

УДК 004.92:621.01:378.147

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ У BLENDER, 3DS MAX ТА AUTOCAD

I.V. Вернер¹, Н.О. Коваленко², О.Р. Кузьменко³

¹старший викладач, e-mail: verner.i.v@nmu.one

^{2,3}студент групи МЗ-25-1

^{1,2}кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У статті наведено порівняльний аналіз точності тривимірного моделювання технічних деталей у програмних середовищах AutoCAD, Blender та 3Ds Max. Дослідження виконано з урахуванням різних підходів до формоутворення, а також особливостей використання інструментів вирівнювання та координатних прив'язок у CAD- та DCC-системах. Обґрунтовано вибір зазначених програмних продуктів як репрезентативних інструментів сучасної проектної та інженерної діяльності, де AutoCAD розглядається як світовий стандарт технічного проектування, а Blender і 3Ds Max — як провідні середовища тривимірного моделювання.

Ключові слова: тривимірне моделювання, інженерна графіка, прикладна геометрія, AutoCAD, Blender, 3Ds Max, CAD- та DCC-системи, точність моделювання, координатні прив'язки, проектна діяльність.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ACCURACY OF THREE-DIMENSIONAL MODELING OF TECHNICAL PARTS IN BLENDER, 3DS MAX, AND AUTOCAD

Ilya Verner¹, Nataly Kovalenko², Olexandra Kuzmenko³

¹Senior Lecturer, e-mail: verner.i.v@nmu.one

^{2,3}Student of group MZ-25-1

^{1,2,3}Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The article presents a comparative analysis of the accuracy of three-dimensional modeling of technical parts in the software environments AutoCAD, Blender, and 3Ds Max. The study is conducted with consideration of different approaches to shape formation, as well as the specific features of alignment tools and coordinate snapping used in CAD and DCC systems. The choice of these software products is substantiated as representative tools of modern design and engineering activities, where AutoCAD is regarded as a global standard for technical design, while Blender and 3Ds Max are considered leading environments for three-dimensional modeling.

Keywords: three-dimensional modeling, engineering graphics, applied geometry, AutoCAD, Blender, 3Ds Max, CAD and DCC systems, modeling accuracy, coordinate snapping, project-based activity.



Вступ. У сучасній проєктній та інженерній діяльності тривимірне моделювання відіграє ключову роль, оскільки воно є універсальним інструментом представлення, аналізу та перевірки геометрії технічних об'єктів. Зростання складності інженерних систем, підвищення вимог до точності виготовлення деталей і скорочення термінів проєктування зумовлюють необхідність використання цифрових моделей, які максимально точно відображають реальні геометричні параметри об'єктів. У таких умовах проблема точності тривимірного моделювання набуває особливої актуальності, оскільки навіть незначні похибки у цифровій моделі можуть призвести до суттєвих помилок на етапах виробництва, складання або експлуатації технічних виробів.

Цифрові 3D-моделі дедалі частіше розглядаються не лише як засіб візуалізації, а як повноцінна основа для подальших етапів проєктування, інженерного аналізу, симуляції та підготовки до виробництва. Вони використовуються для перевірки геометричної сумісності вузлів, аналізу конструктивних рішень, підготовки технічної документації та інтеграції в системи автоматизованого виробництва. Таким чином, тривимірна модель стає центральним елементом проєктного процесу, а її точність визначає надійність усіх подальших рішень. Це особливо важливо у дисциплінах інженерної графіки та прикладної геометрії, де цифрова модель повинна відповідати строгим геометричним і метричним вимогам.

