

Павлюк В.І., Булік Ю.В., Сітовський О.П.  
Луцький національний технічний університет

## ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ «НИЗХІДНИМ» МОДЕЛЮВАННЯМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СКЕЛЕТОНІВ

Для технічного обслуговування та ремонту колісних транспортних засобів використовується різноманітне технологічне обладнання, що має різну ступінь складності. Вказано на потребу проектування нових та удосконалення існуючих зразків гаражного обладнання. Розглянуто проектування збірних конструкцій технологічного обладнання та їх складових елементів з використанням методів тримірного моделювання. Розглянуто можливості використання принципів «висхідного» та «низхідного» моделювання для проектування технологічного обладнання. Наведено рекомендації щодо вибору методу моделювання зважаючи на складність об'єкту проектування та можливостей використовуваних програм. Розглянуто особливості застосування універсальних інструментів побудови і аналізу ескізів механізмів рухомого скелетону (Motion Skeleton). Проаналізовано можливості побудови зборок і підборок з використанням опорного ескізу скелетону та функції рухомого скелетону для дослідження кінематики механізмів і та їх попереднього силового аналізу. Обґрунтовано доцільність та розглянуто особливості застосування скелетонів просторових механізмів. Приділено увагу особливостям побудови просторового ескізу (скелетону). Вказано на потребу коректного зв'язку геометрії компонентів і зборок у параметричному тримірному моделюванні. Розглянуто способи поєднання скелетних геометрій підборок у загальній збірці виробу. Проаналізовано алгоритм раціонального підходу у побудові скелетонів та прив'язці геометрії компонентів у підбірці та загальній збірці виробу. Розглянуто можливість реалізації принципів «низхідного» моделювання у програмах тримірного моделювання з обмеженими функціями побудови електронного макету виробу та реалізації параметризації.

**Ключові слова:** проектування, технологічне обладнання, моделювання, скелетон, зборка компонент

### ВСТУП

Для проектування конструкцій виробів набуло широкого використання просторове 3D моделювання, що дозволяє візуалізувати процес і результат розробки. Застосування цифрового макету виробу у тримірному моделюванні дає можливість значно підвищити якість і ефективність проектувальних робіт, застосувати переваги асоціативності, параметризації, тощо.

Якісне виконання технічного обслуговування та ремонту автомобілів можливе за умови застосування широкого спектру технологічного обладнання: механічних приспособлень, механізованих пристроїв, складних технічних та технологічних систем. Останні, як правило, містять великі зборки, мають різного роду приводи, можуть мати деталі складної геометрії. Зважаючи на особливості підходів у проектуванні та можливості прикладного програмного забезпечення 3D моделювання, нескладне технологічне обладнання можна проектувати «висхідним» підходом, а для проектування складних виробів та систем варто використовувати «низхідне» з використанням опорного ескізу «скелетону» [1].

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Процес проектування технологічного обладнання для ремонту та обслуговування автомобілів, з використанням 3D технологій як і без просторового моделювання, здійснюється відповідно до структури і алгоритму обраного способу моделювання: висхідного (Bottom Up Desing) чи низхідного (Top Down Desing) (рис. 1). Вибір способу здійснюється з врахуванням організації процесу проектування із застосуванням систем керування життєвим циклом виробу та його складності, функціональних можливостей використовуваного програмного забезпечення, якості технології виробництва, кількості і кваліфікації персоналу задіяного у проектуванні і виготовленні, та ін [1, 2].

