МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

О. М. КЛЄЦКОВ, В. О. ГУРІДОВА, Е. Б. АЛІЄВ

КОМП'ЮТЕРНА МЕХАНІКА

навчальний посібник

Дніпро | **ЛІРА** | 2026

УДК 531:004 (075.8)
К 48

Рекомендовано до друку вченою радою Дніпровського державного аграрно-економічного університету (протокол № 8 від 30.04.2026 р.)

Рецензенти:
Сергій СЛОБОДЯНЮК – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельної і теоритичної механіки та опору матеріалів (Навчально-науковий інститут «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» УДУНТ);
Володимир ЛОБОДА – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки (Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара);
Віталій ЯРОПУД – доктор технічних наук, доцент, декан інженерно-технологічного факультету (Вінницький національний аграрний університет)
Андрій ПУГАЧ – доктор наук з державного управління, професор, декан інженерно-технологічного факультету (Дніпровський державний аграрно-економічний університет)

К48 **Клєцков О. М., Гурідова В. О., Алієв Е. Б.** Комп'ютерна механіка: навчальний посібник. Дніпро: ЛІРА, 2026. 296 с. [Klietskov O. M., Huridova V. O., Aliiev E. B. Computer mechanics: textbook. Dnipro: LIRA, 2026. 296 p.]

ISBN 978-617-8778-71-2

У навчальному посібнику розглядаються сучасні методи моделювання та аналізу механічних систем із застосуванням систем автоматизованого проєктування та інженерного аналізу (CAD/CAE). Посібник поєднує теоретичні основи класичної механіки з потужними чисельними методами, зокрема методом скінченних елементів (МСЕ). Матеріал посібника охоплює роботу в трьох ключових програмних комплексах: Siemens NX, ЛІРА-САПР, ABAQUS.

Видання містить необхідні теоретичні відомості, приклади розв'язання задач, що враховують галузеву специфіку, практичні роботи та запитання для самоперевірки. Особливу увагу приділено практичному застосуванню САПР для скорочення термінів проєктування та підвищення надійності технічних систем.

Навчальний посібник «Комп'ютерна механіка» рекомендований для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів спеціальностей H7 «Агроінженерія» і G11 «Машинобудування», а також буде корисним для студентів інших інженерно-технічних напрямів денної та заочної форм навчання.

© Клєцков О.М., Гурідова В.О., Алієв Е.Б., 2026
ISBN 978-617-8778-71-2 © ДДАЕУ, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП……..4
§ 1. САПР Siemens NX 16
1.1 Інтерфейс Siemens NX..... 17
1.2 Побудова деталі обертання 32
1.3 Побудова 3D-моделі деталі з використанням масивів 40
1.4 Побудова 3D-моделі деталі за її проекціями 51
1.5 Побудова 3D-моделі вала із конструктивними елементами 60
1.6 Побудова 3D-моделі шліцьового з’єднання..... 72
§ 2. ПК ЛІРА-САПР 90
2.1 Інтерфейс ПК ЛІРА-САПР 2024..... 92
2.2 Розрахунок плоскої ферми на міцність та жорсткість..... 106
2.3 Розрахунок статично визначеної балки на міцність та жорсткість ... 133
2.4 Розрахунок статично невизначеної балки на міцність та жорсткість.. 151
2.5 Розрахунок на міцність та жорсткість валів сільськогосподарських машин при сумісній дії згину та кручення..... 164
§ 3. CAE ABAQUS STUDENT EDITION 175
3.1 Інтерфейс ABAQUS STUDENT EDITION 175
3.2 Моделювання статичної задачі..... 187
3.3 Моделювання динамічної задачі 202
3.4. Моделювання контактної задачі..... 209
3.5. Моделювання статичної лінійної задачі 219
3.6. Моделювання контактної взаємодії зубів циліндричної передачі.... 224
3.7 Оцінка напружено-деформованого стану ферми..... 242
3.8 Оцінка напружено-деформованого стану пластини з отвором 252
3.9 Моделювання стаціонарного та нестаціонарного поля температур ... 262
3.10 Розв'язання термопружної задачі для штамповані сталеві деталі 273
ДОДАТКИ 293
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .. 295

