УДК 514.18+004.925.8

СТВОРЕННЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ АВТОМОБІЛЬНОГО ВУЗЛА ЗАСОБАМИ ПРОГРАМИ AUTODESK INVENTOR

Архіпов О.В., канд. тех. наук,
alex.khadi.kharkov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2287-1451,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)
Бондаренко О.В., канд. тех. наук,
avbondko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2693-5301,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)
Корецький Я.С.,
yarta9538@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6690-0648,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

Комп'ютерне моделювання є невід'ємною частиною сучасних технологій. Можливість побудови 3D-моделей забезпечується відповідними пакетами прикладних програмам, серед яких Autodesk Inventor є однією з найбільш ефективних та поширених. Вона надає велику кількість засобів як для побудови параметричних моделей окремих деталей, так і складань на їх базі. Але не завжди користувачі, які працюють в Autodesk Inventor, приділяють увагу параметризації моделей. Хоч саме параметрична комп'ютерна тривимірна модель виробу дає змогу швидко відтворювати зміни його геометрії у досить широкому діапазоні. Вона дозволяє швидко оцінювати всі наочні, експлуатаційні, економічні плюси та мінуси тієї чи іншої конструкції та знаходити оптимальні варіанти її виконання.

В роботі запропоновано алгоритм ефективного застосування програми Autodesk Inventor для побудови параметричних моделей машинобудівних вузлів, всі елементи (деталі) яких адаптивно пов'язані між собою. Розроблено рекомендації щодо максимально дієвого використання всіх наявних можливостей комп'ютерної програми на кожному етапі побудови параметричної моделі складання.

Для апробації та ілюстрації застосування алгоритму наводиться покроковий процес побудови параметричної моделі колісного гальмівного циліндра автомобіля. Надано рекомендації до обрання базової деталі машинобудівного вузла. Показано як застосування функції iLogic дозволяє додавати або вилучати з браузера програми певні елементи форми моделі шляхом зміни керуючих параметрів. Авторами розглянуто різноманітні аспекти застосування похідних компонентів як на базі раніше створених деталей, так і на базі попередньо створеного складання; досягнення адаптивного зв'язку між деталями; заповнення таблиці параметрів користувача для окремих деталей; створення деталей безпосередньо в середовищі складання. Проаналізовано доцільність та надано приклад

створення зовнішньої таблиці Excel, що містить основні геометричні параметри машинобудівного вузла, яка дозволяє швидко змінювати основні характеристики всіх елементів моделі вузла. Доцільно використання отриманих результатів в навчальному процесі.

Ключові слова: геометрична параметризація, колісний гальмівний циліндр, комп'ютерне моделювання, Autodesk Inventor, навчальний процес.

Постановка проблеми. Комп’ютерне моделювання стало сучасним стандартом у конструюванні завдяки розвитку відповідного програмного забезпечення та алгоритмів його застосування. Але й досі питанням параметризації при створенні моделей в машинобудуванні приділяється недостатня увага. Між тим, параметрична комп’ютерна тривимірна модель машинобудівного вузла дозволяє швидко враховувати зміну його робочих характеристик, відтворювати та аналізувати багато варіантів виконання виробу, даючи оцінку конструктивним, експлуатаційнім, ергономічним перевагам конструкції тієї чи іншої геометрії. Повільне застосування засобів параметризації при моделюванні складань може бути пов’язано з тим, що наявна література не надає апробованих алгоритмів, які б дозволили суттєво формалізувати цей процес.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значні функціональні можливості роблять програму Autodesk Inventor [1] однією з найбільш задіяних серед конструкторів у світі. Наявна література містить достатню кількість інформації щодо застосування її засобів при побудові складних параметричних моделей окремих машинобудівних деталей [2, 3] та побутових виробів [4]. Є приклади застосування Autodesk Inventor при параметричному моделюванні машинобудівних (автомобільних) вузлів та агрегатів [5, 6]. Пропонується застосування елементів параметризації при виконанні навчального завдання з моделювання складального вузла студентами [7]. Проте немає робіт, які б містили аналіз та порівняння всіх існуючих засобів програми для побудови параметричних моделей складань та пропонували алгоритм можливої послідовності їх застосування. До того ж у більшості випадків мова йде лише про часткову параметризацію моделі, тобто дослідники геометрично пов’язують лише декілька деталей.

