

УДК 621.31:
378.147

ШВЕДЧИКОВА І. О., ПАНАСЮК І. В.,
ДЕМІШОНКОВА С. А., СТАЦЕНКО Д. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ З ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ В УМОВАХ ЗЕЛЕНОГО ПЕРЕХОДУ

Мета. Аналіз впливу технологічних змін, які відбуваються в умовах зеленого енергетичного переходу, на освітні програми підготовки фахівців з електричної інженерії в Київському національному університеті технологій та дизайну.

Методика. Аналіз основних тенденцій розвитку енергетики та електромеханіки в сучасних умовах. Аналіз особливостей освітніх програм спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та змісту освітніх компонент за рівнями освіти в контексті зеленого енергетичного переходу.

Результати. Розроблено пакети дисциплін вільного вибору здобувача для всіх рівнів вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з акцентом на здобутті теоретичних та практичних навичок, необхідних для майбутньої діяльності за фахом в умовах швидких змін. Вдосконалено цілі освітніх програм з врахуванням тенденцій зеленого переходу. Розроблено методичні рекомендації до виконання практичних (лабораторних) робіт з акцентом на дослідженні енергетичних систем на основі відновлюваних джерел енергії та акумулюючих систем. Наведено приклад структури практичного завдання, присвяченого використанню некерованого випрямляча для вітрогенератора.

Наукова новизна. На базі імітаційного моделювання розроблено комплекс практичних робіт дослідницької спрямованості, які охоплюють розгляд комплексу питань, починаючи з генерування електроенергії відновлюваними джерелами (фотоелектричні батареї та вітрогенератори) до споживання.

Практична значимість. Розроблені в межах дисциплін вільного вибору та обов'язкових освітніх компонент практичні роботи призначені для використання під час проведення лабораторних та/або практичних занять зі здобувачами вищої освіти. Отримані під час таких занять знання та навички стануть основою для формування у здобувачів зеленого мислення, необхідного для повоєнної розбудови енергетичного сектору країни.

Ключові слова: фотоелектрична батарея; вітрогенератор; математична модель; акумуляторна батарея; управління електроспоживанням; інформаційно-комунікативні технології; зелений енергетичний перехід.

Вступ. В умовах суттєвих змін клімату на планеті, обумовлених викидами парникових газів, які утворюються від спалювання викопного палива, Європейським Союзом взятий амбітний курс на зелений перехід з кінцевою метою досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року та із заміною викопного палива на відновлювані джерела енергії (ВДЕ) до 2035 року [1]. На сьогодні майже всі країни світу стикаються з проблемою забезпечення сталого постачання енергії через сильну кореляцію між споживанням енергії та зростанням економіки [2]. Зелений перехід для України в сучасних умовах означає розвиток відновлюваної енергетики, децентралізованих систем електропостачання та перехід до моделей циклічної економіки.

В аналітичній довідці Європейського фонду освіти (ЄФО) «Skilling for the green transition» [3] відмічається, що «... зелений перехід вимагає оволодіння особливим набором умінь та навичок, які люди повинні отримати в процесі навчання на всіх рівнях освіти». Для подальшого просування зеленого переходу стає важливим «...навчання впродовж усього життя та навчання шириною в життя» [2]. Все це потребує системних змін як в освіті в цілому, так й в підготовці фахівців з електричної інженерії, вміння та навички яких мають відповідати сучасним тенденціям зеленого енергетичного переходу.

Аналіз попередніх досліджень. Існуючі публікації за проблематикою дослідження можна умовно поділити на дві групи: перша група включає публікації, в яких висвітлюється роль освіти у формуванні «зеленого» світогляду студентів, аналізуються результати їх навчання у цьому напрямку. В публікаціях другої групи досліджуються фактори «зеленого переходу», що впливають на різні аспекти освітньої діяльності.

До публікацій першої групи можуть бути віднесені роботи [4–9]. Так, в [4] акцентовано увагу на тому, що майбутні фахівці в сфері електричної інженерії в процесі навчання повинні дійти висновку, що експлуатація невідновлюваних природних ресурсів повинна поступово замінюватися використанням відновлюваних та формуванням «зелених» виробництв. В [5] наголошується, що не тільки навчання, але й розповсюдження знань з енергетичного переходу є важливою частиною інновацій в освіті. В роботі [6] відзначається, що «...впровадження сучасних професійних кваліфікацій для сталого розвитку зеленої економіки є важливим для розвитку ринку праці, створення нових робочих місць, вдосконалення системи неперервної професійної освіти, формування висококваліфікованих фахівців у галузі відновлювальних джерел енергії». Необхідність формування екологічної компетентності у майбутніх фахівців-електромеханіків в умовах швидких змін показана в [7]. Виявлено, що ця компетентність має кілька взаємозалежних компонентів: ціннісно-мотиваційний (цінності та мотивації, що впливають на здобуття екологічних знань), когнітивний (знання та розуміння екологічних процесів) та операційний (практичні навички для вирішення екологічних проблем).

