

**Антон Едуардович Щербань¹, Вячеслав Володимирович Вовк²,
Сергій Володимирович Майданюк³, Юрій Йосипович Бесарабець⁴**

¹ студент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)
E-mail: anton619ton@gmail.com

² кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)
E-mail: 010479@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5122-6198>. ResearcherID: [H-9328-2017](https://orcid.org/0000-0001-5122-6198)

³ кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)
E-mail: maysv3@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2853-8606>. ResearcherID: [J-7542-2017](https://orcid.org/0000-0003-2853-8606)

⁴ кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)
E-mail: york.bessar@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0773-099X>

СПРОЩЕННЯ ПРИ АНАЛІЗІ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОТИ З НИМИ

Представлена у статті інформація має навчально-методичний характер. У сучасному машинобудуванні виникає необхідність роботи зі складальними одиницями з великою кількістю деталей, де їх кількість може перевищувати сотні. Такий обсяг створює труднощі при аналізі міцності, оптимізації створення та внесення змін до конструкторської документації, підготовці допоміжних файлів для виробництва. У роботі наведено підходи, які дозволили пришвидшити аналіз великих складальних одиниць, підвищити ефективність роботи з конструкторською документацією та допоміжними файлами на прикладі рами, виконаної в середовищі Autodesk Inventor 2024. Досягнуто значного скорочення часу аналізу складальних одиниць, які в основному складаються з листових деталей, методом скінченних елементів, а також створення документації, включаючи DXF-файли для листових деталей. Суттєво скорочується час на рутинні задачі та зменшується кількість помилок, спричинених людським фактором.

Ключові слова: CAD; Inventor; машинобудування; автоматизація; оптимізація; складальні одиниці; збірки.
Рис.: 3. Бібл.: 6.

Актуальність теми дослідження. При вирішенні сучасних завдань у галузі машинобудування часто необхідно працювати не лише з окремими деталями, але й зі складальними одиницями з великою кількістю деталей. Робота з подібними складальними одиницями в CAD середовищі має свою специфіку та потребує особливих підходів, які не завжди є очевидними.

Постановка проблеми. При роботі з великими за кількістю елементів складальними одиницями, кількість деталей у яких перевищує декілька сотень, постають проблеми, наприклад: як досліджувати та проводити аналіз, як оптимізувати випуск документації, як спростити створення допоміжних файлів для виробництва. Якщо правильно обрати підходи до роботи з такими складальними одиницями, можна спростити та прискорити їх аналіз, автоматизувати вирішення монотонних задач, щоб уникнути непотрібних помилок. Це не тільки покращить продуктивність конструкторської роботи, але й допоможе вберегти від впливу людського фактору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вирішення зазначених проблем було проаналізовано роботи за даною тематикою [1; 2; 3; 4; 5; 6]. У роботі [2] показано підхід до застосування API інтерфейсу, його можливості для пришвидшення створення елементів моделей. Такий підхід може бути використаний для вирішення поставлених проблем, оскільки він дає змогу керувати всіма параметрами та властивостями моделей та файлів. У статті [3] наведено приклад застосування iLogic для автоматизації випуску конструкторської документації певного типу деталей. Ця стаття показує, як можна автоматизувати рутинні операції, використовуючи шаблони та правила в Autodesk Inventor. Інші джерела [1; 4; 5; 6], у яких розглянуті приклади застосування API інтерфейсу та автоматизації при вирішенні різнопланових завдань, показують додаткові можливості сучасних CAD систем та переваги їх використання для вирішення таких задач.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Більшість підходів для прискорення роботи при моделюванні присвячені правильному алгоритму побудови моделей, швидкій взаємодії з інтерфейсом, використанню та налаштуванню параметризації. І, звісно, це є основою для стабільної та швидкої роботи, однак сучасні CAD програми мають функціонал, яким багато хто просто не користується. Програми дозволяють не лише використовувати стандартні функції, а і створювати їх самостійно, залежно від поставленої задачі та необхідності.

