, Senior Lecturer,

jullazarchuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7866-3299

Savchuk Valentina, Assistant,

svs_sav@ukr.net, ORCID: 0009-0005-4776-7916

National technical university of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky" (Ukraine)

Abstract - the article investigates the average residence time of a product in a rotary film apparatus with hinged blades in the mode of evaporation of various liquids, including thermolabile ones.

Keywords - rotary film apparatus, rotor, blades, evaporation, concentration, thermolabile substances, average residence time.

Problem statement. Mass transfer processes are one of the main processes of chemical technology, among which a significant part is carried out in gas-liquid systems. They are mainly used for separation of liquid mixtures or isolation of individual components from gas or vapour media.

Analysis of recent research. The equipment used for such processes remains relatively metal-intensive and inefficient in most cases. At the same time, the requirements for the quality of final products are constantly increasing, due to both competition between different manufacturers and the increasingly important role of environmental control. Therefore, the task of designing the equipment for modern mass transfer passages is to find the most efficient devices that will improve the quality and quantity indicators.

Objectives. Insufficient data on the operation of rotary film apparatus in the evaporation mode of various liquids, including thermolabile ones, hinders their widespread introduction into various sectors of the national economy. There are no thorough studies of hydrodynamics and heat transfer in the methods of mechanical intensification of the process, which requires further research.

The main part. Rotary thin-film apparatus are widely used for concentrating solutions with high viscosity or evaporation to a high concentration of solids. There are two groups of RPAs. The first group includes devices in which the process takes place in a film created on the inner surface of a fixed housing by

a rotating rotor. These devices are widespread due to their versatility, which allows them to carry out various technological processes: concentration of solutions, distillation, deodorisation, etc. Apparatus of the second group have a rotating surface of phase contact in the form of a cone, cylinder, spiral, along which the solution moves under the influence of centrifugal force.

Fig. 1 shows the design of the first type of RPA.

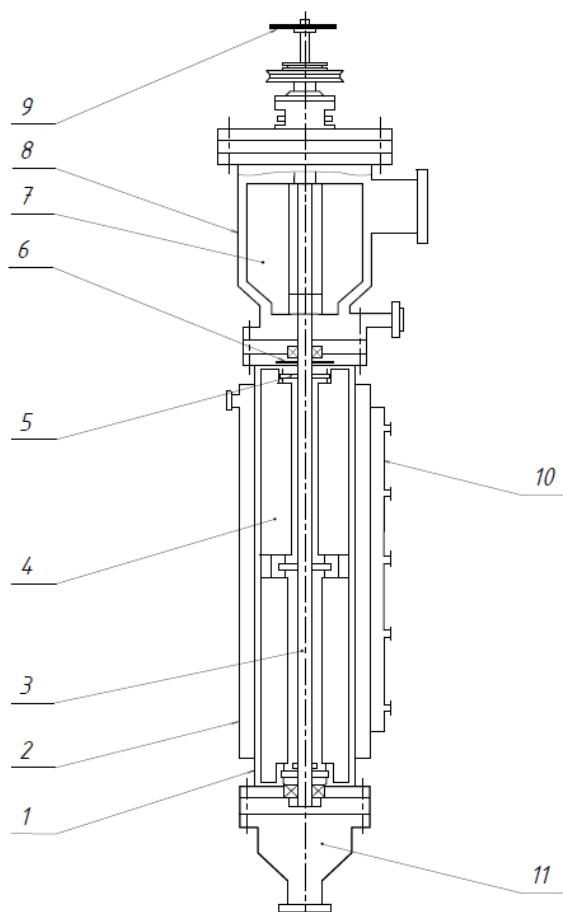


Fig.1 Construction of rotary foaming apparatus with articulated blades

The main elements of these apparatuses are a body (1) with a heating jacket (2) for heating with dry saturated steam. Through an intermediate bearing the apparatus body was connected to a cage (8) of inertia type. Four-bladed impeller (7) of the separator was mounted on one shaft (3) with the rotor. The hinged rotor of the apparatus is collapsible. It consists of a shaft, blades (4) and three hubs (5). At the ends of the blades are welded pins to install them in the hub sockets. After assembly, the blades were free to rotate both sides by forty-five degrees. On the rotor shaft above the upper hub was attached to the distributor ring (6), designed for uniform irrigation of the working fluid of the inner surface of the housing apparatus. The lower part of the housing ended with a conical bottom (11). The angle at the top of the cone was chosen one hundred and twenty

degrees, which favoured quick removal of the product from the apparatus. On the upper end of the shaft there was placed the sensor (9) of the tachometer.

One of the objectives of the research was to study the dependence of the heat transfer coefficient on a number of factors: fluid flow rate, rotor speed and a number of other factors. Since the local and average heat transfer coefficient depend on the heat flow and temperature head, it was necessary to study the temperature distribution in the liquid film at the height of the apparatus. For this purpose, 5 thermoelements were installed in the apparatus wall at a distance of 80 mm from each other (10).

A vapour generation system was developed to obtain the maximum heat flux and to approximate the experimental conditions to industrial ones. The termination of thermoelements in the rotary film apparatus body allowed to study the local variation of the heat transfer coefficient along the length of the apparatus.

An important feature of rotary film evaporators is the intensification of the process by conducting it in a thin intensively stirring film. Film formation on the vertical surface of the apparatus body is provided by a distributing ring and a rotary agitator with blades fixed on it. Types of rotary agitators are shown in Fig. 2.

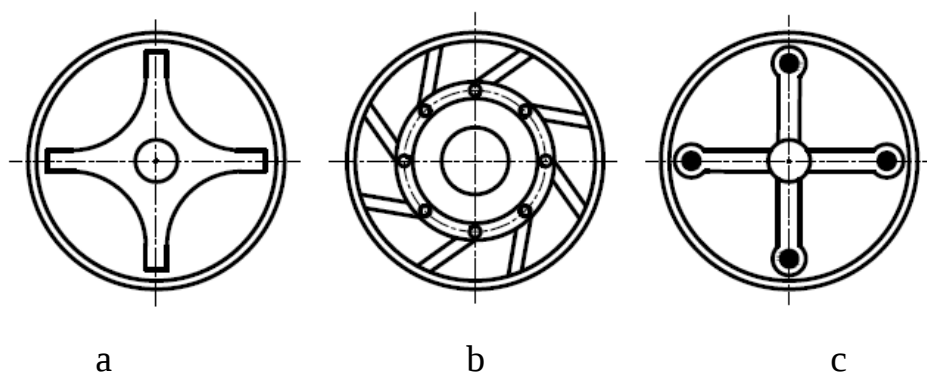


Fig. 2 Rotary stirrers: a - rigid, b - with hinged attachment, c - with movable blades

In apparatuses with rigid fastening of rotor blades a strictly fixed gap is created between the body and rotor, and in apparatuses with hinged or movable blades the film thickness is determined by the centrifugal force and physical and chemical properties of the solution. The liquid flowing down the film is smeared by the rotating rotor along the perimeter of the heating surface. This contributes to the intensification of the heat transfer process and, consequently, the evaporation of the solvent.

However, the wider implementation of thin-film rotary evaporators in various sectors of the economy is hindered by insufficient information on the operation of these devices in the evaporation of various liquids, especially thermolabile.

For thermolabile products the time of contact with the heating surface of the apparatus is strictly regulated. This is the reason for our research, which was carried out at the Kiev Polytechnic Institute named after Ihor Sikorky.

Distilled water, glycerine, its aqueous solutions (50; 85% wt.), additive C-150 and its solutions in petrol (40-95% wt.) were used as working liquids in experiments on determination of average residence time. The joint influence of rotor rotation speed, liquid flow rate and number of rotor blades on the average time of liquid residence in RPA was studied.

It was found that with the increase in the number of revolutions there is an increase in the average residence time. This is due to the fact that the reduction of the gap between the edge of the blade and the body of the apparatus due to an increase in the centrifugal forces acting on the blade leads to an increase in the mass of liquid in the 'bow wave' in front of the rotor blades.

Increase of irrigation density at constant rotor speeds leads to increase of liquid volume in rollers, which gives possibility to more liquid mass to move in axial direction.