В роботі [8] проведено дослідження щодо впливу навчання з питань «зеленої енергії» на групу студентів шляхом порівняння їхніх знань до та після вивчення курсу, а також оцінювання їх результативності методами математичної статистики. Встановлено, що ймовірнісний показник (Р-значення) по відношенню до «зеленої енергії» не завжди досягає рівня значущості в цьому дослідженні. Це свідчить про те, що ще існує проблема усвідомлення студентами важливості та практичності «зеленої енергії» в сучасних умовах.

В [9] досліджено роль освіти на екологічну стійкість регіонів в умовах «зеленої трансформації» економіки на прикладі Китаю. Результати дослідження виявили значний вплив освіти на скорочення викидів забруднюючих речовин. Встановлений більш виражений ефект освіти та державного втручання на екологічну поведінку людей у східних провінціях, де зосереджений більш потужний промисловий та освітній потенціал.

Таким чином, можна констатувати, що освіта дійсно відіграє значну роль у формуванні «зеленого» світогляду студентів. У той самий час для більш глибокого усвідомлення ними важливості проблеми зеленого переходу мають бути задіяні додаткові більш сучасні важелі впливу на освітню діяльність, пов'язані з розвитком сучасних технологій.

Як зазначено в [10], такі технологічні новації, як розумні електромережі, розподілені енергетичні ресурси, включаючи відновлювані джерела енергії, зокрема сонячні та вітрові електростанції, впливають на зміст освітньої діяльності майбутніх фахівців з електричної інженерії. Сучасна цифрова енергетика базується на використанні інформаційно-комунікаційних технологій, які охоплюють волоконну оптику, високошвидкісний інтернет (DSL), мобільні технології (3G, 4G, 5G). Технології блокчейну та штучного інтелекту також опановують енергетичний сектор [10]. Тому інформаційно-комунікаційні технології можна вважати одним з найважливіших факторів зеленого переходу, що впливає на освітню діяльність.

Вплив технологічних змін знаходить відображення в освітній діяльності університетів в таких напрямках [11]: розробка та модернізація освітніх програм з акцентом на сучасні екологічні потреби, потреби промисловості та регіону; оновлення навчальних курсів; впровадження нових активних студентоцентризованих методик викладання; оновлення лабораторної бази, відкриття нових сучасних лабораторій тощо. Прикладом оновлення підходів до проведення лабораторних робіт є використання так званих «Pop-Up Learning Lab»

як «...унікального освітнього середовища для розвитку наукових та дослідницьких компетенцій майбутніх фахівців в сфері енергетики...» [12]. Нові активні студентоцентровані методики викладання у галузі електричної інженерії [13] базуються на використанні проєктного підходу, який «...розглядається як спосіб досягнення цілей у вигляді практико-орієнтованих результатів, отриманих з використанням традиційних та інноваційних знань» [13].

Таким чином, аналіз існуючих публікацій показав тісний взаємообумовлений зв'язок між інноваціями зеленого переходу та освітньою діяльністю, а також необхідність формування на постійній основі у майбутніх фахівців навичок «зеленого мислення». У той самий час питання особливості підготовки фахівців в галузі електричної інженерії в умовах зеленого енергетичного переходу потребують подальшого вивчення та узагальнення.

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз впливу технологічних змін, які відбуваються в умовах зеленого енергетичного переходу, на освітні програми підготовки фахівців з електричної інженерії.

Результати дослідження. Особливості підготовки майбутніх фахівців з електричної інженерії в умовах зеленого переходу будемо розглядати на прикладі освітніх програм, розроблених у Київському національному університеті технологій та дизайну (КНУТД) на кафедрі комп'ютерної інженерії та електромеханіки. В КНУТД впроваджені освітні програми (ОП) з електричної інженерії (спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка») на всіх трьох рівнях вищої освіти: бакалаврському, магістерському та освітньо-науковому. Особливості цих ОП наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Особливості освітніх програм зі спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

Рівень/ступінь вищої освіти	Назва ОП	Особливість
Перший (бакалаврський)/ Бакалавр	Електромеханіка	Розвиває теоретичну та практичну підготовку в області проєктування, створення та обслуговування електромеханічних пристроїв і систем, а також впровадження інноваційних технологій електроенергетики, електротехніки та електромеханіки в побутовій сфері
Другий (магістерський)/ Магістр	Електропобутова техніка	Розвиває теоретичну та практичну підготовку в області проєктування, створення та обслуговування електропобутової техніки, а також впровадження інноваційних інформаційних технологій в побутовій сфері.
Третій (освітньо-науковий)/ Доктор філософії	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка	Орієнтована на сферу енергетики з відновлювальними джерелами і енергозбереження в енергетиці, електротехнологіях і електромеханіці.

