

УДК 514.18+004.925.8

DOI: 10.32347/0131–579x.2022.102.3–12

к. т. н., доцент **Архіпов О. В.**,

alex.khadi.kharkov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2287-1451,

к. т. н., доцент **Єрмакова О. А.**,

ermelena1969@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3786-9001,

**Корецький Я. С.**,

yarta9538@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6690-0648,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ДИЗАЙНЕРСЬКОЇ КОНСТРУКЦІЇ З ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕНЕРАТОРА РАМ ПРОГРАМИ AUTODESK INVENTOR**

*Металеві рамні конструкції знаходять широке застосування у машинобудуванні, будівництві, виробництві носіїв реклами та побутових виробів. Класичні методи їх проектування та розрахунку є достатньо трудомісткими та витратними. Суттєві переваги при їх моделюванні та аналізі може надати програма Autodesk Inventor, а саме Генератор рам, який входить до бібліотеки компонентів цієї програми.*

*В роботі досліджується алгоритм застосування Генератора рам програми Autodesk Inventor та виконується його апробація при побудові моделі класичного стільця в основі якого лежить сталеві рамна конструкція квадратного профілю. Розглянуті всі основні етапи роботи над моделлю: побудова 3D-ескізу рами стільця, призначення номенклатури, типорозміру та матеріалу стандартного профілю, виконання стиків та підготовка кромки окремих елементів до зварювання, остаточне моделювання зварної рамної конструкції.*

*Виконано розрахунок напружено-деформованого стану побудованого виробу під дією зовнішніх навантажень як в середовищі "Аналізу рам", так і в більш універсальному середовищі "Аналізу напружень" програми Autodesk Inventor. Виконано порівняння отриманих результатів та підтверджено їх високу збіжність. На базі проведених досліджень було підготовлено та апробовано навчальне завдання для студентів технічних спеціальностей Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Його виконання дозволяє з застосуванням наданих алгоритмів переходити до моделювання та аналізу значно складніших рамних конструкцій.*

*В роботі показано, як за наведеними алгоритмами, з застосуванням Генератора рам, може бути виконана та проаналізована авторська робота – стілець сучасного дизайну. Ефективність застосування програми Autodesk Inventor в цьому випадку полягає ще й в тому, що, завдяки параметризації, довжина кожного елемента тривимірної моделі металевої конструкції, їх взаємне розташування та типорозмір профілю швидко можуть бути зміненими з метою отримання оптимальної геометрії.*

*Результати роботи можуть бути використані у навчальному процесі та повинні зацікавити сучасних конструкторів та дизайнерів.*

*Ключові слова: геометричне моделювання; комп'ютерна графіка; Autodesk Inventor; дизайн стільця; рамна конструкція; навчальний процес.*

**Постановка проблеми.** Сучасне машинобудівне проектування характеризується зростанням складності проектів та широким застосуванням різноманітних конструкторських комп'ютерних програм, можливості яких постійно зростають. Наявна навчальна література не завжди встигає за розвитком програмного забезпечення. Суттєві переваги при моделюванні металевих рамних конструкцій, які знаходять широке застосування в конструюванні, надають сучасні версії програми Autodesk Inventor. Однак, алгоритми її застосування на різних етапах моделювання та при аналізі рамної конструкції продовжують проходити апробацію та вдосконалюватися і потребують відображення у літературі.

**Ціль статті.** Метою роботи стала розробка алгоритму застосування генератору рам бібліотеки компонентів програми AI при виконанні навчального (тестового) завдання, пов'язаного з моделюванням типової рамної конструкції та аналізом її напружено-деформованого стану (НДС), а також апробація можливості використання запропонованого підходу при побудові та аналізі більш складної дизайнерської рамної конструкції.