The data characterising the influence of the number of blades on the average residence time show that the increase in the number of blades leads to an increase in the average thickness of the liquid film (which is similar to the increase in the rotor speed), while the tangential component of the liquid velocity increases and, consequently, the average residence time of the liquid in the RPA increases.

Conclusions. A considerable number of factors influencing hydrodynamics and heat exchange in RPAs indicates that the analytical solution of the problem presents serious difficulties and is not yet available. RPAs can be calculated on the basis of experimental data, empirical formulae and criterion equations. Due to the complexity of the processes occurring in RPAs, it is desirable to use the data obtained by us under conditions approaching the experimental conditions. The joint influence of liquid flow rate, rotor speed, number of blades and thermophysical properties of liquid on the average time of liquid residence in RPA has been investigated.

References

1. Heat and mass transfer processes and equipment of chemical and naphtha refineries in systems 'gas (steam) - liquid': manual / J.E. Mikhailovskiy, A.E. Artyukhov, M.P. Yukhimenko: ed. by J.E. Mikhailovskiy. - Sumy: Sumy State University. 2021 - 391 c. [in Ukrainian]
- 2 Heat transfer in liquid films / E.G. Vorontsov, Y.M. Tananayko. - Kiev, 1972 - 196 p. [in Ukrainian]

MATHEMATICAL APPROACH TO THE PROBLEM OF CONSTRUCTING GEOMETRIC CONJUGATIONS

Lebedieva Olha, senior lecturer

meganom8@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1569-5987

Nadkernychma Tetiana, senior lecturer

t_nadker@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9147-0512

Grubych Marija, assistant

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

Budovsky Cyril, student IAT

nor.oleksandr@lil.kpi.ua

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Ukraine, Kyiv)

Abstract — *this paper presents a mathematical approach to the construction of various types of conjugations between circular arcs and straight lines, which can be used to expand the capabilities of algorithms for constructing conjugates using CAD systems.*

Keywords — *conjugation, circle, straight line, arc, conjugation points, mathematical approach.*

Problem statement. In modern mathematical modeling and applied geometry, the problem of constructing geometric conjugation plays an important role. Such constructions are widely used in engineering graphics, computer modeling, architectural design, and mechanical engineering.

Despite the development of numerous methods for constructing geometric conjugation, there remains a need for in-depth analysis of this process from a mathematical perspective. In particular, relevant issues include the formalization of transition concepts, the development of algorithms for various cases (such as transitions between an arc and a line, or between two arcs), and the study of the conditions for existence and uniqueness of such constructions.

Thus, the problem considered in this study is the formalization and mathematical justification of the processes for constructing conjugation between various geometric objects. This will improve the accuracy and efficiency of applying these methods in practical tasks.

Analysis of Recent Studies. Current research is focused on enhancing the capabilities of transition construction algorithms within the framework of computer-aided design (CAD) systems. These studies highlight the importance of not only geometric accuracy, but also numerical stability and computational efficiency.

Formulation of goals (Problem statement). The goal of this publication is to develop an understanding of the computational processes involved in the construction of conjugation.

The main part. The surfaces of many parts on drawings are depicted with lines that smoothly transition from one to another. Smooth transitions are determined by the structural properties of the parts, their manufacturing technology, functional purposes, etc.

The smooth transition of a straight line or arc into another is called conjugation. To construct a conjugation using an arc, you need to find the center of conjugation and conjugation points. Let's analyze some cases of conjugation of arcs and straight lines.

The construction of conjugations is based on the following theoretical provisions:

1. A line is tangent to a circle if it is perpendicular to the radius drawn to the point of contact (Fig. 1, a). To draw a tangent line from a given point A to a circle with center at point O , construct a right angle OKA (Fig. 1, b) as the interior angle of an auxiliary circle of diameter OA .

2. Two circles will be tangent if the point of contact K is on the line connecting (Fig. 1, c) the centers O_1 i O_2 . The contact of a circle can be external (Fig. 1, c) and internal (Fig. 1, d).

3. The center of the arc of conjugation O of two circles of the same radius lies on the median perpendicular to the line connecting their centers O_1 i O_2 . The conjugation of two circles by an arc can be external or internal.

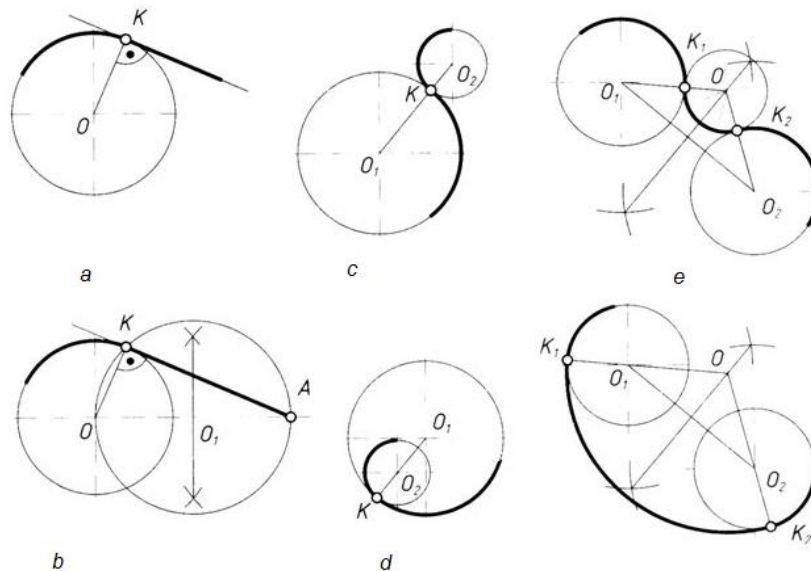


Fig. 1. Construction of conjugation

Let us consider the internal conjugation of two circles from the point of view of geometric constructions. From the centers O_1 and O_2 auxiliary arcs are

drawn with a compass spread equal to the sum of the radii for the given conjugation arc (Fig. 2, a). The radius of the arc drawn from the center O_1 is equal to $R_1 + R_3$. The conjugation center is located at the intersection of the auxiliary arcs – point O_3 .

By connecting point O_1 with point O_3 and point O_2 with point O_3 , with straight lines we find the conjugation points A and B (fig. 2, b).

From point O_3 we build an arc between points A and B with a compass deviation equal to R_3 .

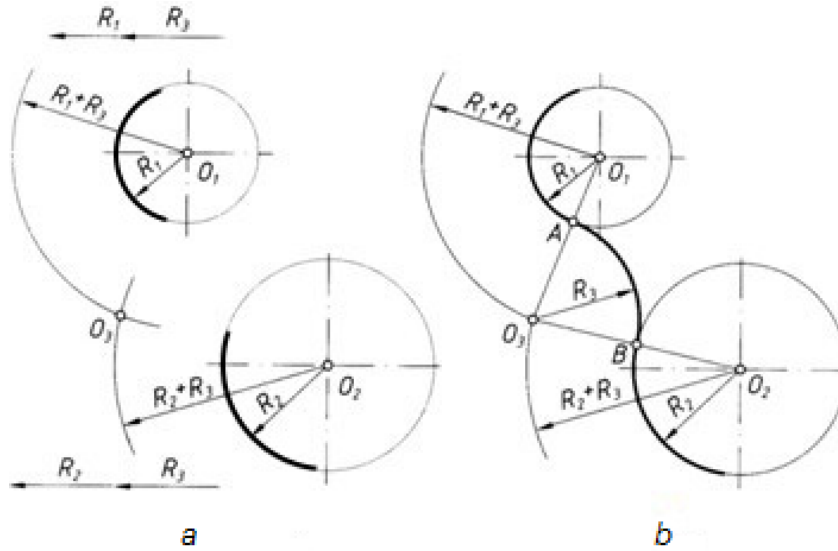


Fig. 2. Construction of the inner conjugate of two circles

Let's analyze the internal conjugation of two circles from a mathematical point of view. Given two circles on the coordinate plane with radii R_1 and R_2 , with the coordinates of the centers $O_1(x_1; y_1)$ and $O_2(x_2; y_2)$ respectively, and a tangent circle with a known radius R_3 and unknown center O_3 with coordinates $(x_3; y_3)$ (Fig. 3).