Формулювання цілей статті. Метою роботи стали розробка та апробація на прикладі колісного гальмівного циліндра автомобіля алгоритму створення параметричної моделі машинобудівного вузла у середовищі програми Autodesk Inventor, аналіз та порівняння всіх існуючих засобів цієї програми для побудови параметричних моделей складань, всі деталі яких адаптивно пов’язані між собою.

Основна частина. Програма Autodesk Inventor [1] надає широкі можливості для створення параметричних моделей як окремих деталей, так і параметричних моделей складань на їх базі. Але практична значимість параметричної моделі виробу визначається тим, якою мірою враховані в ній можливі зміни геометрії її елементів. Звісно, бажано, щоб зміна

геометрії кожної окремої деталі відбувалась автоматично зі зміною інших деталей, які геометрично з нею пов’язані, та навпаки. Це можливо при використанні засобів адаптивного проектування. Далі, на прикладі колісного гальмівного циліндра автомобіля, покроково розглянемо алгоритм побудови параметричної моделі машинобудівного вузла.

На першому етапі, тобто перед початком безпосереднього моделювання, необхідно познайомитися з прототипами виробу та перспективними варіантами його конструкції, наявною конструкторською документацією. З’ясувати робочі характеристики вузла та можливий діапазон їх змін. Виконати аналіз можливої форми та розмірів робочих органів, наявних геометричних взаємозв’язків між елементами складання, всіх доцільних на вашу думку та перспективних варіантів майбутніх змін геометрії кожної окремої деталі та конструкції в цілому.

На початку моделювання гальмівного циліндра було проаналізовано велику кількість аналогічних виробів та декілька відповідних складальних креслеників. На рис. 1 показана схема складання колісного гальмівного циліндра класичної конструкції.

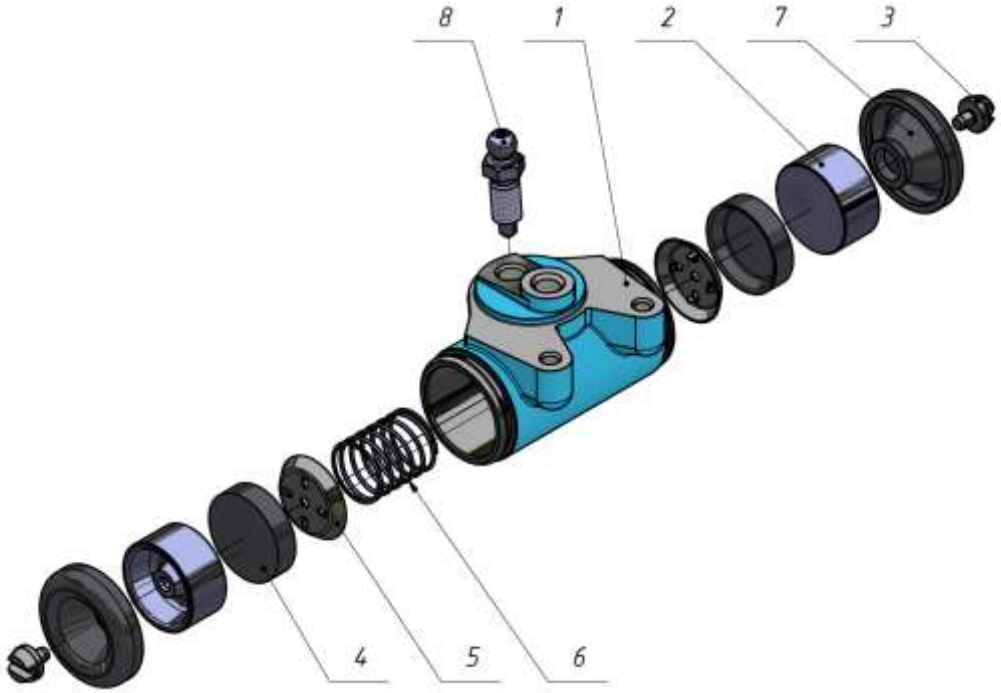


Рис. 1. Схема складання колісного гальмівного циліндра:
1 – корпус; 2 – поршень; 3 – штовхач; 4 – манжета; 5 – тарілка розпірна;
6 – пружина; 7 – ковпак захисний; 8 – штуцер

На рис. 2 наведені приклади зовнішнього вигляду колісних гальмівних циліндрів різних виробників, які є наявними в мережі Інтернет. Очевидними є відмінності в геометрії між представленими моделями (розташування робочого та зливного отворів, елементів кріплення, зовнішній вигляд та розташування фланців).