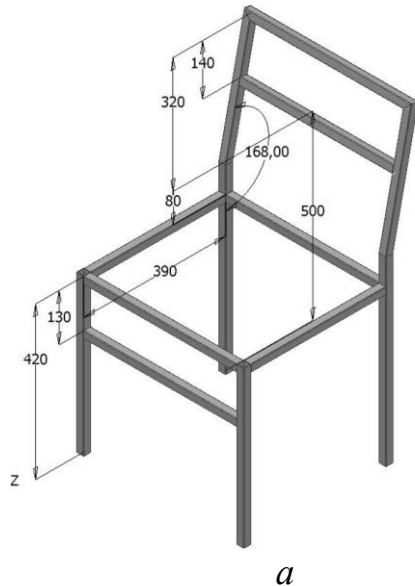
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Програма Autodesk Inventor (AI) [1, 2] на протязі останніх років набуває все більшу популярність серед конструкторів. Серед її переваг є наявність в її середовищі "Майстрів проектування" (генераторів компонентів). Можливість їх ефективного застосування при моделюванні окремих машинобудівних деталей та їх елементів, таких як вали, зубчасті колеса, шліці, пружини, кулачки, рамні конструкції, продовжує вивчатися [3, 4, 5]. Дуже суттєві переваги надає "Майстер проектування" при моделюванні рамних конструкцій та їх подальшому розрахунку [6], що робить доцільним його застосування у конструкторських розробках [7].

**Основна частина.** У якості навчального (тестового) нами було обрано завдання моделювання рами стільця, яким ми безпосередньо користуємося в навчальних аудиторіях (рис. 1, а), та визначення його НДС.

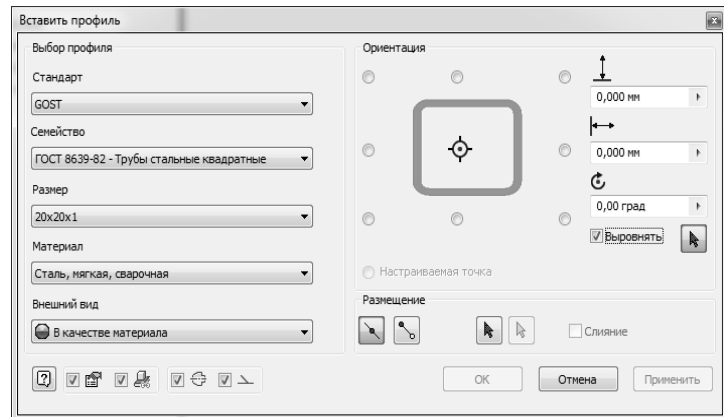
Створення моделі рами стільця вимагає послідовного виконання наступних операцій:

- побудови за допомогою відрізків 3D - ескіз "скелету" рами стільця у середовищі моделювання деталі програми AI;
- переміщення "скелету" рами у файл складання (тільки у ньому стають доступними "Майстри проектування" AI;
- переходу до вкладки "Проектування", обрання команди "Вставити профіль" (рис. 1, б) та визначення номенклатури, типорозмірів, матеріалу стандартного профілю, його орієнтації (ми обирали центральну);

- безпосереднього формування рамної конструкції шляхом послідовного обрання відрізків 3D - ескізу "скелету";
- виконання декількох косих зрізів в якості форми ліній розриву між елементами рами у верхній частині спинки стільця за допомогою команди "Стик", обрізки або подовження профілів на кінцях за допомогою команд "Подовження/скорочення" та "Обрізка/подовження", врізання окремих елементів рами так, щоб вони ідеально підходили до інших за допомогою команди "Врізання".



а



б

Рис. 1. Тривимірна модель рами стільця з розмірами (а) та панель вставки профілю після заповнення (б)

У якості профілю, з якого формувалася рамна конструкція, нами обиралася труба стальна квадратна 20x20x1 мм за ДСТУ 8639-82 з товщиною стінки  $s=1$  мм. Реальні аудиторні стільці зроблені з аналогічного профілю, але з товщиною стінки  $s=2$  мм. Це було зроблено з метою отримання надалі більш наочних картин деформацій виробу та з'ясування питання можливості зменшення його ваги та металомісткості.

АІ дає можливість змоделювати підготовку кромки елементів рамної конструкції до зварювання та виконати моделювання зварної конструкції з врахуванням вимог стандартів. Але виконувати розрахунок НДС потрібно із застосуванням моделі, яка ще не містить цих перетворень.

