

УДК 514.18+621.869

О.В. ЧЕРНИКОВ, О.В. АРХИПОВ, О.А. ЄРМАКОВА, Я.С. КОРЕЦЬКИЙ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## **ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА КОМПОНЕНТІВ ВАЛУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ У ПРОГРАМІ AUTODESK INVENTOR**

*Сучасні технології конструювання, доопрацювання та виготовлення машинобудівних деталей передбачають необхідність попередньої побудови їх комп'ютерних моделей. Можливість побудови 3D-моделей забезпечується відповідними прикладними програмами. Autodesk Inventor є однією з найбільш ефективних та поширених з них. Вона дозволяє спеціалістам створювати параметричні моделі деталей, котрі передбачають широке коло можливих змін геометрії. "Майстри проектування" ("генератори") програми Autodesk Inventor по суті являють собою вже готові параметричні моделі для побудови необхідного конструктору валу чи зубчастого колеса, пружини чи кулачка довільної геометрії. Вони містять зручний інтерфейс для створення, розрахунків та подальшого редагування цих широко розповсюджених в машинобудуванні деталей.*

*В роботі з'ясовуються можливості та надаються алгоритми застосування "Генератора компонентів валу" ("Майстра проектування валів") програми Autodesk Inventor, для тривимірного моделювання штуцерів, накривок, корпусних деталей, пробок та інших деталей, зовнішні контури яких містять ділянки циліндричної, конічної чи правильної багатогранної форми, у випадку коли ці ділянки розташовані вздовж спільної осі. Надані рекомендації та обґрунтовано доцільність використання запропонованого підходу при моделюванні деталей зазначеної геометрії. Виконано аналіз та визначені переваги, які надає "Генератор компонентів валу" при побудові фасок на багатогранниках, зовнішніх проточок та канавок для виходу шліфувального круга у порівнянні з побудовою цих стандартних конструктивних елементів безпосередньо в середовищі тривимірного моделювання програми.*

*Апробація запропонованих алгоритмів застосування "Генератора компонентів валу" виявила їх високу ефективність. Перевірка була виконана на великій кількості різноманітних геометричних моделей. Запропонований підхід дозволяє суттєво зменшити кількість потрібних операцій і витрати часу на побудову та подальше редагування моделей, суттєво спрощує сам процес моделювання.*

*Отримані результати успішно впроваджені в навчальний процес ХНАДУ і можуть бути використані як іншими технічними закладами освіти, так і спеціалістами у промисловості, діяльність яких пов'язана з проектуванням та тривимірним моделюванням.*

*Ключові слова: комп'ютерна тривимірна модель, Autodesk Inventor, майстри проектування, генератор компонентів валу, конструктивний елемент.*

А.В. ЧЕРНИКОВ, А.В. АРХИПОВ, Е.А. ЕРМАКОВА, Я.С. КОРЕЦЬКИЙ

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРА КОМПОНЕНТОВ ВАЛА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ В ПРОГРАММЕ AUTODESK INVENTOR**

*Современные технологии конструирования, доработки и изготовления машиностроительных деталей предусматривают необходимость предварительного построения их компьютерных моделей. Возможность построения 3D-моделей обеспечивается соответствующими прикладными программами. Autodesk Inventor является одной из наиболее эффективных и распространенных из них. Она позволяет специалистам создавать параметрические модели деталей, которые предусматривают широкий круг возможных изменений геометрии. "Мастера проектирования" ("генераторы") программы Autodesk Inventor по сути представляют собой уже готовые параметрические модели для построения необходимого конструктора вала или зубчатого колеса, пружины или кулачка произвольной геометрии. Они содержат удобный интерфейс для создания, расчета и дальнейшего редактирования этих широко распространенных в машиностроении деталей.*

*В работе выясняются возможности и предоставляются алгоритмы применения "Генератора компонентов вала" ("Мастера проектирования валов") программы Autodesk Inventor, для трехмерного моделирования штуцеров, крышек, корпусных деталей, пробок и других деталей, внешние контуры которых содержат участки цилиндрической, конической или правильной многогранной формы, в случае, когда эти участки расположены вдоль общей оси. Предоставляются рекомендации и обосновывается целесообразность использования предложенного подхода при моделировании деталей указанной*

геометриш. Выполнен анализ и определены преимущества, которые предоставляет "Генератор компонентов вала» при построении фасок на многогранниках, внешних проточек и канавок для выхода шлифовального круга по сравнению с построением этих стандартных конструктивных элементов непосредственно в среде трехмерного моделирования программы.