Разом із тим у сучасній практиці широко використовуються програмні продукти різних класів, зокрема CAD- та DCC-системи (Digital Content Creation systems), які мають різне призначення та різні підходи до формоутворення. CAD-системи традиційно орієнтовані на точне параметричне моделювання і протягом десятиліть застосовуються як інженерний стандарт. Водночас DCC-середовища, що спочатку розроблялися для візуалізації та комп'ютерної графіки, сьогодні активно впроваджуються у проєктну діяльність, зокрема на етапах концептуального та прикладного моделювання технічних об'єктів. Це створює потребу у науково обґрунтованому порівнянні можливостей таких систем у контексті забезпечення геометричної точності, особливо з урахуванням прикладної геометрії та вимог інженерної графіки.

Особливе місце в цьому контексті займає AutoCAD, який протягом понад тридцяти років є світовим стандартом у галузі розроблення креслеників і технічної документації та слугує еталоном точності у цифровому проєктуванні. Поряд із ним Blender і 3Ds Max є провідними середовищами тривимірного моделювання, які широко застосовуються у проєктній діяльності, хоча первинно вони не були створені як класичні CAD-інструменти. Їх активне використання у навчальних, наукових і прикладних інженерних завданнях зумовлює необхідність критичного аналізу їх здатності забезпечувати точне

моделювання технічних деталей із використанням інструментів вирівнювання та координатних прив'язок.

Метою статті є порівняльна оцінка точності тривимірного моделювання технічних деталей у програмних середовищах AutoCAD, Blender та 3Ds Max з урахуванням особливостей використання інструментів вирівнювання та координатних прив'язок у проєктній діяльності.

Матеріал і результат досліджень. Вибір програмних продуктів для порівняльного аналізу точності тривимірного моделювання зумовлений як історичними, так і практичними аспектами їх використання у сучасній інженерній та проєктній діяльності [1]. AutoCAD, Blender і 3Ds Max репрезентують різні підходи до створення тривимірної геометрії та належать до різних класів програмного забезпечення, що робить їх порівняння науково обґрунтованим і методично доцільним у контексті прикладної геометрії та інженерної графіки.

AutoCAD протягом понад тридцяти років залишається одним із ключових програмних продуктів у галузі автоматизованого проєктування та є світовим стандартом для розроблення креслеників і технічної документації [2]. З моменту свого впровадження він послідовно використовувався у машинобудуванні, архітектурі, будівництві та інших технічних сферах, формуючи уявлення про цифрову точність і стандарти інженерної графіки. Саме багаторічна присутність AutoCAD у професійному середовищі зумовила його сприйняття як еталонного інструмента, результати якого є нормативною основою для розроблення та перевірки технічних рішень.

Особливе значення AutoCAD має у створенні креслеників, параметричних 2D- та 3D-моделей, а також у підготовці повного пакета технічної документації. Геометрія об'єктів у цьому середовищі формується на основі чітко заданих числових параметрів, координат і залежностей, що забезпечує високу метричну точність і відповідність реальним розмірам. Саме тому AutoCAD виступає у дослідженні базовим еталоном точності, відносно якого доцільно порівнювати результати, отримані в інших програмних середовищах.

Водночас Blender і 3Ds Max обрані для порівняння не випадково, а з огляду на їх провідну роль серед сучасних середовищ тривимірного моделювання [3, 4]. Хоча ці програмні продукти формально належать до класу DCC-систем, вони не обмежуються виключно сферою дизайну чи художньої графіки. Навпаки, Blender і 3Ds Max упродовж останніх років активно застосовуються у проєктній діяльності, зокрема для створення технічних сцен, архітектурних моделей, візуалізації інженерних рішень і концептуального моделювання об'єктів складної геометрії.



Позиціонування Blender і 3Ds Max як лідерів тривимірного моделювання пояснюється їхнім розвинутим інструментарієм роботи з геометрією, підтримкою різних систем координат, прив'язок і засобів вирівнювання об'єктів у просторі. Ці функціональні можливості роблять такі середовища потенційно придатними для виконання завдань, що виходять за межі класичної візуалізації, і наближають їх до інструментів прикладного технічного моделювання. У реальних проєктних процесах вони нерідко використовуються паралельно з CAD-системами, що ще більше підвищує актуальність питання їх порівняльної оцінки.