ВСТУП

У сучасну епоху інженерії межа між теоретичною механікою та інформаційними технологіями фактично зникла. Сьогодні неможливо уявити створенння надійного механізму чи архітектурної споруди без попереднього «цифрового випробування». Комп’ютерна механіка стала тим містком, що дозволяє перетворити складні диференціальні рівняння на наочні моделі напружено-деформованого стану. Комп'ютерна механіка є сучасною міждисциплінарною галуззю, що поєднує принципи класичної механіки з потужними обчислювальними методами та комп'ютерними технологіями. Вона виникла як відповідь на обмеження аналітичних методів розв'язання складних задач механіки деформівного твердого тіла, динаміки, гідро- та газодинаміки, коли об'єкти мають нелінійну поведінку, складну геометрію чи неоднорідні матеріали. За допомогою чисельних методів - таких як метод скінченних елементів (МСЕ), метод скінченних різниць чи граничних елементів – комп'ютерна механіка дозволяє моделювати, аналізувати та прогнозувати поведінку механічних систем з високою точністю.

Особливе місце в комп'ютерній механіці посідають системи автоматизованого проєктування (САПР, або CAD/CAE/CAM-системи). САПР дозволяють створювати точні геометричні моделі об'єктів (2D- та 3D-моделювання), інтегрувати їх з обчислювальними модулями для симуляції напруження, деформацій, теплових процесів чи динамічної поведінки (CAE), а також готувати дані для виготовлення (CAM). Застосування САПР значно скорочує час проєктування, зменшує витрати на фізичні прототипи та підвищує надійність конструкцій.

Навчальний посібник розроблений відповідно до робочих програм дисциплін «Комп’ютерна механіка», «Сучасні інформаційні системи та технології інжинірингу», «Інжиніринг агропромислового машинобудування», «Тривимірне моделювання робочих органів сільськогосподарських машин». Основним завданням видання є формування у здобувачів вищої освіти розуміння внутрішньої логіки обчислень та опанування сучасних інструментів моделювання й аналізу механічних систем із застосуванням систем автоматизованого проєктування та інженерного аналізу (CAD/CAE).

Навчальний посібник «Комп’ютерна механіка» рекомендований для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів спеціальностей Н7 «Агроінженерія» і

§ 1 САПР Siemens NX

1.1 Інтерфейс Siemens NX

Перед початком роботи в Siemens NX необхідно розуміти структуру графічного інтерфейса користувача [8].

В інтерфейс Siemens NX доступ до команд, що часто використовуються, здійснюється парою клацань миші, при цьому підтримується максимальний розмір графічного вікна [7].

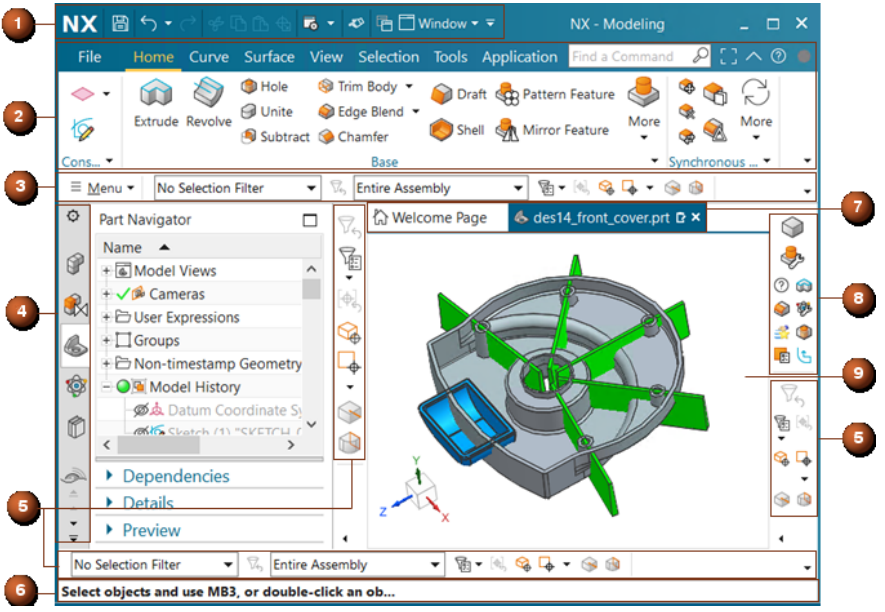

Рисунок 1.1.1 – Головне вікно NX

№	Компонент	Опис
1	*Панель швидкого доступу*	Містить команди, що часто використовуються, наприклад *Зберегти* та *Скасувати*.
2	*Стрічкове меню*	Впорядковує команди у кожному додатку на вкладках та групах.
3	*Верхня панель інструментів*	Містить меню та групи команд вибору.
4	*Панель ресурсів*	Містить навігатори та палітри, включаючи вкладки *Навігатор моделі* та *Ролі*.

