

**Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Державний університет «Житомирська політехніка»
Луцький національний технічний університет
Технічний університет Дрездена, Дрезден, Німеччина
Університет Вітовта Великого, Каунас, Литва
Департамент енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міської ради**

МАТЕРІАЛИ

**X-ої МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЇ**

**“ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ
АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ”**

14-15 квітня 2022

MATERIALS

**OF X-th INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL
INTERNET-CONFERENCE**

**«PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT
AUTOMOBILE TRANSPORT»**

April 14-15, 2022

ВНТУ, Вінниця, 2022

УДК 629.331:621.3

Колесніков В. О., к.т.н., доц.; Васецька Л. О., к.т.н., доц.; Ревякіна О. О., к.т.н., доц.;
Колеснікова Є. Б.

ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ ТА ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННІ. ЧАСТИНА 2. ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ABAQUS

Продовжено аналіз, узагальнення та систематизацію даних, що стосуються впровадження нових технологій в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Наведено приклади застосування програмного комплексу ABAQUS.

The analysis, generalization and systematization of data related to the introduction of new technologies in the transport sector and energy engineering continued. Examples of application of the ABAQUS software package are given.

В техніці за необхідністю виконуються розрахунки в тому числі з використанням різного програмного забезпечення [1 – 21]. Ці напрацювання можуть широко використовуватись в навчальному процесі [22 – 32].

Серед найбільш відомих програмних комплексів, що використовуються в інженерній практиці можна виділити пакет ABAQUS [33].

Abaqus FEA (раніше ABAQUS) являє собою набір програмного забезпечення для аналізу скінченних елементів і систем автоматизованого проектування. Назва і логотип даного програмного забезпечення створені на основі розрахункового інструменту Abaqus. Також, пакет Abaqus складається з п'яти основних програмних продуктів, а саме:

1. Abaqus/CAE, або "Complete Abaqus Environment". Це такий програмний додаток, що використовується як для моделювання та аналізу механічних вузлів і агрегатів (з попередньою обробкою) і візуалізацією результатів аналізу методом скінченних елементів. Підмножина Abaqus/CAE включає тільки модуль подальшої обробки, яка може бути запущена незалежно одна від одної в продукті, наприклад Abaqus/Viewer.

2. Abaqus/Standard, аналізатор скінченних елементів загального призначення, який використовує неявну схему інтеграції (і він є традиційний).

3. Abaqus/Explicit, скінченних елементів спеціального призначення, який використовує явну схему інтегрування для вирішення нелінійних систем з багатьма складними даними при перехідних навантаженнях.

4. Abaqus/CFD, обчислювальна гідродинаміка прикладного програмного забезпечення, яка забезпечує розширену обчислювальну гідродинаміку та можливість з великою підтримкою попередньої обробки представленої в Abaqus/CAE.

5. Abaqus/Electromagnetic, програмний додаток обчислювального електромагнетизму, який вирішує обчислювальні електромагнітні проблеми.

Продукти Abaqus використовуються з відкритим вихідним кодом мови програмування Python для різних сценаріїв. А також Abaqus/CAE використовує крос-платформну бібліотеку інструментів для розробки графічного інтерфейсу користувача.

Аналіз методом кінцевих елементів (FEA) став тенденцією у віртуальному проектуванні протягом останнього десятиліття. Прогностичні можливості FEA дозволяють інженерам повністю зрозуміти події у віртуальному середовищі, тим самим обмежуючи кількість фізичних випробувань, які необхідно провести, а отже, знижуючи витрати [34].

Для забезпечення більшої продуктивності користувачі Abaqus/CAE можуть створювати геометрію, імпортувати CAD-моделі для створення сіток або інтегрувати сітки на основі геометрії, які не мають пов'язаної CAD-геометрії.