Апробация предложенных алгоритмов применения "Генератора компонентов вала" выявила их высокую эффективность. Проверка была выполнена на большом количестве различных геометрических моделей. Предложенный подход позволяет существенно уменьшить количество необходимых операций и затраты времени на построение и дальнейшее редактирование моделей, существенно упрощает сам процесс моделирования.

Полученные результаты успешно внедрены в учебный процесс ХНАДУ и могут быть использованы как другими техническими учебными заведениями, так и специалистами в промышленности, деятельность которых связана с проектированием и трехмерным моделированием.

Ключевые слова: компьютерная трехмерная модель, Autodesk Inventor, мастера проектирования, генератор компонентов вала, конструктивный элемент.

O.V. CHERNIKOV, O.V. ARKHIPOV, O.A. YERMAKOVA, Ya.S. KORETSKYI  
Kharkiv National Automobile and Highway University

### **USING A SHAFT COMPONENTS GENERATOR FOR MODELING TYPICAL PARTS IN THE AUTODESK INVENTOR PROGRAM**

*Modern technologies for the design, refinement and manufacture of machine-building parts require preliminary development of their computer models. The possibility to develop 3D models is provided by the appropriate application programs. Autodesk Inventor is one of the most efficient and widespread of these. It allows specialists to create parametric models of parts that provide for the wide range of possible geometry variations. "Design wizards" ("generators") of Autodesk Inventor are essentially ready-made parametric models for constructing a shaft or gear, spring or cam of arbitrary geometry required by the designer. They provide a user-friendly interface for creation and further edition these commonly used parts in mechanical engineering.*

*The work clarifies the possibilities and provides algorithms for using the Shaft Component Generator (Shaft Design Wizards) of Autodesk Inventor for 3D modeling of fittings, covers, body parts, plugs and other parts, the outer contours of which contain sections of cylindrical, conical or regular polyhedral forms, in case these areas are located along a common axis. Recommendations are given and the expediency of using the proposed approach when modeling details of the specified geometry is substantiated. Analyzed and identified the advantages of the Shaft Component Generator for creating chamfers on polyhedrons, external grooves and grooves for the exit of the grinding wheel compared to building these standard features directly in the 3D modeling environment of Autodesk Inventor.*

*Approbation of the proposed algorithms for using the "Shaft Component Generator" has revealed their high efficiency. It was applied for a large number of different geometric models. The proposed approach can significantly reduce the number of required operations and the time spent on developing and further editing models, and greatly simplifies the modeling process itself.*

*The obtained results have successfully introduced into the educational process of KhNAHU and can be used both by other technical educational institutions and by professionals whose activities are related to 3D modeling.*

*Keywords: computer three-dimensional (3D) model, Autodesk Inventor, Design wizards, Shaft component generator, structural element.*

#### **Постановка проблеми**

У наш час конкурентоспроможні конструкторські розробки виконуються виключно з використанням сучасних комп'ютерних програм та потребують побудови великої кількості тривимірних моделей окремих деталей та складань на їх базі. Версії програм для тривимірного моделювання постійно оновлюються та надають все більше можливостей, на деякі з яких не завжди розраховували навіть самі розробники цих програм. Між тим, наявна навчальна література та офіційні навчальні курси далеко не завжди відповідають швидкому розвитку програмного забезпечення. Таким чином, розробка та апробация нових алгоритмів застосування сучасних програм для тривимірного моделювання машинобудівних деталей поширеної геометрії є

актуальною проблемою. Результати такої роботи повинні зацікавити конструкторів та студентів технічних спеціальностей.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Серед конструкторів, які застосовують сучасні CAD-системи, на протязі багатьох років однією з найбільш популярних є програма Autodesk Inventor (AI) [1]. Між багатьох її переваг є наявність в її середовищі "Майстрів проектування", які надають суттєві переваги при моделюванні валів, зубчастих коліс, шліців, пружин, кулачків, рамних конструкцій. На кафедрі інженерної та комп'ютерної графіки ХНАДУ була виконана велика кількість науково-методичних розробок щодо параметричного моделювання у AI окремих машинобудівних деталей та складань, впровадження сучасних технологій комп'ютерного моделювання в навчальний процес [2, 3], підготовки вдосконалених навчальних завдань та відео-посібників [4, 5]. Вони достатньо повно висвітлюють особливості роботи в AI на професійному рівні. Однак, аналізу додаткових можливостей, які надає використання "Генератора компонентів валу" програми AI, увага не приділялась.