Рис. 2. Варіанти геометрії існуючих колісних гальмівних циліндрів

На другому етапі обирається базова деталь складання, геометрія якої пов'язана з максимальною кількістю деталей, зазвичай це корпус, та виконується її параметричне моделювання. При цьому моделюванні необхідно максимально врахувати форму та розміри робочих органів та весь можливий діапазон змін геометрії базової деталі як окремої деталі, так і її як деталі, геометрія якої залежить від наявної геометрії інших деталей у складанні та передбачає можливість їх зміни у певному передбаченому діапазоні. Можливість створення в Autodesk Inventor параметричних моделей деталей, тобто деталей, які за бажанням конструктора змінюють геометрію у широкому діапазоні, ґрунтується на наступних фактах [4]:

- взаємне розташування робочих елементів (площин, осей, точок), що містять геометричну частину визначника поверхні деталі, може бути параметром, що допускає зміну в межах однієї геометричної моделі;
- сама геометрія твірних (або контурів), напрямних, траєкторій видавлювання, що використовуються при кінематичному способі завдання поверхні деталі, може бути підпорядкована відповідним параметрам;
- функція програми Autodesk Inventor – iLogic дозволяє прописувати на етапі створення моделі ті чи інші правила (інструкції), що безпосередньо впливають на геометрію моделі.

В літературі наявні приклади та алгоритми побудови параметричних моделей деталей, що допускають зміну їх геометрії у дуже широкому діапазоні [2 – 4]. Потрібно відмітити, що практична значимість параметричної моделі виробу визначається тим, якою мірою ще на етапі побудови базової деталі враховані можливі зміни геометрії. Тому, при параметричному моделюванні базової деталі, необхідно врахувати історичні та перспективні композиційні рішення, властиві аналогам, цілісність її форми, підпорядкованість елементів, композиційну рівновагу,

єдність характеру форми, симетрію або асиметрію елементів. Все це треба враховувати з самого початку роботи над моделлю: під час створення робочих площин, що допускають максимальні можливості для перетворення геометрії у потрібних напрямках; при формуванні елементів ескізів, що допускають широкий діапазон корекції; при накладенні, або не накладенні залежностей на елементи ескізів.

На рис. 3 представлена параметрична модель базової деталі колісного гальмівного циліндра – корпусу.