Актуальність порівняння саме цих програмних продуктів полягає у необхідності з'ясувати, чи здатні Blender і 3Ds Max забезпечити рівень геометричної точності, порівнюваний із CAD-платформами, за умови використання доступного в них інструментарію вирівнювання та прив'язок. У сучасній практиці проєктування часто виникає потреба виконувати моделювання швидко та гнучко, використовуючи універсальні середовища, однак без втрати точності, критично важливої для технічних деталей. Саме це робить доцільним науковий аналіз можливостей DCC-систем у порівнянні з AutoCAD як еталонним інженерним інструментом [5].

Вибір AutoCAD, Blender і 3Ds Max для порівняльного аналізу дозволяє розглянути різні підходи до тривимірного моделювання в єдиному дослідницькому контексті та оцінити їх придатність для використання у прикладній геометрії, інженерній графіці та проєктній діяльності. Це створює методологічну основу для подальшого аналізу точності моделей і обґрунтованих висновків щодо доцільності застосування кожного з розглянутих програмних середовищ.

3D-моделювання використовується як засіб візуального контролю, який підсилює сприйняття проєктних рішень і полегшує їх аналіз. Просторове зображення технічної деталі або вузла дозволяє краще виявляти геометричні неточності, помилки у взаємному розташуванні елементів, а також оцінювати доцільність вибраної форми. Саме тому тривимірна модель розглядається як важливий проміжний етап між кресленням і готовим виробом, особливо у складних технічних проєктах.

Широке використання різних програмних продуктів у проєктній діяльності висуває підвищені вимоги до точності створюваних моделей. Проєктна документація повинна відповідати заданим геометричним параметрам, допускам і стандартам, оскільки ці дані безпосередньо впливають на виготовлення та експлуатацію виробів. Навіть незначні похибки у геометрії можуть призвести до серйозних проблем у процесі складання чи функціонування технічних систем. Саме тому оцінка точності тривимірного моделювання та

можливостей різних програмних середовищ у цьому аспекті є важливою складовою проектної діяльності.

У контексті технічних дисциплін вимоги до точності 3D-моделей охоплюють не лише правильність розмірів, але й коректність побудови форм, дотримання систем координат, використання прив'язок і засобів вирівнювання. Це робить питання точності одним з ключових критеріїв при виборі програмного інструмента для проектної діяльності. Відповідно, аналіз можливостей AutoCAD, Blender і 3Ds Max дозволяє визначити їх роль та доцільність застосування на різних етапах інженерного проектування та в освітньому процесі технічних спеціальностей.

Точність тривимірного моделювання є фундаментальною категорією прикладної геометрії та інженерної графіки, оскільки вона визначає ступінь відповідності цифрової моделі реальним геометричним параметрам об'єкта. У теоретичному плані точність моделювання охоплює поняття геометричної точності, метричної відповідності та допустимих відхилень, які регламентуються стандартами і технічними умовами. Геометрична точність означає правильність відтворення форми, положення і взаємного розташування елементів моделі в тривимірному просторі, тоді як метрична відповідність визначається числовою коректністю розмірів, кутів і відстаней. Допуски, у свою чергу, задають межі допустимих відхилень, у рамках яких геометрія вважається прийнятною для подальшого використання у проектній і виробничій діяльності.

У сучасних програмних середовищах точність тривимірного моделювання безпосередньо пов'язана з математичними моделями, що лежать в основі формоутворення. У CAD-системах, зокрема в AutoCAD, використовується параметричний підхід, за якого геометрія об'єктів описується точними числовими параметрами та алгебраїчними залежностями. Кожен елемент моделі має чітко визначені координати, розміри та зв'язки з іншими елементами, що забезпечує високу стабільність і відтворюваність геометрії. Зміна одного параметра автоматично призводить до коректної перебудови всієї пов'язаної структури, що є особливо важливим для технічних деталей із жорсткими вимогами до точності.