Асоціативні інтерфейси для CATIA V5, SolidWorks та Pro/ENGINEER забезпечують синхронізацію збірок CAD та CAE і дозволяють швидко оновлювати моделі без втрати функцій аналізу. Відкритий набір інструментів налаштування Abaqus/CAE забезпечує потужне рішення для автоматизації процесів, дозволяючи фахівцям впроваджувати перевірені робочі процеси в рамках усього інженерного підприємства. Abaqus/CAE також пропонує широкі можливості візуалізації, які дозволяють користувачам інтерпретувати та передавати результати будь-якого аналізу Abaqus [35].

Наприклад, в різних варіантах [36 - 39] відбувалась реалізація симуляція та аналіз pick-up truck model [36]. Модель автомобіля, використана в роботі [38], була пікапом Chevrolet C1500 1994 року випуску. Ця модель була використана через схожість з автомобілем, використаним для повномасштабного краш-тесту. Simulia отримала геометрію моделі, зв'язок елементів та данні про властивості з публічного архіву кінцево-елементних моделей Національного центру аналізу дорожньо-транспортних пригод при університеті Джорджа Вашингтона.

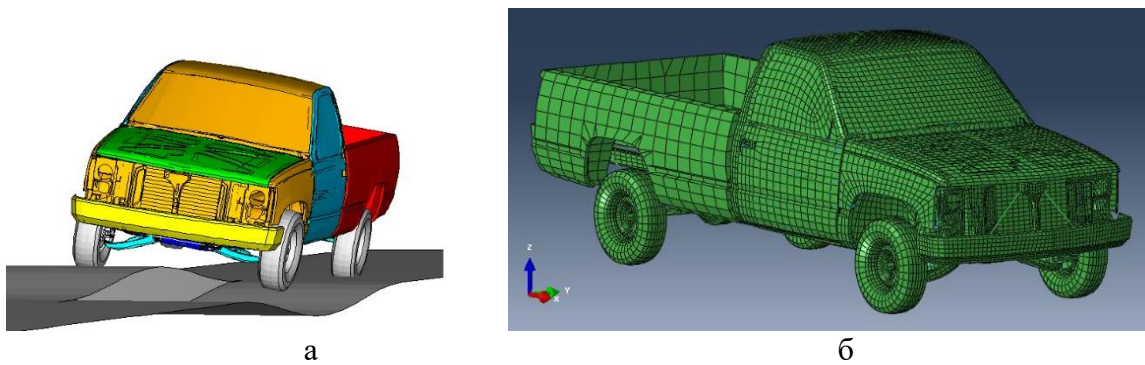


Рисунок 1 – Модель автомобіля пікап Chevrolet C1500 1994 року випуску (а, б). Модель вантажівки з підструктурою, що проходить через антисиметричні нерівності [36] (а). Модель, що для імпорту в Abaqus/CAE (б) [38]

Для комп'ютерного моделювання в Abaqus застосовують нодну систему. Як приклад можна навести публікації [41 - 43]. На рис. 2 наведено розподіл кабіни, згідно з яким відбувались розрахунки окремих частин.

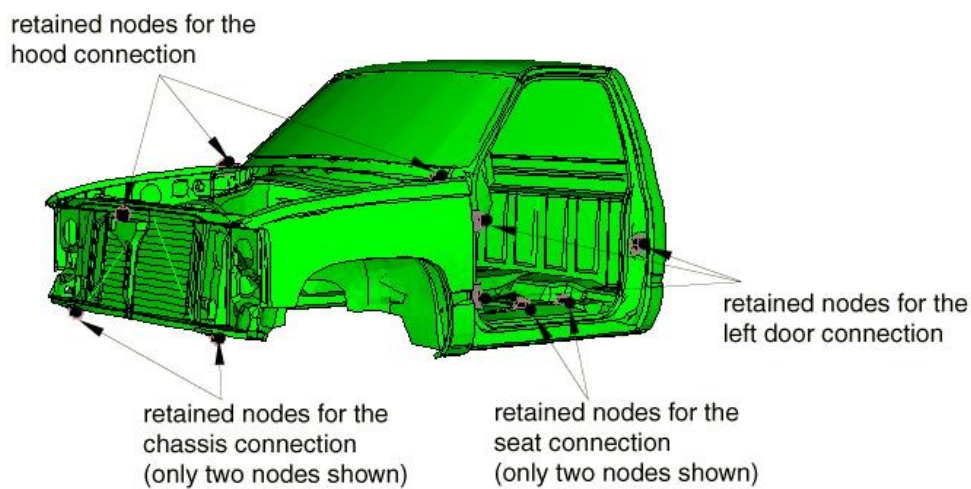


Рисунок 2 – Сітка підконструкцій для кабіни

Також комп'ютерне моделювання з наступними розрахунками можливе як для групи механізмів (рис. 3а) так і для окремих деталей (рис. 3б).