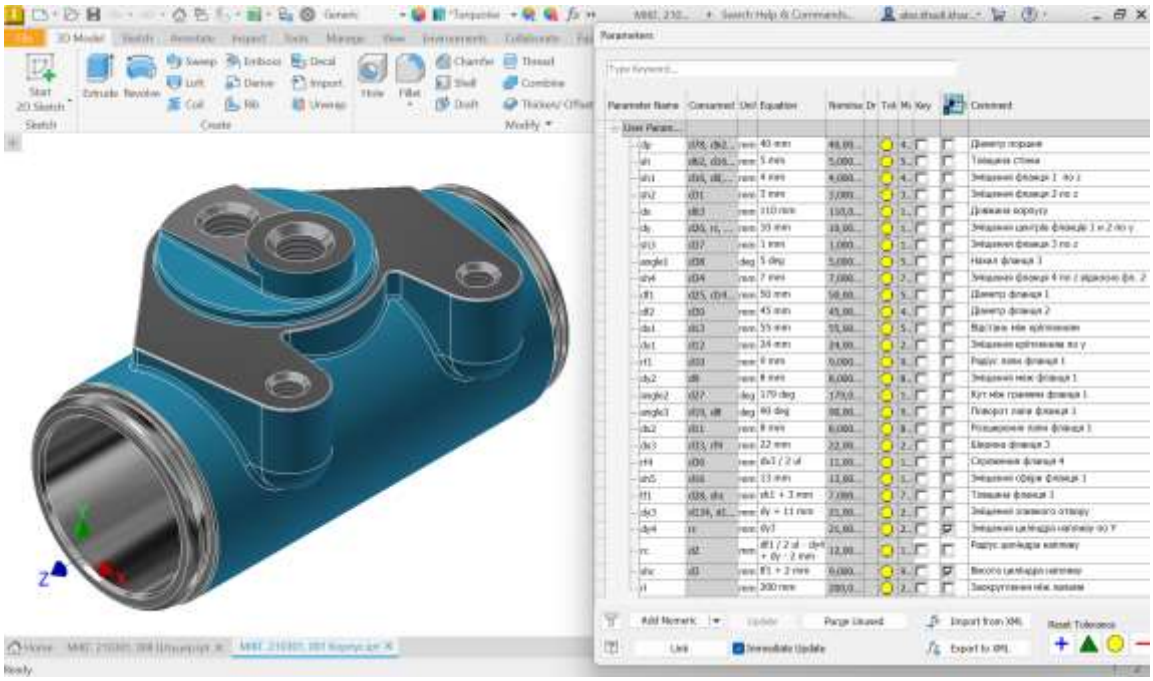


Рис. 3. Параметрична модель корпусу гальмівного циліндра

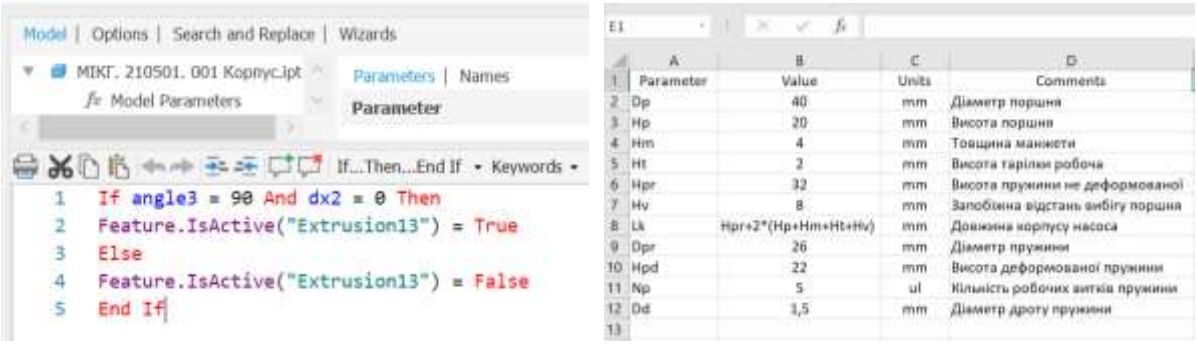
При побудові моделі корпусу всі основні розміри вносилися у розділ параметрів користувача таблиці параметрів програми Autodesk Inventor для цієї деталі. Це дозволяє їх швидко змінювати, відразу наочно оцінюючи результат зміни моделі. Найбільш складним елементом моделі є система фланців [2]. Шляхом застосування ескізів, що враховують можливі зміни її геометрії, було передбачено різні варіанти вигляду деталі (рис. 4).

а *б* *в*

Рис. 4. Вплив зміни параметрів на геометрію моделі корпусу

При побудові моделі корпусу гальмівного циліндра було застосовано і функцію iLogic програми Autodesk Inventor, яка дозволяє додавати або вилучати з браузера (дерева побудов) програми певні елементи форми деталі шляхом зміни керуючих параметрів. На рис. 5 (а) наведено правило iLogic, що дозволяє, при наданні параметру dx2 нульового значення, автоматично переходити від двох окремих лап кріплення на корпусі гальмівного циліндра (рис. 4, а) до одного спільного елемента форми, завдяки додаванню відповідного елемента видавлювання (рис. 4, в).

Також на цьому етапі роботи бажано створити зовнішню таблицю Excel, яка б містила ті загальні геометричні характеристики всього вузла, які є взаємопов'язаними відповідно до певної залежності, у подальшому будуть найчастіше переглядатися, наприклад, при зміні робочих характеристик виробу, або вони будуть вочевидь задіяні при моделюванні інших деталей у складанні. Таку таблицю можна пов’язати з таблицею параметрів програми Autodesk Inventor будь якої деталі, в першу чергу базової, за допомогою команди "Link". Тоді зміни у цій таблиці будуть автоматично призводити до зміни геометрії всіх деталей, в яких є посилання на її значення. На рис. 5 (а) надано можливий вигляд такої зовнішньої таблиці Excel для моделі гальмівного циліндра.



а *б*

Рис. 5. Засоби автоматизації при побудові моделі: а) приклад правила iLogic для деталі; б) зовнішня таблиця Excel з параметрами вузла

На третьому етапі роботи виконується параметричне моделювання деталей, геометрія яких безпосередньо пов'язана лише з геометрією базової деталі. Доцільно при цьому застосування похідного компоненту (команда "Derived Component"). На початку моделювання кожної такої деталі у простір моделі програми Autodesk Inventor першочергово додається базова деталь у вигляді робочої поверхні (стиль "Body as Work Surface" визначається у діалоговому вікні "Derived Part"). На її поверхнях програма дозволяє створювати робочі ескізи, до складу яких можна додавати проєкції будь яких ребер, обрисів поверхонь обертання та лінії переходу базової деталі (команда "Project Geometry"). Після використання видимість похідного компоненту може бути відключена. При зміні геометрії базової деталі автоматично оновлюються і всі деталі, що побудовані за допомогою

функції "наслідування геометрії", тобто адаптивний зв’язок між деталями зберігається.