### **Мета дослідження**

Метою роботи є розробка алгоритмів використання "Генератора компонентів валу" ("Майстра проектування валів") програми AI для тривимірного моделювання штуцерів, накривок, пробок, деяких типів корпусних деталей та надання рекомендацій для з'ясування доцільності запропонованого підходу до тривимірного моделювання зазначених типів деталей.

### **Викладення основного матеріалу дослідження**

"Майстри проектування", доступ до яких стає можливим у середовищі "Складання", дають суттєву перевагу при моделюванні багатьох типових для машинобудування деталей, таких як вали, зубчасті колеса, пружини, кулачки. Створення валу виконується в режимі "Проектування" при заданні відповідних параметрів на панелі "Генератора компонентів валу". При цьому вал будується з довільно обраної користувачем кількості ділянок циліндричної, конічної чи правильної багатогранної форми. На кожній ділянці можуть бути наявними ті чи інші конструктивні елементи: фаски та галтелі, стандартні нарізи, проточки та канавки для виходу шліфувального круга, повздовжні та поперечні отвори, лиски, пази під шпонки та інші. При цьому програма AI у багатьох випадках пропонує значення розмірів типових конструктивних елементів (канавок для виходу шліфувального круга, пазів під призматичні шпонки), що відповідають обраному стандарту. Користувач має змогу швидко вилучати або додавати ті чи інші ділянки валу, конструктивні елементи, які належать тій чи іншій ділянці, лежать на її початку чи наприкінці. Наочність та інтуїтивна зрозумілість інтерфейсу "Генератора компонентів валу" дає змогу навіть тим користувачам, які ще не засвоїли принципи роботи в середовищі безпосереднього тривимірного моделювання програми AI, швидко будувати моделі складних багатоступеневих валів. Пришвидшити знайомство з роботою у цьому середовищі дозволяє виконання навчального завдання (рис. 1), яке запропоновано у роботі [3], та має посилання на відповідні відео-уроки з її побудови у роботі [4].

Як видно, модель містить 5 циліндричних ділянок та одну конічну. Слід відзначити, що шліци будувалися окремо за допомогою "Генератора прямобічних шліцьових з'єднань" програми AI.

В роботі [5] наведено іншу модель валу (рис. 2) та посилання на відео-уроки з її побудови.

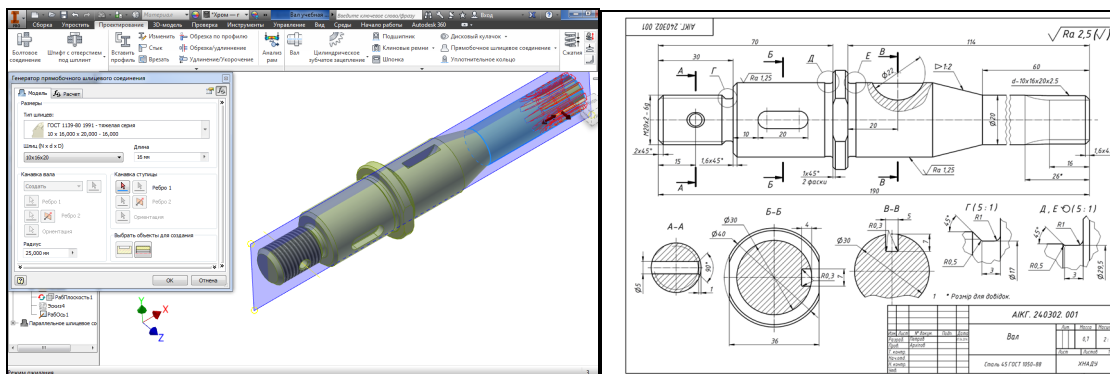


Рис. 1. Модель та робочий кресленник деталі "Вал шліцьовий".