ОП «Електромеханіка» та «Електропобутова техніка» розроблені з урахуванням багаторічного досвіду підготовки бакалаврів та магістрів за відповідними напрямками, тому їх можна віднести до класичних. Орієнтація цих програм на розвиток теоретичної та практичної підготовки з впровадження сучасних інноваційних технологій електроенергетики, електротехніки та електромеханіки (ОП «Електромеханіка») та інноваційних інформаційних технологій (ОП «Електропобутова техніка») робить їх актуальними в контексті зеленого переходу. ОП підготовки докторів філософії, яка розроблена та впроваджена нещодавно,

безпосередньо орієнтована на сферу зеленої енергетики. В свою чергу, в розрізі кожної з програм передбачені освітні компоненти (ОК), які формують загальні (ЗК) та/або фахові (ФК) компетентності та програмні результати навчання (ПРН), необхідні для зеленого енергетичного переходу. В табл. 2 така інформація узагальнена щодо обов'язкових ОК [14].

Таблиця 2

Освітні компоненти в контексті зеленого переходу

Назва ОП / рівень вищої освіти	Освітні компоненти (обов'язкові)	Фахові компетентності	Програмні результати навчання
Електромеханіка/ перший (бакалаврський)	ОК 18. Електричні системи та мережі. ОК 21. Комп'ютерні технології проєктування. ОК 23 Інноваційні технології електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. ОК 24 Комп'ютерні системи керування.	ФК 9. Усвідомлення необхідності підвищення ефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування. ФК 10 Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.	ПРН 4. Знати принципи роботи біоенергетичних, вітроенергетичних, гідроенергетичних та сонячних енергетичних установок. ПРН 8. Розуміти значення традиційної та відновлюваної енергетики для успішного економічного розвитку. ПРН 18. Вміти застосовувати інноваційні технології електроенергетики, електротехніки, електромеханіки.
Електропобутова техніка/другий (магістерський)	ОК 4. Інформаційні технології розумного будинку.	ЗК 3. Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій.	ПРН 13. Планувати та виконувати наукові дослідження та інноваційні проєкти в сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, включаючи електропобутову техніку.
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/третій (освітньо-науковий)	ОК 3. Інформаційно-комунікаційні технології в наукових дослідженнях. ОК 7. Електротехнічні комплекси та системи. ОК 8. Системи керування та автоматичного регулювання.	ЗК 6. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології. ФК 6. Здатність застосовувати вміння аналітичної експериментальної та асоціативної творчої роботи в генеруванні принципово нових проєктних ідей і технологій у галузі електричної інженерії, у тому числі ресурсозберігаючих та екологічно безпечних.	ПРН 2. Знати принципи реалізації сучасних структур відновлювальної енергетики та засоби досягнення енергозбереження в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці. ПРН 5. Застосовувати сучасні цифрові інформаційні системи та системи керування.

Вплив тенденцій зеленого переходу є найбільш вираженим для дисциплін вільного вибору здобувача, які обираються для «...поглиблення професійних знань в межах обраної освітньої програми та здобуття додаткових професійних компетентностей; поглиблення своїх знань та здобуття додаткових загальних і професійних компетентностей в межах спеціальності або споріднених спеціальностей і галузі знань; ознайомлення з сучасним рівнем наукових досліджень інших галузей знань та розширення або поглиблення результатів навчання за загальними компетентностями» [15].

До загальноуніверситетського каталогу дисциплін вільного вибору внесені, зокрема, такі дисципліни: «Енергозбереження та енергетичний менеджмент» – викладається на першому та другому рівнях вищої освіти [16], «Smart-системи електроспоживання та розподіленої генерації», «Відновлювані джерела енергії», «Комбіновані системи електроживлення та забезпечення якості електроенергії» – пропонуються на третьому (освітньо-науковому) рівні вищої освіти [16].

Зміст дисципліни «Енергозбереження та енергетичний менеджмент» включає тему «Використання вторинних енергетичних ресурсів та нетрадиційних джерел енергії». Зміст дисциплін вільного вибору для освітньо-наукового рівня вищої освіти повністю відповідає тенденціям зеленого переходу та складається з наступних тем:

- дисципліна «Відновлювані джерела енергії»: Тема 1. Загальні положення. Тема 2. Силкові перетворювальні пристрої в системах з поновлювальними джерелами електроенергії. Тема 3. Сонячна енергетика. Тема 4. Сонячна теплоенергетика. Тема 5. Вітроенергетика. Тема 6. Мала гідроенергетика. Тема 7. Енергетика довкілля;