На рис. 6 показано процес моделювання поршня гальмівного циліндра з застосуванням похідного компоненту. До таблиці параметрів деталі було додано параметри з наведеної на рис. 5 (б) таблиці Excel.

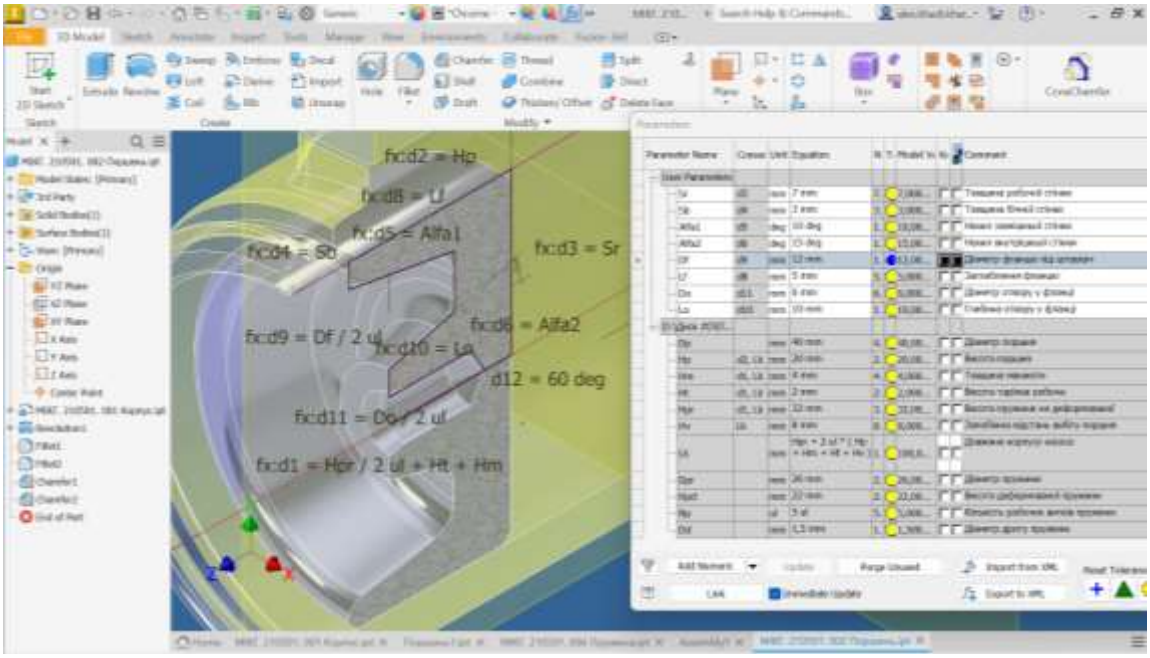


Рис. 6. Моделювання поршня гальмівного циліндра

На цьому ж етапі створюються параметричні моделі деталей, які не потребують прєкціювання геометрії та розміри яких повністю або частково визначаються зовнішньою таблицею Excel після її підключення. Так для гальмівного циліндра були побудовані моделі манжети та пружини. Пружина створювалась у середовищі моделювання деталі з використанням команди "Coil", але потім її параметри уточнювалися за допомогою "Майстра проектування" програми Autodesk Inventor у генераторі пружин.

Паралельно, за допомогою похідного компоненту, моделюються інші деталі, геометрія яких залежить від однієї з вже побудованих. У випадку гальмівного циліндра такою деталлю є штовхач.

