

## ВІРТУАЛЬНІ ЛАБОРАТОРНІ СИСТЕМИ І КОМПЛЕКСИ – НОВА ПЕРСПЕКТИВА НАУКОВОГО ПОШУКУ І ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

*Загірняк М.В., д.т.н., проф., Родькін Д.Й., д.т.н., проф., Чорний О.П., д.т.н., проф.  
Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського  
Інститут електромеханіки, енергозбереження і комп'ютерних технологій  
КДПУ, вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Україна, 39600  
E-mail: [apch@polytech.poltava.ua](mailto:apch@polytech.poltava.ua)*

**Вступ.** На сьогодні в усьому світі накопичений великий досвід з дослідження різноманітних енергетичних об'єктів і процесів, які в них відбуваються. Значною мірою це відноситься до електромеханічних систем (ЕМС) і, зокрема, систем електропривода. Залежно від задач дослідження використовуються різні методи, що складають дві великі групи: експериментальні та теоретичні. Розроблені методи призначені для дослідження усталених і динамічних режимів ЕМС і використовують як детерміновані, так вірогіднісні підходи. Експериментальні методи дослідження здебільшого потребують спеціального обладнання, а у випадку, коли ЕМС лише проектується, їх застосування взагалі неможливе. Тоді дослідження виконуються теоретичним шляхом на основі створених математичних моделей. Труднощі моделювання ЕМС зумовлені їх неоднорідною фізичною природою, топологічною і математичною складністю моделей, необхідністю реалізації багаторівневого моделювання. У зв'язку з цим для розв'язання задач дослідження ЕМС розроблено значну кількість прикладних математичних комп'ютерних пакетів – так званих симуляторів (simulation) і віртуальних лабораторій на їх основі.

**Аналіз попередніх досліджень.** Останніми роками у сфері застосування інформаційних і комунікаційних технологій з'явився новий термін "Віртуальна навчальна лабораторія" (ВНЛ) стосовно до технічної освіти [1].

Активно розвиваються мережеві програмні системи управління навчальним процесом, такі як MS FrontPage, MS Publisher, Black-Board, Доцент, Прометей, Learning Space [2], Top Class [3], WebCT [4], ІОС ОО [5] та ін. Ці системи інтегрують основні функції організації електронного навчання – реєстрацію, підтримку самостійної роботи, організацію індивідуальної та групової взаємодії студентів і викладачів, проміжне і підсумкове тестування та ряд інших функцій, що підтримують, перш за все, дистанційні форми організації навчального процесу.

Термін ВНЛ можна віднести і до сучасних засобів дослідження процесів функціонування ЕМС на основі математичних моделей – комп'ютерного моделювання. Серед зарубіжних фірм передові позиції в розробці програмних засобів моделювання займають компанії MathWorks, MicroSim, Cadence Design

Systems, Interactive Image Technologies, National Instruments, Spectrum Software, MathSoft, Wolfram Research. Розроблені ними віртуальні лабораторії застосовуються при проведенні експериментальних досліджень на EOM: OrCAD9, TCAD, Realise DesignLab, Circuit Market і найбільш використовувані Matlab, Mathcad, Electronics Workbench, LabVIEW. Різні пакети програм відрізняються один від одного своїм призначенням, універсальністю, можливостями, вартістю тощо.

Нечисленні поки науково-методичні роботи з тематики ВНЛ обмежені, в основному, описом віртуальних приладів і лабораторних занять з їх використанням. Проте в методологічному плані поняття ВНЛ для інженерної освіти набагато ширше і може інтегрувати в себе не тільки віртуальні прилади, але і віртуальні навчальні кабінети, системи математичного й імітаційного моделювання, навчальні і промислові пакети прикладних програм, компоненти CALS-систем і под. А самі ВНЛ можуть використовуватися не тільки в лабораторному практикумі, але і в курсовому і дипломному проектуванні, у науково-дослідних роботах студентів. Найбільш близькими за структурою побудови до ВНЛ є віртуальні лабораторні комплекси (ВЛК), які запроваджені в Кременчуцькому державному політехнічному університеті імені Михайла Остроградського (КДПУ). Комплекси проходять апробацію вже протягом п'яти років [6-8].