На відміну від параметричного підходу, у середовищах полігонального моделювання, таких як Blender і 3Ds Max, геометрія формується на основі вершин, ребер і граней, що утворюють полігональну сітку. Точність у цьому випадку визначається положенням окремих вершин у просторі та щільністю сітки, а не заздалегідь заданими параметричними залежностями. Такий підхід забезпечує значну гнучкість формоутворення і зручність роботи зі складними поверхнями, однак потребує підвищеної уваги до контролю координат



нат і використання інструментів прив'язок та вирівнювання. Будь-яка неточність у положенні вершин може призвести до накопичення похибок і спотворення геометрії, особливо у випадку технічних моделей.

Важливою теоретичною складовою точності є специфіка обчислень координат та роботи з системами одиниць вимірювання. У тривимірному моделюванні використовується декартова система координат, у межах якої кожна точка визначається трьома значеннями. Коректна інтерпретація цих значень безпосередньо залежить від обраної системи одиниць вимірювання, масштабу сцени та числової точності обчислень. Невідповідність одиниць або некоректне масштабування можуть призвести до істотних геометричних помилок, навіть якщо сама форма об'єкта зберігається зовні правильною.

У CAD-системах одиниці вимірювання та масштаб, як правило, жорстко пов'язані з проектом і визначаються на початковому етапі моделювання. Це мінімізує ризик помилок перерахунку та забезпечує однозначну інтерпретацію всіх геометричних параметрів. У середовищах на кшталт Blender і 3Ds Max, які часто використовуються як універсальні інструменти, масштаби та одиниці можуть змінюватися залежно від задачі, що вимагає від користувача додаткового контролю і чіткої організації робочого середовища.

Точність тривимірного моделювання значною мірою визначається не лише математичною основою програмного середовища, а й наявністю та способом реалізації інструментів вирівнювання й координатних прив'язок. Саме ці інструменти забезпечують контроль просторового положення об'єктів під час моделювання та дозволяють мінімізувати геометричні похибки. У межах дослідження особлива увага приділяється аналізу інструментарію вирівнювання і прив'язок у AutoCAD, 3Ds Max та Blender, оскільки зазначені засоби безпосередньо впливають на кінцеву точність створених технічних деталей. Для підтвердження теоретичних положень і практичних висновків аналіз супроводжується скріншотами програмних інтерфейсів із активованими режимами прив'язок і вирівнювання.

У середовищі AutoCAD система прив'язок і вирівнювання є базовим елементом усього процесу побудови геометрії. Інструменти Object Snap (OSNAP) забезпечують автоматичну фіксацію курсора в геометрично значущих точках об'єктів, зокрема в кінцевих точках, центрах, серединах відрізків і точках перетину, що дозволяє створювати геометрію з гарантованою метричною відповідністю. Координатна сітка використовується як допоміжний орієнтир для контролю пропорцій і просторового положення елементів, а режим Ortho обмежує переміщення курсора строго вздовж осей координат. Додаткову точність забезпечує режим Polar Tracking, який дозволяє працю-

вати з фіксованими або заданими кутовими напрямками. Сукупність зазначених інструментів формує жорстко структуроване середовище, орієнтоване на інженерну точність, що наочно продемонстровано на рисунку 1, де показано елементи інтерфейсу AutoCAD з прив'язками та режимами вирівнювання.