- дисципліна «Комбіновані системи електроживлення та забезпечення якості електроенергії»: Тема 1. Об'єкти комбінованих систем електроживлення. Тема 2. Види та особливості відновлювальних та традиційних джерел електроенергії. Тема 3. Параметри, що визначають якість електроенергії згідно стандартам. Тема 4. Перетворювальні агрегати відновлювальних джерел енергії. Тема 5. Комбіновані системи електроживлення з накопичувачами енергії. Тема 6. Забезпечення ефективності комбінованих систем електроживлення;

- дисципліна «Smart-системи електроспоживання та розподіленої генерації»: Тема 1. Розподілена генерація та її функціональні особливості. Тема 2. Елементи систем розподіленої генерації. Тема 3. Побудова систем розподіленої генерації. Тема 4. Застосування smart-систем електроспоживання.

Тематика практичних занять дисциплін вільного вибору охоплює широке коло питань та підібрана таким чином, щоб набути навички, як проведення аналітичних розрахунків, так й моделювання в програмах MATLAB, Electronics Workbench. Так, тематика практичних завдань з дисципліни «Відновлювані джерела енергії» охоплює, зокрема, такі питання: розрахунок і дослідження некерованого випрямляча для вітрогенератору; дослідження імпульсних перетворювачів постійної напруги та автономного інвертора; розрахунок акумуляторної батареї; визначення технічних характеристик сонячної панелі; розрахунок сонячної батареї заданої потужності; вивчення принципів регулювання потужності сонячної батареї; вивчення структури сонячної електростанції великої потужності; вивчення структури автономної сонячної електростанції малої потужності; вивчення структури комбінованої системи електропостачання; вивчення характеристик вітрогенератору; вивчення структури вітрогенераторної установки великої потужності; вивчення структури автономної вітроелектростанції малої потужності; вивчення структури гідроелектростанції.

Як приклад, можна навести особливості виконання практичного завдання за темою «Розрахунок і дослідження некерованого випрямляча для вітрогенератору» з дисципліни «Відновлювані джерела енергії».

На першому етапі здобувачі ознайомлюються з розрахунковою схемою трифазного некерованого випрямляча, який використовується на виході вітрогенератору та побудований на діодах (VD1-VD6) за мостовою схемою з вихідним ємнісним фільтром C . Схема наведена на рис. 1 і містить трифазний генератор з ЕРС (E_A, E_B, E_C) і індуктивним опором вихідних фаз X_S . Далі здобувачі за вихідними даними, які надаються викладачем, здійснює розрахунок вихідного струму I_d та напруги U_d випрямляча, а також ємності C фільтру.

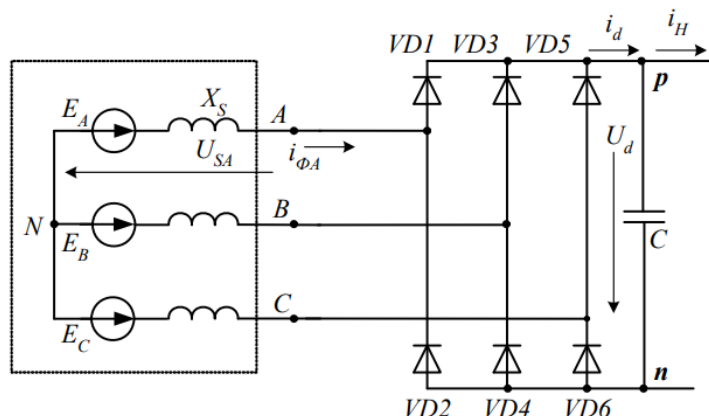


Рис. 1. Розрахункова схема випрямляча

На другому етапі здобувачами здійснюється дослідження некерованого випрямляча в програмі MATLAB з використанням шаблону моделі з розрахованими параметрами. Використовується модель спрощеної вітрогенераторної установки (рис. 2), яка містить вітротурбіну ВТ, блок завдання швидкості вітру ЗШВ, синхронний генератор СГ з постійними магнітами, випрямляч, регулятор потужності РП, імпульсний перетворювач напруги ІП, навантаження (джерело ЕРС постійного струму). Модель ВТ наведена на рис. 3 [18].

