

*Лопатюк С.П.*

## ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В AUTOCAD

*Системи автоматизованого проектування давно здобули пріоритет в практиці геометричного моделювання. AutoCAD від початку існування цілеспрямовано втілює у життя програмне забезпечення, яке вдало копіює дії проєктувальника-людини в процесі створення технічних креслень або геометричних моделей об'єктів складної технічної форми. Параметричне проектування з'явилося у версії AutoCAD 2010 року, і являє собою подальший розвиток можливостей автоматичного проектування при модифікації технічних виробів із збереженням деяких геометричних або розмірних залежностей.*

*Стаття присвячена питанням використання параметризації при вивченні дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка» в частині «Комп'ютерна графіка». Приділяється увага методиці розв'язання задач нарисної геометрії і проєкційного креслення з прив'язкою до геометричних особливостей алгоритмів побудови чи геометричних (розмірних) залежностей об'єктів.*

***Ключові слова:** об'єктна прив'язка, параметризація, геометричні залежності, розмірні залежності.*

**Постановка проблеми.** Комп'ютерна графіка і системи автоматичного проектування практично витіснили з навчального процесу методи і засоби ручного креслення. Крім стрімкого науково-технічного прогресу, причиною цього є дистанційна форма навчання, яка стала переважною під час епідемії Covid, а в Україні – ще й у зв'язку з небезпеками воєнного стану. Дистанційна форма навчання значною мірою обумовила перехід на інноваційні комп'ютерні технології, використання яких має певні особливості [1,2, 4-6]. Пропонується методика удосконалення процесу виконання креслень засобами комп'ютерної графіки, покращення геометричної точності побудов в середовищі AutoCAD.

**Вступ.** Параметричне проектування – це можливість накладання деяких залежностей або обмежень, які обов'язково мають виконуватися, щоб не відбувалось з об'єктом в процесі моделювання. Розрізняють геометричні і розмірні залежності[3, 9, 10].

Геометричні залежності – це збереження умов взаємного розташування об'єктів на кресленні (співпадіння, перпендикулярність, дотичність і та ін.).

Розмірні залежності – це збереження певного значення розміру (розмірів) при будь-яких змінах.

В ранніх версіях AutoCAD для відтворення геометричних залежностей успішно використовувався і зараз використовується режим, так званої, «об'єктної прив'язки». Але, в деяких випадках, він не є зручним або не дає точного результату (наприклад, при найменших зсувах пристрою «миша» прив'язка збивається або таке спостерігається при копіюванні об'єкта). Параметризація – це подальший крок розвитку інтелектуальних можливостей систем автоматизованого проектування, намагання зробити комп'ютерне моделювання ще більш зручним і ефективним.

**Мета дослідження** полягає в обґрунтуванні та викладенні методики параметризації при розв'язанні задач з нарисної геометрії, моделюванні складних об'єктів при вивченні дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка».

**Основні матеріали дослідження.** Параметризація в комп'ютерній графіці призначена для створення зв'язаних моделей, виправлення помилок, застосування законів механіки (фізики) при геометричному моделюванні [3,4,9].

Розглянемо використання можливостей параметризації в процесі вивчення нарисної геометрії. Дистанційний формат навчання призвів до активного залучення в методику викладання предмета викладачем і в практику виконання завдань студентами комп'ютерної графіки. Система AutoCAD є досить зручним програмним середовищем для таких цілей. Інструментарій і можливості його різноманітні. В залежності від рівня теоретичної підготовки, логіки, вподобань, досвіду проектувальника одну й ту саму задачу можна розв'язати по різному.

Геометричні «примітиви» AutoCAD мають різні геометричні залежності (точки залежності, «ручки»), які можна використовувати при параметризації:

- «лінія (відрізок)» - кінцеві і середня точки;
- «коло» - точка центра;
- «дуга» - точка центра і кінцеві точки;
- «полілінія» - кінцеві і середні точки відрізків і дуг, з яких складається полілінія та ін.