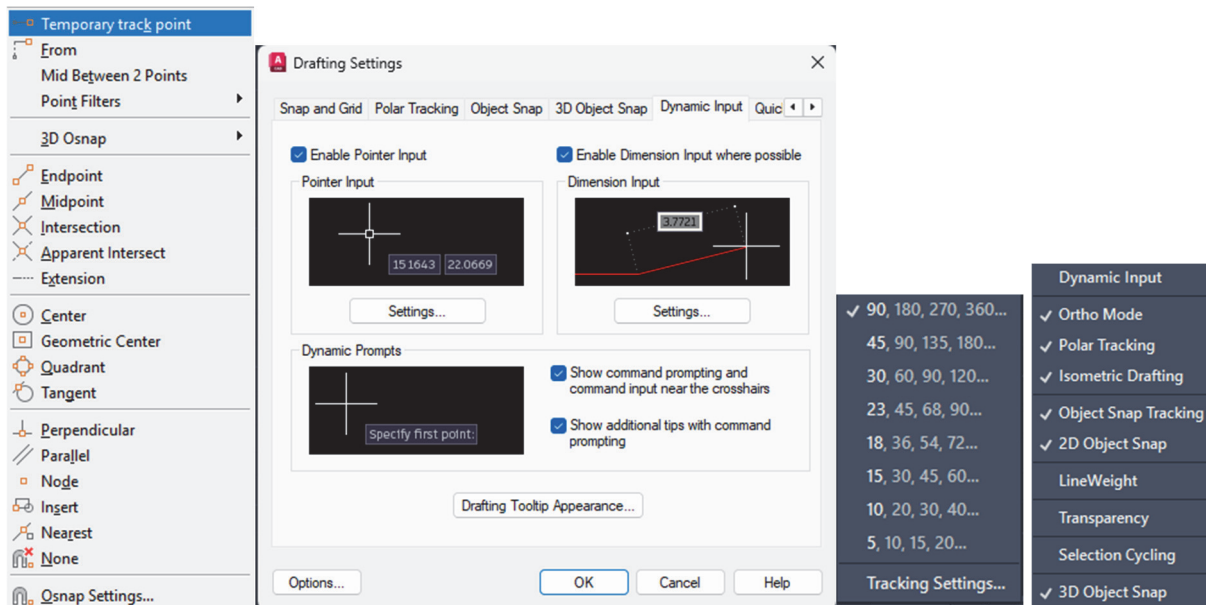


Рис.1. – Інструменти прив'язок та вирівнювання в AutoCAD: активовані Object Snap, координатна сітка, режим Ortho та Polar Tracking під час побудови геометрії

У програмному середовищі 3Ds Max інструменти точного позиціонування реалізовані в рамках більш гнучкої моделювальної концепції, що поєднує полігональне та сплайнове моделювання. Snap Tools дозволяють виконувати прив'язку до різних елементів геометрії сцени, зокрема вершин, ребер і граней, що забезпечує досить високу точність розташування об'єктів. Обмеження переміщення за допомогою Axis Constraints дає можливість контролювати трансформації вздовж окремих осей, тоді як інструмент Align автоматизує вирівнювання об'єктів відносно заданих елементів за позицією, орієнтацією або масштабом. Значну роль у досягненні точності відіграє робота з тимчасовою робочою точкою обертання, що дозволяє точно позиціонувати об'єкти у складних сценах. Зазначені можливості проілюстровані на рисунку 2, де представлено основні інструменти вирівнювання та прив'язку у середовищі 3Ds Max.