**Мета досліджень.** Обґрунтування використання віртуальних лабораторних комплексів як наукового напрямку наукових досліджень і професійно-орієнтовної підготовки фахівців з електромеханіки.

**Матеріал і результати досліджень.** Наведений далеко не повний перелік програмних засобів, напрямків їх використання вказує на те, що кожен із виробників або дослідників розв'язує свою задачу, виходячи з тих чи інших обмежень.

Урахування тенденції зростання обсягу самостійної роботи студентів з одночасним зменшенням кількості аудиторних занять, недостатньою кількістю, а іноді й відсутністю сучасної літератури з технічних дисциплін, необхідністю матеріальних витрат на організацію традиційного лабораторного практикуму спонукало до створення у нашому університеті універсальних комп'ютеризованих віртуальних лабораторних комплексів (ВЛК).

В основу ВЛК покладено єдиний підхід з відповідним методичним забезпеченням, системою тренінгу і контролю знань, організації ефективного лабораторного практикуму за циклами електротехнічних дисциплін, і тим самим вирішено дану задачу за достатньо короткі терміни із щонайменшими фінансовими витратами.

В якості програмного забезпечення для створення ВЛК прийнята технологія віртуальних приладів Labview [9]. На рис.1, 2 наведені приклади створених віртуальних лабораторних стендів (ВЛС).

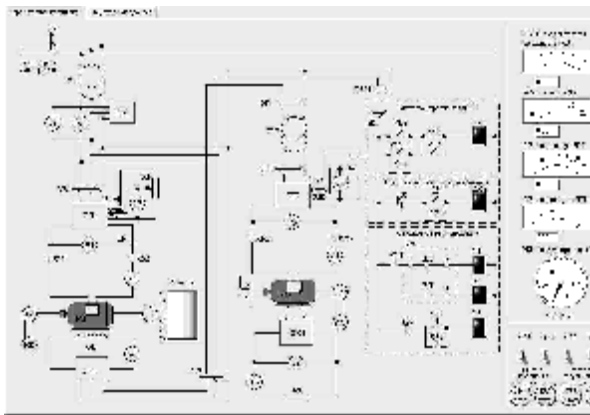


Рисунок 1 – ВЛС для дослідження автоматизованого електропривода компресорної установки

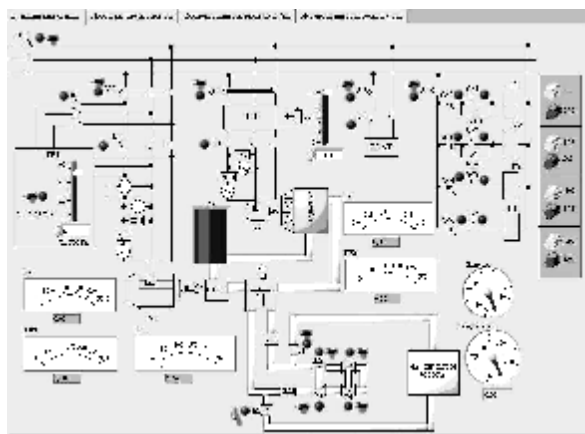


Рисунок 2 – ВЛС для дослідження автоматизованого електропривода маслостанції

Впровадження і виконання комплексу робіт привело до розуміння того, що ВЛК – це не просто модель електропривода із зручним інтерфейсом, а модель електромеханічного обладнання або електромеханічного комплексу з технологічним механізмом. У зв'язку з цим стає очевидним, що роботи з віртуального обладнання необхідно розглядати як можливість вивчення фундаментальних основ перетворення всіх видів енергії (у кінематичних зв'язках, електричних контурах, магнітних зв'язках та ін.); нових принципів управління електромеханічними системами, у тому числі інтелектуальними.