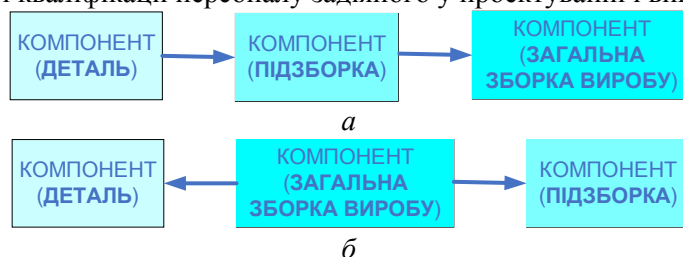


Рисунок 1 – Схема «висхідного» та «низхідного» моделювання

Для реалізації цифрового макету виробу програми просторового 3D моделювання, зазвичай, пропонують різні інструменти. Останні виконані як надбудови чи модулі, часто як наявні опції зі спрощеними функціями. Впровадження цих функцій продиктовані потребою зацікавлення споживачів розроблюваного програмного продукту оскільки на усіх етапах проектування є необхідність постійного контролю над проведеними змінами у системі цифрового макету виробу.

На практиці застосовуються обидва підходи, використовуючи зв'язок геометрії компонентів і зборок у параметричному тримірному моделюванні. Посилання параметрів окремих компонентів на геометричні параметри інших компонентів, що входять у збірку, обмежують можливості внесення поточних правок, можливості видалення та регенерації об'єктів. Виникає необхідність внесення правок вручну у кожен елемент збірки, що значно ускладнює процес проектування. Тому геометричні зв'язки між компонентами замінені зв'язками окремих елементів збірки до скелетної геометрії опорного ескізу (рис. 2).

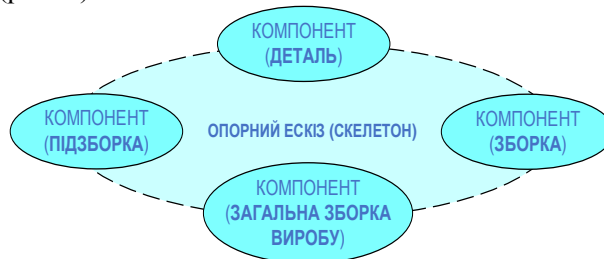


Рисунок 2 – Схема компонентів виробу з використанням скелетону

Збірка, що базується на геометрії «скелетону», дозволяє вносити правки, за потреби, у геометрію скелетона. Ці зміни автоматично відображаються і враховуються в усіх компонентах пов'язаних скелетоном. Завдяки такому підходу проектувальник має можливість оперативно контролювати, змінювати, модифікувати варіанти конструкції виробу, збірка якого створена за низхідним принципом моделювання. Зручність способу проявляється під час роботи над новими складними проектами, котрі мають невизначеність кінцевого рішення, передбачають можливість внесення правок, як у технічне завдання, так і на інших етапах проектування. Узгодження похідних геометрій компонентів із опорним ескізом дозволяє розподілити значний об'єм роботи між декількома виконавцями для одночасної роботи над проектом забезпечуючи при цьому коректність загальної збірки та контроль процесу проектування. Крім того деякі програмні комплекси дозволяють провести кінематичний та силовий аналіз схеми скелетону, що дозволяє обґрунтувати вибір конструкційного рішення на етапі дослідження кількісно визначених структур під час синтезу виробу [1, 3, 4].

Підприємства, котрі займаються розробкою технологічного обладнання для ТО і ремонту КТЗ і зайняли свою нішу на ринку, спеціалізуються на певних видах продукції, мають конструкторські підрозділи та використовують певний комплекс програмних продуктів для супроводу цифрового макету виробу у продовж його життєвого циклу. Більш гнучко адаптуватися до потреб на ринку нестандартного технологічного обладнання можуть невеликі проектувальні організації та проектувальники. Однак середній і малий бізнес часто працює в умовах фінансових обмежень, що унеможливує доступ до комплексних програмних продуктів через значну їх вартість та використовує доступний продукт з визначеним, часто обмеженим, функціоналом. Розробники програмного забезпечення намагаються постійно удосконалювати програми для тримірного моделювання та поширювати їх, спрощуючи доступ, на пільгових умовах передбачених ліцензуванням. Тим не менше вартість і базових продуктів лишається досить високою. Однак, на сьогодні, є беззаперечною необхідність використовувати тримірне моделювання, з можливостями візуалізації та застосування функцій аналізу конструкції для обґрунтування та прийняття оптимальних рішень. Тому варто навести обґрунтування та рекомендації щодо вибору методу моделювання зважаючи на складність об'єкту проектування та можливостей використовуваних програм. Проаналізувати реалізацію принципу «низхідного» моделювання з застосуванням сучасних програм, зокрема для проектування технологічного обладнання, що використовується під час технічного обслуговування та ремонту колісних транспортних засобів. Також варто відмітити важливість підготовки фахівців у сфері проектування, котрі в умовах реального виробництва зможуть впроваджувати процес «низхідного» моделювання. Оскільки, на відміну від «висхідного» підходу