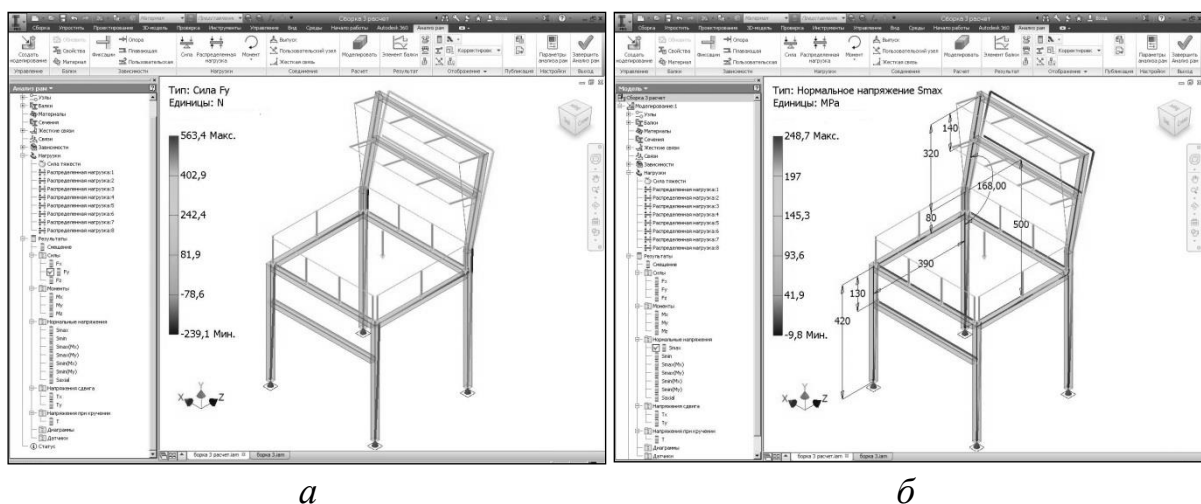
Для розрахунку НДС в середовищі "Аналіз рам" програми АІ змодельованої рамної конструкції виконуємо наступні операції:

- зі вкладки "Проектування", обираючи команду "Аналіз рам", переходимо до відповідного робочого простору (рис. 2);
- викликаємо команду "Створити моделювання" та у вікні, що з'явиться обираємо тип моделювання – "Статичний аналіз";

- закріплюємо ніжки стільця, для чого на панелі "Опори" викликаємо команду "Додати опору", яка відповідає граничній умові вільного спирання, та обираємо точки у кінцевих точках ніжок стільця;
- додаємо зовнішнє навантаження, для чого на панелі "Навантаження" викликаємо команду "Розподілене навантаження" та у вікні, що з'явиться, обираємо рівномірне розподілене навантаження за ескізною 3D-лінією, яка відповідає контуру сидіння стільця, та навантаження, що змінюється за лінійним законом, для спинки стільця;
- на панелі "Розрахунок" викликаємо команду "Моделювати" після чого у браузері програми обираємо той параметр, результати розрахунку якого ми хочемо отримати на екрані.

Зовнішнє вертикальне рівномірне розподілене навантаження за контуром сидіння стільця обирається нами таким, щоб його сумарне значення відповідало навантаженню 2500 Н, а зусилля на спинку стільця змінювалися від того ж значення до нуля.

На рис. 2 відображені умови закріплення та навантаження, наведено результати розрахунку зусиль (рис. 2, а) та максимальних нормальних (еквівалентних) напружень (рис. 2, б), що виникають у рамі стільця.