Метою статті є показати можливості та ефективність застосування підходів з використання API інтерфейсу та спрощення аналізу складальних одиниць для підвищення продуктивності конструкторської роботи та мінімізації кількості помилок.

Виклад основного матеріалу. Робота інженера конструктора складається з регулярного вирішення задач проектування, параметризації, аналізу, розробки конструкторської документації, створення допоміжних файлів для складальних одиниць та деталей. Однак при роботі з великими за кількістю деталей складальними одиницями виникають проблеми. Файлів, з якими необхідно працювати, можуть бути сотні, при подібних об'ємах даних звичайні, на перший погляд, прості рутинні операції можуть займати десятки годин роботи та відволікати конструктора безпосередньо від процесу проектування. Також при обробці великої кількості файлів збільшується шанс конструктора зробити помилку, що може призвести до непередбачуваних наслідків. Тому для уникнення проблем та підвищення продуктивності роботи конструктора необхідно застосовувати певні підходи при роботі зі складальними одиницями з великою кількістю деталей. На прикладі реалізації реального завдання по розробці складальної одиниці рами жатки комбайна (рис. 1) розглянемо, які підходи були застосовані для вирішення зазначених задач.

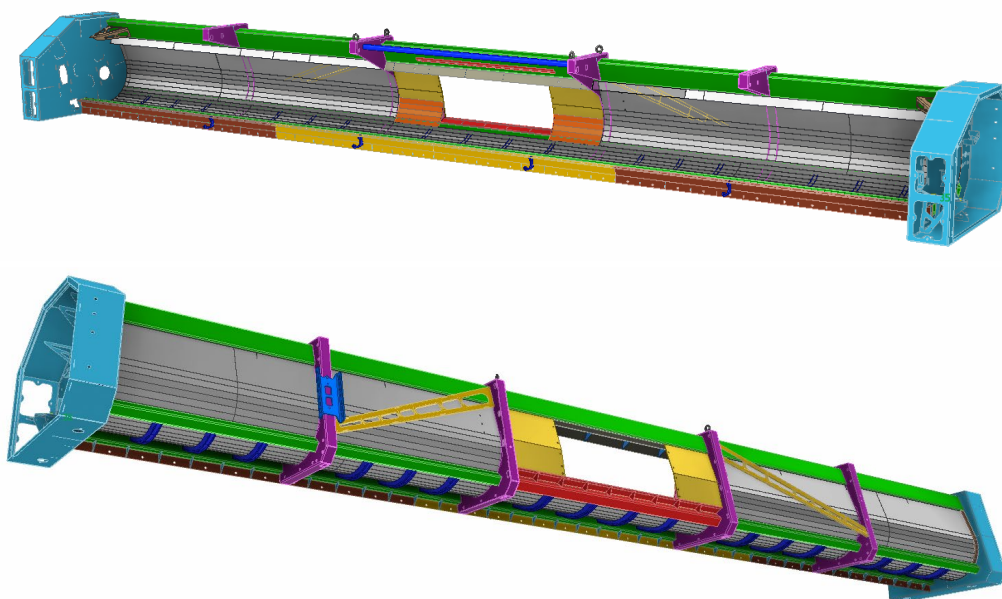


Рис. 1. Будова рами

Всі роботи виконувались в середовищі Autodesk Inventor 2024, але запропоновані методи та підходи можна застосувати й в інших CAD програмах. Однією із перших проблем при роботі з даною складальною одиницею є складність її аналізу на міцність методом скінченних елементів. Складальна одиниця рами має близько 150 деталей, причому різного габариту. При проведенні аналізу подібної складальної одиниці можна зіткнутися з недостатністю обчислювальних можливостей комп'ютера. Є декілька варіантів вирішення цієї проблеми. Можна провести розрахунок на більш потужному комп'ютері або за допомогою хмарних сервісів.