послідовного отримання підзборки та зборки з попередньо розроблених деталей, «низхідний» потребує уявлення, як про будову виробу в цілому, так і форму та розміри всіх його складових. [1–5].

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз методик використання скелетонів у «низхідному» 3D моделюванні технологічного обладнання на прикладі розробки гаражного обладнання для технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів.

Обґрунтувати практичні переваги «низхідного» проектування з використанням опорного скелетона та модуля «блокнот».

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На етапі проектування, що передбачає початковий синтез виробу з розглядом загальної концепції і структури, формується форма виробу та його елементів, узгоджується технічне завдання на проектування. Однак внесення конструкторами правок у технічне завдання, за вимогою замовника чи з технічних причин у продовж процесу проектування, може привести до зміни параметрів елементів кількісно визначених структур. Так, наприклад, кінематика механізму, габаритні параметри та силові характеристики стандартних елементів амортизаторів стріли консольного пантографа впливають на положення точок їх кріплення (рис. 3).

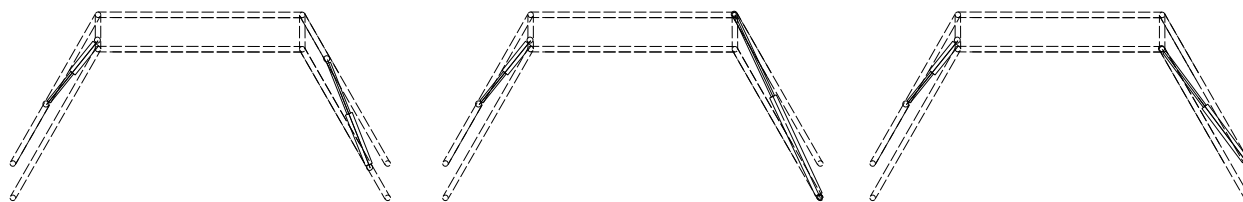


Рисунок 3 – Побудова кількісно визначених структур на початковому етапі синтезу виробу на прикладі зміни положення амортизатора у паралелограмі пантографа

Розгляд і попередній аналіз можливих варіантів поліпшується використанням опорного скелетона моделі виробу, який завдяки наявним функціям, задавання в'язей та прикладання зусиль, дає можливість проводити кінематичний та силовий аналіз розроблюваного механізму з метою забезпечення оптимальних параметрів та характеристик конструкції на попередньому етапі вибору параметрів кількісно визначених структур.

Так для моделі автомобільного підйомника використання схеми опорного ескізу ножичного механізму дозволяє підібрати положення гідроциліндра в умовах накладених обмежень концепцією та компоновкою виробу (рис. 4).