Now we need to find the coordinates $(x_3; y_3)$. Consider circles 1 and 3. Since they are tangent, the distance between their centers must be equal to the sum of their radii. Thus, we get:

$$O_1O_3 = R_1 + R_3 \quad (1)$$

On the other side, the length of the segment O_1O_3 can be found as the distance between two points [4, p.77]:

$$(O_1O_3)^2 = (x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 \quad (2)$$

Substituting equation (1), we get:

$$(R_1 + R_3)^2 = (x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 \quad (3)$$

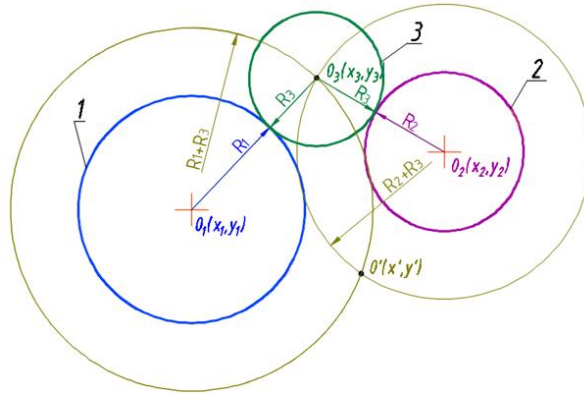


Fig. 3. Geometric interpretation of the mathematical description of the conjugation of two circles

Based on similar considerations, we obtain equations for circles 2 and 3:

$$(R_2 + R_3)^2 = (x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 \quad (4)$$

Since the numbers x_3 and y_3 must satisfy equations (2) and (3) at the same time, it is possible to make a system of two equations:

$$\begin{cases} (R_1 + R_3)^2 = (x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 \\ (R_2 + R_3)^2 = (x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 \end{cases} \quad (5)$$

As a result of solving the system, we will obtain two pairs of possible real solutions. One pair of coordinates will correspond to the point O_3 , and the other to $-O_3'$. The number of solutions is confirmed graphically.

After finding the coordinates of the center of the third circle, it remains to find the coordinates of the conjugation points (in this work, we will consider finding the coordinates of the conjugation points only for one of the two cases of the position of the third circle (O_3), in the case of O_3' the coordinates of the conjugation points are found similarly). Let's mark the points of conjugation $A(x_A; y_A)$ and $B(x_B; y_B)$ (Fig. 4).

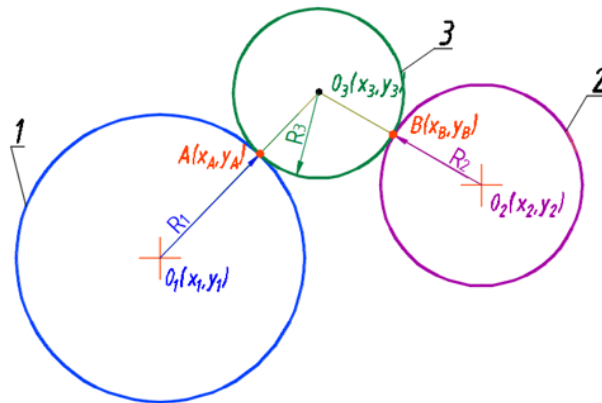


Fig. 4. Geometric interpretation of the definition of conjugation points

Consider point A. The points of conjugation correspond to the points of contact of two circles, so point A will belong to circle 1 and circle 3 at the same time. So the distance from A to O_1 should be equal to R_1 , and from A to $O_3 - R_3$. Let's use the formula for finding the distance between two points [4, p. 77] and create a system:

$$\begin{cases} R_1^2 = (x_A - x_1)^2 + (y_A - y_1)^2 \\ R_3^2 = (x_A - x_3)^2 + (y_A - y_3)^2 \end{cases} \quad (6)$$

After solving the system, we will obtain only one pair of real roots, this is confirmed graphically (circles 1 and 3 have only 1 point of contact).

Based on similar considerations, let's make a system for point:

$$\begin{cases} R_2^2 = (x_B - x_2)^2 + (y_B - y_2)^2 \\ R_3^2 = (x_B - x_3)^2 + (y_B - y_3)^2 \end{cases} \quad (7)$$

Conclusions. The article provides a mathematical justification of the process of creating a conjugation, which can be the basis of CAD algorithms, where not only geometric correctness is important, but also numerical stability and efficiency of calculations.

References

1. Buldihin V. V., Alekseeva I. V. *Analitichna heometriia: navchalnyi posibnyk* [Analytical Geometry: Textbook]. Kyiv, 2023. 291 p. [In Ukrainian].
2. Krivtsov V. V., Koziar M. M., Polinchuk A. E. *Rozviazannia zadach pidvyshchenoi skladnosti z narysnoi heometrii: navchalnyi posibnyk* [Solving Advanced Problems in Descriptive Geometry: Textbook]. Kyiv, 2019. 224 p. [In Ukrainian].
3. Vanin V. V., Perevertun V. V., Nadkernychna T. M., Vlasiuk H. H. *Inzhenerna hrafika: navchalnyi posibnyk* [Engineering Graphics: Textbook]. Kyiv, 2009. 399 p. [In Ukrainian].
4. Borovyk V. N., Yakovets V. P. *Kurs vyshchoi heometrii: navchalnyi posibnyk* [Course in Higher Geometry: Textbook]. Kyiv, 2023. 484 p. [In Ukrainian].

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СПЛАЙН-ЛІНІЙ У ПОБУДОВІ ТРАЄКТОРІЙ ОБРОБКИ У САД ПРОГРАМАХ

Овсієнко Л.Г., ст. викладач

ovsienko.liudmila@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4614-9498

Савчук П.В., магістр

Януш О.О., студент, ІАТЕ

oleksiiyanush@gmail.com

Національний технічний університет України

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

Анотація: Розглядається питання виникнення неявних помилок при використанні сплайн-кривих при проектуванні контурів для подальшого їх виведення на верстат з ЧПУ.

Ключові слова: сплайн-лінія, сплайн-крива, апроксимація траєкторії, інтерполяція кривої.

Постановка проблеми. У даний час в промисловому та індивідуальному виробництві широко застосовуються різні верстати та комплекси з програмним управлінням (ЧПУ).

У зв'язку з чим у життя конструкторів, технологів, а тепер і багатьох не фахівців у галузі конструювання та обробки увійшли спеціальні програми побудови та моделювання (САД програми), а також засоби, що допомагають автоматизувати побудовані моделі для виведення на виробничі комплекси (САМ програми). Причому велику важливість набув процес побудови креслення для складання конструкторської документації з подальшим читанням її людиною та правильна адаптація побудованої моделі для її трансляції в код, зрозумілий обробній машині. Ця тема сама по собі важлива і цікава, але доволі масивна для її оглядового розгляду в межах однієї статті. Тому приділимо увагу одному невеликому аспекту: не очевидних на перший погляд проблем, які можуть виникати при виведенні плоского контуру, описаного сплайн-лінією на верстат з ЧПУ.

Аналіз останніх досліджень. Серед графічних примітивів (інструментів) призначених для побудови графічних моделей таких як лінія, коло, дуга, полілінія та ін. є сплайн лінія.

Сплайн (сплайн-функція) це функція, область визначення якої розбита на кінцеве число відрізків, на кожному з яких вона збігається з деяким алгебраїчним багаточленом. По теоремі Вейерштрасса кожна безперервна функція, задана на відрізку, може бути як завгодно точно апроксимована на ньому багаточленом.

Визначення лінії за допомогою сплайн-функції винайшов П. де Кастелло у 1959 року. Пізніше в 1962 р. теорію цих кривих розробив П. Безьє в процесі роботи над системами автоматичного проектування для компаній Сітроєн і Рено. З того часу такі криві називаються кривими Безьє (квадратична крива, параболічна крива другого порядку).