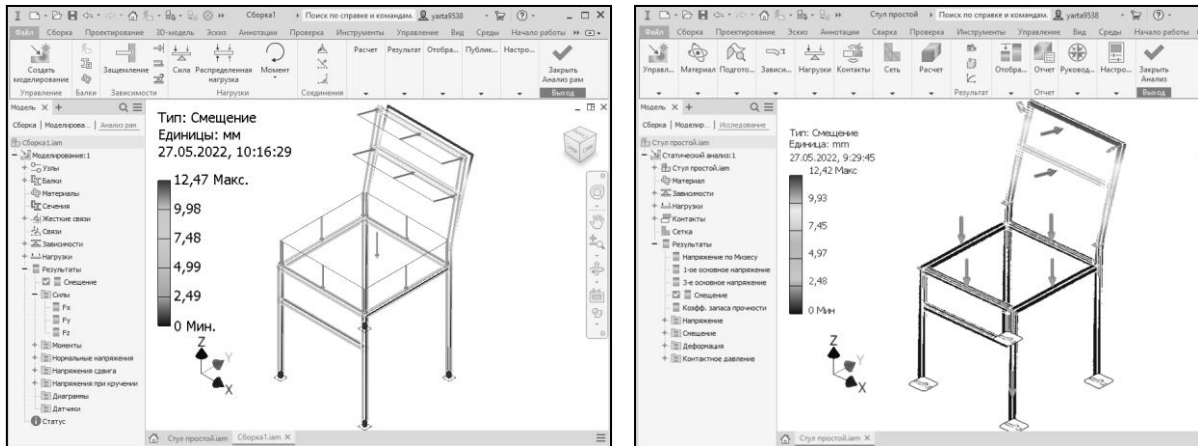


*Рис. 2. Результати розрахунку зусиль (а) та максимальних нормальних напружень (б) у рамі стільця*

Вочевидь, максимальні напруження виникають у місцях закріплення спинки стільця. Для перевірки результатів були виконані аналогічні розрахунки і у середовищі "Аналіз напружень" програми АІ. Розбіжність результатів розрахунків зусиль, напружень та деформацій не перевищує 5 – 10 %, а максимальні деформації стільця практично співпали (рис. 3).

Аналіз отриманих результатів дає змогу зробити висновок, що максимальні напруження не перевищують гранично допустимих, але запас міцності не є достатнім. Завеликою є і деформація рами стільця. Тому обґрунтованим є виготовлення рами стільця з профілю 20x20x2 мм.

Як показала апробація, виконання наведеного завдання, дозволяє легко переходити до опрацювання інших, суттєво складніших завдань з моделювання та розрахунку рамних конструкцій. Наведемо результати моделювання у Генераторі рам програми АІ та подальшого аналізу авторської дизайнерської роботи – стільця сучасного вигляду.



а

б

Рис. 3. Аналіз деформацій стільця у середовищах "Аналіз рам" (а) та "Аналіз напружень" (б) програми АІ

Після побудови 3D - ескізу "скелету" рами стільця в середовищі моделювання АІ, в середовищі "Складання" виконується додавання профілю по лініям ескізу (рис. 4). Далі, за допомогою команд "Стик", "Кутове з'єднання", "Обрізка/подовження", "Подовження/скорочення" та "Врізання", редагуємо профілі на кінцях так, щоб вони ідеально підходили один до іншого. Після цього перетворюємо модель в сталеву зварну конструкцію обраного розміру.