На четвертому етапі виконується моделювання деталей, геометрія яких залежить від декількох деталей у складанні. Такі деталі можна створювати безпосередньо у середовищі складання. Для цього потрібно створити файл складання, вставити у нього вже створені деталі (команда "Place Component"), починаючи з базової, накласти на них всі необхідні складальні залежності (команда "Constrain") та створити у середовищі складання нову деталь (команда "Create Component"). При її моделюванні можна проєкціювати на площини створених ескізів геометрію всіх деталей у складанні (команда "Project Geometry"), але при цьому потрібно бути дуже обережним. Справа в тому, що лише прєкції ребер та ліній переходу є

адаптивними, тобто змінюють своє розташування при зміні геометрії похідних деталей, а проєкції обрисів тіл обертання залишаються фіксованими, тобто не є адаптивними. Побачити це на екрані можна завдяки появі позначок у вигляді зачиненого замка поруч з цими об’єктами. Наведений далі підхід не має цього недоліку.

На початку створення нової деталі можна обрати в якості похідного компоненту не файл деталі, а файл складання. Для цього необхідно, після виклику команди "Derived Component", обрати необхідний файл складання та визначити у вікні "Derived Part" стиль "Single Composite Feature", який дозволить отримати робочу поверхню, що відповідає геометрії складання як одного цілісного об’єкта. Проблем з адаптивністю при проєкціюванні геометрії такого похідного компоненту не буде.

На рис. 7 наведено заключний етап побудови в середовищі складання захисного ковпака колісного гальмівного циліндра, геометрія якого адаптивно пов’язана з геометрією трьох деталей – корпусу, поршня та штовхача. Геометрія розпірної тарілки пов’язана з геометрією двох деталей – манжети та пружини.

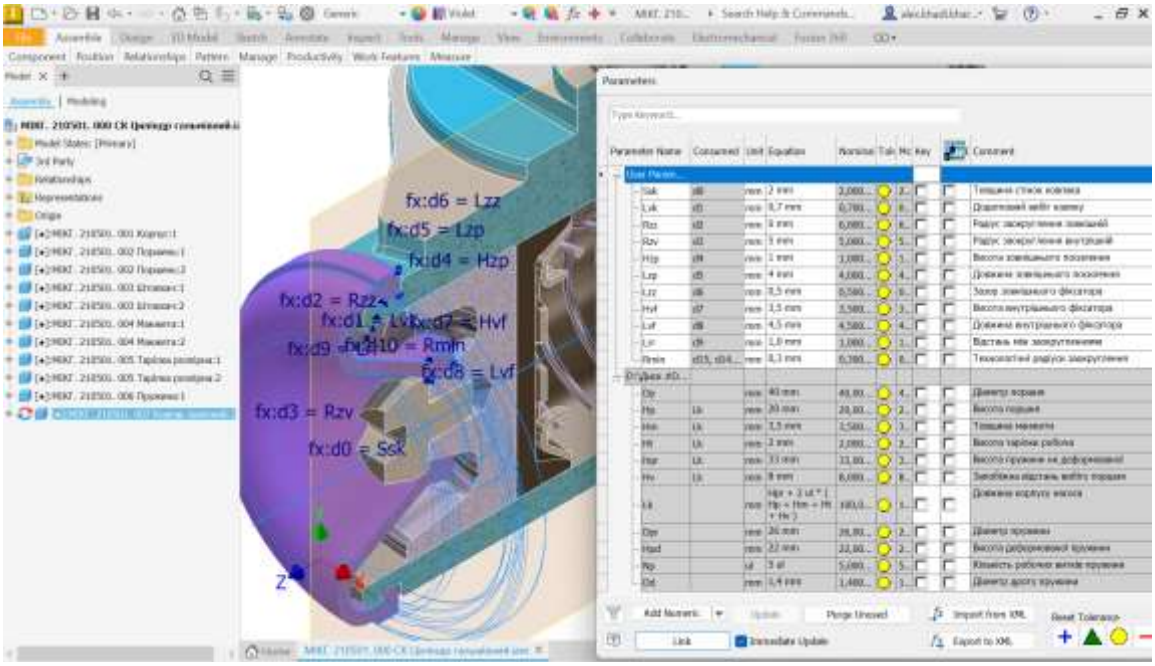
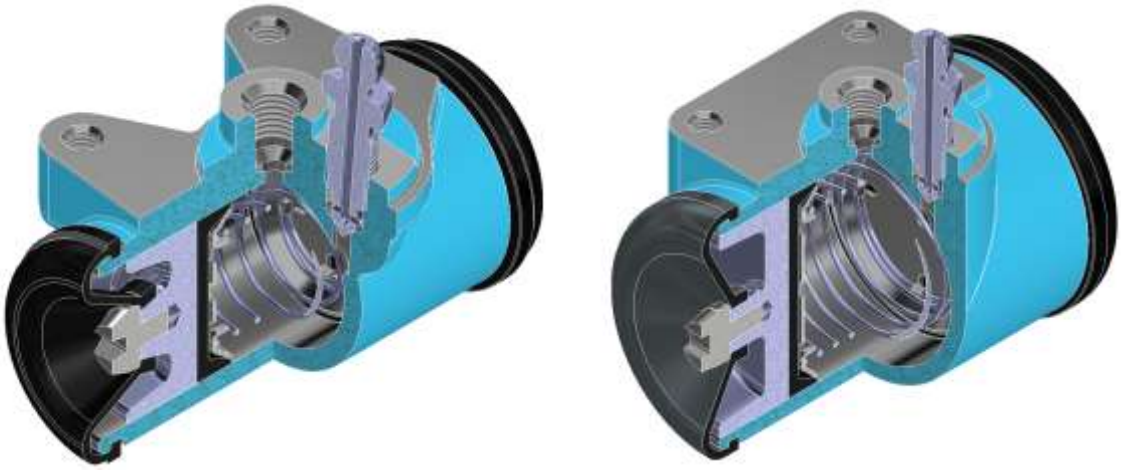