За допомогою «ручок» в процесі параметризації можна змінювати розміри об'єкта при збереженні форми, залишаючи незмінними геометричні ознаки розташування: збіг точок, перпендикулярність і паралельність ліній, дотичність кола і прямої, горизонтальність і вертикальність ліній, концентричність кіл, колінарність (під якою розуміють приналежність ліній (відрізків) одній і тій самій нескінченній прямій), рівність відрізків (радіусів дуг, кіл), симетричність об'єктів відносно заданої лінії симетрії, фіксація точки.

Накладання розмірних залежностей дозволяє зберігати відстані по горизонталі і вертикалі, відстані між двома точками на одному об'єкті, робити залежними відстані на різних об'єктах, закріплювати радіус або діаметр дуги (кола), задавати певне значення центрального кута дуги (кута між трьома точками). При завданні розмірних залежностей можна використовувати формули, які складаються із позначень накладених залежностей, констант і математичних функцій. Після накладання розмірних залежностей за допомогою диспетчера параметрів, в віконці якого відображаються всі залежності, встановлені на кресленні, з'являється таблиця, яку можна редагувати та доповнювати. Кожний рядок таблиці визначає інший типовий об'єкт із своїми розмірами і збереженими геометричними залежностями (рис. 1).

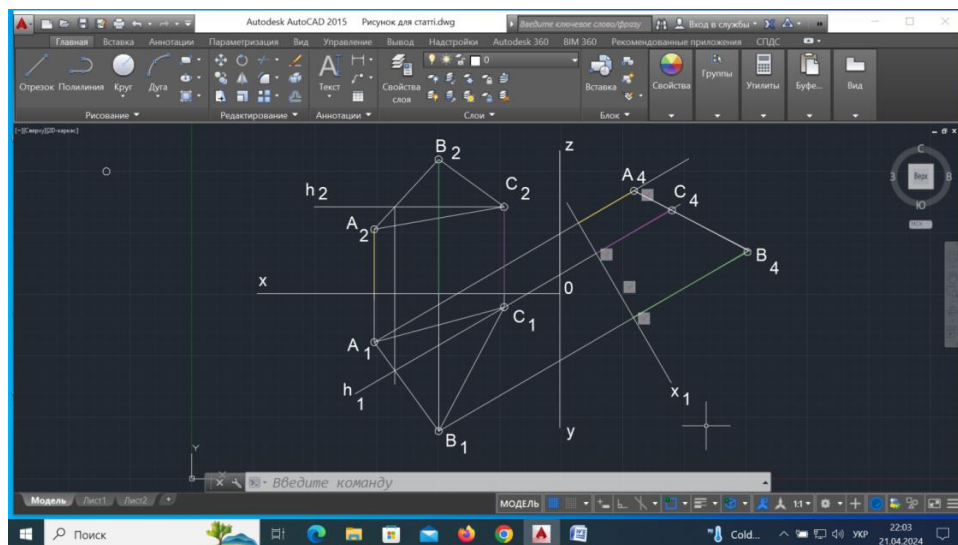


Рисунок 1

Передбачений режим автоматичного накладання залежностей, при якому система сама накладає залежності, вочевидь використані в процесі креслення об'єкта.

Основною ціллю розробки інструментарію параметризації було і є створення складних блоків з залежними параметрами. Тобто створення зручного і ефективного механізму проектування типових геометричних форм для стандартних технічних виробів. Але можливим є використання параметризації в різних задачах інженерної графіки.

Наприклад, при опрацюванні метода заміни площин проєкцій в нарисній геометрії для визначення натуральної величини трикутника або при розв'язанні задач цього типу доречно використовувати «ручне» накладання геометричних залежностей на базові лінії і точки (рис. 1). Застосування звичної об'єктної прив'язки дає гірший результат за рахунок невиконання умови прив'язки при незначному зсуві «миші».

При кресленні складного зв'язаного об'єкта (рис. 2) користуються, зазвичай, окремими наявними графічними примітивами, командами редагування, а потім об'єднують отриману криву в єдину полілінію (наприклад, при видавлюванні з неї трьохвимірною об'єкта).