Наступним варіантом є аналіз окремих частин складальної одиниці, за результатами якого можна зробити висновки про загальну конструкцію. Цей метод здебільшого використовується для симетричних конструкцій, на які діють симетричні навантаження. У таких випадках достатньо провести аналіз лише однієї симетричної частини, а отримані результати поширити на іншу частину складальної одиниці. Однак рама, яка розглядається, не є симетричною, тому цей метод для цього випадку не є актуальним. Також при аналізі частин складальної одиниці не враховується взаємодія компонентів один між одним та значно ускладнюється процес правильного налаштування аналізу.

Тому для проведення аналізу великої складальної одиниці, її потрібно підготувати та спростити для полегшення розрахунку. Потрібно створити окрему, спрощену складальну одиницю для аналізу, з якої слід вилучити всі дрібні деталі та елементи на деталях, які не будуть впливати на результати розрахунку. Наприклад, отвори на деталях, які не сприймають навантаження. Подібні дії дозволяють сформувати простішу сітку для аналізу методом скінченних елементів, а відсутність дрібних елементів та деталей дозволить створити більш грубу та просту сітку, що значно вплине на швидкість аналізу.

Якщо складальна одиниця відповідає певним вимогам, наприклад, у більшості складається з листових деталей або є фермою, то сучасні CAD програми, що мають модуль аналізу, дозволяють значно спростити подібні збірки для розрахунку. Ця збірка рами на 95 % складається з листових деталей, що дає можливість скористатися методом заміни твердотільних елементів на поверхні, який доступний у модулі аналізу напружень Autodesk Inventor. Приклад такої заміни листових елементів рами представлений на рис. 2.

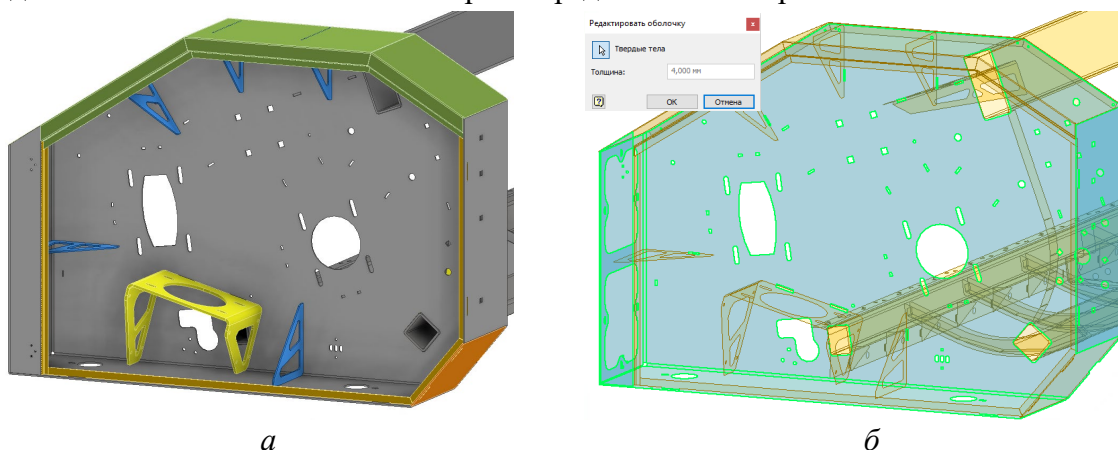


Рис. 2. Зображення фрагмента складальної одиниці до заміни (а), після заміни (б) твердотільних елементів на еквівалентні їм поверхні

Цей метод дозволяє суттєво зменшити час на розрахунок, що значно знижує вимоги до потужностей комп'ютера для проведення розрахунку. Здебільшого це пов'язано з тим, що метод прибирає з розрахунку одну з просторових координат для перерізу, що теоретично скорочує розрахунок на 30 %. Також такий підхід дозволяє використовувати більш грубу сітку. Якщо деталь є тонкостінною, де товщини стінки відноситься до габаритів деталі як $1/100$, або менше, то цей метод дає результати, які рівні результатам аналізу твердотільних елементів, приклад такого порівняння показано на рис. 3. Є невеликі відмінності в результатах аналізу, пов'язані з концентраторами напружень на гранях листової деталі, але в інших місцях деталі результати аналізу співвідносяться коректно.