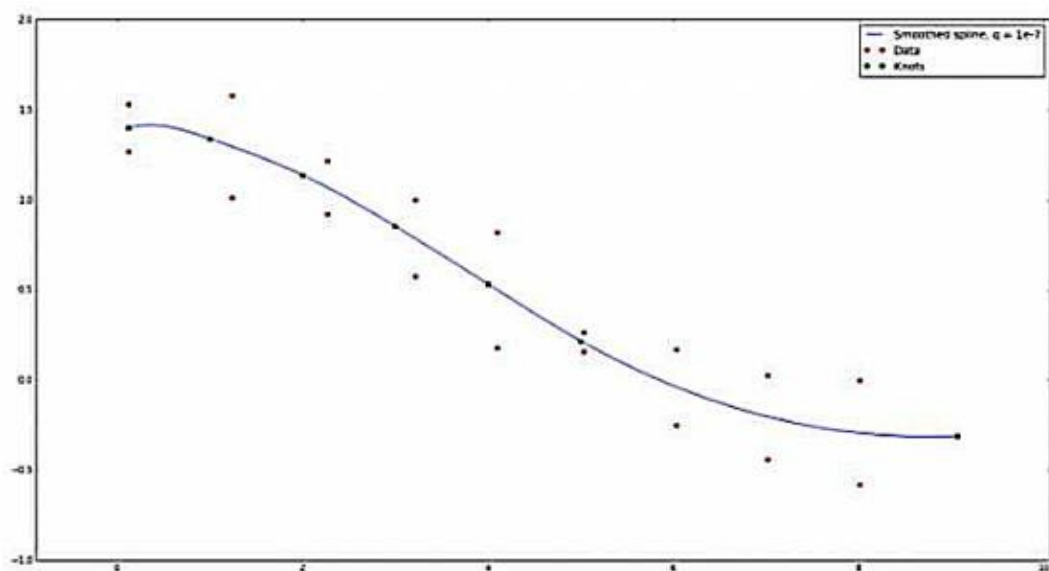
Формулювання цілей. Ціллю статті є виявлення можливих помилок, що виникають при трансляції зображення з програм проектування на виробничий комплекс

Основна частина. У стандартному визначенні кривої Безьє використовуються дві кінцеві та дві контрольні точки. Таке визначення дуже наочно з геометричної точки зору, тому воно добре підходить для інтерактивних маніпуляцій.

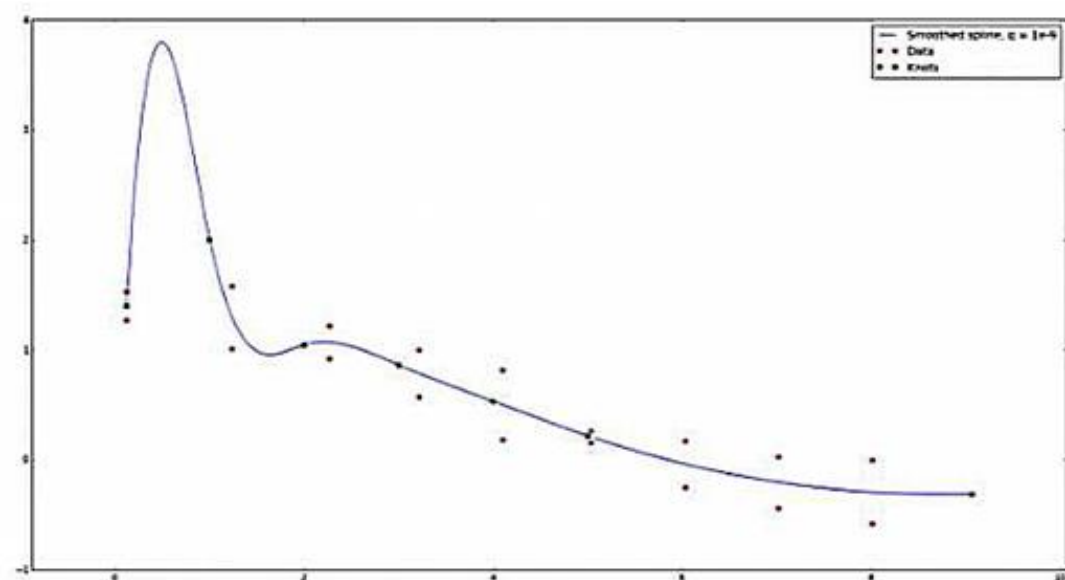
При програмуванні частіше використовується визначення, коли всі чотири точки перебувають на кривій. Для будь-яких чотирьох точок на площині існує крива Безьє яка через них проходить. Більше того, можна сказати, що кожні три точки визначають положення четвертої точки на кривій.

У багатьох випадках апроксимувати складну криву за допомогою однієї кривої Безьє з потрібною точністю неможливо, у цьому випадку застосовується послідовний ланцюг з таких кривих.

Слід зазначити, що ми отримуємо цілий пучок можливих траєкторій залежно від обраних коефіцієнтів функції. Загалом ми можемо описати траєкторію з високою точністю, особливо якщо розділимо її на кілька частин і кожен з них представимо своєю кривою.



а)



б)

Рис 2. Приклад апроксимації кривої по одних і тих же точках, але з різними коефіцієнтами перетворення [2]

Таким чином, при використанні сплайн-лінії слід враховувати, що форма об'єкта визначатиметься внутрішніми налаштуваннями системи, яка апроксимує криву по заданих крайніх і контрольних точках і може бути відмінна в CAD і CAM програмі. Крім того, слід звернути увагу на те, який із алгоритмів апроксимації застосований у CAD та CAM програмі.

Широко поширені сплайни Безье, BSpline, Ерміта. Найгірший варіант, коли при побудові та подальшій обробці будуть застосовані різні типи

сплайнів. Це може призвести до різних наслідків, одним із яких будуть значні відхилення в траєкторіях робочого ходу інструменту.

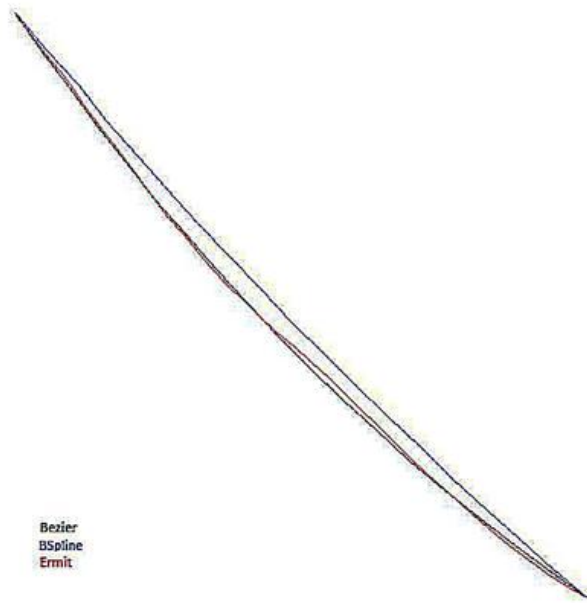


Рис 4. Апроксимація трьома різними видами сплайна [3]

Всі перераховані вище фактори можуть прямо впливати на форму елемента зображення і при обробці на верстаті можуть сприяти появі браку.

Далі необхідно розглянути процес інтерполяції отриманої кривої при виведенні в керуючий код. Тут є два шляхи. Перший передбачає подання кривої у вигляді дуг та виведення цих дуг у керуючий код. Другий - безпосереднє переведення кривих у мікроректори. Насправді переведення у мікроректор в результаті буде здійснено в обох випадках, але можливо на різних етапах підготовки траєкторії. Перший варіант заощаджує місце у пам'яті ЧПУ, але перекладає розрахунок інтерполяції на неї. Додатково до цього значно ускладнює код програми перетворення. Тому простіше переводити криву в мікроректор безпосередньо.

Розглянемо систему, що працює у декартових координатах. Переміщення криволінійної траєкторії в ній буде представлено як сума мікропереміщень по координатах у вибраних площинах. Перетворення кривої здійснюється відразу у мікроректор. Тут постає питання точності інтерполяції залежно від внутрішніх налаштувань програми перетворення. У тому випадку, якщо векторів буде недостатньо, то траєкторія буде «рубаною», якщо багато - це займе багато місця в пам'яті і уповільнить виведення програми на виконавчі механізми. Це питання налаштування

програми та ЧПУ, і безпосередньо не пов'язане з побудовою траєкторії (на практиці має також враховуватися). Але також схожу ситуацію може викликати застосування сплайн-кривої (рис.5).