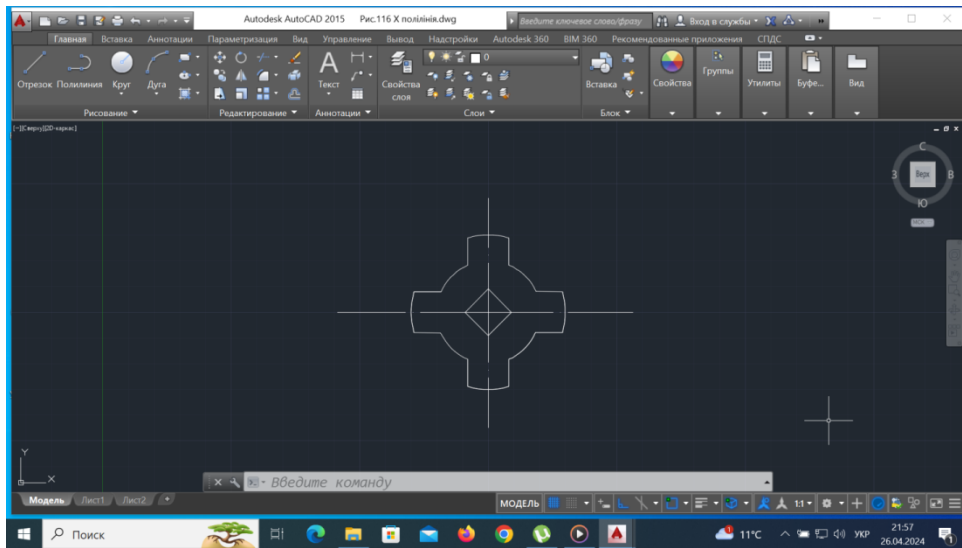


Рисунок 2 [8].

Маючи на меті побудову еквідистантних кривих до отриманої початкової кривої, доцільно скористатись автоматичною геометричною параметризацією, а вже потім командою побудови еквідистант. Це забезпечить збереження геометричних залежностей ділянок складної кривої і точність побудови.

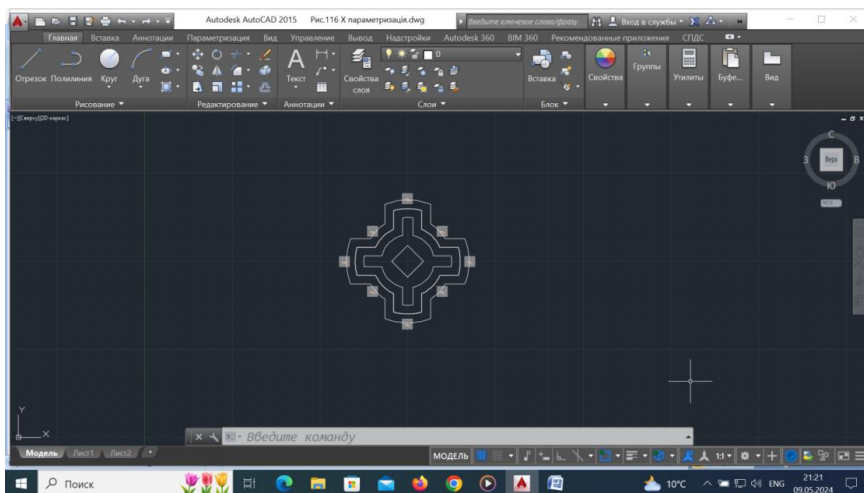


Рисунок 3.

Автоматичне накладання геометричних залежностей є зручною базовою підтримкою при проєктуванні більш складних об'єктів. Навіть маючи достатній рівень теоретичної підготовки, досить складно передбачити як зміна параметрів відобразиться на вигляді і властивостях об'єкта. Доводиться по декілька разів перевіряти коректність і доцільність закріплення точок, накладання взаємної паралельності, перпендикулярності, концентричності та ін. Крім геометричних залежностей є можливість задавати і розмірні залежності.