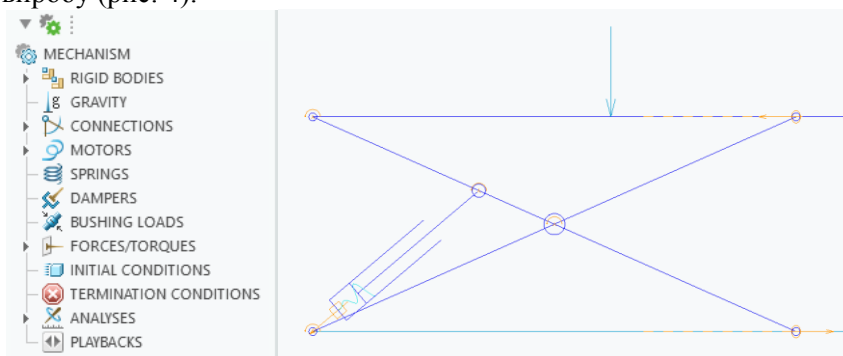


Рисунок 4 – Кінематичний та силовий аналіз конструкції ножичного підйомника у модулі «Mechanism» програмного середовища Стео для конструкції у вигляді скелетона

При необхідності проведення динамічного аналізу з врахування сил тертя, гравітації та глибшого дослідження впливу характеристик окремих елементів на роботу загальної зборки, необхідно побудувати тримірну модель із твердотільною геометрією (рис. 5).

Необхідно відмітити, що не всі програми, що використовуються для 3D моделювання, мають функцію побудови скелетного ескізу. При використанні «низхідного» моделювання без скелетонів існує ризик появи кільцевих посилянь, усунення яких є складною задачею [6].

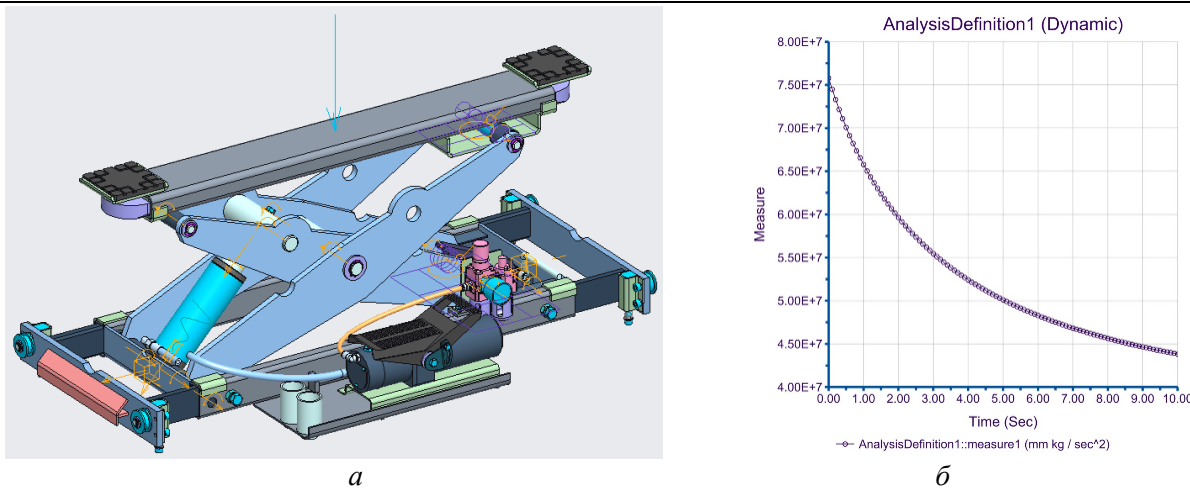


Рисунок 5 – Динамічний аналіз конструкції автомобільного ножичного підйомника у модулі «Mechanism» програмного середовища Creo: *a* – для зібраної конструкції із твердотільною геометрією; *б* – графік залежності зусилля на штокові плунжера від часу протягом процесу підйому

При використанні методу «низхідного» моделювання важливо організувати ефективну передачу параметрів пристрою (розмірів поверхонь спряження, кількості елементів, довжин ланок, тощо) та його геометрії, до збірних одиниць та деталей, що входять в дану зборку. Так само, параметри підборок та їх геометрію потрібно поширити на підборки і деталі, з яких дані підборки складаються. На рисунку 6 показана схема низхідного моделювання, що передбачає передачу параметрів та геометрії від вищих рівнів зборки до нижчих за допомогою скелетонів [3-5].