Рис. 5. Приклад траєкторії, описаної сплайн-кривою з малою кількістю вузлів [3]

При цьому, ЧПУ не робитиме спроб до її згладжування, оскільки вона задана однозначно. Не меншу проблему може спричинити надмірна кількість вузлів (рис. 6).

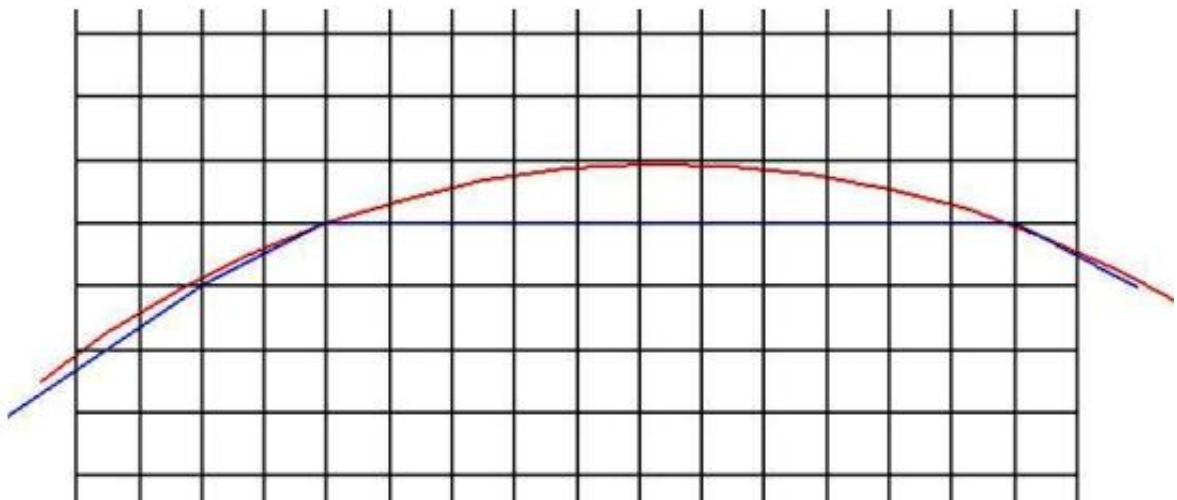


Рис. 6. Координатна сітка – мінімальний крок системи:
червоний – задана траєкторія з надмірними вузлами,
синій — реальна траєкторія, яка може бути відпрацьована[4]

Як видно, частина вузлів буде просто відкинута з розгляду, оскільки їх неможливо опрацювати. Зрештою ЧПУ працює у приростах (відносній системі координат). Тому, якщо на якійсь ділянці не буде зроблено зусиль щодо усунення цих ефектів, можуть виникнути артефакти схожі на вплив люфту в системі (рис.7).

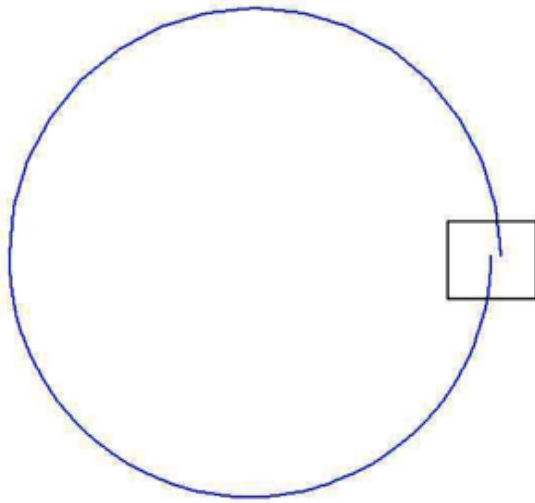


Рис. 7. Приклад помилки під час проходження кругової траєкторії

Ці ефекти досить добре усуваються аналізом траєкторії в абсолютній системі координат, але це у свою чергу погіршує якість поверхні. (рис 6).

Всі ці ефекти призводять до спотворень форми та якості поверхонь, але в деяких випадках вони можуть призводити і до помилок розташування.

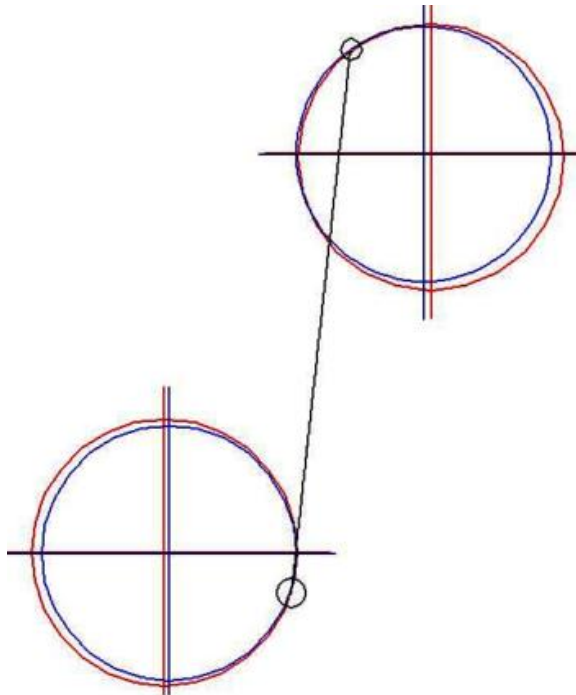


Рис. 8. Помилка розташування

Ця помилка виникла внаслідок того, що система відкинула мікроректори, які не можуть бути відпрацьовані. При цьому компенсувала помилку розташування точки входу (слід мати на увазі, що на зображенні не

кола, а сплайн-криві - комплексні об'єкти, вони не мають прив'язки до центру, а отже, і до міжцентрової відстані, тому, з точки зору системи, це не є помилкою!).

Висновки. Все показане вище говорить про те, що при роботі з таким чудовим інструментом проектування як сплайн-лінія необхідно вживати запобіжних заходів і не втрачати пильності, щоб уникнути прикрих помилок при виготовленні продукції.

Бібліографічний список

1. Yuan F. Windows Graphics Programming: Win32 GDI and DirectDraw. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000. – (Hewlett-Packard Professional Books).
2. Фокіна Д.В. Інтерполяція сплайнами [Електронний ресурс]/ Д.В. Фокіна.- Режим доступу: <https://vseosvita.ua/library/embed/001i58-ec22.doc.html>
3. Оптимальна апроксимація сплайнами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habr.com/en/articles/314218/> (дата звернення: 01.05.2025).
4. Романюк О.Н. Методи та алгоритми формування контурних зображень.// Інформаційні технології і автоматизація: Матеріали XV міжнародної науково-практичної конференції. Одеса, 20-21 жовтня 2022 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2022 р. – 246 с. -Режим доступу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fitki/8romanyuk_komp_grafika/zmg/zmg/144.htm (дата звернення 11.04.2025).
5. Раїсов Ю. А., Бичков І. В., Бичков Н.І. Сплайн-апроксимація зі спряженням кривих за похідними//Проблеми машинобудування. Харків.- 2012, Т.15, №2//ISSN 0131–2928

РОЛЬ ІНЖЕНЕРНОЇ ГРАФІКИ У ФОРМУВАННІ ФАХІВЦІВ ДЛЯ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Бібік Софія, студентка гр. ТЯ-41, НН ІАТЕ

Полович Валерія, студентка гр. ТЯ-41, НН ІАТЕ

Шльонкіна Анастасія, студентка гр. ТЯ-41, НН ІАТЕ

Шепель Ганна, старша викладачка

h.shepel@kpi.ua, ORCID: 0000-0002-6993-5045

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (Україна)

Анотація – Розглядаються особливості професійної підготовки інженерів атомної енергетики з наголосом на важливість опанування інженерної графіки. Зауважується, що через високий рівень технологічної складності та безпекових вимог атомної галузі, майбутні фахівці повинні мати широкий спектр міждисциплінарних знань і навичок. Інженерна графіка виступає ключовим інструментом технічного мислення, спілкування в команді та основою для подальшого освоєння CAD-систем. Окрема увага приділяється практичному значенню графічної підготовки в контексті маломодульних реакторів (ММР), де точність креслень та візуалізацій має вирішальне значення на всіх етапах – від проектування до експлуатації.