Такий підхід вимагає постановки нових задач у загальній проблемі розвитку освітнього процесу і наукового пошуку:

- створення на основі ВЛК методології оцінювання якості навчання і рівня професійної підготовки фахівців;
- використання технології інтегрованого вивчення технічної іноземної мови при підготовці студентів з фундаментальних і спеціальних дисциплін;
- чіткого розуміння істотної різниці між моделями процесів і моделями обладнання;
- формування моделі ВЛК як аналога фізичного обладнання з можливістю настроювання віртуальної моделі на його параметри;
- розвитку нових напрямів досліджень процесів і явищ, якості перетворення енергії, рушання механізмів, формування вібраційного фону в пускових і стаціонарних режимах роботи електромеханічних систем та ін.;
- використання ВЛК для вивчення енергопроцесів і формування їх показників і характеристик: енергоспоживання, енерговикористання і енергоуправління.

Загальна структура вказаних задач наведена в табл.1 і дозволяє охарактеризувати ВЛС як перспективний напрям з розгалуженою системою тематики досліджень.

Наведемо коротку характеристику наукових напрямів.

#### **Проблематика вищої школи і підготовка фахівців.**

ВЛС – це обладнання, яке дозволяє розв'язувати цілком визначені задачі в процесі підготовки і формування фахівця з електромеханіки, прищеплювати навички самостійної роботи, розвивати наочно-образне мислення, роблячи акцент на причинно-наслідкових зв'язках об'єктів і процесів, які вивчаються. Важливим є також економічний аспект застосування віртуальних комплексів замість реальних фізичних стендів.

Слід зазначити, що застосування ВЛС потребує вирішення низки питань:

- для яких освітньо-кваліфікаційних рівнів, форм навчання і спеціальностей доцільно з економічної та науково-методичної точок зору вводити ВЛК;
- як і який контингент залучати на навчання з ВЛК;
- яким чином формувати навчальну програму, щоб забезпечити необхідну гнучкість навчання, максимально враховувати індивідуальні особливості й запити;
- як проводити атестацію студентів: контрольні роботи, заліки, іспити, державні іспити, кваліфікаційні роботи і проекти;
- яким чином краще за все організувати лекції, практичні та семінарські заняття;
- чи можна і яким чином проводити виконання лабораторних робіт на ВЛК;
- як стимулювати і прискорити розробку й упровадження розробленої технології на практиці.

Аналіз лабораторного практикуму, методики виконання лабораторних робіт свідчить, що

виконання його на практиці можливе тільки за умов виконання вимог, передбачених освітньо-кваліфікаційною характеристикою.

**Таблиця 1 – Загальна структура наукового напрямку**

Напрямок роботи	Характеристика
Проблематика вищої школи і підготовка фахівців	ВЛК фізичних стендів для лабораторного практикуму у ВНЗ
	ВЛК для дослідження електромеханічних систем у лабораторному практикумі у ВНЗ
	Тренажери-імітатори об'єктів
Наукові дослідження студентів, магістрантів	Розробка математичних моделей ЕМС
	Дослідження і системи управління ЕМС
	Тренажери-імітатори процесів
Наукові дослідження (у тому числі аспірантів), підготовка дисертаційних робіт	Статистичні моделі й оцінка якості навчання
	Методологія побудови ВЛК
	Енергозбереження, енергоаудит, моніторинг
	Диспетчеризація, керування складними технологічними системами
	Інтелектуальні системи

Ефективність ВЛС зумовлена можливістю їх використання в якості:

- тренажера, за допомогою якого на математичній моделі вивчаються характеристики об'єктів та процеси перетворення енергії в них;
- програмного інструментарію для моделювання, вивчення та дослідження режимів роботи ЕМС, у тому числі передаварійних та аварійних;
- апаратно-програмного інструментарію дослідної лабораторії для проведення наукових досліджень з комп'ютерною обробкою даних, а також у режимі реального часу.