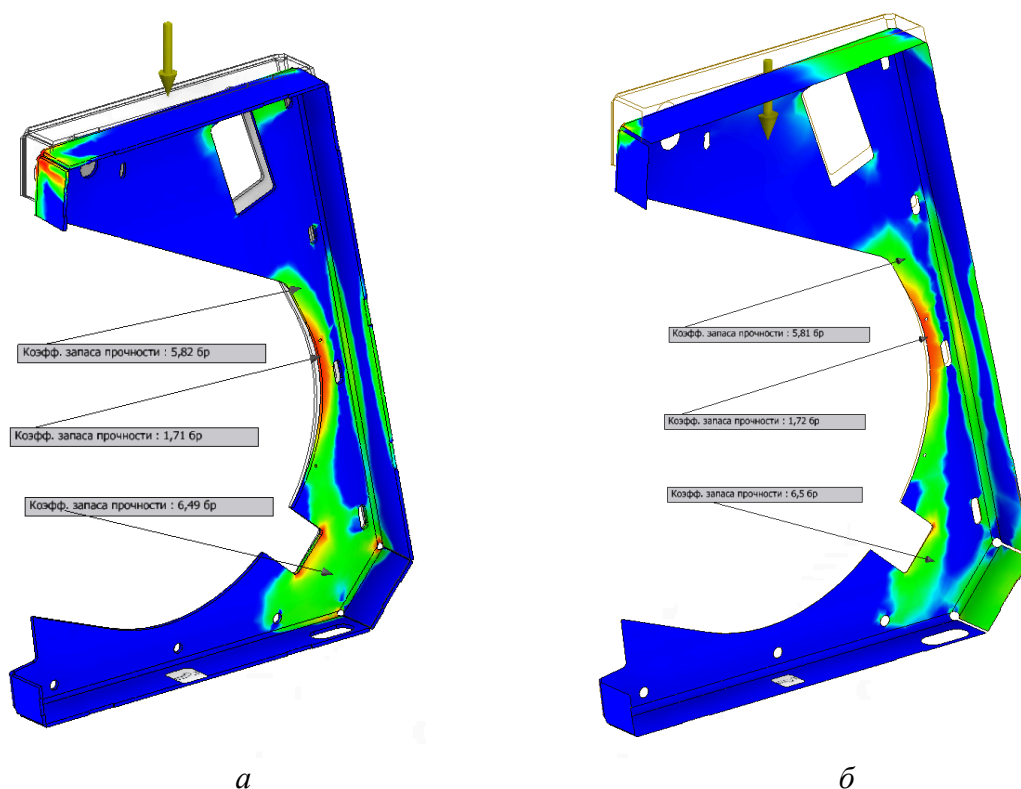


Рис. 3. Порівняння результатів аналізу до заміни твердого (а) та еквівалентної йому поверхні (б)

Оскільки максимальний розмір сітки залежить від мінімального розміру елемента деталі, а у випадку листових деталей це здебільшого товщина листа, прибираючи її ми знімаємо обмеження на максимальний розмір елемента сітки. На рис. 4 показано складальну одиницю в середовищі аналізу напружень після заміни твердотільних деталей на еквівалентні їм поверхні. До новостворених поверхонь прикладаються робочі зусилля та накладаються взаємозв'язки.