Ключові слова – атомна електростанція, система автоматизованого проектування, маломодульний реактор, інженерна графіка.

Постановка проблеми. Інженерна графіка є базовою загальноінженерною дисципліною, що формує ключові технічні компетентності: читання, створення та аналіз графічної документації у 2D та 3D форматах. Вона розвиває просторове мислення, навчає інтерпретувати й передавати технічні ідеї, принципи роботи механізмів, конструкції виробів за допомогою креслень.

Для майбутніх інженерів атомної енергетики ці навички є критично важливими з огляду на високі вимоги до точності, відповідальності та технологічної складності об'єктів галузі. Здатність працювати з технічною документацією є запорукою безпечного проектування, ефективної командної взаємодії та мінімізації помилок на всіх етапах життєвого циклу ядерних установок.

Особливу увагу сьогодні привертає розвиток маломодульних реакторів (ММР), які потребують надзвичайно точного інженерного моделювання. Саме на прикладі ММР у цій статті буде проілюстровано значущість графічної підготовки як складника фахового становлення майбутніх інженерів-ядерників.

Аналіз останніх досліджень. Інженерна графіка розглядається як важливий інструмент розвитку інженерного мислення та технічної комунікації. У публікації Міжнародного агентства з атомної енергії Nuclear Engineering Education: A Competence-Based Approach to Curricula Development підкреслюється важливість формування в студентів здатності працювати з графічними моделями як елементом професійної інженерної компетентності [1].

Ініціатива Nuclear Education Hub, що об'єднує академічні установи США та України, фокусується на оновленні освітніх програм у сфері ядерної енергетики, зокрема через інтеграцію CAD-технологій, 3D-моделювання та цифрових засобів візуалізації [2].

В Україні провідні технічні університети — КПІ ім. Ігоря Сікорського, НТУ «ХПІ», Львівська політехніка — реалізують сучасні підходи до викладання інженерної графіки з акцентом на практичну підготовку та роботу з актуальними цифровими інструментами [3]. Аналогічні підходи обґрунтовано й у попередній публікації авторського колективу, де аналізувалися переваги онлайн-курсів з технічного креслення як платформи для самостійного засвоєння матеріалу та гнучкої організації навчання [4].

Таким чином, сучасні дослідження та освітні ініціативи підкреслюють важливу роль інженерної графіки у формуванні компетентності фахівців для атомної енергетики, особливо в контексті розвитку маломодульних реакторів, де точність та ефективність інженерного проєктування мають вирішальне значення.

Формулювання цілей. Метою статті є обґрунтування значущості інженерної графіки в підготовці майбутніх фахівців для атомної енергетики, зокрема у контексті розвитку маломодульних реакторів. У роботі проаналізовано, як графічна підготовка сприяє формуванню просторового мислення, технічної комунікації та візуалізації складних систем. Також запропоновано приклади навчальних підходів і завдань, які дозволяють інтегрувати практичну графічну підготовку в інженерну освіту з урахуванням потреб ядерної галузі.

Основна частина. Підготовка інженерів-атомників є одним з найскладніших і найвідповідальніших напрямів сучасної інженерної освіти. Високий рівень технологічної складності, специфіка роботи з радіоактивними матеріалами, суворе дотримання норм безпеки — усе це висуває підвищені вимоги до професійної компетентності майбутніх фахівців. Відтак, уже на ранніх етапах навчання студенти мають

опанувати базові дисципліни, які формують фундамент для подальшої спеціалізації. Серед таких дисциплін важливе місце займає інженерна графіка.

Інженерна графіка не лише навчає читати та створювати технічні креслення, а й формує просторове, логіко-структурне та аналітичне мислення. Вона слугує мовою технічного спілкування, особливо важливою в міждисциплінарному середовищі атомної галузі, де фахівці різних профілів повинні точно передавати проєктні рішення. В атомній енергетиці не допускаються приблизності – будь-яка помилка, допущена при зчитуванні або створенні креслення, може мати критичні наслідки. Тому важливо з перших курсів формувати вміння працювати з кресленнями: правильно наносити розміри, допуски, технічні позначення та будувати геометрично точні зображення.

Опанування інженерної графіки на ранніх етапах є підґрунтям для подальшого засвоєння сучасних систем автоматизованого проєктування (САПР), таких як AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360 тощо. Навички роботи з CAD-середовищем є важливим компонентом практичної підготовки майбутніх атомників, особливо з урахуванням переходу до цифрових технологій моделювання й документації у ядерній галузі.

З практичного боку, важливість графічної підготовки зростає в контексті розвитку маломодульних реакторів – нового покоління ядерних установок, які орієнтовані на гнучке розгортання, зниження вартості будівництва та покращення безпеки. Особливості конструкції ММР – компактність, заводське виготовлення, можливість модульної збірки – потребують надзвичайно точного графічного супроводу на всіх етапах життєвого циклу проєкту.

По-перше, інженерна графіка забезпечує створення детальних креслень кожного з модулів, тривимірних моделей і схем компонування, які дають змогу на ранніх етапах виявити потенційні конфлікти між елементами. По-друге, оскільки ММР транспортуються у готовому вигляді, необхідність у прецизійному проєктуванні й кресленнях особливо висока – будь-яка неточність може призвести до невідповідності на майданчику монтажу. По-третє, графічна підготовка охоплює й створення схем підключення до енергосистеми, оптимізацію просторового розміщення кількох реакторів на одній території (рис. 1).

І нарешті, візуалізація систем є важливою складовою підготовки персоналу: графічні моделі й навчальні тренажери використовуються для формування розуміння просторових зв'язків між функціональними блоками й зниження ризику помилок під час експлуатації.

Подані на рис. 1 та рис. 3 моделі ілюструють умовну композицію основних функціональних елементів маломодульних реакторів ММР. Такий приклад, що відповідає актуальним напрямкам розвитку галузі, зокрема

впровадженню маломодульних реакторів, може бути інтегрований у базовий курс «Інженерна та комп'ютерна графіка» як навчальне завдання з основ тривимірного моделювання.

На рис. 2 наведена тривимірна композиційна модель основних функціональних елементів майданчика MMP, змодельована студентами в середовищі AutoCAD на основі зразка [5]. Під час виконання подібної роботи студенти працюють з базовими геометричними формами, такими як призми, циліндри, паралелепіпеди, вчать поєднувати їх у складні об'ємні структури, а також можуть експериментувати з текстурами, кольорами, орієнтацією об'єктів у просторі. Візуалізація може супроводжуватись умовним зонуванням території, імітацією технічних підключень та систем фізичного захисту об'єктів.

Окрім розвитку навичок 3D-моделювання, студенти мають змогу ознайомитися з поточними технологічними трендами у сфері атомної енергетики, зокрема конструктивними принципами компактних і автономних MMP. Таке поєднання технічного змісту й графічних засобів дозволяє формувати міждисциплінарне бачення, стимулює інтерес до галузі й водночас розвиває здатність візуалізувати складні об'єкти, що особливо важливо для інженерів, які в майбутньому працюватимуть із критично важливими системами.