Якісне забезпечення навчального процесу можливе за умови застосування ВЛС з такими функціями, як:

- візуальне спостереження сигналів, що викликає методичний пізнавальний інтерес при виконанні лабораторних робіт;
- аналіз контрольованих сигналів, включаючи гармонічний аналіз, компоненти цифрової обробки сигналів;
- можливість використання банку математичних моделей для дослідження процесів в електромеханічній системі;
- завдання керуючих сигналів з набору, характерного для всього комплексу лабораторних робіт;

– реалізація цифрових систем управління і регулювання параметрів електричних машин усього комплексу (зворотних зв'язків за швидкістю, струмом, регуляторів з можливістю зміни їх настроювань та ін.);

– математичного апарата для виконання розрахункових операцій при дослідженні режимів роботи елементів комплексів, які передбачено переліком лабораторних робіт;

– методичного забезпечення для підготовки і виконання конкретних лабораторних робіт.

Виконання роботи повинне здійснюватися за твердим, заздалегідь розробленим алгоритмом чи шляхом його створення за завданням оператора безпосередньо під час підготовки:

- пакета програмних і методичних матеріалів, що дозволяють здійснювати самопідготовку, контроль знань і допуск до роботи;
- пакетів програмних продуктів спеціальних модулів-імітаторів лабораторних комплексів, на яких можлива реалізація програм підготовки в режимі роботи віртуального устаткування.

#### **Наукові дослідження студентів, магістрантів.**

Ефективність і інформативність ВЛК дозволила реалізувати цілий комплекс науково-дослідних робіт принципово нового характеру. Надбаний досвід створення та експлуатації комп'ютеризованих ВЛС та комплексів на їх основі – ВЛК, дозволяє виконувати наукові експериментальні дослідження в галузі електромеханіки.

Створена модульна структура ВЛК і автономність математичних моделей його окремих елементів дозволяє виконувати експериментальні дослідження як системи в цілому, так і її складових, причому конфігурація системи і функціональні можливості можуть легко змінюватися залежно від поставленої задачі:

- дослідження систем управління різними технологічними об'єктами: компресорною та конвеєрною установкою, воздухоудвою, краном-штабелером, маслостанцією, гідротранспортною системою, робототехнічним комплексом, процесом нагрівання в печі, процесом згоряння вуглеводів та ін.;
- дослідження характеристик, режимів роботи і енергетичних процесів електроприводів постійного і змінного струму: електропривода за системою електромашинний перетворювач–двигун постійного струму, системи генератор–двигун, асинхронного електропривода з тиристорним регулятором напруги в ланцюгу статора, характеристик двигунів постійного струму послідовного збудження, систем захисту асинхронних двигунів, полегшеного пуску привідного двигуна системи генератор–двигун, систем динамічного навантаження двигунів постійного струму, тиристорного електропривода постійного струму, електропривода крана, енергоконтролю параметрів електромеханічних систем, енергетичних процесів у частотно-регульованому електроприводі, режимів примусового охолодження електричних машин та ін.

Слід зазначити, що запропонований підхід для дослідження є досить універсальним.

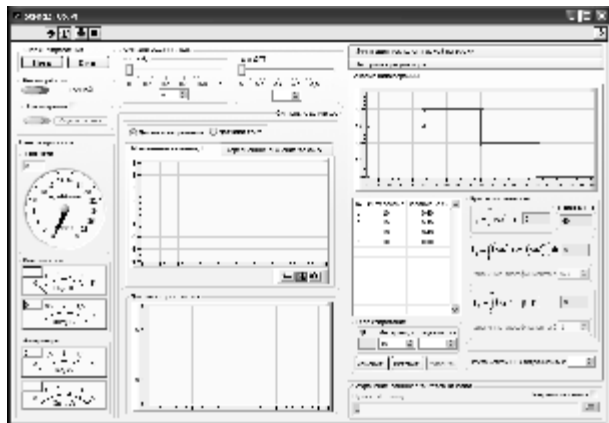


Рисунок 3 – Науково-дослідний ВЛК

Наприклад, науково-дослідний ВЛК (рис. 3) дозволяє виконувати низку досліджень, наприклад, за такими напрямками:

1. Метрологічні дослідження первинних перетворювачів і каналів виміру для сигналів напруги, струму і швидкості.
2. Ідентифікація електромеханічних об'єктів керування двигунами постійного струму і асинхронними двигунами з перетворювачами енергії.
3. Дослідження емпіричних залежностей при визначенні настройок регуляторів для одноконтурних систем управління електроприводів постійного і змінного струму.
4. Дослідження підпорядкованих систем керування.
5. Реалізація технологічних навантажень системою широтно-імпульсний перетворювач – двигун постійного струму.
6. Дослідження способів побудови цифрових фільтрів сигналів зворотного зв'язку і їх впливу на якість керування.
7. Оптимізація регуляторів для привода перетворювач частоти-асинхронний двигун з емуляцією навантаження за заданим критерієм якості.
8. Вивчення інструментальних засобів для створення нечітких експертних систем керування.
9. Вивчення інструментальних засобів для створення систем керування на основі нейронних мереж.
10. Дослідження якості роботи класичних і нечітких систем керування електромеханічним об'єктом.
11. Дослідження якості роботи нейронних регуляторів для електромеханічних об'єктів.
12. Використання мережевих технологій для віддаленого керування промисловими об'єктами.

**Наукові дослідження (в тому числі аспірантів), підготовка дисертаційних робіт.**

Пропоновані віртуальні комплекси незамінні як засіб впровадження і проведення науково-дослідних робіт за госпдоговірним та держбюджетним замовленням; виконання робіт за замовленням підприємств у галузі наукових досліджень; виконання

математичних розрахунків, проектування і випробування дослідних зразків. Особливо цікавим є створення мобільних віртуальних комплексів, що дозволяють проводити необхідні дослідження безпосередньо в умовах виробництва, оперативно формувати й обробляти результати моделювання і формувати рекомендації щодо підвищення якості управління й ефективності використання реального устаткування.

Як приклад на рис. 4 показаний розроблений комплекс, що складається з реального обладнання і програмно-апаратної підтримки (пакет LabVIEW), призначений для діагностики електричних двигунів в умовах цеху 12 АТ «Укртатнафта».

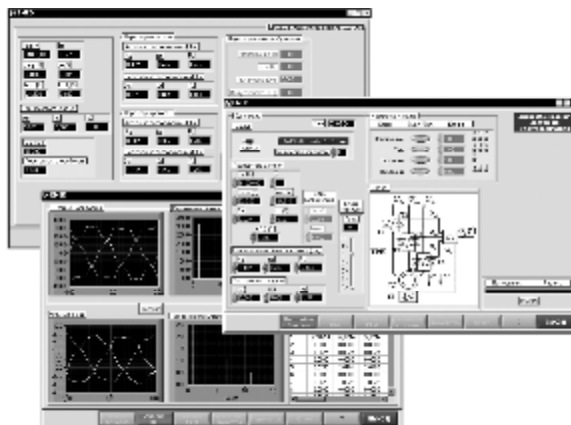


Рисунок 4 – Віртуальний комплекс для діагностики електромеханічних систем

Створена за допомогою технології віртуальних інструментів зовнішня оболонка значно спростила розв'язання питань вибору схеми, введення початкових даних, відображення вимірних величин, висновку з результатів розрахунку.

Впровадженню розроблених систем на промислових підприємствах передують велика дослідна робота. Розроблені віртуальні лабораторні комплекси дозволяють наочно досліджувати статичні й динамічні режими роботи технологічного обладнання, вивчення його ефективних режимів роботи. Розроблений математичний апарат і програмне забезпечення дозволяють виконати налаштування параметрів математичної моделі ВЛК на параметри реальної ЕМС (рис. 5).