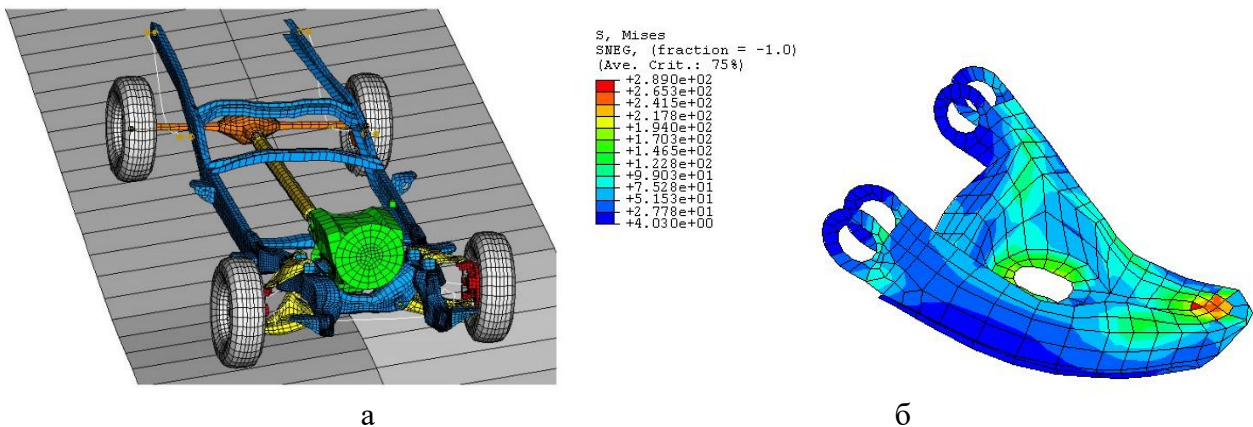


Рисунок 3 – Деталі шасі, підвіски та силового агрегату (а). Відновлені напруги в нижньому лівому А-подібному плечі (б) [36].

Також широке поширення має комп'ютерне моделювання пов'язане з розрахунком двигунів та деталей, що їх складають [44, 45]. Для початку необхідно мати модель, яку можна змодельовати, наприклад в програмному комплексі Solid Works [46], а потім імпортувати в Abaqus. На рис. 4 наведено візуалізацію комп'ютерного моделювання.