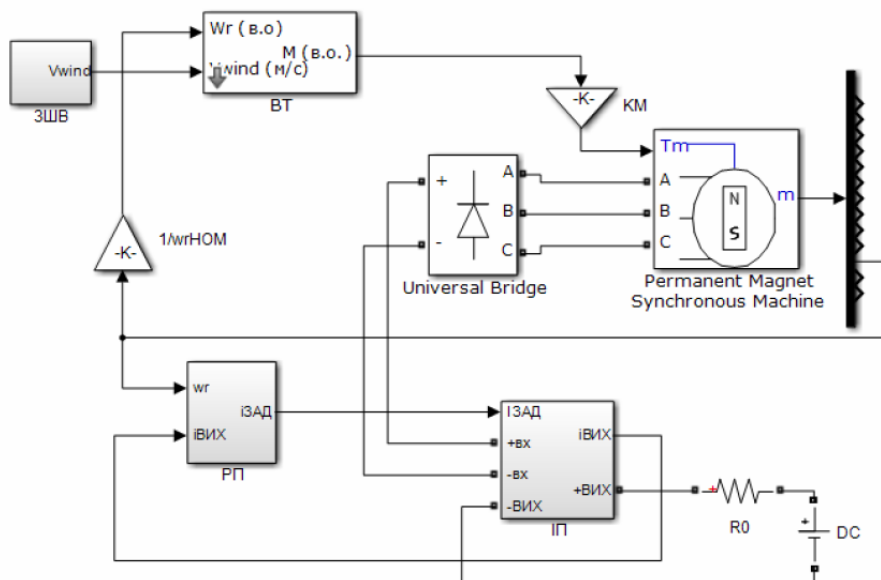


Рис. 2. Структура моделі вітрогенераторної установки

В якості моделі СГ використано стандартну модель з бібліотеки MATLAB. Вихідна напруга СГ випрямляється некерованим випрямлячем і подається на вхід імпульсного перетворювача напруги постійного струму (ІП). Оскільки швидкість обертання СГ змінюється у широких межах, таким же чином змінюється і вихідна напруга генератора. У разі

використання акумуляторної батареї (АКБ) вихідна напруга повинна підтримуватися постійною у певних межах (напруга визначається ступенем заряду АКБ), тому доречним є використання універсального ПІ, що підвищує або знижує вихідну напругу. На рис. 4 наведені осцилограми струму i_d і напруги u_d на виході випрямляча, вихідного струму установки i_B і вихідної потужності P_E .

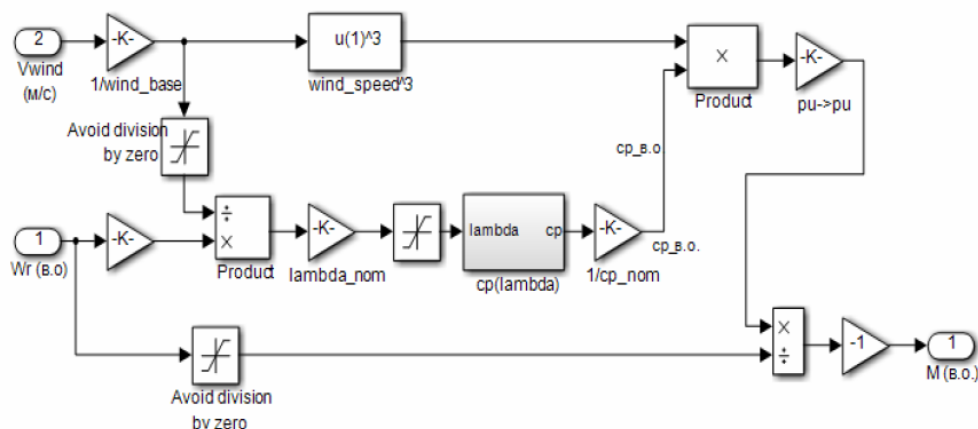


Рис. 3. Модель вітрогенератора ВТ

За результатами виконання першого та другого етапів роботи здобувачі мають здійснити порівняння отриманих при моделюванні характеристик з даними розрахунку. Також здобувачам пропонується надати письмові відповіді на питання, наприклад, такі, що стосуються знання основних показників схем випрямлячів, можливостей покращення якості вихідної напруги випрямляча, розуміння факторів, від яких залежить коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги.

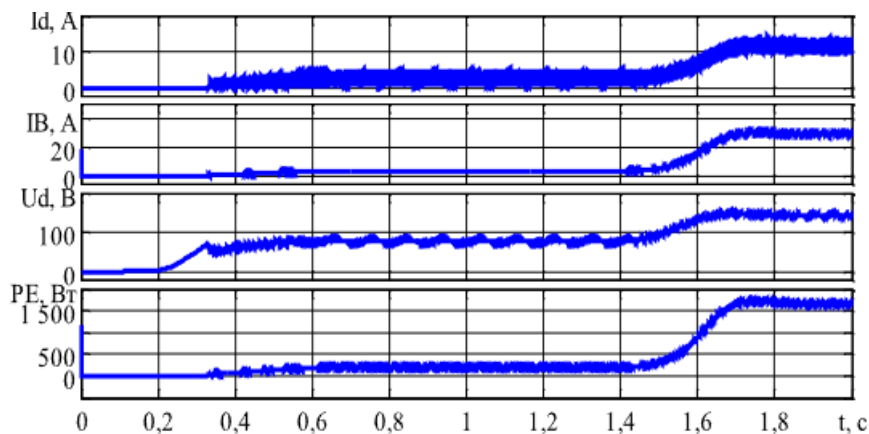


Рис. 4. Осцилограми, що характеризують роботу вітрогенераторної установки

Таким чином, під час виконання завдань дослідницької спрямованості студенти здобувають як навички проведення розрахунків, так й здійснення імітаційного моделювання з використанням сучасного програмного продукту; знайомляться з характеристиками сучасного обладнання.