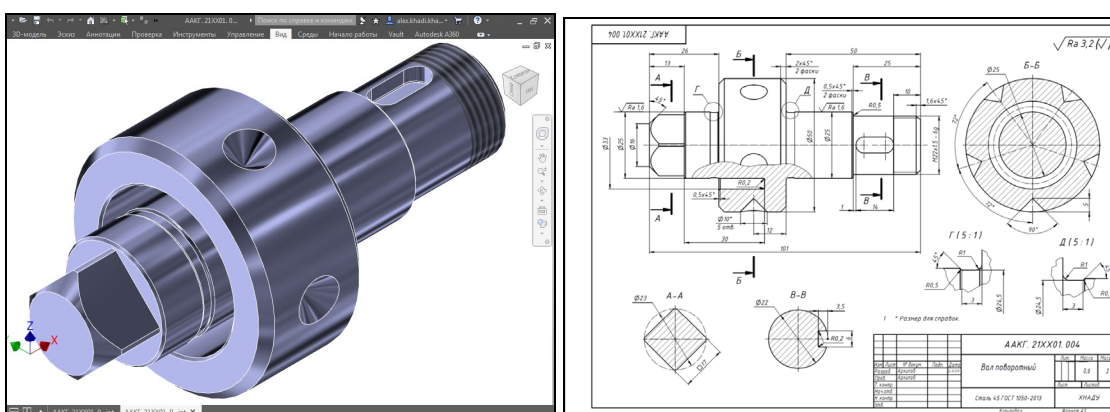


Рис. 2. Модель та робочий кресленник деталі "Вал поворотний".

Як бачимо, наведена модель має на першій ділянці чотиригранну форму з конічною фаскою. Вал моделювався із застосуванням "Генератора компонентів валу", але в подальшому суттєво доопрацьовувався. Щілинний отвір виконувався в режимі редагування деталі в середовищі тривимірного моделювання деталей АІ, а п'ять конічних отворів моделювалися в середовищі складання програми "по місцю" шляхом проєкціювання відповідного геометричного елемента сполученої корпусної деталі [5]. Це дало змогу адаптивно пов'язати розташування отворів зі становищами, які необхідні для функціонування пристрою.

Таким чином, навіть моделі деталі типу "Вал", після застосування "Генератора компонентів валу", можуть вимагати суттєвого редагування. Це є можливим, тому що програма АІ при роботі в середовищі "Складання" з застосуванням "Майстра проєктування" генерує не тільки файл складання, який може редагуватися в середовищі "Складання", але й безпосередньо файл деталі. Відповідно, модель деталі легко може бути змінена або доповнена потрібними елементами в середовищі тривимірного моделювання деталей.

Слід зазначити, що застосування команди "Фаска" у середовищі моделювання деталі АІ, при побудові фаски на ребрах багатогранника, не дозволяє отримати конічну поверхню фаски (рис. 3, а). Побудова ж конічної фаски потребує побудови відповідного ескізу, прив'язаного до контурів деталі, та подальше його обертання з вилученням отриманого об'єму (рис. 3, б). Застосування "Генератора компонентів валу" потребує для отримання того ж результату внесення лише двох параметрів (діаметру початкового кола та кута нахилу) у відповідне вікно (рис. 3, в). Доцільно використання генератора і у інших випадках, коли модель містить інші стандартні конструктивні елементи.