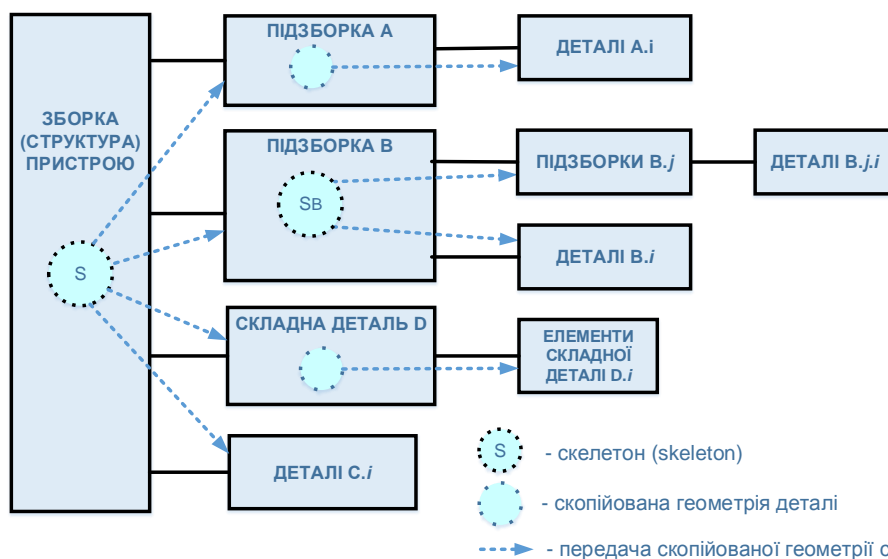


Рисунок 6 – Структурна схема процесу побудови тримірної моделі виробу при «низхідному» моделюванні з використанням скелетону для поширення загальних параметрів зборки

Альтернативою використання скелетонів, для поширення параметрів пристрою до зборок та деталей всіх рівнів, є застосування «блокнота» (рис. 7). Для цього визначається загальна структура зборки, що може включати визначення вузлів, зв'язків між частинами та будь-яких обмежень. З використанням «блокнота» будуються скелетні моделі, які слугуватимуть основою для конструкції. Вони можуть включати опорні площини, осі, точки, криві або інші геометричні сутності, які керуватимуть розміщенням і проектуванням частин. Проектуються окремі частини в контексті зборки. При побудові складових частин зборки, за допомогою «блокнота» перевіряється відповідність їх параметрів визначеній структурі та заданим обмеженням або вимогам [3–5].

Спосіб побудови моделі із використанням «блокнота» є більш універсальним, оскільки складові частини тримірної моделі не прив'язані до «основного скелетону», можуть бути збережені як незалежні моделі і використані в зборках інших проектів.