Висновки. Аналіз ОП зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», впроваджених в КНУТД, показав, що особливості цих програм спрямовані на розвиток теоретичної та практичної підготовки здобувачів з врахуванням тенденцій зеленого переходу. Встановлено, що вплив зелених змін в енергетиці є найбільш вираженим для дисциплін вільного вибору здобувача. Це обумовило необхідність розробки для

вибіркових дисциплін практичних робіт дослідницької спрямованості, тематика яких охоплює широке коло питань, пов'язаних з відновлюваною енергетикою, та передбачає набуття як навичок проведення аналітичних розрахунків, так й навичок моделювання процесів за допомогою програмних продуктів.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні ефективності впровадження «зелених» вибіркових дисциплін та їх впливу на розвиток «зеленого» мислення у здобувачів вищої освіти.

References

Література

1. Kytsyuk, I., Naumenko, N., Prysyazhnyuk V. (2023). Yevropeyskyy zelenyy kurs: mozhlyvosti ta naslidky dlya ukrayinskoho biznesu [The European Green Course: opportunities and consequences for Ukrainian business]. *Ekonomika ta suspilstvo = Economics and Society*, Vol. 56. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-87> [in Ukrainian].
2. Aktar, M. A., Harun, M. B., Alam, M. M. (2020). Green Energy and Sustainable Development. In: Leal Filho, W., Azul, A., Brandli, L., Lange Salvia, A., Wall, T. (eds). *Affordable and Clean Energy*. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71057-0_47-1.
3. Melnyk, L. G., Degtyareva, I. B., Zavadovyyeva, Y. N. (2017). "Zelena" ekonomika ta tretya promyslova revolyutsiya v universytet-skiy osviti ["Green" economy and the third industrial revolution in university education]. *Proceedings of the All-Ukrainian scientific and methodological conference: Suchasnyy stan ta problemy vyshchoyi ekolohichnoyi osvity = Current state and problems of higher environmental education*, Odesa, P. 102–104 [in Ukrainian].
4. Skilling for the green transition. URL: https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2022-11/Edited%20green%20transition%20policy%20brief_EN.pdf?
5. Medved, P., Golob, U., Kamin, T. (2023). Learning and diffusion of knowledge in clean energy communities. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Vol. 46, Art. 100701. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100701>.
6. Radkevich, V. O., Kravets, S. G., Saliy, I. V., Radkevich, O. P. (2023). Suchasni profesijni kvalifikatsiyi dlya staloho rozvytku zelenoyi ekonomiky [Modern professional qualifications for the sustainable development of the green economy]. *Ekolohichni nauky = Environmental sciences*, Vol. 6 (51), P. 224–230. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.37> [in Ukrainian].
7. Soloshych, I., Shvedchykova, I., Grynyov, R., Kononets, N., Bunetska, I. (2021). Model of Formation of Ecological Competence of Future Engineers-Electromechanics. 2021
1. Кицюк І., Науменко Н., Присяжнюк В. Європейський зелений курс: можливості та наслідки для українського бізнесу. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 56. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-87>.
2. Aktar M. A., Harun M. B., Alam M. M. Green Energy and Sustainable Development. In: Leal Filho W., Azul A., Brandli L., Lange Salvia A., Wall T. (eds). *Affordable and Clean Energy*. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71057-0_47-1.
3. Мельник Л. Г., Дегтярьова І. Б., Завдовська Ю. Н. "Зелена" економіка та третя промислова революція в університетській освіті. *Сучасний стан та проблеми вищої екологічної освіти: матеріали Всеукраїнської науково-методичної конф. (м. Одеса, 2017 р.)*. Одеса, 2017. С. 102–104.
4. Skilling for the green transition. URL: https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2022-11/Edited%20green%20transition%20policy%20brief_EN.pdf?
5. Medved P., Golob U., Kamin T. Learning and diffusion of knowledge in clean energy communities. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2023. Vol. 46. Art. 100701. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100701>.
6. Радкевич В. О., Кравець С. Г., Салій І. В., Радкевич О. П. Сучасні професійні кваліфікації для сталого розвитку зеленої економіки. *Екологічні науки*. 2023. № 6 (51). С. 224–230. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.37>.
7. Soloshych I., Shvedchykova I., Grynyov R., Kononets N., Bunetska I. Model of Formation of Ecological Competence of Future Engineers-

IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, P. 1–5. DOI: 10.1109/MEES52427.2021.9598792.