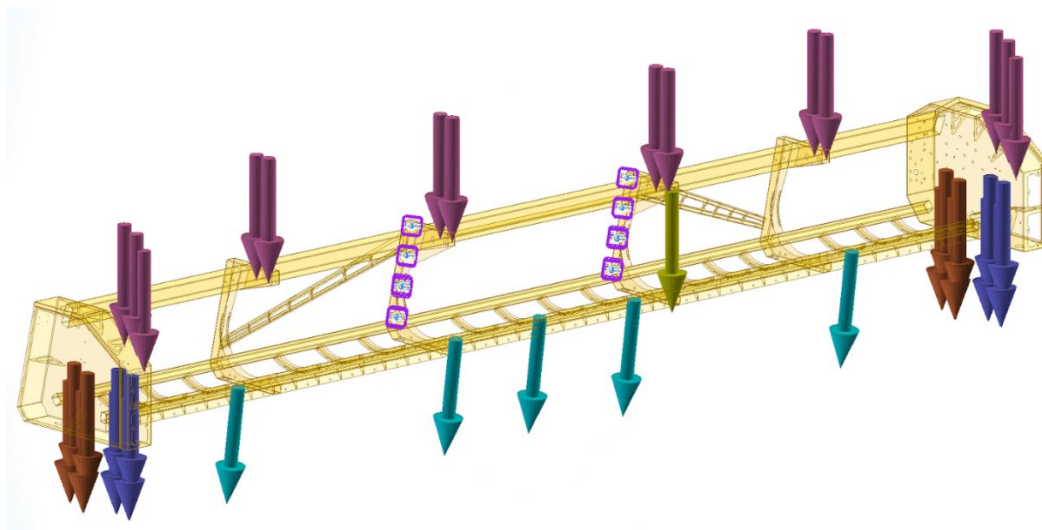


Рис. 4. Аналіз складальної одиниці після заміни

У результаті проведення аналізу розраховано напруження та деформації елементів складальної одиниці як приклад на рис. 5 показано розподіл коефіцієнта запасу міцності в конструкції.

Наступним етапом є автоматизація процесу випуску документації та додаткових файлів для виробництва.

Для цієї складальної одиниці, яка складається переважно з листових деталей, виникає необхідність в автоматизації створення DXF файлів розгортки деталей, які необхідні для процесу розкрою листового матеріалу. Оскільки вся необхідна інформація, наприклад позначення та опис деталі, товщина листового матеріалу, вид матеріалу, кількість деталей, уже міститься у властивостях файлу деталі або складальної одиниці, необхідно лише знайти спосіб, як правильно інтегрувати ці дані в DXF файли.