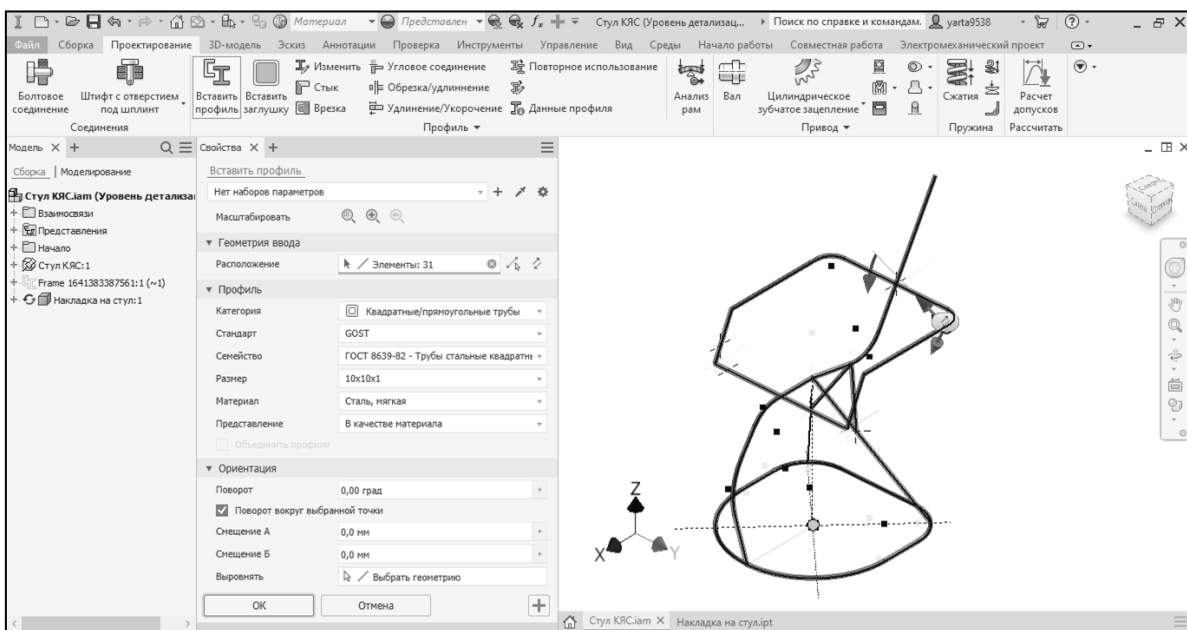


Рис. 4. Додавання сталевого профілю по лініям ескізу

Для дизайнерського стільця була побудована модель сидіння в середовищі моделювання деталі програми АІ. Сидіння прикріплюється до рами і надає функціональності всій конструкції (рис. 5).

Враховуючи, що сидіння (передбачено виготовлення його з АБС пластику) суттєво впливає на розподіл зусиль в конструкції, розрахунки НДС виконувалися лише у середовищі "Аналіз напружень" програми АІ.



Рис. 5. Вигляд авторської моделі стільця

Проведення аналізу починається з фіксації елементів моделі стільця за допомогою команди "Защемлення" (рис. 6, а). Потім додаються сили тяжіння (рис. 6, б) та зовнішні навантаження (рис. 6, в).

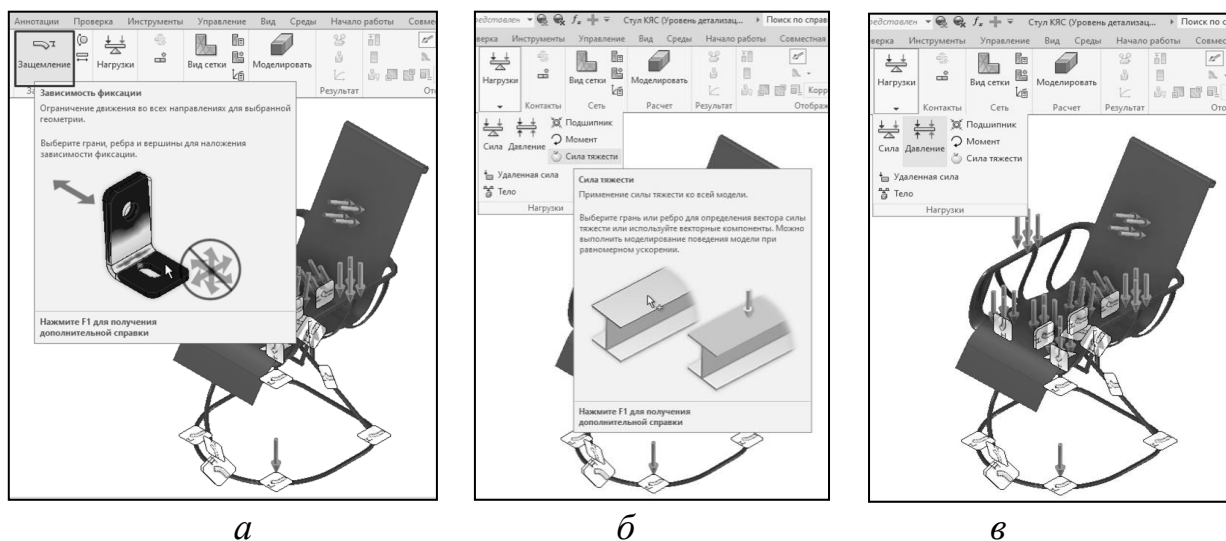


Рис. 6. Фіксація елементів моделі авторського стільця (а), додавання сили тяжіння (б) та зовнішніх навантажень (в)

Після додавання навантажень викликається команда "Моделювання" та програма виконує розрахунок.

За результатами розрахунку НДС, які отримуються у вигляді протоколу, видно, що авторський стілець з легкістю витримує прикладені навантаження. Програма АІ дає можливість у різному вигляді представити деформації, що виникають у конструкції (рис. 7).