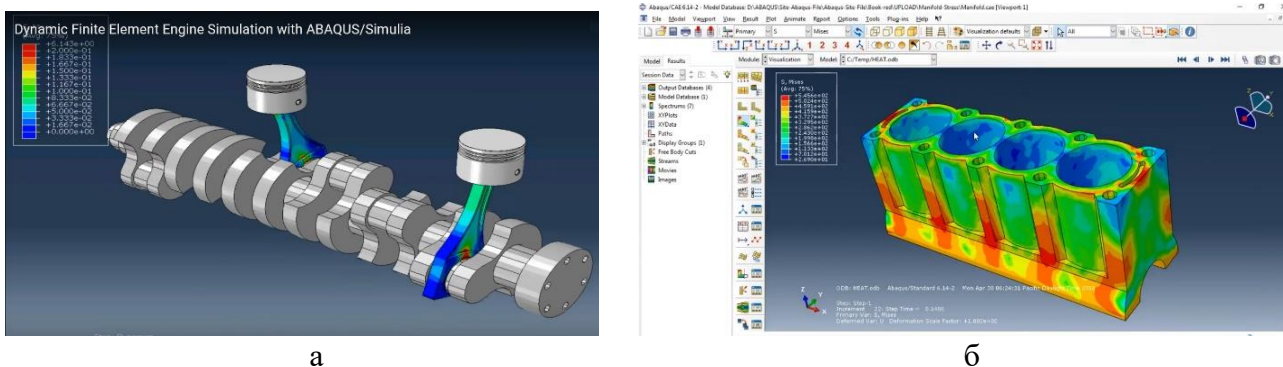


Рисунок 4 – Динамічне моделювання колінчастого вала двигуна методом кінцевих елементів за допомогою ABAQUS/Simulia [44] (а). Імітаційний аналіз пари температура-напруження блоку двигуна в Abaqus [45].

При моделюванні та комп'ютерному аналізі деталей, також можна враховувати зміни властивостей матеріалів та вплив зовнішніх середовищ, наприклад, як в умовах виготовлення деталі, так і під час експлуатації [46 - 49].

Список використаних джерел

1. Колесніков В. О., Ставицький О. В., Єльбакієв Д. Г., Шматко О. Е. Огляд комп'ютерних пакетів та програм, що застосовуються в автомобільній галузі // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 100 - 109.

2. Колесніков В.О., Нестеров А.О., Глюзицький О.О. Застосування можливостей обчислювального матеріалознавства та ІТ технологій для розробки автомобільних деталей // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 6-12.

3. Колесніков В.О. Застосування методів комп'ютерного зору для аналізу пошкоджуваності деталей транспорту. // Матеріали X-ї Міжнародної науково-практичної конференції Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT - 2018) 29-31 травня 2018 р., м. Херсон. - С. 312 – 316.
4. Аптекарь М.Д., Колесников В.А., Кузнецов В.В. Краткий обзор новых достижений в области вычислительной химии и материаловедения, как инструмента экологической безопасности // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 2 (173) 2012 – с. 279 – 284.
5. Колесников В.А., Девяткин Ю.С., Косогова Я.А. Перспективы развития виртуальной инженерии в нашем регионе // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції “Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД 12-13 травня 2009 р”. – Краснодон, 2009 – С. 10 – 12.
6. Панайотов К.К., Колесников В.А., Подинский Е.С. Алгоритм имитационного моделирования управления обслуживанием технологического маршрута // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції “Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД 20 квітня 2012 р. С. 32 -35.
7. Аптекарь М.Д., Колесніков В.О., Кузнецов В.В. Анализ новых достижений в области обчислювальної хімії і матеріалознавства, як інструменту екологічної безпеки // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції “Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД 20 квітня 2012 р. С. 40 - 42.
8. Колесников В.А., Верительник Е.А., Калинин А.В., Пестров С.И. Новый научный софт для изложения инженерных дисциплин // Збірник наукових праць Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (на підставі матеріалів XVI Науково-практичної конференції “Університет і регіон: проблеми сучасної освіти” 27-28 жовтня 2010 року).- Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2010.– С. 256 -258.
9. Колесников В.А. Развитие новых компьютерных технологий в Германии // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля // Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – № 6(124). Частина 2. – С.170-175.
10. К. Абрамек, Я. Элиаш, А.И. Балицкий, В.А. Колесников. Инновационные исследования в вычислительном материаловедении // 2nd International scientific-practical conference «Entrepreneurship and trade: theoretical approaches and practical aspects of development», November 26-27, 2020, in Starobilsk, Ukraine. (Підприємництво, торгівля: теоретичні підходи та практичні аспекти розвитку. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (м. Старобільськ, 26–27 листопада 2020 року)). С 218 - 219. ISBN 978-617-7879-49-6
11. Верительник Е.А., Колесников В.А., Колесникова Е.Б. Новые компьютерные программы для расчета прочностных свойств материалов и конструкций. ЧАСТЬ 1. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля // Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2010. – № 9(151). – Частина 2. – с.11 - 15.
12. Тупельняк О. Л., Колесников В.А., Савченко Е. А., Курьлёв В. О. Краткий обзор возможностей компьютерного атомно-кристаллического моделирования материалов // Тези доповідей. Міжнародна науково-практична конференція "Комп'ютерні науки для інформаційного суспільства", 22-23 грудня 2010 року, м. Луганськ. – С. 78. – 80.
13. Колесников В.А. Концепция компьютерной обработки изображений частичек износа // Міжнародна науково-практична конференція "Комп'ютерні науки для інформаційного суспільства", 22-23 грудня 2010 року, м. Луганськ. С. – 112 -114.
14. В.А. Колесников, А.И. Балицкий, О.А. Погорелов, В.В. Кузнецов, А.В. Калинин Краткий обзор новых достижений в области вычислительного материаловедения // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 9 (180) Ч.2. 2012. - С. 58 – 63.