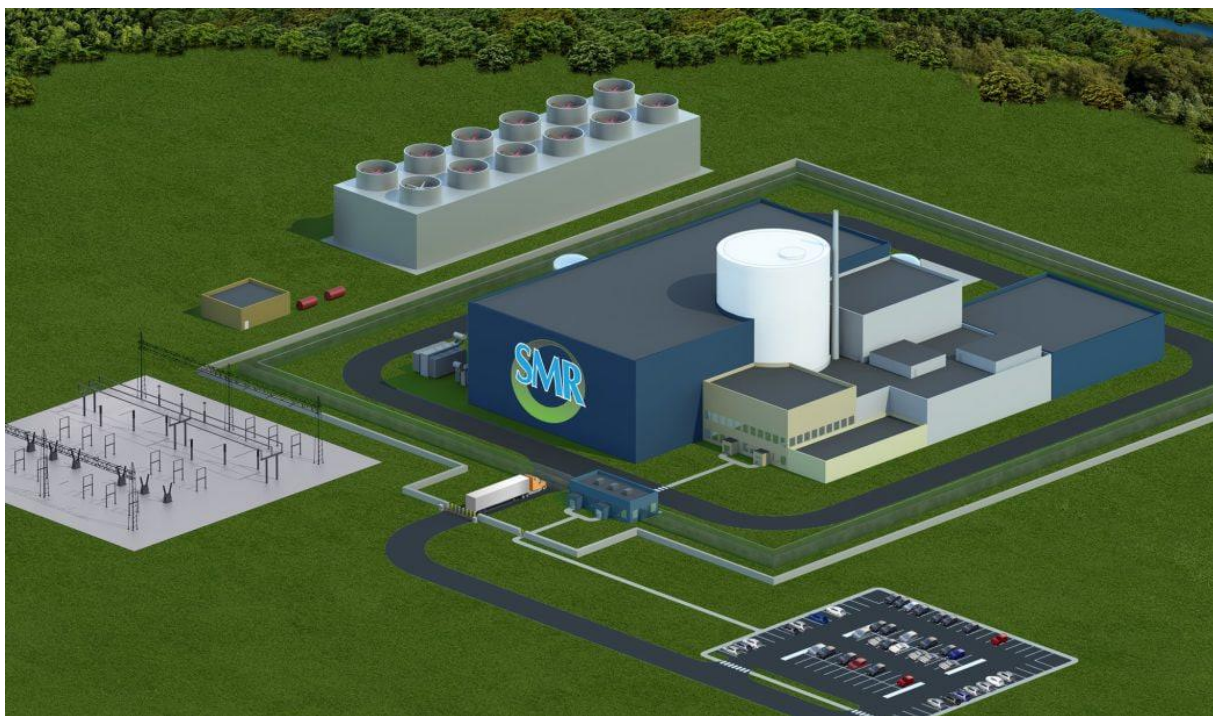


Рис. 1. Тривимірна композиційна модель майданчика MMP Holtec International [5]

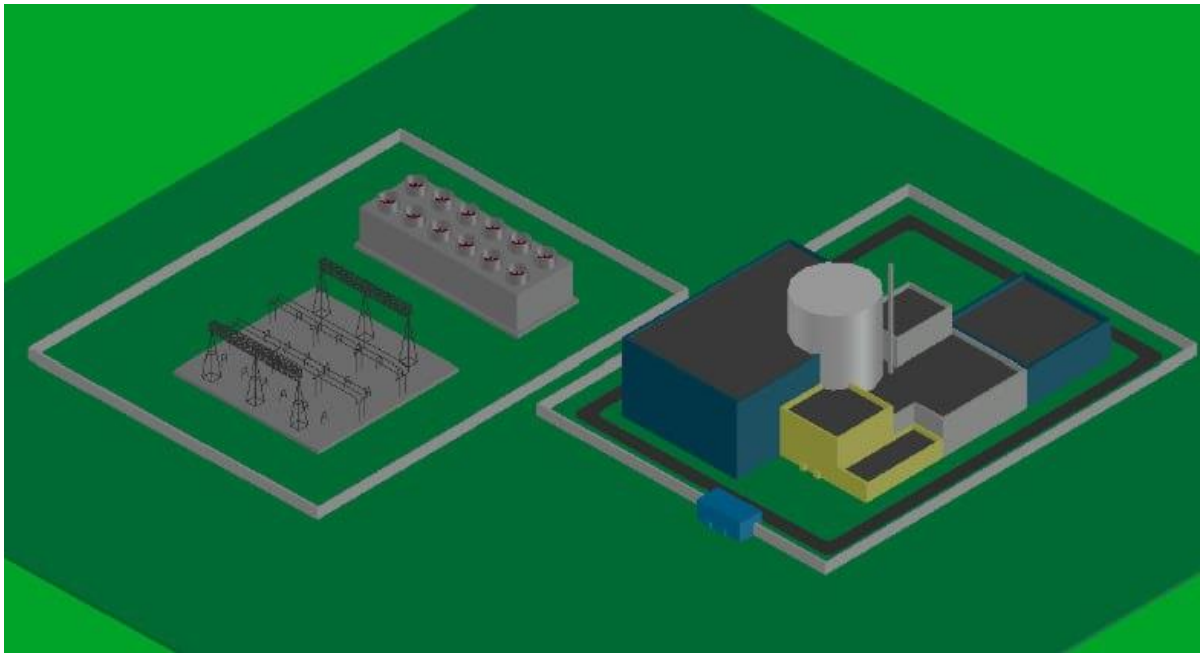


Рис. 2. Тривимірна модель майданчика ММР, змодельована студентами



Рис. 3. Зразки можливих компонувань майданчиків для використання у навчальному процесі [6]

Висновки. Таким чином, інженерна графіка у підготовці фахівців для атомної енергетики – це не лише базова навчальна дисципліна, а й один із ключових інструментів формування професійної інженерної компетентності. Її значення особливо зростає в умовах впровадження новітніх технологічних рішень, які вимагають комплексного, точного та візуально зрозумілого проєктного супроводу. Інтеграція актуальних прикладів і орієнтованих на здобуття практичних навичок завдань у структуру дисципліни не лише сприяє розвитку необхідних технічних навичок, а й підвищує мотивацію студентів та інтерес до інженерної графіки як сучасного інструмента професійної діяльності.

Бібліографічний список

1. Nuclear Engineering Education: A Competence-Based Approach to Curricula Development. (2014). International Atomic Energy Agency (IAEA). Available at: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1626web-52229977.pdf>
2. Nuclear Education Hub (NEH): U.S.–Ukraine Academic Collaboration. (2024). Virginia Tech Nuclear Science and Engineering Laboratory. Available at: <https://nuclear.ncr.vt.edu/academics/nuclear-education-hub-neh>
11. Top Nuclear Engineering Universities in Ukraine – 2024 Ranking. (2024). EduRank. Available at: <https://edurank.org/engineering/nuclear/ua/>
3. Cassar, V., Golova, O., Shepel, H. (2023). A Various Advantages of Implementing Online Courses in Technical Drawing Curriculum. In: Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності, Vol. XII, pp. 145–148. Available at: <https://jagegip.kpi.ua/article/view/281955>
4. Перегони технологій: які перспективи малих модульних реакторів у 2024 році. (2024, 22 лютого). UAtom.org – Портал про ядерну енергетику та безпеку. Доступно за посиланням: <https://www.uatom.org/2024/02/22/peregoni-tehnologij-yaki-perspektivi-malih-modulnih-reaktoriv-u-2024-rotsi.html>
5. New recommendations on safety of SMRs from the SMR Regulators' Forum. (2022, 1 December). International Atomic Energy Agency (IAEA). Available at: <https://www.iaea.org/newscenter/news/new-recommendations-on-safety-of-smrs-from-the-smr-regulators-forum>