Коли проєктувальнику потрібно неодноразово креслити один і той самий фрагмент креслення, то доцільно об'єднувати його елементи в блок. І тут можливості методики параметризації проявляються виразніше. Так об'єднавши геометричні елементи на рисунку 3 в блок, зафіксувавши необхідні геометричні залежності (на рисунку 4 видно, що таких залежностей досить багато), можна задати деякі розмірні параметри, зміна яких автоматично буде змінювати форму об'єкта належним чином (на рисунку 4 це відстані  $d_1$  і  $d_2$ ). При накладанні розмірних залежностей AutoCAD автоматично створює таблицю параметрів, яку можна доповнювати і редагувати в редакторі блоків, створюючи при цьому деяку множину подібних за геометричними залежностями об'єктів різних розмірів (рис. 4). Параметри об'єкта можуть бути зв'язані між собою формулами з констант, змінних і математичних функцій.

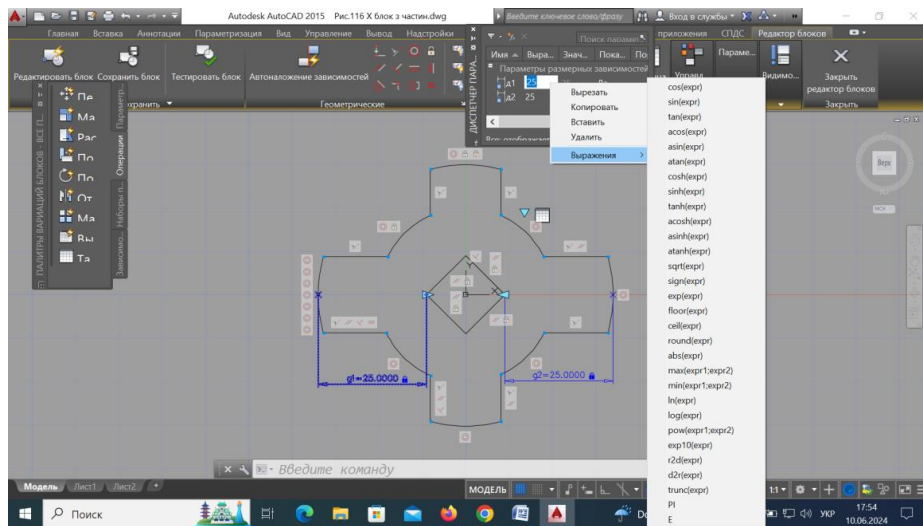


Рисунок 4

Автоматичне накладання залежностей на блок з розрізнених дуг і відрізків дає більш точний результат, ніж параметризація блока – полілінії. Пояснити це можна таким чином: при об'єднанні розрізнених дуг і відрізків в полілінію зникають деякі геометричні залежності і система не може їх відтворити автоматично. Існує можливість задати геометричні залежності вручну, але це копітка робота, яка не завжди призводить до бажаного результату: то точки стиковок роз'їжджаються, прямі перестають бути паралельними або перпендикулярними, то система інформує, що така геометрична залежність суперечить іншій або є некоректною.

На рисунках 5, 6 представлений блок з різними значеннями розмірних параметрів. Таблиця розмірів зображується на рисунку 5 у розкритому вигляді. Зафіксованим є перший рядок значень параметрів. На рисунку 6 вибраний другий рядок значень: форма блока змінилася, таблиця зображується у вигляді «ручки»-трикутника (її можна розкрити і вибрати необхідний варіант).