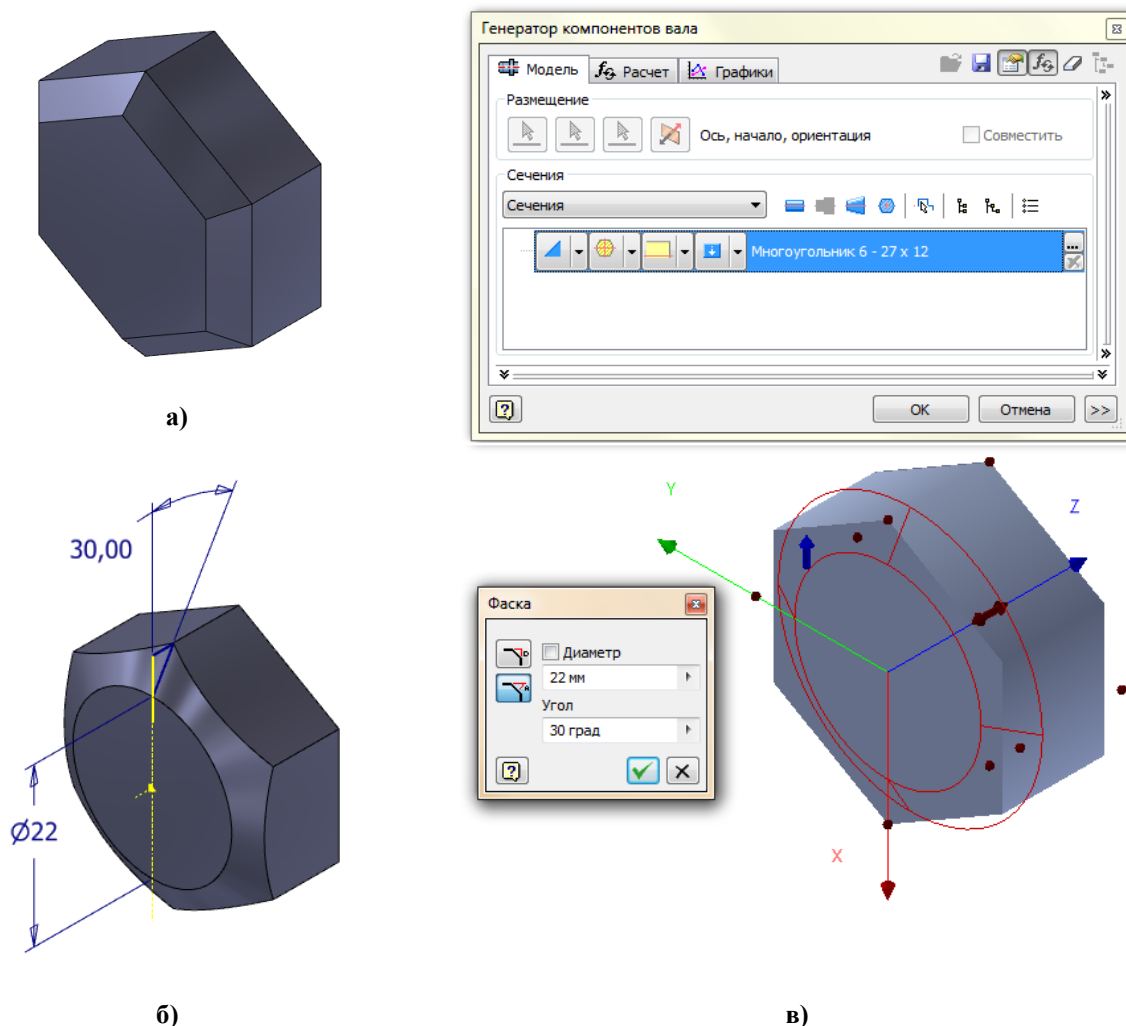


Рис. 3. Побудова фаски на багатограннику: а, б – у середовищі моделювання деталі; в – застосування "Генератора компонентів валу".

Якщо модель містить зовнішні проточки та канавки для виходу шліфувального круга переваги застосування "Генератора компонентів валу" стають ще більш вражаючими. Наприклад, замість побудови достатньо складних ескізів та прив'язки їх до контурів моделі, при побудові цих елементів у середовищі моделювання деталі, при побудові моделі, яка наведена на рис. 1, нам знадобилося лише вказати ребра, до яких вони примикають та замінити лише один числовий параметр у відповідному вікні – "Глибину проточки" (рис. 4).