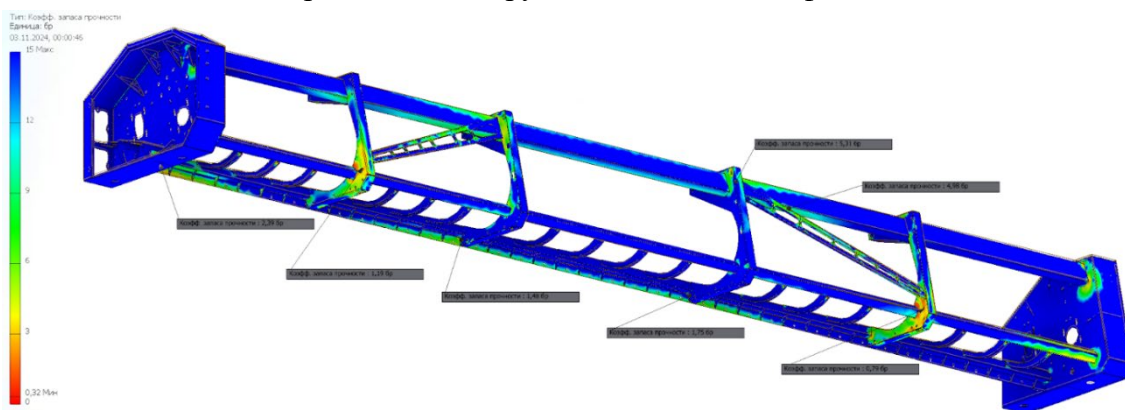


Рис. 5. Результати аналізу складальної одиниці

Сучасні CAD програми дозволяють програмувати власні сценарії взаємодії з програмою та інтерфейсом, в Inventor цей функціонал доступний за допомогою iLogic. Він дає можливість створювати та зберігати файли, та має доступ до всіх властивостей моделі. iLogic дає можливість створити правило, яке запускається із загальної складальної одиниці проекту, дозволяє автоматично знайти всі листові деталі, створити для них розгортки, дати файлам розгортки необхідні назви, наприклад: “ <позначення деталі> - <товщина листа>, <кількість деталей>”; та зберегти створені DXF файли в різні папки, залежно від необхідних параметрів, наприклад товщини, позначення тощо. Інтерфейс iLogic та частину подібного правила показано на рис. 6. Подібний функціонал не тільки зекономить десятки годин при роботі з об’ємними складальними одиницями, а і зменшить навантаження на інженера та кількість помилок при формуванні файлів, оскільки йому не потрібно буде відволікатися на рутинні процеси.

На прикладі такої складальної одиниці на один файл при ручному збереженні необхідно близько 1 хвилини, а на формування пакета DXF файлів такої складальної одиниці рами необхідно витратити 1,5...2,0 години. Використання додаткових правил дозволяє скоротити час до 2...3 секунди на один файл і загалом до 3 хвилин на весь пакет DXF файлів. Тобто час скорочується в десятки разів і ймовірність допущення помилки при автоматичному методі наближується до нуля.

Схожий функціонал можна реалізувати і для формування конструкторської документації. Наприклад, за допомогою iLogic можна аналогічно налаштувати експорт креслеників у PDF-формат, із необхідним розбиттям по папках. Звісно функціонал iLogic набагато більший, але для оптимальної роботи було достатньо саме такого функціоналу.