8. Chen, K. H.-C. et al. (2020). The Effects of Green Energy Education on Students' Learning. In: Shen, J., Chang, Y. C., Su, Y. S., Ogata, H. (eds). *Cognitive Cities. IC3 2019. Communications in Computer and Information Science*, Vol. 1227. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6113-9_83.

9. Li, X., Ma, L., Khan, S., Zhao, X. (2023). The Role of Education and Green Innovation in Green Transition: Advancing the United Nations Agenda on Sustainable Development. *Sustainability*, Vol. 15, Art. 12410. URL: <https://doi.org/10.3390/su151612410>.

10. Zajc, M. (2022). Information Communication Technologies as Enabler of Green Transition: Education and Research Perspectives. *2022 30th Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia. DOI: 10.1109/TELFOR56187.2022.9983739.

11. Zajc, M., Mujčić, A., Tonello, A., Delić, V., Koprivica, M., Drlje, S. R. ... & Suljanović, N. (2020). ICT engineering study programs to meet modern society needs: Erasmus+ project BENEFIT. *ERK 2020*. P. 393–396. URL: <https://erk.fe.uni-lj.si/2020/ERK20.pdf>.

12. Shvedchykova, I., Burger, W., Panasiuk, I., Soloshych, I., Grynova, M. (2022). Application of Pop-Up Learning Laboratories in Electrical Engineering Distance Education. *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005771>.

13. Shvedchykova, I. O., Soloshych, I. O., Soloshych, S. (2021). Naukova proyeektna diyalnist yak peredumova formuvannya fakhovykh kompetentnostey здобувачів вищої освіти з електричної інженерії [Scientific project activity as a prerequisite for the formation of professional competences of students of higher education in electrical engineering]. *Tekhnolohiyi ta inzhynirynh = Technologies and engineering*, No. 3, P. 39–48. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.4> [in Ukrainian].

14. Instytut inzheneriyi ta informatsiynykh tekhnolohiy. Forma nadannya propozyitsiy shchodo udoskonalennya osvity proqram [Institute of Engineering and Information Technologies. The form for submitting proposals for the improvement of educational programs]. URL: <https://knuetd.edu.ua/ekts/2023/op-iiit/> [in Ukrainian].

Electromechanics. 2021 *IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 2021. P. 1–5. DOI: 10.1109/MEES52427.2021.9598792.

8. Chen K. H.-C. et al. The Effects of Green Energy Education on Students' Learning. In: Shen J., Chang Y. C., Su Y. S., Ogata H. (eds). *Cognitive Cities. IC3 2019. Communications in Computer and Information Science*. 2020. Vol. 1227. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6113-9_83.

9. Li X., Ma L., Khan S., Zhao X. The Role of Education and Green Innovation in Green Transition: Advancing the United Nations Agenda on Sustainable Development. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. Art. 12410. <https://doi.org/10.3390/su151612410>.

10. Zajc M. Information Communication Technologies as Enabler of Green Transition: Education and Research Perspectives. *2022 30th Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, 2022. DOI: 10.1109/TELFOR56187.2022.9983739.

11. Zajc M., Mujčić A., Tonello A., Delić V., Koprivica M., Drlje, S. R. ... & Suljanović N. ICT engineering study programs to meet modern society needs: Erasmus+ project BENEFIT. *ERK 2020*. P. 393–396. URL: <https://erk.fe.uni-lj.si/2020/ERK20.pdf>.

12. Shvedchykova I., Burger W., Panasiuk I., Soloshych I., Grynova M. Application of Pop-Up Learning Laboratories in Electrical Engineering Distance Education. *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*. Kremenchuk, Ukraine, 2022. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005771>.

13. Шведчикова І. О., Солошич І. О., Солошич С. Наукова проєктна діяльність як передумова формування фахових компетентностей здобувачів вищої освіти з електричної інженерії. *Технології та інжиніринг*. 2021. № 3. С. 39–48. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.4>.

14. Інститут інженерії та інформаційних технологій. Форма надання пропозицій щодо удосконалення освітніх програм. URL: <https://knuetd.edu.ua/ekts/2023/op-iiit/>

15. Polozhennya pro realizatsiyu prava na vilnyy vybir navchalnykh dystsyplin здобувачами вищої освіти у Київському національному університеті технологій та дизайну [Regulations on the exercise of the right to free choice of academic disciplines by students of higher education at the Kyiv National University of Technologies and Design]. URL: https://www.knutd.edu.ua/files/dostupdopi/Polozhennya/Polozhennya_pro_vilnij_vibir_2022.pdf [in Ukrainian].