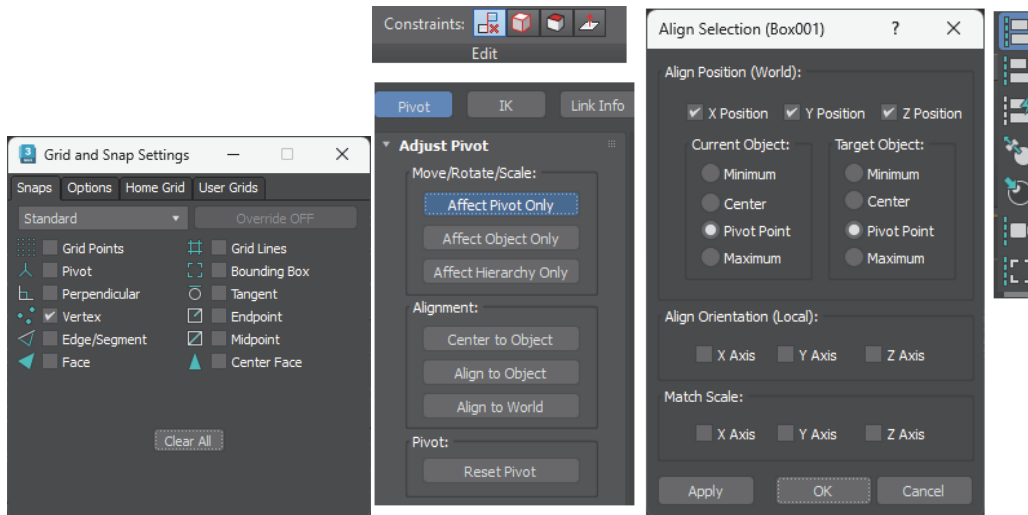


Рис. 2. – Засоби точного позиціонування у 3Ds Max: Snap Tools, обмеження трансформацій за осями, інструмент Align та робоча точка обертання

У Blender система прив'язок і вирівнювання орієнтована на універсальність і налаштовуваність, що надає користувачеві значну свободу у виборі способу контролю геометрії. Інструмент Snapping дозволяє прив'язувати об'єкти або їх окремі елементи до вершин, ребер чи поверхонь інших об'єктів. Вибір орієнтації трансформацій дає змогу виконувати операції у глобальній, локальній або користувацькій системі координат, що особливо важливо при роботі з технічною геометрією. Режим інкрементного переміщення забезпечує дискретне зміщення об'єктів на задані кроки, а числове введення координат дозволяє уточнювати положення елементів із необхідною точністю. Практичне застосування цих засобів із демонстрацією активованих координатних прив'язок подано на рисунку 3. Також в якості центра трансформацій можливо використовувати не тільки опорну точку, але і тривимірний курсор.

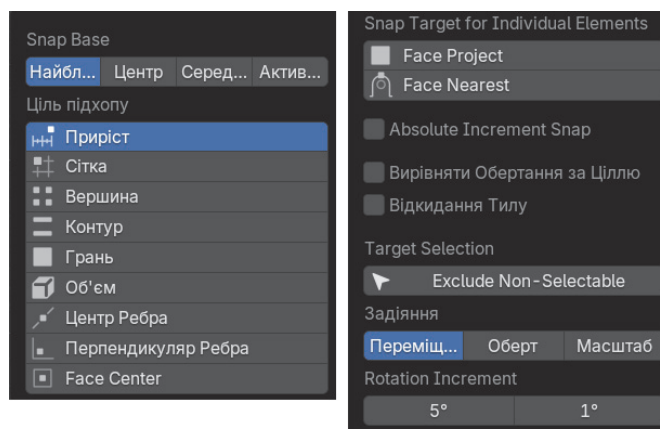


Рис. 3. – Інструменти вирівнювання та координатні прив'язки у Blender: режими Snapping до вершин, ребер і поверхонь, вибір орієнтації трансформацій та інкрементне переміщення

Порівняльний аналіз інструментів вирівнювання та прив'язок свідчить про наявність спільних принципів у всіх досліджуваних середовищах, зокрема орієнтацію на координатну систему, автоматичну фіксацію до геометричних елементів і можливість обмеження трансформацій. Водночас принципи відмінності полягають у ступені автоматизації та рівні контролю, який покладається на користувача. AutoCAD демонструє найбільш формалізований і регламентований підхід, 3Ds Max поєднує автоматизовані інструменти з інтерактивною гнучкістю, тоді як Blender надає широкі можливості налаштування, вимагаючи від користувача більшого досвіду та уважності для досягнення інженерної точності.