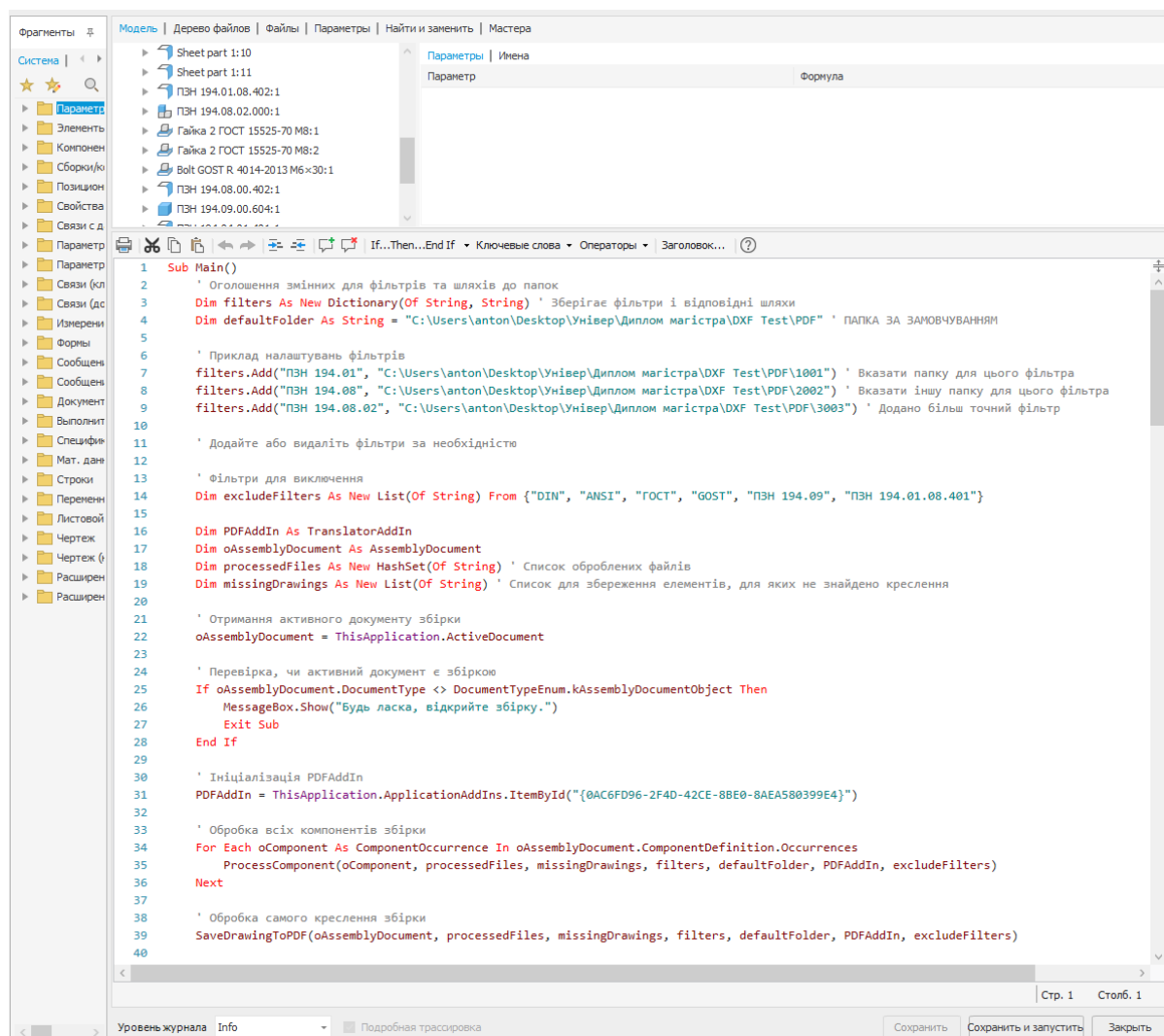


Рис. 6. Інтерфейс середовища iLogic з частиною правила

Висновки. У роботі запропоновані та описані підходи для роботи з великими складальними одиницями. На реальних прикладах показані переваги налаштування робочого середовища під конкретні задачі. Застосування цих підходів дозволило скоротити в десятки разів час на створення допоміжних файлів та публікацію конструкторської документації зі зниженням ймовірності допущення помилок.

Список використаних джерел

1. Автоматизація оформлення конструкторської документації пружин розтягання в пакеті Autodesk Inventor / Є. М. Іванов, О. С. Алефіров, М. В. Куліш, В. В. Овсянніков // Сучасні проблеми моделювання. – 2021. – Вип. 23. – С. 90-97. DOI: <https://doi.org/10.33842/2313-125x-2023-23-90-97>
2. Черніков, О. В. Особливості автоматизації процесів моделювання в пакеті Autodesk Inventor / О. В. Черніков, Н. Є. Калужна, А. Ламдаїні // Прикладні питання математичного моделювання. – 2021. – Т. 4, № 2.1. – С. 261-268. DOI: <https://doi.org/10.32782/kntu2618-0340/2021.4.2.1.28>.
3. Flexible and robust CAD models for design automation / K. Amadori, M. Tarkian, J. Ölvander, P. Krus // Advanced Engineering Informatics. – 2012. – Vol. 26, № 2. – Pp. 180-195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.01.004>.
4. Kreis, A. CAD-Automation in Automotive Development – Potentials, Limits and Challenges / A. Kreis, M. Hirz, P. Rossbacher // Computer-Aided Design and Applications. – 2020. – Vol. 18, № 4. – Pp. 849-863. DOI: <https://doi.org/10.14733/cadaps.2021.849-863>.

5. McLoughlin, I. Management, Work Organisation and Cad - Towards Flexible Automation? / I. McLoughlin // *Work, Employment and Society*. – 1990. – Т. 4, № 2. – Pp. 217-237. DOI: <https://doi.org/10.1177/0950017090004002003>

6. Moreno, R. Automation in the Teaching of Descriptive Geometry and CAD. High-Level CAD Templates Using Script Languages / R. Moreno, A. M. Bazán // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2017. – Т. 245. – Pp. 062040. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/245/6/062040>.