Рис. 7. Моделювання захисного ковпака гальмівного циліндра

У нас немає деталей, що геометрично залежать від цієї останньої групи деталей. При необхідності ми б виконали і їх моделювання.

На заключному п’ятому етапі моделювання складальної одиниці доопрацьовується файл складання, перевіряються адаптивні зв’язки між усіма деталями шляхом варіативної зміни параметрів у відповідних таблицях користувача для кожної окремої деталі та у зовнішній таблиці Excel, при необхідності виконується оптимізація геометрії моделі вузла за обраними критеріями.

Побудована модель колісного гальмівного циліндра автомобіля також була перевірена на відсутність помилок. На рис. 8 наведено її вигляд при діаметрі поршня 40 мм (рис. 8, а) та 60 мм (рис. 8, б). Дещо змінювалися дизайн та розміри окремих деталей.



а б

Рис. 8. Вплив зміни параметрів на геометрію моделі вузла

Звичайно, створення повністю параметризованої моделі вузла потребує додаткових зусиль та часу. Разом з тим, якщо параметрична модель виробу створена на належному рівні, вона дозволяє швидко отримувати шляхом зміни лише декількох ключових параметрів практично необмежену кількість варіантів конструкторських рішень, які зручно аналізувати та оптимізувати. В кінцевому рахунку це забезпечує скорочення термінів проектування за рахунок автоматизації.

Потрібно відмітити, що запропонований алгоритм застосування програми Autodesk Inventor для побудови параметричних моделей складань на протязі багатьох років опрацьовувався у науково-технічних дослідженнях та навчальному процесі [5 – 7]. У кінцевому варіанті, який пропонується, він був апробований на значній кількості моделей автомобільних та машинобудівних вузлів. Отримані комп'ютерні моделі використовувалися для розрахунку полів напруг, температур, гідродинамічних розрахунків із застосуванням таких пакетів як ANSYS, Nastran, SimuLink, Cosmos Flow Simulation та ін.

Висновки. Розроблено та апробовано на прикладі колісного гальмівного циліндра алгоритм створення параметричної моделі машинобудівного вузла у середовищі програми Autodesk Inventor, який дозволяє суттєво формалізувати процес параметричного моделювання вузлів та агрегатів. Виконано аналіз та порівняння всіх існуючих засобів програми для побудови параметричних моделей складань. Параметричне моделювання повинно ширше застосовуватися, оскільки, при застосуванні сучасних алгоритмів та програм, суттєво зменшує час та кошти на розробку нових та вдосконалення наявних машинобудівних виробів.