15. Колесников В.А. Концепция компьютерной обработки изображений частичек износа // Міжнародна науково-практична конференція "Комп'ютерні науки для інформаційного суспільства", 22-23 грудня 2010 року, м. Луганськ. С. – 112 -114.

16. Свідоцтво про реєстрацію авторського права та твір № 101853. Комп'ютерна програма «Обробка зображень поверхні продуктів зношування, різання високоміцних сталей та сплавів». Колесніков Валерій Олександрович, Балицький Олександр Іванович, Гаврилюк Марія Романівна, Іваськевич Любомир Михайлович. Дата реєстрації 15 січня 2021 року.

17. Колесников В.А., Верительник Е.А., Манченко М.В., Колесникова Е.Б. Перспективы использования новых пакетов компьютерных программ при изложении курсов инженерных дисциплин // XV Науково-практична конференція «Університет і регіон: Проблеми сучасної освіти». 11-12 листопада 2009 року // 36. Наук. Праць СНУ. - Частина II. - Луганськ. - 2009. – С. 259 - 261.

18. Застосування комп'ютерно інтегрованого підходу для оцінки якості стану матеріалу деталей та вузлів в енергомашинобудуванні для підвищення безпеки життєдіяльності // В.О. Колесніков, К.Ф. Абрамек, Я. Хмель, Є.Б. Колеснікова // II Міжнародна науково-практична конференція. «Актуальні питання експертної та оціночної діяльності», 25–26 листопада 2021 року в м. Полтава, Україна. С. 98- 100.

19. Оцінка впливу структурно-фазового стану на механічну оброблюваність сплавів з застосуванням методів комп'ютерного моделювання для отримання більш якісної продукції для енергомашинобудування // В.О. Колесніков, К.Ф. Абрамек, Є.Б. Колеснікова // II Міжнародна науково-практична конференція. «Актуальні питання експертної та оціночної діяльності», 25–26 листопада 2021 року в м. Полтава, Україна. С. 92 - 95.

20. Колесніков В.О., Гаврилюк М.Р., Балицький О.І. Застосування методів комп'ютерного зору для ідентифікації продуктів зношування та різання в транспортній галузі та енергомашинобудуванні. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту. IX-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. Матеріали. 14-15 квітня 2021 р., м. Вінниця, 2021. С. 131 – 134. ISBN 978-966-641-851-0 (PDF).

21. Абрамек Кароль, Колесніков Валерій, Балицький Олександр. Деякі підходи щодо комп'ютерного моделювання механічної обробки матеріалів з урахуванням параметрів мікроструктури досліджуваних сплавів. «Сучасна наука та освіта». Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. м. Старобільськ, 14-15 квітня 2021 р. С. 208 - 210. ISBN 978-617-95067-7-2.

22. Колесников В.А. Использование ресурсов Internet и программ компас 3D и Компас – График при изложении курса дисциплин «Инженерная и компьютерная графика» // Збірник праць Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля вид-во СНУ ім. В.Даля, 2007. – С.163-165.

23. Колесников В.А., Харий И.С, Макухин А.Г., Девяткин Ю.С., Бова А.Р., Малков И.В. Изложение курсов дисциплин «инженерная и компьютерная графика» с применением ресурсов internet и программ компас 3D и Компас – График // Прогресивні технології в науці, освіті та економіці. Збірник студентських наукових робіт. – Луганськ: ИТС, 2008. – 35 –38 с.