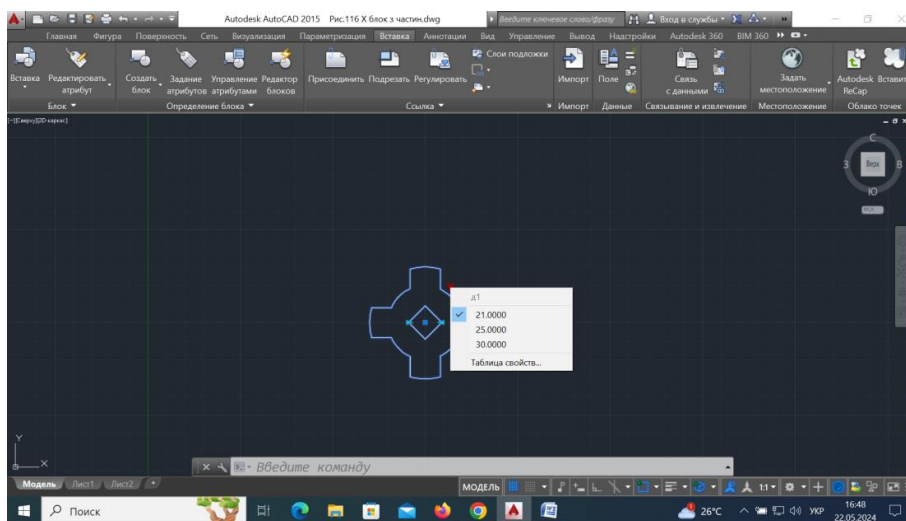


Рисунок 5

При виборі з заданої таблиці параметрів нової пари значень  $d_1$  і  $d_2$  змінюється форма зовнішнього контуру деталі із збереженням накладених геометричних залежностей (рисунок 6).

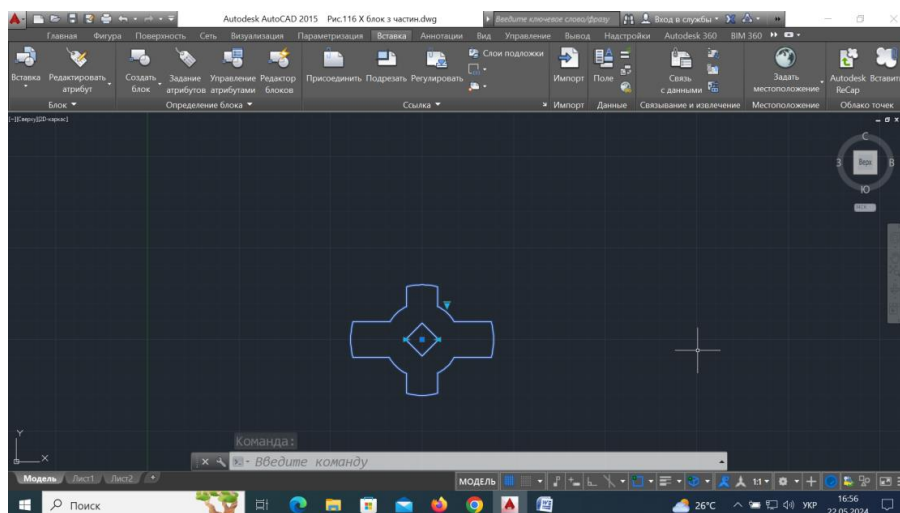


Рисунок 6

Проілюструємо ефективність параметризації на прикладі проектування стандартного болта M18 з шестигранною головкою (типової деталі з характерними геометричними і розмірними залежностями). AutoDESK надає стандартні приклади побудови (див. AutoCAD 2013\Sample\ru-ru\Dynamic Blocks\Mechanical-metric.dwg). Стандартний болт задається такими параметрами:

Таблиця 1 – Стандартні параметри болтів

| Різьба | Довжина болта, мм | Виконання | ГОСТ    |
|--------|-------------------|-----------|---------|
| M16    | 70                | 1         | 7798-70 |
| M18    | 80                | 2         | 7796-70 |
| M20    | 90                | 1         | 7805-70 |

У ГОСТ 7796-70 знаходимо всі необхідні для креслення розміри. Креслимо болт 1 M18-6g x 80 [7]. Креслення необхідно робити в двох проєкціях. Бажано всі спеціальні геометричні побудови (фаски, галтелі та ін.) виконувати за допомогою спеціальних команд AutoCAD. Це

важливо для подальшої автоматичної параметризації. З головного вигляду болта утворюємо блок (рис. 7). Користуємось режимом автоматичної параметризації для накладання геометричних залежностей.