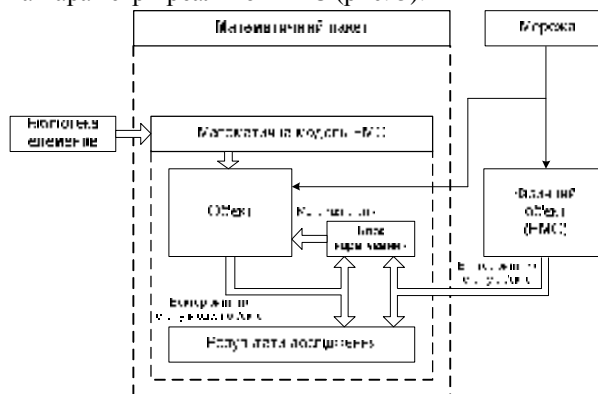


Рисунок 5 – Віртуальний дослідний комплекс з налаштуванням математичної моделі на параметри реальної ЕМС

На рис. 6 наведено ВЛК, який об'єднаний з фізичною установкою для дослідження гідравлічних процесів у трубопровідній мережі й аналізу режимів роботи насосної установки (НУ) при різних способах регулювання витратки й напору.

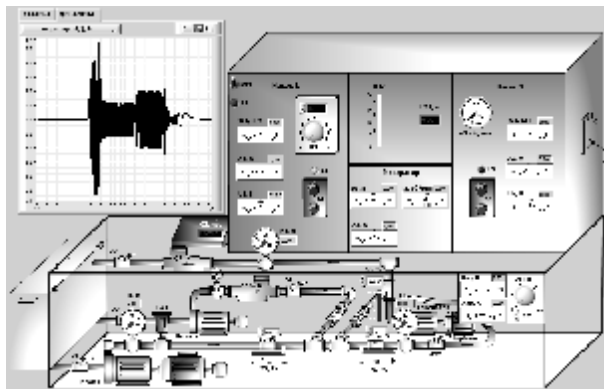


Рисунок 6 – Віртуальний дослідницький гідротранспортний комплекс

Розроблений комплекс дозволяє розв'язати ряд дослідних задач: аналіз технологічних можливостей і енергетичних показників різних методів регулювання технологічних параметрів; дослідження динамічних процесів у трубопровідній мережі; визначення регульованих і енергетичних характеристик систем регульованого електропривода; дослідження групової роботи турбомеханізмів й ін.

**Висновки.** Створені підходи до дослідження реальних ЕМС шляхом їх об'єднання з ВЛК, розвинута технологія наукового пошуку із застосуванням віртуальних лабораторних комплексів і систем є незамінним засобом наукових досліджень студентів, магістрантів, аспірантів, а також підготовки фахівців з електромеханіки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Лаборатория дистанционного и виртуального обучения. – Кафедра искусственного интеллекта и информационных систем, Харьковский государственный технический университет радиоелектроники. – Электронный ресурс: <http://vdll.kture.kharkov.ua>
2. WebCT and Blackboard. – Электронный ресурс: <http://www.lotus.com/learningspace>
3. WBT Systems of Avnet Technology Solutions, operating group of Avnet Inc. – Электронный ресурс: <http://www.wbtsystems.com>
4. Teaching-Learning of IBM Lotus Software. – Электронный ресурс: <http://www.webct.com>
5. Электронный ресурс: <http://www.openet.ru>

6. Евстифеев В.А., Черный А.П., Величко Т.В. Виртуальный комплекс для учебного процесса и научных исследований // Вісник національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск “Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005. – №45. – С. 25 – 28.

7. Родькін Д.Й., Чорний О.П., Євстифеев В.О., Перекрест А.Л., Величко Т.В. Віртуальні лабораторні комплекси для навчального процесу і наукових досліджень. Підсумки і досвід розробки // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук, 2008. – Вип. 3 (50). – Ч.1. – С. 28 –42.

8. Родькін Д.Й., Лашко Ю.В., Величко Т.В., Котлярова О.В., Булавін О.А. Віртуальний лабораторний комплекс дослідження електромеханічних систем // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №12512. 24.03.2005

9. National Instruments. – Електронний ресурс: <http://digital.ni.com>

Стаття надійшла 17.07.2009 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.