24. Колесников В.А., Верительник Е.А., Манченко М.В., Колесникова Е.Б. Перспективы использования новых пакетов компьютерных программ при изложении курсов инженерных дисциплин // XV Науково-практична конференція «Університет і регіон: Проблеми сучасної освіти». 11-12 листопада 2009 року // 36. Наук. Праць СНУ. - Частина II. - Луганськ. - 2009. – С. 259 - 261.

25. Колесников В.А., Верительник Е.А., Калинин А.В., Пестров С.И. Новый научный софт для изложения инженерных дисциплин // Збірник наукових праць Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (на підставі матеріалів XVI Науково-практичної конференції “Університет і регіон: проблеми сучасної освіти” 27-28 жовтня 2010 року).- Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2010.– С. 256 -258.

26. Колесников В.А., Сыроваткин С.В., Колесникова Е.Б. Использование технологий виртуальной реальности для подготовки специалистов в области автомобильного транспорта

// Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 18-22.

27. Колесніков В. О., Павлова Ю. В. Нові технології підготовки спеціалістів з вищою технічною освітою в галузі автомобільного транспорту // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. - С. 95 - 99.

28. Колесніков Валерій, Колеснікова Єлизавета. Перспективи застосування технологій віртуальної та доповненої реальності при викладанні дисциплін пов'язаних з транспортною галуззю. «Сучасна наука та освіта». Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. м. Старобільськ, 14-15 квітня 2021 р. С. 37 – 39. ISBN 978-617-95067-7-2.

29. Колеснікова Єлизавета. Сучасні тенденції при викладанні нових дисциплін // Сучасна наука та освіта: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Старобільськ, 14-15 квітня 2021 року). Старобільськ: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2021. С. 39 – 41. ISBN 978-617-95067-7-2.

30. Бурдун В. В., Ревякіна О. О., Колеснікова Є. Б. Деякі приклади застосування інформаційних технологій в автомобільній галузі та освіті // Матеріали IX-ої міжнародної науково-технічної інтернет- конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2021 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2021. С.30 - 34. ISBN 978-966-641-851-0 (PDF).

31. Колесніков В. О. Деякі приклади застосування комп'ютерних програм для дизайну та рестайлінгу автомобілів. Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту. IX-а Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. Матеріали. 14-15 квітня 2021 р., м. Вінниця, 2021. С. 127 – 130. ISBN 978-966-641-851-0 (PDF).

32. Колеснікова Є. Б. Сучасні тенденції при викладанні дисциплін пов'язаних з автомобільним транспортом. перспективи застосування технологій віртуальної і доповненої реальності // Матеріали IX-ої міжнародної науково-технічної інтернет- конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2021 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 135 – 138. ISBN 978-966-641-851-0 (PDF).

33. Abaqus. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Abaqus>.

34. Finite Element Simulation of Crash Test and Crashworthiness with LS-Dyna, Abaqus and PAM-CRASH. URL: <https://enteknograte.com/finite-element-simulation-fea-crash-test-crashworthiness/>.

35. SIMULIA Abaqus. World-Leading Technology for Realistic Simulations. URL: <https://scanscot.com/products/simulia/abaqus>.

36. Substructure analysis of a pick-up truck model. URL: <http://dsk-016-1.fsid.cvut.cz:2080/v6.12/books/exa/default.htm?startat=ch03s02aex98.html#sxmtruck-antiphase-mesh>.

37. Frik, S., G. Leister, and W. Schwartz, "Simulation of the IAVSD Road Vehicle Benchmark Bombardier Iltis with FASIM, MEDYNA, NEWEUL, and SIMPACK," in Multibody Computer Codes in Vehicle System Dynamics, Ed. W. Kortum and R. S. Sharp, February 1993.

38. Daly Oğmaia & Sebastian Elias Tasel. Simulation of vehicle crash into bridge parapet using Abaqus/Explicit. Degree project, in division of structural engineering and, second level bridges Stockholm, Sweden. 2015 URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:820978/FULLTEXT02.pdf>.