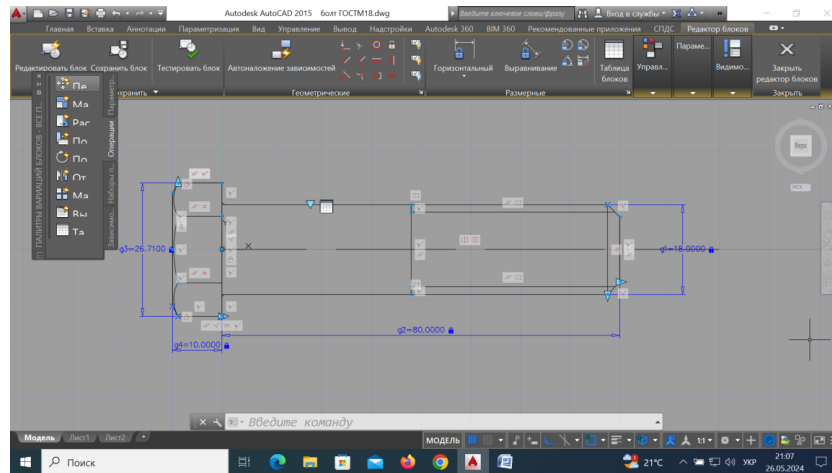


Рисунок 7

В якості необхідних розмірних залежностей вибираємо номінальний діаметр різьби, висоту головки болта, діаметр описаного кола (для побудови шестигранника), довжину болта. В редакторі блоків доповнюємо таблицю параметрів рядками із значеннями базових розмірів для болта M20 і M16 (рис. 8).

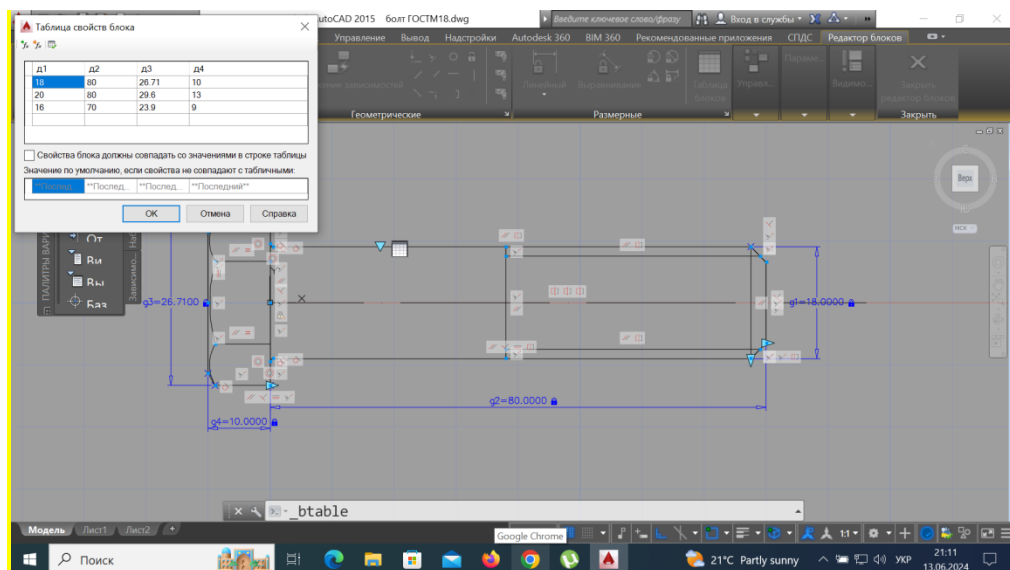


Рисунок 8

Зауважимо, що спроба змінити розміри типового болта за допомогою зміни рядка таблиці одразу виявляє похибки в накладанні геометричних залежностей, а саме недостатність проведеної автоматичної параметризації. Потрібно проаналізувати виявлені помилки і в ручному режимі, за декілька спроб, додати необхідні геометричні залежності, щоб отримати прийнятний результат параметризації. Цей процес вимагає від проєктувальника хорошого знання геометрії типової деталі і особливостей геометричних залежностей «примітивів» AutoCAD («ручок» за допомогою, яких можна зробити залежності сталими). На рисунку 9 представлений стандартний болт M20, отриманий при виборі відповідного рядка з таблиці параметрів.