References

1. Amadori, K., Tarkian, M., Ölvander, J., & Krus, P. (2012). Flexible and robust CAD models for design automation. *Advanced Engineering Informatics*, 26(2), 180–195. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.01.004>.

2. Chernikov, O. V., Kaliuzhnaya, N. Y., & Lamdaini, A. (2021). Features of automation of modeling processes in the autodesk inventor package. *Applied Questions of Mathematical Modeling*, 4(2.1). <https://doi.org/10.32782/kntu2618-0340/2021.4.2.1.28>.

3. Ivanov, E., Alefirov, O., Kulish, M., & Ovsyannikov, V. (2022). Automation of design documentation of tension springs in the autodesk inventor package. *Modern Problems of Modeling*, (23), 90-97. <https://doi.org/10.33842/2313-125X-2023-23-90-97>.

4. Kreis, A., Hirz, M., & Rossbacher, P. (2020). CAD-Automation in Automotive Development – Potentials, Limits and Challenges. *Computer-Aided Design and Applications*, 18(4), 849–863. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2021.849-863>.

5. McLoughlin, I. (1990). Management, Work Organisation and Cad - Towards Flexible Automation? *Work, Employment and Society*, 4(2), 217–237. <https://doi.org/10.1177/0950017090004002003>.

6. Moreno, R., & Bazán, A.M. (2017). Automation in the Teaching of Descriptive Geometry and CAD. High-Level CAD Templates Using Script Languages. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245, 062040. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/245/6/062040>.

Отримано 29.11.2024

UDC 621.9

Anton Shcherban¹, Vyacheslav Vovk², Serhii Maidaniuk³, Yurii Besarabets⁴

¹Student of the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: anton619ton@gmail.com

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: 010479@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5122-6198>. ResearcherID: [H-9328-2017](https://orcid.org/0000-0001-5122-6198)

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: maysv3@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2853-8606>. ResearcherID: [J-7542-2017](https://orcid.org/0000-0003-2853-8606)

⁴PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine Design

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: york.bessar@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0773-099X>

SIMPLIFICATION IN THE ANALYSIS OF COMPONENT UNITS AND AUTOMATION OF WORKING WITH THEM

This article is a scientific and methodological publication. Working with large-scale assemblies in mechanical engineering, containing hundreds or even thousands of parts, requires special approaches to modeling, analysis, and process automation. The main challenges relate to optimizing CAE calculations, accelerating the documentation creation, and preparing additional production files. The article discusses approaches to solving these problems using the example of a frame design created in Autodesk Inventor 2024, with the possibility of applying the proposed methods in other CAD programs.

Strength analysis of assemblies with numerous assembly parts by the finite element method can be resource-intensive due to the large amount of computation. To overcome this problem, it is proposed to create simplified models that exclude small parts and elements that do not affect the calculation results. In the case of a structure consisting of 95 % sheet materials, an effective solution is to replace solid elements with equivalent surfaces. This approach reduces the computational complexity of the problem by eliminating one spatial coordinate, which can reduce the calculation time by 30 %. In addition, the elimination of small elements allows the use of a larger mesh size, which further speeds up the process.

Automation of the processes of preparing additional production files is performed using iLogic, a tool that allows you to create scripts for automatic file generation. As part of the project, a script was developed to automatically generate DXF files of sheet metal part scans, taking into account model properties such as designations, thickness, and number of parts. The generated files are sorted into folders according to the specified parameters. Similarly, a scenario for automatic export of drawings to PDF format is implemented in compliance with the specified directory structure. These processes significantly reduce the time required to perform routine tasks and reduce the number of errors.

The proposed methods provide an integrated solution for working with large assemblies, which increases labor productivity, reduces the time for performing monotonous operations, and minimizes the influence of the human factor. The presented approaches are versatile and can be adapted to other CAD systems, making them useful for a wide range of tasks in the field of mechanical engineering.

Keywords: CAD; Inventor; mechanical engineering; automation; optimization; assemblies.

Fig.: 6. **References:** 6.