Література

1. Shawna Lockhart, Daniel T. Banach, Travis Jones. Autodesk Inventor 2021 Essentials Plus. SDC Publications, 2020. 534 p.
2. Архіпов О.В. Створення параметричних рядів деталей при проектуванні в автомобілебудуванні. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2017. Вип. 9. С. 11–15.
3. Архіпов О.В., Єрмакова О.А., Дзюба В.В. Параметричний підхід до моделювання диска автомобільного колеса. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2019. Вип. 16. С. 3–9. DOI: https://doi.org/10.33842/2313-125X/2019/16/3/9.
4. Архіпов, О. (2023). Особливості застосування програми Autodesk Inventor у промисловому дизайні. *Scientific Collection "InterConf"*, (148), 466–473. Retrieved from https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2865.
5. .Архіпов О.В., Сенченко В.М. Адаптивне параметричне моделювання агрегатів машин у середовищі Autodesk Inventor. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. Луцьк: ЛНТУ, 2011. Вип. 6. С. 12–16.
6. Архіпов О.В., Масляєв К.В., Ланцов Д.О. Параметричне комп'ютерне моделювання в дизайні автомобільних вузлів та агрегатів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Київ: КНУБА, 2018. Вип. 94. С. 3–7.
7. Архіпов О.В. Впровадження в навчальний процес сучасних технологій проектування складальної одиниці. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2021. Вип. 20. С. 12–19. DOI: https://doi.org/10.33842/2313-125X/2021/20/12/19.

CREATING A PARAMETRIC MODEL OF AN AUTOMOTIVE ASSEMBLY IN THE AUTODESK INVENTOR SOFTWARE

Oleksandr Arkhipov, Oleksiy Bondarenko, Yaroslav Koretskyi

Computer modeling is an integral part of modern technologies. The ability to build 3D models is provided by appropriate application program packages, among which Autodesk Inventor is one of the most effective and widespread. It provides a wide range of tools both for building parametric models of individual parts and assemblies based on them. But not always users who work in Autodesk Inventor pay attention to parameterization of models. Although it is the parametric computer three-dimensional model of the product that allows you to quickly reproduce changes in its geometry in a fairly wide range. It allows you to quickly evaluate all visual, operational, economic pros and cons of a particular design and find optimal options for its implementation.

The work proposes an algorithm for using the Autodesk Inventor program to build parametric models of machine-building units, all elements (details) of which are adaptively connected. Recommendations have been developed for the

most effective use of all available capabilities of the computer program at each stage of building a parametric assembly model.

To test and illustrate the application of the algorithm, a step-by-step process of building a parametric model of a wheel brake cylinder of a car is given. Recommendations for choosing the basic part of the machine-building unit are given. It is shown how the application of the iLogic function allows you to add or remove certain elements of the model form from the program browser by changing the control parameters. The authors considered various aspects of the application of derivative components both on the basis of previously created parts and on the basis of previously created assembly; achieving an adaptive connection between details; filling in the table of user parameters for individual parts; creating parts directly in the assembly environment. The expediency is analyzed and an example of creating an external Excel table containing the main geometric parameters of a machine-building unit, which allows you to quickly change the main characteristics of all elements of the unit model, is provided. It is appropriate to use the obtained results in the educational process.

Key words: geometric parameterization, wheel brake cylinder, computer modeling, Autodesk Inventor, educational process.

References

1. Shawna Lockhart, Daniel T. Banach, Travis Jones. Autodesk Inventor 2021 Essentials Plus. SDC Publications, 2020. 534 p.
2. Arkhipov O.V. (2017). Stvorennia parametrychnykh riadiv detalei pry proektuvanni v avtomobilebuduvanni. *Suchasni problemy modeliuvannia*, 9, 11–15 [in Ukranian].
3. Arkhipov O.V., Yermakova O.A., Dziuba V.V. (2019). Parametrychnyi pidkhid do modeliuvannia dyska avtomobilnoho kolesa. *Suchasni problemy modeliuvannia*, 16, 3–9. DOI: https://doi.org/10.33842/2313-125X/2019/16/3/9 [in Ukranian].
4. Arkhipov O. (2023). Osoblyvosti zastosuvannia prohramy Autodesk Inventor u promyslovomu dyzaini. *Scientific Collection "InterConf"*, (148), 466–473. Retrieved from https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2865. [in Ukranian].
5. Arkhipov O.V., Senchenko V.M. (2011). Adaptyvne parametrychne modeliuvannia ahrehativ mashyn u seredovyshchi Autodesk Inventor. *Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo*, 6, 12–16 [in Ukranian].
6. Arkhipov O.V., Masliaiev K.V., Lantsov D.O. (2018). Parametrychne kompiuterne modeliuvannia v dyzaini avtomobilnykh vuzliv ta ahrehativ. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*, 94, 3–7 [in Ukranian].
7. Arkhipov O.V. (2021). Vprovadzhennia v navchalnyi protses suchasnykh tekhnolohii proektuvannia skladalnoi odynytsi. *Suchasni problemy modeliuvannia*, 20, 12–19. DOI: https://doi.org/10.33842/2313-125X/2021/20/12/19 [in Ukranian].