§ 2 ПК ЛІРА-САПР

Прогрес у сфері сучасних технологій висуває до інженерів комплексні вимоги. Вони охоплюють розрахунок масштабних споруд (будівель, мостів, каналів, гребель тощо), а також повний цикл проектування, створення й обслуговування технічних систем, зокрема автотранспорту та спеціалізованої сільськогосподарської техніки. При виконанні таких завдань майже завжди доводиться насамперед визначати навантаження, що діють як на всю споруду або механізм, так і на окремі вузли та деталі. Тільки після цього стають можливими наступні кроки в створенні того чи іншого об'єкта.

ЛІРА-САПР – це універсальний програмний комплекс для проектування, аналізу та розрахунку будівельних і машинобудівних конструкцій. В його основі лежить чисельне моделювання конструкцій довільного призначення на базі метода скінченних елементів (МСЕ), реалізованого у формі переміщень. Функціонал комплексу охоплює широке коло завдань: від визначення зусиль при статичних і динамічних діях до автоматизованої перевірки перерізів згідно з українським ДБН (Державні будівельні норми). Завдяки набору спеціалізованих модулів, програма дозволяє проектувати сталеві та залізобетонні елементи, аналізувати взаємодію з ґрунтом, розраховувати мости та моделювати етапи зведення споруд.

При розв’язанні наукомістких задач щодо визначення напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій, при врахуванні фізичної або геометричної нелінійності задачі, програмний комплекс ЛІРА спирається на велику бібліотеку скінченних елементів, застосовує набір багатофункціональних процесорів, підтягує об’ємну базу сталевих сортаментів (застосовуються чинні нормативи як України, так і Європи та США). Можлива інтеграція та обмін інформацією з іншими САПР та прикладними програмами (AutoCAD, ArchiCAD, Revit та ін.).

Створення програмного комплекса сімейства Ліра має багаторічну історію. Колектив розробників сформувався в Києві ще в 1960-х роках під керівництвом видатного вченого О.С. Городецького (на базі КиївЗНДІЕП та НДІАСС). Масове впровадження в Україні почалося в 90-і роки, коли програмний комплекс Ліра був рекомендований для використання в організаціях, що виконують проектно-вишукувальні роботи для будівництва, а також здійснюють експертизу проектів на будівництво об'єктів різного призначення. На теперішній момент правами на продукт володіє українська компанія LiraLand (LIRALAND Group), головний офіс якої розташований у Києві.

§ 3 CAE ABAQUS STUDENT EDITION

3.1 Інтерфейс ABAQUS STUDENT EDITION

Перед початком роботи в ABAQUS/CAE необхідно розуміти структуру графічного інтерфейса користувача. Загальний вид інтерфейса представлен на рис 3.1.1.

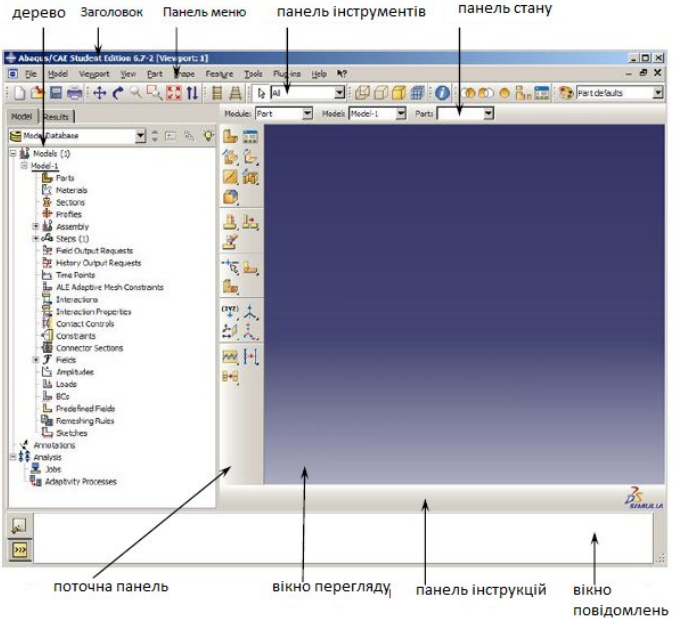

Рисунок 3.1.1 – Інтерфейс

Перед Вами – робочий простір ABAQUS [4-6]. Верхня панель – панель меню, нижче за неї – панель інструментів, під нею – панель стану. У центрі – робоче вікно перегляду моделей Viewport, ліворуч від нього – поточна панель компонентів модулів, під ним – панель інструкцій та вікно повідомлень. Усе це становить графічний інтерфейс CAE, зображений на рис. 3.1.1. Розміри вікна *Viewport* можуть змінюватися, але загальний вигляд всіх панелей та їхнє розташування незмінне.