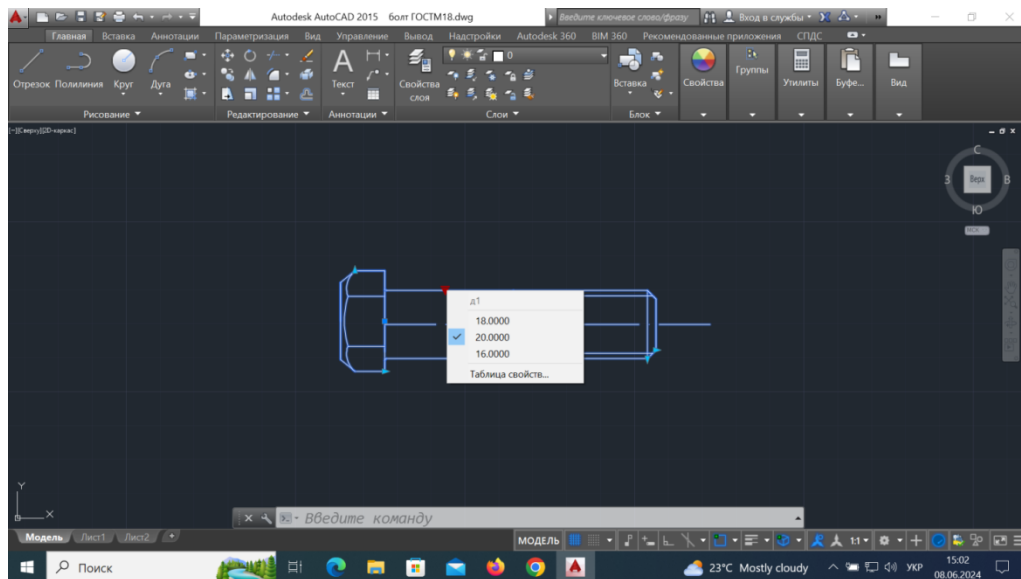


Рисунок 9.

Інструментарій параметризації можна використовувати для укладання варіантів типових креслень для самопідготовки студентів. Такий підхід розвиватиме геометричні навички, логіку побудови креслень, уявлення про типові і стандартні деталі.

**Висновки.** Параметричне проектування в системі AutoCAD дозволяє покращити відтворення геометричних особливостей оригіналів - об'єктів на електронному кресленні. Ефективність використання методики параметризації на сьогодні залежить від обізнаності і рівня підготовки проектувальника. На фоні поширення дискусій про штучний інтелект можна відмітити, що система значною мірою допомагає долати складні моменти проектування за допомогою підказок, коментарів: «Геометрія не повністю залежна», «Неможливо застосувати параметр залежності. Накладання залежності призведе до надмірного обмеження геометрії», «Неможливо опрацювати одну чи кілька залежностей. Рекомендується відмінити останню операцію» та ін. Режим автоматичної параметризації є зручним і виявляє значну кількість геометричних залежностей створеного об'єкта. Проектувальнику залишається відстежити деякі геометричні і розмірні особливості для отримання прийняттого результату. Тому можна зробити висновок про доцільність і перспективність параметричного проектування, незважаючи на деякі складнощі, і в освітньому процесі, і в фаховому геометричному моделюванні об'єктів складної технічної форми.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Лопатюк С.П. Модернізації навчання інженерної графіки з використанням можливостей САПР AUTOCAD. Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2020. – Випуск 1(29). С.58-66
2. Лопатюк С.П. Віртуальні лабораторні роботи з комп'ютерної графіки та 3D-моделювання. Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2023. – Випуск 1(37). С.222-229 <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37>
3. Параметризация в AutoCAD 2015 – видео-урок <https://compteacher.net/engineering/autocad>
4. Гнітецька Т. В., Гнітецька Г. О., Пустовіт Є. О. Використання динамічних блоків для створення електронних бібліотек зображень типових кріпильних елементів ресурсами AutoCAD / Прикладна геометрія та інженерна графіка, № 100, 2021.С.100 - 109