39. Roger P. Bligh, William F. Williams, and Wanda L. Menges. NCHRP REPORT 350 TEST 3-11 OF THE MODIFIED T8 BRIDGE RAIL. Technical report, Texas Transportation Institute, <http://d2dtl5nnlpfr0r.cloudfront.net/tti.tamu.edu/documents/0-5210-6.pdf>, 2009.

40. Finite Element Simulation of Crash Test and Crashworthiness with LS-Dyna, Abaqus and PAM-CRASH. URL: <https://enteknograte.com/finite-element-simulation-fea-crash-test-crashworthiness/>.
41. TrendingMechVideos. How to Create Node Set in Abaqus. URL: https://www.youtube.com/watch?v=ApFqZNhEiWE&ab_channel=TrendingMechVideos.
42. CAE Master. ABAQUS. How to extract all nodes displacement on any cross section. URL: https://www.youtube.com/watch?v=S2gYvTKW718&ab_channel=CAEMaster.
43. How to get node labels in ABAQUS. URL: https://www.youtube.com/watch?v=J3mzux9sQus&ab_channel=10Minuters.
44. Dynamic Finite Element Engine Simulation with ABAQUS/Simulia. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=BwiFXYNcWw>.
45. Simulation couple temperature-stress analysis of engine block in Abaqus. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=wjifQXSUn2g>.
46. How to make Crankshaft in Solidworks. URL: https://www.youtube.com/watch?v=474D5dIj5c8&ab_channel=MRlearnig.
47. Wear Resistance of Spark Ignition Engine Piston Rings in Hydrogen-Containing Environments // Myroslav Kindrachuk, Dmytro Volchenko, Alexander Balitskii, Karol F. Abramek, Mykola Volchenko, Olexiy Balitskii, Vasyl Skrypnyk, Dmytro Zhuravlev, Alina Yurchuk and Valerii Kolesnikov // Energies 2021, 14(16), 4801. <https://doi.org/10.3390/en14164801>.
48. Balitskii A, Kolesnikov V, Abramek KF, Balitskii O, Elias J, Havrylyuk M, Ivaskevych L, Kolesnikova I. Influence of Hydrogen-Containing Fuels and Environmentally Friendly Lubricating Coolant on Nitrogen Steels' Wear Resistance for Spark Ignition Engine Pistons and Rings Kit Gasket Set. Energies. 2021; 14(22):7583. <https://doi.org/10.3390/en14227583>.
49. Balitskii, A.; Kindrachuk, M.; Volchenko, D.; Abramek, K.F.; Balitskii, O.; Skrypnyk, V.; Zhuravlev, D.; Bekish, I.; Ostashuk, M.; Kolesnikov, V. Hydrogen Containing Nanofluids in the Spark Engine's Cylinder Head Cooling System. Energies 2022, 15, 59. <https://doi.org/10.3390/en15010059>.

Колесніков Валерій Олександрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», Науковий співробітник відділу «Міцності матеріалів і конструкцій у водневомісних середовищах», Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, e-mail: kolesnikov197612@gmail.com

Васецька Лариса Олександрівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»

Ревякіна Ольга Олександрівна – к.т.н., доцент кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»

Колеснікова Єлизавета Борисівна – магістр Український Католицький Університет, викладач СЗШ № 84 ім. Б.Й. Гордашевської, м. Львів

Kolesnikov Valeriy – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Production Technologies and Vocational Education, Taras Shevchenko Luhansk National University. Researcher of the department "Strength of materials and structures in hydrogen-containing media", Institute of Physics and Mechanics G. Karpenko National Academy of Sciences of Ukraine, e-mail: kolesnikov197612@gmail.com

Vasetska Larysa - Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Production Technologies and Vocational Education of the Taras Shevchenko Luhansk National University

Revyakina Olga - Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Production Technologies and Vocational Education, Taras Shevchenko Luhansk National University

Kolesnikova Elizaveta - Master of Ukrainian Catholic University, teacher of SZSh № 84 them. B. J. Gordashevsk, Lviv