ЗМІСТ

З НАГОДИ XIV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРИЯ. ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ОБ'ЄКТИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ»	4
Ванін В. В., Вірченко Г. А.,	
КОМПОЗИЦІЙНА ГЕОМЕТРИЯ. ВИЗНАЧЕННЯ.....	8
Верещага В.М., Адоньєв Є.О., Муртазієв Е.Г., Лисенко К.Ю., Верещага І.В.	
НЕПЕРЕРВНЕ ЗГИНАННЯ КАТЕНОЇДА РІВНОМІРНИМ РОЗТЯГУВАННЯМ ВЗДОВЖ ЙОГО ОСІ.....	13
Пилипака С.Ф., Несвідомін А.В.	
АСТРОНОМІЧНА ТРИВАЛІСТЬ СУМАРНОЇ ІНСОЛЯЦІЇ ПЛОЩИН РІЗНОГО НАХИЛУ ТА ОРІЄНТАЦІЇ ЗА РІК	19
Кундрат Т. М., Літницький С. І. Пугачов Є. В., Зданевич В. А.	
ВИВЧЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ СТВОРЕННЯ 3D- МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ ФОТОГРАММЕТРІЇ У ПРОГРАМІ RECAP AUTODESK.....	23
Ботвіновська С.І., Колган А.В., Карімлі Г.Н.	
VIBRATION PHASE MEASUREMENT ERRORS CAUSED BY PHASE SENSOR INSTALLATION MISALIGNMENT	28
Pavlo B. Oliinyk	
ГНУЧКИЙ МАНІПУЛЯТОР З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ ЯК КОМПОНЕНТ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗНАРЯДЬ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ	33
Вірченко Г. А., Яблонський П. М., Воробйов О. М., Лазарчук-Воробйова Ю. В.	
ENGINEERING AND COMPUTER GRAPHICS AS A FOUNDATION OF STEAM-ORIENTED TECHNICAL EDUCATION.....	37
Oksana Budnyk, Hanna Shepel	
INITIAL DATA FOR DEVELOPING A MODEL OF THE PROCESS OF SEED FURROW FORMATION BY A WEDGE-SHAPED DISC	43
Mykola Volokha, Saveliy Kukharets, Sergey Zalevsky, Olena Kolosova, Oleksii Vorobiov	
РОЗРОБКА РОБОЧОГО КРЕСЛЕНИКА ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС» В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ: ОСОБЛИВОСТІ, АЛГОРИТМИ НАВЧАЛЬНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	48
Баскова Г. В., Колосова О. П., Колесников А. В.	
COMPARISON OF CLASSICAL AND DIGITAL DRAWING METHODS: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES.....	54
Kolosova O.	
A MODERN VISION OF THE APPLICATION OF GEOMETRIC MODELING METHODS IN THE REMOTE FORM OF EDUCATIONAL	58
Lebedieva Olha, Nadkernychma Tetiana, Nor Oleksandr	
СИМУЛЯЦІЯ БІОМОЛЕКУЛЯРНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ.....	62

Кальваровська В. М., Надкернична Т. М., Лебедева О. О.

ON THE QUESTION OF CHANGES TO THE GENERAL RULES FOR THE DEVELOPMENT AND EXECUTION OF DESIGN DOCUMENTATION..... 67

Hnitska Tetiana, Hnitska Halyna, Berehovskiy Oleksii, Kyrylo Karpukhin

FUNCTIONAL REDESIGN WITH SOLIDWORKS AND 3D PRINTING 73

Pavlo Mamontov, Hanna Shepel

ДО ПИТАННЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ АРХІТЕКТУРНОЇ СПАДЩИНИ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ СУЧАСНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ 79

Терещук М. О.

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІД КІБЕРАТАК 82

Лабжинський В. А. Снігур В. В.

СТРУКТУРІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЗАХОДІВ З ОПТИМІЗАЦІЄЮ ГЕОМЕТРІЇ ЗЕЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ..... 86

Мартинів В.Л., Мартинюк О.Л., Поляк Ю.Ю., Стаднійчук Д.М.

CONSTRUCTION OF SPATIAL PYTHAGOREAN HODOGRAPH CURVES BY GAUSS-RADAU POLYGONS..... Ошибка! Закладка не определена.

Nataliia Bondarenko, Anatoliy Kyrychenko, Valentyna Otrasevska

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМИ FUSION 360 ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕЯКИХ КОМПОНЕНТІВ РІДКОПАЛИВНОГО ДВИГУНА..... 96

Грубич Марія, Кудряшов Я.С., Мартиненко П.О.

RESEARCH OF GEOMETRIC SHAPES AND VOLUME-PLANNING SOLUTIONS OF BUILDINGS IN VARIOUS REGIONS OF UKRAINE 101

Bannyi T., Stadniychuk D.

PECULIARITIES OF SOLVING POSITIONAL PROBLEMS OF DESCRIPTIVE GEOMETRY ON DRAWINGS WITH NUMERICAL MARKS 103

Sergey zalevsky, Oleksandra Boiko, Valentina Savchuk, Oleksii Vorobiov

КРИВА ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛІНДРА, ЯКА ЗАБЕЗПЕЧУЄ СТАЛУ ШВИДКІСТЬ РУХУ ЧАСТИНКИ..... 108

Пилипака С.Ф., Воліна Т.М., Кресан Т.А.

ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ МЕТОДІВ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ГЕОМЕТРІЇ КРИВИХ ЛІНІЙ ТА ПОВЕРХОНЬ..... 113

Несвідомін А.В., Захарова Т.М.

ВИКОРИСТАННЯ FUSION 360 І 3D-ДРУКУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ СТИЙКИ ШАСІ ЛІТАКА CESSNA 205..... 117

Грубич М.В., Краснощок М., Шаніна А.

STUDY OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE AVERAGE RESIDENCE TIME OF LIQUID IN A ROTARY FILM APPARATUS (RFA)..... 121

Olga Golova, Oleksii Vorobiov, Yuliia Lazarchuk-Vorobiova, Savchuk Valentina

MATHEMATICAL APPROACH TO THE PROBLEM OF CONSTRUCTING GEOMETRIC CONJUGATIONS	125
Lebedieva Olha, Nadkernychma Tetiana, Grubych Marija, Budovsky Cyri	
ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СПЛАЙН-ЛІНІЙ У ПОБУДОВІ ТРАЄКТОРІЙ ОБРОБКИ У САД ПРОГРАМАХ.....	130
Овсієнко Л.Г., Савчук П.В., Януш О.О.	
РОЛЬ ІНЖЕНЕРНОЇ ГРАФІКИ У ФОРМУВАННІ ФАХІВЦІВ ДЛЯ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	137
Бібік Софія, Полович Валерія, Шльонкіна Анастасія, Шепель Ганна	

Алфавітний покажчик

Anatoliy Kyrychenko	92	Захарова Т.М.	112
Bannyi T.	100	Зданевич В. А.	19
Berehovskiyi Oleksii	66	Кальваровська В. М.	61
Budovsky Cyril.....	124	Карімлі Г.Н.	23
Grubych Marija	124	Колган А.В.....	23
Hanna Shepel.....	72	Колесников А. В.....	47
Hnitetska Halyna	66	Колосова О. П.....	47, 53
Hnitetska Tetiana.....	66	Краснощок М.....	116
Kyrylo Karpukhin.....	66	Кресан Т.А.	107
Lebedieva Olha.....	57, 124	Кудряшов Я.С.....	95
Mykola Volokha.....	43	Кундрат Т. М.	19
Nadkernychma Tetiana.....	57, 124	Лабжинський В. А.....	81
Nataliia Bondarenko	92	Лазарчук-Воробйова Ю. В.	33
Nor Oleksandr	57	Лебедєва О. О.	61
Oleksii Vorobiov	43, 120	Лисенко К.Ю.	8
Olena Kolosova	43	Літницький С. І.....	19
Olga Golova.....	120	Мартиненко П.О.....	95
Pavlo B. Oliinyk	28	Мартинов В.Л.	85
Pavlo Mamontov	72	Мартинюк О.Л.....	85
Savchuk Valentina.....	120	Муртазієв Е.Г.	8
Saveliy Kukharets.....	43	Надкернична Т. М.	61
Sergey Zalevsky	43	Несвідомін А.В.....	13, 112
Stadnyichuk D.	100	Овсієнко Л.Г.	129
Valentyna Otrashkevskia	92	Пилипака С.Ф.	13, 107
Yuliia Lazarchuk-Vorobiova.....	120	Полович Валерія.....	135
Адоньєв Є.О.	8	Поляк Ю.Ю.....	85
Баскова Г. В.....	47	Пугачов Є. В.	19
Бібік Софія	135	Савчук П.В.....	129
Ботвіновська С.І.....	23	Снігур В. В.....	81
Ванін В. В.	4	Стаднійчук Д.М.....	85
Верещага В.М.	8	Терещук М. О.	78
Верещага І.В.....	8	Шаніна А.....	116
Вірченко Г. А.	4, 33	Шепель Ганна.....	135
Воліна Т.М.	107	Шльонкіна Анастасія.....	135
Воробйов О. М.	33	Яблонський П. М.	33
Грубич М.В.	116	Януш О.О.....	129
Грубич Марія	95		