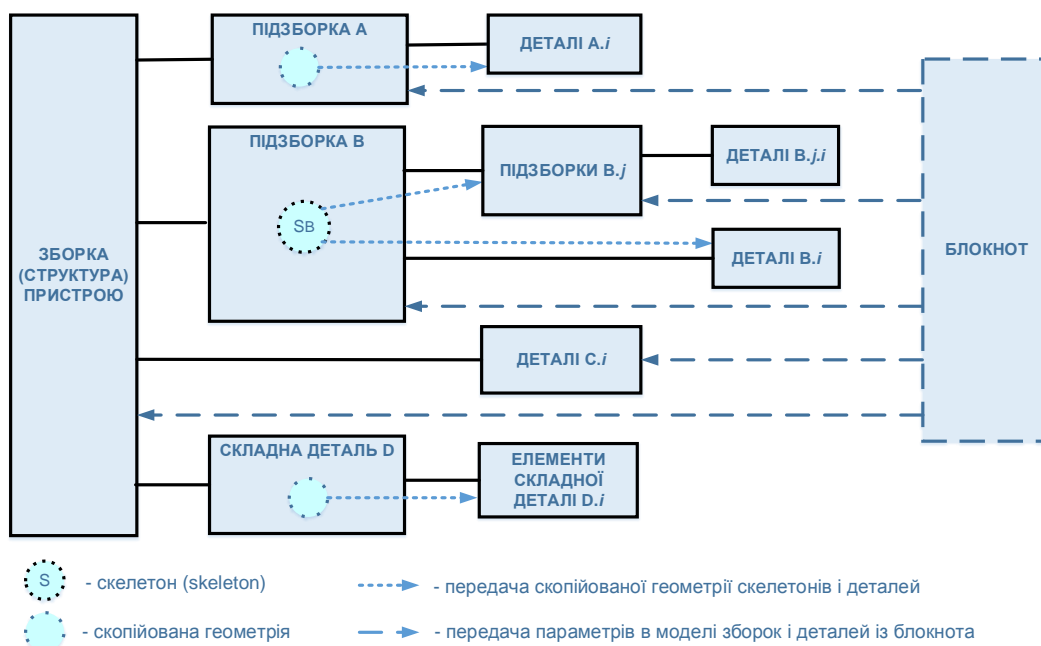


Рисунок 7 – Структурна схема процесу побудови тримірної моделі виробу при «низхідному» моделюванні з використанням «блокнота» для поширення загальних параметрів зборки

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Варто зазначити зростаючу необхідність підготовки спеціалістів котрі зможуть організувати, супроводжувати, приймати участь у процесі розробки об'єктів технологічного обладнання із використанням сучасних методик та програмних засобів проектування. Метод побудови тримірної моделі виробу при «низхідному» моделюванні з використанням скелетону для поширення загальних параметрів зборки використовують при проектуванні складних виробів із багатьма взаємопов'язаними частинами. З іншої сторони, застосування модуля «Блокнот» дає можливість створювати незалежно один від одного компоненти, які в подальшому можуть бути використані в інших пристроях, поза зборкою, де вони були створені.

### ВИСНОВОК

Наведено рекомендації щодо вибору методу поширення загальних параметрів пристрою при «низхідному» моделюванні, залежно від складності об'єкту проектування та необхідності використання його складових частин в інших проектах. Проаналізовано метод «низхідного» моделювання з застосуванням скелетних ескізів у сучасних програмах і програмних комплексах під час проектування технологічного обладнання для технічного обслуговування та ремонту колісних транспортних засобів.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Булік Ю.В., Павлюк В.І. Застосування принципів «висхідного» та «низхідного» моделювання для проектування технологічного обладнання // Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 88–90.
2. Корпорація Parametric Technology Corp. [Електронний ресурс]: офіційний сайт. URL: <https://www.ptc.com/>
3. Creo Parametric – Top Down Design (TDD) Overview. [Електронний ресурс]: Creo Parametric. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ycvaCOCResU>
4. Top Down Design in Creo. [Електронний ресурс]: PDSVISION. URL: <https://www.youtube.com/@PDSVISION-Take-Control>
5. Creo Parametric 8.0: Advanced Assembly Design and Management by Ascent - Center for Technical Knowledge (Author). Publisher: ASCENT, Center for Technical Knowledge (November 20, 2023). – 652 p.
6. Creo Parametric – Assemblies – Top Down Design – Circular References. [Електронний ресурс]: PDSVISION. URL: [https://www.youtube.com/playlist?list=PLRhPacOz\\_f-F2dbny5cliEGQ9DgojAsd7](https://www.youtube.com/playlist?list=PLRhPacOz_f-F2dbny5cliEGQ9DgojAsd7)