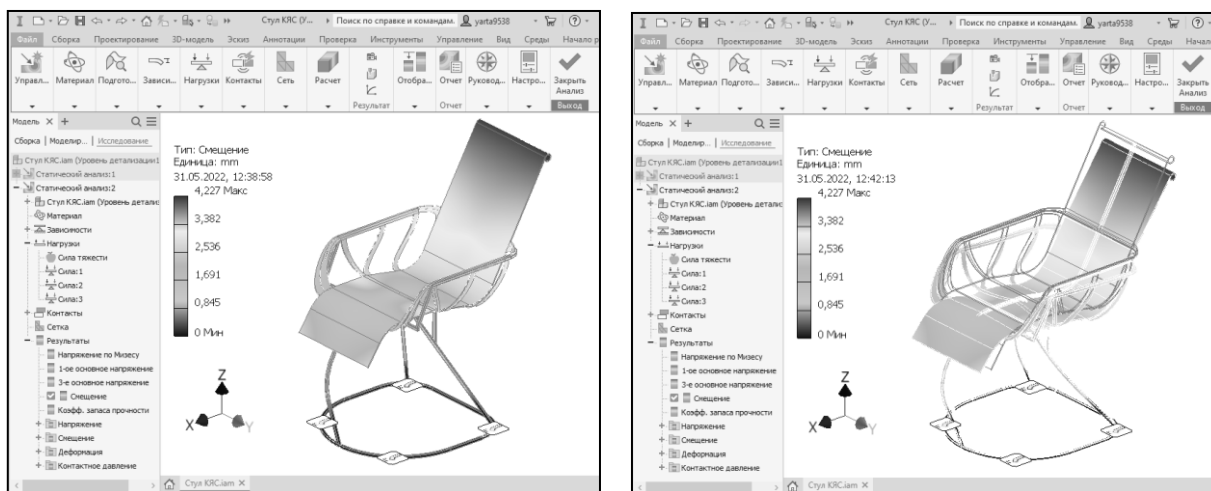


Рис. 7. Отриманні результати розрахунку деформацій стільця

Треба відмітити, що, завдяки параметризації, довжина кожного елемента побудованих тривимірних моделей стільців, їх взаємне розташування та типорозмір профілю швидко можуть бути зміненими з метою отримання більш приємної геометрії з точки зору зовнішнього вигляду та міцності виробів. Можливість подібних змін відмічається і в наявній літературі [7]. Апробовані алгоритми було застосовано при моделюванні та аналізі НДС різноманітних за призначенням рамних конструкцій, які за складністю суттєво перевищують наведені приклади.

**Висновки та перспективи.** Запропонований підхід до моделювання та аналізу НДС виробів, які містять у своєму складі рамні конструкції, надає суттєві переваги. Його було апробовано на великій кількості геометричних моделей. Крім того, потрібно зробити висновок, що комп'ютерне моделювання, зокрема генератор рам програми Autodesk Inventor, може успішно застосовуватися для не тільки для вирішення конструкторських, але й суто дизайнерських задач.

Створені комп'ютерні моделі виробів можуть бути використані для оцінки їх матеріаломісткості та маси, розрахунків на міцність, стійкість, аеродинамічний опір та для впровадження у виробництво. Завдяки параметризації, вони швидко можуть перебудовані у повній відповідності з вимогами замовника.

Деякі з отриманих результатів були задіяні у навчальному процесі. Вони також можуть бути використані сучасними спеціалістами в практичній конструкторській діяльності та дизайні.

### Література

1. *Тремблей Т.* Autodesk® Inventor® 2013 and Inventor LT 2013. Основы. Официальный учебный курс: [пер. с англ.]. Москва: ДМК Пресс, 2013. 344 с.
2. *Зиновьев Д.В.* Основы проектирования в Autodesk Inventor 2016. Москва: ДМК Пресс, 2016. 256 с.
3. *Черніков О.В.* Впровадження сучасних технологій комп'ютерного моделювання в навчальний процес ХНАДУ. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2016. Вип. 73. С. 239–244.
4. *Черніков О.В., Архипов О.В.* Розробка та використання у навчальному процесі відео-посібників з базових розділів комп'ютерної графіки. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2017. Вип. 78. С. 70–74.
5. *Архипов О.В.* Впровадження в навчальний процес сучасних технологій проектування складальної одиниці. *Сучасні проблеми моделювання. Технічні науки*. Мелітополь, 2020. Вип. 20. С. 12–19. DOI: 10.33842/2313-125X/2021/20/12/19
6. *Купар М.* Проектирование металлоконструкций и прочностные расчеты в Autodesk Inventor. *САПР и графика*. – 2016. № 6. С. 26–31.
7. *Іванов Є.М.* Моделювання тривимірних моделей металоконструкцій в пакеті Autodesk Inventor. Science and education: problems, prospects and innovations. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Kyoto, Japan. 2021. Pp. 510–514.