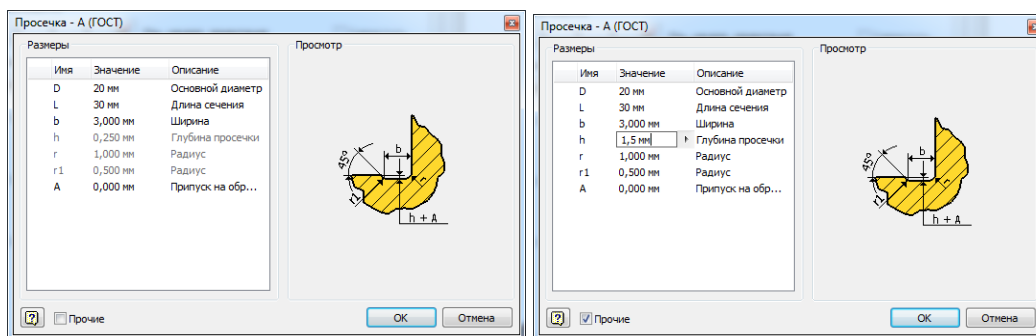


Рис. 4. Вікна зміни параметрів проточок та канавок для виходу шліфувального круга у "Генераторі компонентів валу".

Розміри канавки для виходу шліфувального круга у "Генераторі компонентів валу" обираються автоматично у відповідності з діаметром валу, але, при необхідності, можуть бути змінені.

Наведені приклади призводять до висновку, що застосування "Генератора компонентів валу" при роботі в програмі АІ може бути більш широким, ніж прийнято вважати. Цілком доцільним виглядає його застосування при моделюванні деталей типу "Штуцер", "Накривка", деяких корпусних деталей. Тобто для всіх тих деталей, зовнішні контури містять ділянки циліндричної, конічної чи правильної багатогранної форми, у випадку, що ці ділянки розташовані вздовж спільної осі. Особливо доцільним цей підхід виглядає у випадках, коли модель містить фаски на багатогранниках, проточки для виходу нарізи та канавки для виходу шліфувального круга.

Запропонований метод моделювання було апробовано на практичних заняттях зі студентами ХНАДУ при виконанні завдань з тривимірного моделювання та під час роботи студентського наукового товариства. На рис. 5 наведено результати моделювання ливарної деталі з подальшою механічною обробкою типу "Штуцер".

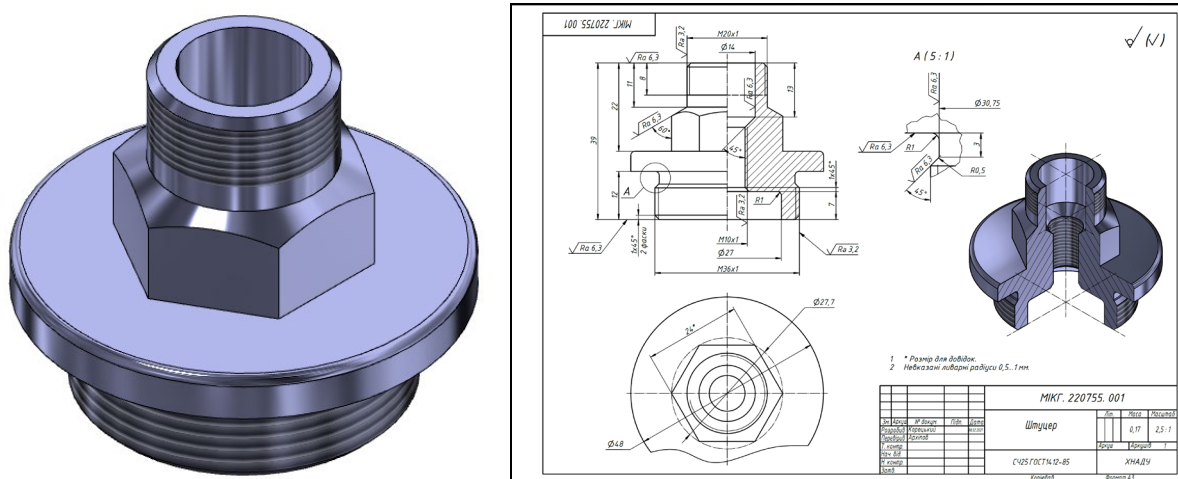


Рис. 5. Модель та кресленник ливарної деталі з подальшою механічною обробкою.

Аналогічним чином, з застосуванням "Генератора компонентів валу", була побудована модель штуцера з шестигранного прутка (рис. 6). Цей штуцер має дві проточки, дві фаски на шестиграннику. При побудові ступені шестигранника у генераторі задавався діаметр вписаного кола, який відповідає стандартному розміру профілю прутка.