16. Zahalnouniversytet·skyy katalog dystsyplin vilnoho vyboru здобувача вищої освіти 2023–2024 н.р. [University-wide catalog of subjects of free choice for higher education applicants 2023–2024]. URL: <https://knutd.edu.ua/ekts/dvvs/dvvs-23-24/> [in Ukrainian].

17. Katalog dystsyplin vilnoho vyboru здобувача освітнього ступеня "доктор філософії" на 2023/2024 н.р. [Catalog of subjects of free choice for the holder of the educational degree "Doctor of Philosophy" for 2023/2024]. URL: <https://knutd.edu.ua/ekts/dvvs-asp/dvvs-df-22-23/> [in Ukrainian].

18. Shavolkin, O. O. (2019). Peretvoryuvalni ahrehaty dlya kombinovanykh system elektrozhyvlennya lokalnykh ob'ektiv z ponovlyuvalnymy dzherelamy elektroenerhiyi [Conversion units for combined power supply systems of local facilities with renewable sources of electricity]. Kyiv: KNUTD. 159 p. [in Ukrainian].

15. Положення про реалізацію права на вільний вибір навчальних дисциплін здобувачами вищої освіти у Київському національному університеті технологій та дизайну. URL: https://www.knutd.edu.ua/files/dostupdopi/Polozhennya/Polozhennya_pro_vilnij_vibir_2022.pdf

16. Загальноуніверситетський каталог дисциплін вільного вибору здобувача вищої освіти 2023–2024 н.р. URL: <https://knutd.edu.ua/ekts/dvvs/dvvs-23-24/>

17. Каталог дисциплін вільного вибору здобувача освітнього ступеня "доктор філософії" на 2023/2024 н.р. URL: <https://knutd.edu.ua/ekts/dvvs-asp/dvvs-df-22-23/>

18. Шавьолкін О. О. Перетворювальні агрегати для комбінованих систем електроживлення локальних об'єктів з поновлювальними джерелами електроенергії: монографія. Київ: КНУТД, 2019. 159 с.

SHVEDCHYKOVA IRYNA

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Computer Engineering
and Electromechanics,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3005-7385>
Scopus ID: 6503887672
Researcher ID: O-2765-2018
E-mail: shvedchykova.io@knutd.edu.ua

PANASIUK IHOR

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Computer Engineering
and Electromechanics,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6671-4266>
Scopus ID: 57219251131
Researcher ID: D-4255-2017
E-mail: panasjuk@knutd.edu.ua

DEMISHONKOVA SVITLANA

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Department of Computer Engineering
and Electromechanics,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-56788114>
Scopus ID: 57219315080
E-mail: demishonkova.sa@knutd.edu.ua

DMYTRO STATSENKO

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Department of Computer Engineering
and Electromechanics,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3064-3109>
Scopus ID: 57210341005
Researcher ID: C-3644-2017
E-mail: statsenko.dv@knutd.com.ua

SHVEDCHYKOVA I. O., PANASIUK I. V., DEMISHONKOVA S. A., STATSENKO D. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

FEATURES OF THE TRAINING OF FUTURE SPECIALISTS IN ELECTRICAL ENGINEERING IN THE CONDITIONS OF THE GREEN TRANSITION

Purpose. Analysis of the impact of technological changes occurring in the conditions of the green energy transition on the educational programs of training specialists in electrical engineering at the Kyiv National University of Technologies and Design.

Methodology. Analysis of the main trends in the development of energy and electromechanics in modern conditions. Analysis of the features of the educational programs of the speciality 141 "Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics" and the content of educational components by education levels in the context of the green energy transition.

Findings. Packages of disciplines of the student's free choice have been developed for all levels of higher education in the speciality 141 "Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics" with an emphasis on acquiring theoretical and practical skills necessary for future work in the profession in conditions of rapid changes. The goals of educational programs have been improved, taking into account the trends of the green transition. Methodological recommendations for the performance of practical (laboratory) work with an emphasis on the study of energy systems based on renewable energy sources and energy storage systems have been developed. An example of the structure of a practical work devoted to the use of an uncontrolled rectifier for a wind generator is provided.

Originality. Based on simulation modeling, a complex of research-oriented practical works has been developed, which cover the consideration of a complex of issues, starting from the generation of electricity by renewable energy sources (photoelectric batteries and wind generators) to consumption.

Practical value. Practical works developed within the disciplines of free choice and mandatory educational components are intended for use during laboratory and/or practical classes with students of higher education. The knowledge and skills acquired during such classes will become the basis for the formation of green thinking among the students, necessary for the post-war development of the country's energy sector.

Keywords: photovoltaic battery; wind generator; mathematical model; storage battery; power consumption management; information and communication technologies; green energy transition.