### References

1. *Tremblei T.* Autodesk Inventor 2013 and Inventor LT 2013. Osnovy. Ofytsyalnyi uchebnyi kurs: [per. s anhl.]. Moskva: DMK Press, 2013. 344 s. {in Russian}.
2. *Zynovev D.V.* Osnovy proektyrovaniya v Autodesk Inventor 2016. Moskva: DMK Press, 2016. 256 s. {in Russian}.
3. *Chernikov O.V.* Vprovadzhennia suchasnykh tekhnolohii kompiuternoho modeliuvannia v navchalnyi protses KhNADU. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu. Kharkiv, 2016. Vyp. 73. S. 239–244. {in Ukrainian}.
4. *Chernikov O.V., Arkhipov O.V.* Rozrobka ta vykorystannia u navchalnomu protsesi video-posibnykiv z bazovykh rozdiliv kompiuternoї



hrafiky. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu. Kharkiv, 2017. Vyp. 78. S. 70–74. {in Ukrainian}.

5. *Arhipov O.V.* Vprovadzhennia v navchalnyi protses suchasnykh tekhnolohii proektuvannia skladalnoi odyntsi. Suchasni problemy modeliuвання. Tekhnichni nauky. Melitopol, 2020. Vyp. 20. S. 12–19. DOI: 10.33842/2313-125X/2021/20/12/19 {in Ukrainian}.

6. *Kupar M.* Proektyrovanye metallokonstruktsyi y prochnostnye raschety v Autodesk Inventor. SAPR y hrafyka. – 2016. № 6. S. 26–31. {in Russian}

7. *Ivanov Ye.M.* Modeliuвання tryvymirnykh modeli metalokonstruktsii v paketi Autodesk Inventor. Science and education: problems, prospects and innovations. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Kyoto, Japan. 2021. Pp. 510–514. {in Ukrainian}.

Ph.D., assoc. prof. **Oleksandr Arhipov**,  
alex.khadi.kharkov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2287-1451,

Ph.D., assoc. prof **Olena Yermakova**,  
ermelena1969@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3786-9001,

**Yaroslav Koretskyi**  
yarta9538@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6690-0648,  
Kharkiv National Automobile and Highway University (KhNAHU)

## **MODELING AND ANALYSIS OF THE AUTHOR'S DESIGN WITH USING THE FRAME GENERATOR IN IN THE AUTODESK INVENTOR SOFTWARE**

*Metal frame structures are widely used in mechanical engineering, construction, production of advertising media and household products. Classical methods of their design and calculation are quite laborious and costly. Significant advantages in modeling and analysis can be provided by the Autodesk Inventor program, namely the Frame Generator, which is part of the library of components of this program.*

*The paper explores the algorithm for using the Frame Generator of the Autodesk Inventor program and tests it when building a model of a classic chair, which is based on a steel frame structure of a square profile. All the main stages of work on the model are considered: building a 3D-sketch of the chair frame, assigning the nomenclature, standard size and material of the standard profile, making joints and preparing the edges of individual elements for welding, final modeling of the welded frame structure.*

*The stress-strain state of the designed product under the action of external loads was calculated both in the "Frame Analysis" environment and in the more universal "Stress Analysis" environment of the Autodesk Inventor program. The obtained results are compared and their high convergence is confirmed. On the basis of the conducted research, an educational task was prepared and tested*

*for students of technical specialties of the Kharkiv National Automobile and Highway University. Its implementation allows, using the presented algorithms, to proceed to the modeling and analysis of more complex frame structures.*

*The paper shows how, using the above algorithms, using the Frame Generator, the author's work, a chair of modern design, can be performed and analyzed. The efficiency of using the Autodesk Inventor program in this case also lies in the fact that, thanks to parameterization, the length of each element of a three-dimensional model of a metal structure, their relative position and profile size can be quickly changed in order to obtain the optimal geometry. The results of the work can be used in the educational process and should be of interest to modern constructors and designers.*

*Key Words: geometric modeling; computer graphics; Autodesk Inventor; chair design; frame structure; educational process.*