## REFERENCES

1. Bulik Yu.V., Pavliuk V.I. Zastosuvannya pryntsyviv «vyskhidnoho» ta «nyzhkhidnoho» modeliuvannia dlia proektuvannia tekhnolohichnoho obladdnannia // Materialy KhVI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu», 23-25 zhovtnia 2023 roku: zbirnyk naukovykh prats / Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichniy universytet [ta insh.]. – Vinnytsia: VNTU, 2023. – S. 88–90.
2. Korporatsiia Parametric Technology Corp. URL: <https://www.ptc.com/>
3. Creo Parametric – Top Down Design (TDD) Overview. Creo Parametric. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ycvaCOCResU>
4. Top Down Design in Creo. PDSVISION. URL: <https://www.youtube.com/@PDSVISION-Take-Control>
5. Creo Parametric 8.0: Advanced Assembly Design and Management by Ascent - Center for Technical Knowledge (Author). Publisher: ASCENT, Center for Technical Knowledge (November 20, 2023). – 652 p.
6. Creo Parametric – Assemblies – Top Down Design – Circular References. PDSVISION. URL: [https://www.youtube.com/playlist?list=PLRhPac0z\\_fF2dbny5cliEGQ9DgojAsd7](https://www.youtube.com/playlist?list=PLRhPac0z_fF2dbny5cliEGQ9DgojAsd7)

**V. Pavliuk, Y. Bulik, O. Sitovsky. Design of technological equipment by "top-down" modeling using skeletons**

For the maintenance and repair of wheeled vehicles, a variety of technological equipment of varying degrees of complexity is used. The need to design new and improve existing models of garage equipment is indicated. The design of prefabricated structures of technological equipment and their constituent elements using three-dimensional modeling methods is considered. The possibilities of using the principles of "bottom-up" and "top-down" modeling for the design of technological equipment are considered. Recommendations for choosing a modeling method are given, taking into account the complexity of the design object and the capabilities of the programs used. The peculiarities of the application of universal tools for the construction and analysis of sketches of the mechanisms of the moving skeleton (Motion Skeleton) are considered. The possibilities of building assemblies and subassemblies using the reference sketch of the skeleton and the function of the moving skeleton for the study of the kinematics of the mechanisms and their preliminary force analysis were analyzed. The expediency is substantiated and the features of the use of skeletons of spatial mechanisms are considered. Attention is paid to the features of building a spatial sketch (skeleton). The need for the correct connection of the geometry of components and assemblies in parametric three-dimensional modeling is indicated. Methods of combining skeleton geometries of subassemblies in the general assembly of the product are considered. The algorithm of the rational approach in the construction of skeletons and binding of the geometry of components in the subassembly and general assembly of the product is analyzed. The possibility of implementing the principles of "top-down" modeling in three-dimensional modeling programs with limited functions of building an electronic model of the product and implementing parameterization is considered.

**Key words:** design, technological equipment, modeling, skeleton, assembly, component.

*ПАВЛЮК Василь Іванович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua](mailto:v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua), Vasyl Pavliuk <https://orcid.org/0000-0002-0678-3566>

*БУЛІК Юрій Володимирович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua](mailto:yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua), Yuriy Bulik <https://orcid.org/0000-0002-9787-434X>

*СІТОВСЬКИЙ Олександр Пилипович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [o.sitovskyi@lutsk-ntu.com.ua](mailto:o.sitovskyi@lutsk-ntu.com.ua), Oleg Sitovsky <https://orcid.org/0000-0003-0382-2299>

*Vasyl PAVLIUK*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua](mailto:v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua), Vasyl Pavliuk <https://orcid.org/0000-0002-0678-3566>

*Yurii BULIK*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua](mailto:yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua), Yuriy Bulik <https://orcid.org/0000-0002-9787-434X>

*Oleg SITOVSKY*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [o.sitovskyi@lutsk-ntu.com.ua](mailto:o.sitovskyi@lutsk-ntu.com.ua), Oleg Sitovsky <https://orcid.org/0000-0003-0382-2299>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1370