Висновки. У ході проведеного дослідження було здійснено порівняльний аналіз точності тривимірного моделювання технічних деталей у програмних середовищах AutoCAD, 3Ds Max та Blender з використанням стандартних інструментів вирівнювання та координатних прив'язок. Отримані результати дозволяють зробити низку узагальнених висновків щодо можливостей і обмежень кожного з розглянутих програмних продуктів у контексті прикладної геометрії та інженерної графіки.

Встановлено, що AutoCAD демонструє найвищий рівень геометричної точності та стабільності результатів незалежно від складності форми технічної деталі. Параметрична природа моделювання, жорстка орієнтація на координатну систему та розвинений інструментарій автоматичних прив'язок забезпечують повну відповідність створених моделей заданим розмірам і просторовим співвідношенням. Це підтверджує доцільність використання AutoCAD як еталонного інструмента для технічного проектування та розробки проєктної документації.

Результати моделювання у 3Ds Max свідчать про високий потенціал цього середовища для виконання технічних завдань за умови коректного використання сплайнових інструментів, засобів вирівнювання та обмежень трансформацій. При цьому виявлено, що під час переходу до полігонального редагування можливе виникнення незначних геометричних відхилень, які хоча і не впливають суттєво на візуальне сприйняття моделі, можуть бути критичними для задач, що вимагають суворої інженерної точності. Таким чином, 3Ds Max може розглядатися як ефективний інструмент для прикладного технічного моделювання на концептуальному та проміжному етапах проєктної діяльності.

Дослідження можливостей Blender показало, що це середовище здатне забезпечувати прийнятний рівень точності для моделювання технічних деталей простої геометрії, однак досягнення інженерно прийнятних резуль-



татів значною мірою залежить від дисципліни користувача та ретельності застосування інструментів прив'язок і числового введення параметрів. Для більш складних деталей виявлено тенденцію до накопичення мікропохибок, пов'язаних із полігональною природою геометрії. Це обмежує безпосереднє використання Blender у задачах, де точність є критичним чинником, без додаткових перевірок і коригувань.

Порівняльний аналіз інструментів вирівнювання та прив'язок дозволив встановити, що всі досліджувані програмні середовища реалізують базові принципи координатного контролю, однак істотно відрізняються за рівнем автоматизації. У AutoCAD контроль точності значною мірою забезпечується системою автоматично, у 3Ds Max – поєднанням автоматичних і ручних операцій, тоді як у Blender основна відповідальність за точність покладається на користувача. Ці відмінності мають суттєве значення при виборі програмного інструмента для конкретних етапів проектної діяльності та навчальних технічних дисциплін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lockhart S., Johnson C., Goodman M. Technical Drawing with Engineering Graphics. Peachpit Press, 2023.
2. Сліденко В.М. Комп'ютерна графіка. Практикум з Autocad. Навчальний посібник. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.
3. Autodesk. 3Ds Max Learning Resources and Teaching Materials. San Rafael, 2023.
4. Тривимірне моделювання в середовищі Blender 4 [Електронний ресурс]: навч. наоч. посіб. / Д.О. Довгаль, І.В. Вернер, Є.Д. Пілюгін, О.М. Твердохліб; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2025. – 218 с.
5. Analysis of the Accuracy of CAD Modeling in Engineering and Medical Industries Based on Measurement Data Using Reverse Engineering Methods / P. Turek et al. Designs. 2024. Vol. 8, no. 3. P. 50. URL: <https://doi.org/10.3390/designs8030050> (date of access: 10.03.2026).

УДК 614.8

ПОСИЛЕННЯ БЕЗПЕКИ НАСЕЛЕННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

А.А. Нестер

доктор технічних наук, доцент, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна, e-mail: nesteranatol111@gmail.com

Анотація. Посилення безпеки населення в умовах воєнного стану вимагає комплексного підходу: модернізації укриттів, покращення систем оповіщення, навчання цивільних домедичній допомозі та алгоритмам дій при обстрілах. Ключовими є своєчасна евакуація з небезпечних зон, забезпечення продовольчої та інформаційної безпеки, а також