5. Гнітецька Т. В., Гнітецька Г. О. Метод «скелетних конструкцій» для спрощення процесу параметризації в AutoCAD. Прикладна геометрія та інженерна графіка, 2021. С.45-54
6. Гнітецька Т. В., Гнітецька Г. О. Курс «Інженерна та комп'ютерна графіка» для студентів технічних університетів. Інформаційні технології і засоби навчання. Том 90, №4, 2022. С.89-101
7. Михайленко В.Є., Ванін В.В., Ковальов С.М. М 69 Інженерна та комп'ютерна графіка: Підручник / За ред. В.Є. Михайленка. - К.: Каравела, 2010. 360 с.
8. Хаскин А.М. Черчение. «Вища школа», 1974. 448 с.
9. Зиновьев Д.В. Динамические блоки в AutoCAD / <https://autocad-lessons.com/product/dyn-block-autocad>
10. Сайт <https://autocad-lessons.com>

## REFERENCES

1. Lopatyuk S.P. Modernization of training in engineering graphics using AUTOCAD CAD capabilities. Water transport. Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies. - K.: DUIT, 2020. - Issue 1(29). P.58-66
2. Lopatyuk S.P. Virtual laboratory works on computer graphics and 3D modeling. Water transport. Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies. - K.: DUIT, 2023. - Issue 1(37). P.222-229 <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37>
3. Parameterization in AutoCAD 2015 – video lesson <https://compteacher.net/engineering/autocad/2057-parametrizaciya-v-autocad-2015-video-urok.html>
4. Hnitetska T.V., Hnitetska G.O., Pustovit E.O. Use of dynamic blocks to create electronic image libraries of typical fasteners using AutoCAD resources / Applied geometry and engineering graphics, No. 100, 2021. P.100 - 109
5. Hnitetska T. V., Hnitetska G. O. The method of "skeleton structures" to simplify the parameterization process in AutoCAD. Applied geometry and engineering graphics, 2021. P.45-54
6. Hnitetska T. V., Hnitetska G. O. Course "Engineering and computer graphics" for students of technical universities. Information technologies and teaching aids. Volume 90, No. 4, 2022. P.89-101
7. Mykhaylenko V.E., Vanin V.V., Kovalev S.M. M 69 Engineering and computer graphics: Textbook / Ed. V.E. Mykhaylenko - K.: Karavela, 2010. 360 p.
8. Khaskin A.M. Drawing. "Higher School", 1974. 448 p.
9. Zinoviev D.V. Dynamic blocks in AutoCAD / <https://autocad-lessons.com/product/dyn-block-autocad>
10. Website <https://autocad-lessons.com>

**Lopatuk S.P.**

### PARAMETERIZATION OF GEOMETRIC MODELING IN AUTOCAD

Computer-aided design systems have long acquired priority in the practice of geometric modeling. From the beginning of its existence, AutoCAD purposefully implements software that successfully copies the actions of a human designer in the process of creating technical drawings or geometric models of objects of complex technical form. Parametric design appeared in the 2010 version of AutoCAD, and represents a further development of the capabilities of automatic design when modifying technical products with the preservation of some geometric or dimensional dependencies.

The article is devoted to the use of parameterization in the study of the discipline “Descriptive Geometry and Engineering Graphics” in the “Computer Graphics” section. Attention is paid to the methodology for solving problems of descriptive geometry and projection drawing, taking into account the geometric features of construction algorithms or geometric (dimensional) dependencies of objects.

**Key words:** object binding, parameterization, geometric dependencies, dimensional dependencies.