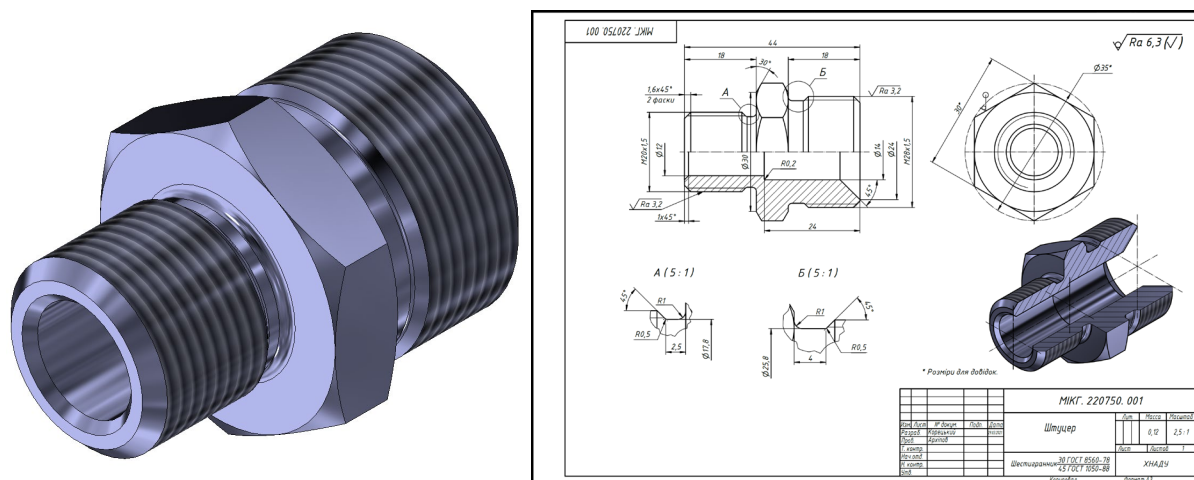


Рис. 6. Модель та кресленник деталі типу "Штуцер", що передбачає виготовлення з прутка.

За результатами моделювання деталей типу "Штуцер" студентами з застосуванням "Генератора компонентів валу" було визначено, що не тільки час виконання навчального завдання суттєво зменшився, а й кількість студентів, які самостійно успішно опрацювали завдання значно виросла. Потрібно також зауважити, що деякі моделі вимагали доопрацювання в середовищі моделювання деталі програми АІ, оскільки генератор дозволяє виконувати лише гладкі повздовжні отвори.

Під час виконання студентами завдань за темою "Деталювання", було апробовано застосування "Генератора компонентів валу" при моделюванні багатьох деталей типу "Накривка", "Пробка", деяких корпусних деталей. В деяких складаннях (наприклад, у гідрозамку) геометрія практично всіх деталей, окрім пружини та кульки, робить можливим та доцільним використання зазначеного генератора.

На рис. 7 наведені побудовані з застосуванням "Генератора компонентів валу" за атласом моделі накривки гідрозамка та корпусу клапана.

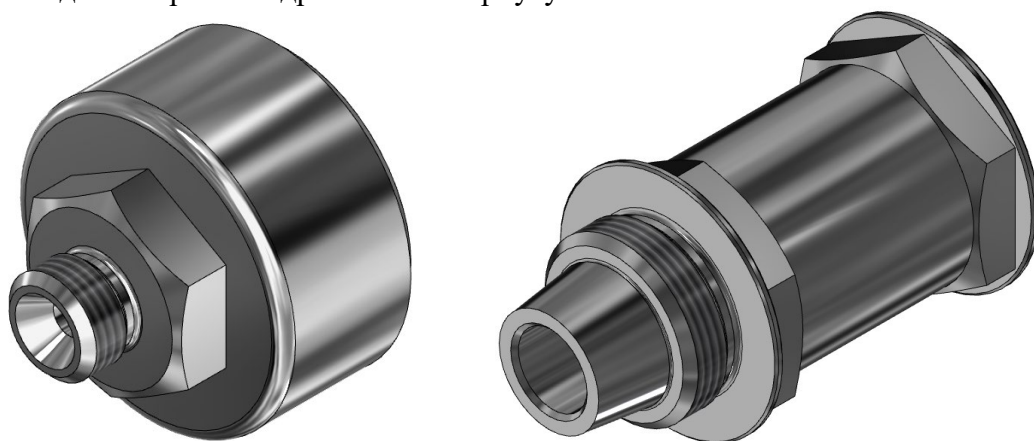


Рис. 7. Побудовані з застосуванням "Генератора компонентів валу" деталі.