Однією з особливостей ABAQUS є використання модулів, кожен з яких містить деякий набір дій, близьких за значенням та необхідних для побудови кінцево-елементної моделі та подальших операцій із нею. Це спрощує і робить наочнішою роботу в ABAQUS. Для вибору

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зієнкевич О. С., Тейлор Р. Л. Метод скінченних елементів в інженерному дизайні. Київ: Фенікс, 2009. 472 с. ISBN 978-9666823986.
2. Логан Д. Л. Метод скінченних елементів: Перший курс. Київ: Видавнича група BHV, 2014. 800 с. ISBN 978-5699814943.
3. Зієнкевич О. С., Тейлор Р. Л., Саутер С. А. Метод скінченних елементів для твердих та конструкційних механік. Київ: Фенікс, 2016. 688 с. ISBN 978-9666824693.
4. Карвацький А. Я. Моделювання процесів в ABAQUS/CAE: навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2020. 178 с.
5. Сидоренко В. П. Введення в аналіз структурних систем з використанням ABAQUS/CAE: практикум. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. 152 с.
6. Петренко О. М. Методи чисельного моделювання в ABAQUS/CAE : підручник. Харків: ХНУРЕ, 2019. 276 с.
7. Leu M. C., Ghazanfari A., Kolan K. NX 10 for Engineering Design. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, 2017. 207 p.
8. NX Siemens Software. URL: https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/nx/
9. Dassault Systèmes. Introducing Solidworks. 2014. 128 p. URL: https://files.solidworks.com/pdf/introsw.pdf
10. Planchard D. C., Planchard M. P. Commands Guide Tutorial for SolidWorks: A comprehensive reference guide with over 230 tutorials. 2012. 57 p.
11. Planchard D. C. Solidworks 2016. Reference Guide: A comprehensive reference guide with over 250 standalone tutorials. 2015. 70 p.
12. Shih R. H., Schilling P. J. Parametric Modeling with SOLIDWORKS 2015. Covers Material Found On the CSWA Exam. 2015. 557 p.
13. Alvoinita S. A., Fatchanuddin A. M. ESSENTIAL NX CAD 2020 Guide Book for In-House Training in P4TK BOE Malang. 2020. 141 p.
14. Землеробська механіка. Т. 2. Теоретичні основи сільськогосподарської механіки: монографія / А. С. Кобець та ін. Дніпро : Свідлер А. Л., 2022. 712 с.
15. Кагадій С. В., Дем’яненко А. Г., Гурідова В. О. Основи механіки матеріалів і конструкцій: навч. посібник. Дніпропетровськ : Свідлер А. Л., 2011. 416 с.

16. Сорочак А. П. Програмне забезпечення інженерних розрахунків: конспект лекцій. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. 128 с.

17. Барабаш М. С., Кір'язєв П. М., Лапенко О. І., Ромашкіна М. А. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник. Київ: НАУ, 2019. 500 с.

18. ЛІРА-САПР: приклади розрахунку та проектування : навч. посіб. URL: https://www.liraland.ua/download/private/lira/2023/lira_sapr_examples_ua.pdf

19. Алієв Е. Б. Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва: підручник. Київ: Аграрна наука, 2023. 340 с. ISBN 978-966-540-584-9. DOI: 10.31073/978-966-540-584-9

20. Алієв, Е. Б. Чисельне моделювання механізованих процесів агропромислового виробництва: монографія. Дніпро: ЛІРА, 2026. 220 с. ISBN 978-617-8778-40-8

Навчальне видання

КЛЄЦКОВ Олександр Миколайович
ГУРІДОВА Вікторія Олександрівна
АЛІЄВ Ельчин Бахтияр огли

КОМП'ЮТЕРНА МЕХАНІКА

навчальний посібник

Друкується в авторській редакції
Комп'ютерна верстка *О. М. Клєцков*
Дизайн обкладинки *Е. Б. Алієв*

Підписано до друку 07.05.2026.
Формат 60×90 1/16. Папір офс. Гарнітура «Таймс».
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 18,5.
Наклад 50 пр. Зам. № 53

Видавництво та друкарня ПП «Ліра ЛТД».
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
та розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 6042 від 26.02.2018
Вул. Наукова, 5, м. Дніпро, 49107.