Внутрішня геометрія наведених деталей доопрацьовувалася у режимі моделювання деталі програми АІ. Але, незважаючи на це, кількість операції, суттєво зменшується у порівнянні з застосуванням класичних методів моделювання. Зменшилась і складність самих операцій, що вочевидь повинно у подальшому призводити до підвищення продуктивності праці конструктора при застосуванні наведеного підходу при моделюванні подібних за геометрією деталей.

### Висновки

Таким чином, "Генератор компонентів валу", що входить до складу "Майстрів проектування" програми АІ, по суті являє собою достатньо досконалу параметричну модель з широкими можливостями. Він може застосовуватися не тільки при геометричному комп'ютерному моделюванні валів, а і при створенні моделей машинобудівних деталей різних типів з достатньо різноманітною геометрією. Апробація запропонованих підходів застосування "Генератора компонентів валу" виявила їх високу ефективність. Отримані результати успішно впроваджуються в навчальний процес ХНАДУ і можуть бути використані як іншими технічними ЗВО, так і працюючими спеціалістами, діяльність яких пов'язана з тривимірним моделюванням.

### Список використаної літератури

1. Зиновьев Д.В. Основы проектирования в Autodesk Inventor 2016. Москва : ДМК Пресс, 2016. 256 с.
2. Черніков О.В. Впровадження сучасних технологій комп'ютерного моделювання в навчальний процес ХНАДУ. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків : ХНАДУ, 2016. Вип. 73. С. 239–244.

3. Архіпов Я.В., Жиров Є.В. Підготовка та апробація вдосконалених навчальних завдань з комп'ютерної графіки при роботі в пакеті Autodesk Inventor. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк : Луцький НТУ. 2015. № 1 (3). С. 16–22.
4. Черніков О.В., Архіпов О.В. Розробка та використання у навчальному процесі відео-посібників з базових розділів комп'ютерної графіки. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків : ХНАДУ. 2017. Вип. 78. С. 70–74.
5. 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.

#### References

1. Zinovev, D.V. (2016). *Osnovy proektirovaniya v Autodesk Inventor 2016*. Moskva: DMK Press.
2. Chernikov, O.V. (2016). Vprovadzhennia suchasnykh tekhnolohii kompiuternoho modeliuvannia v navchalnyi protses KhNADU. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*. Kharkiv: KhNADU. **73**, 239–244
3. Arkhipov, O.V., & Zhyrov, Ye.V. (2015). Pidhotovka ta aprobatsiia vdoskonalenykh navchalnykh zavdan z kompiuternoi hrafiiky pry roboti v paketi Autodesk Inventor. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti*. Lutsk: Lutskiy NTU. **1**(3), 16–22.
4. Chernikov, O.V., & Arkhipov O.V. (2017). Rozrobka ta vykorystannia u navchalnomu protsesi video-posibnykiv z bazovykh rozdiliv kompiuternoi hrafiiky. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*. Kharkiv: KhNADU. **78**, 70–74.
5. Arkhipov, O.V. (2021). Vprovadzhennia v navchalnyi protses suchasnykh tekhnolohii proektuvannia skladalnoi odynytsi. *Suchasni problemy modeliuvannia*. Melitopol: MDPU im. B. Khmelnytskoho. **20**, 12–19.

Черніков Олександр Вікторович – д.т.н., професор, завідувач кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, e-mail: cherni@khadi.kharkov.ua, ORCID: 0000-0002-6636-4566.

Архіпов Олександр Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, e-mail: alex.khadi.kharkov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2287-1451.

Єрмакова Олена Анатоліївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, e-mail: ermelena1969@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3786-9001.

Корецький Ярослав Сергійович – студент механічного факультету Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, e-mail: yarta9538@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6690-0648.