

РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНОГО СТЕНДА НА БАЗІ ШАФИ МКН1063 ДЛЯ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ З ЕЛЕКТРОМОНТАЖУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

А. О. Дудник, кандидат технічних наук, доцент

В. О. Грищенко, кандидат технічних наук, доцент

В. В. Ликтей, кандидат технічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

С. В. Половко, викладач вищої категорії

Київський електромеханічний фаховий коледж

О. М. Карлова, викладач вищої категорії

Київський енергетичний фаховий коледж

E-mail: dudnikalla@nubip.edu.ua

Анотація. Представлено результати дослідження, спрямованого на розв'язання проблеми недостатнього рівня практичної підготовки студентів електротехнічних спеціальностей у частині монтажу, налагодження та експлуатації електротехнічного обладнання. Аналіз виробничої практики, проведеної на підприємстві ТОВ «СічЕнерго», засвідчив, що значна частина студентів не володіє необхідними компетентностями для роботи з шафовим електрообладнанням. Зокрема, було виявлено труднощі під час монтажних робіт в умовах обмеженого простору електричних шаф, недостатні навички прокладання кабельних трас, встановлення модульного обладнання на DIN-рейки, виконання комутаційних операцій, підключення автоматичних вимикачів, реле, контакторів, ПЛК та іншої апаратури. Окремою методичною проблемою стала неможливість організувати групове навчання безпосередньо біля реальних працюючих шаф через обмежений доступ до робочої зони. Огляд сучасних досліджень у галузі професійної підготовки інженерів показав, що, попри розвиток VR/AR-технологій, цифрові тренажери не можуть повністю замінити фізичні монтажні стенди. Віртуальні інструменти ефективні для візуалізації та ознайомлення з принципами побудови систем, однак виявлення й усунення дефектів кабельних з'єднань, правильне використання інструменту, організація монтажного простору та виконання операцій у реальних умовах потребують роботи з реальними компонентами. Таким чином, оптимальною моделлю підготовки є поєднання цифрових технологій з фізичними конструкціями, які здатні моделювати виробниче середовище з високою точністю. Для вирішення зазначеної проблеми було розроблено універсальний навчальний монтажний стенд на основі промислової електричної шафи МКН1063. Конструкція стенда включає типові елементи електромонтажу, програмовані логічні контролери, модульні реле, автоматичні вимикачі, модулі зв'язку та інше обладнання, що дозволяє відпрацьовувати як базові, так і розширені навчальні сценарії, наближені до сучасних вимог виробництва, зокрема Smart Grid та IoT-

інфраструктури. Стенд оснащено прозорими боковими стінками, що забезпечують можливість одночасного спостереження всією групою за процесом монтажу, аналізу техніки виконання та виправлення помилок. Ключовою інновацією стенда є можливість виконання монтажу спочатку на горизонтально розташованій панелі, а потім – на її вертикальній установці всередині шафи. Такий підхід дозволяє точно відтворити реальні виробничі умови, відпрацювати повний цикл монтажних операцій та сформувані компетентності, необхідні для роботи з шафовим обладнанням. Модульна компоновка забезпечує гнучкість у конфігурації навчальних завдань, включно з демонтажем, діагностикою несправностей і відпрацюванням ремонтних операцій. Результати апробації показали зростання точності виконання монтажних операцій, покращення навичок командної роботи та підвищення рівня дотримання вимог електробезпеки.

Ключові слова: монтаж електротехнічного обладнання, шафа керування, панель, стенд

Актуальність. Важливим аспектом сучасної інженерної освіти є розвиток практичних компетенцій студентів у сфері монтажу, налагодження та використання електрообладнання. Рівень підготовки молодих фахівців має відповідати вимогам промислових підприємств, що займаються впровадженням інтелектуальних систем керування, цифрових підстанцій та модульних електротехнічних рішень.

Під час проходження виробничої практики в ТОВ «СічЕнерго» було виявлено, що більшість стажерів не мали компетенцій для встановлення електрообладнання всередині реальних електрошаф. Це виявило необхідність оновлення навчально-матеріальної та технічної бази як в навчальних закладах, так і на базі практичного навчання.

У процесі практики було помічено, що студенти не мають значного досвіду в:

- прокладанні кабельно-провідникової продукції в обмеженому просторі,
- монтажі та демонтажі модульного обладнання на DIN-рейці,
- підключення автоматичних вимикачів, реле, контакторів, ПЛК та допоміжного обладнання, аналізу реальної компоновки електричних шаф і схем їх з'єднань.

Основною методологічною проблемою було те, що одночасно біля електрошафи міг працювати лише один фахівець. Ні решта студентів, ні керівник практики не мали фізичної можливості одночасно спостерігати за процесом, щоб аналізувати помилки та надавати пропозиції. Це дуже ускладнювало навчання та

знижувало ефективність практичного навчання та призводило до нерівномірного розвитку компетенцій у стажерів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Систематичний огляд Девіда Во та ін. (2025), висвітлений у [1], містить нагальний заклик до систематизації зусиль щодо будь-яких втручань, спрямованих на підвищення компетентності інженерів-електриків, та навчальних середовищ, які певною мірою відображають реальні виробничі умови. Таким чином, з їхніх зауважень зрозуміло, що відсутність можливості працювати з реальним обладнанням під час навчання суттєво знижує практичну підготовку.

Сучасні дослідження також демонструють бурхливу еволюцію цифрових освітніх інструментів. Зокрема, Ганс Стефан та ін. (2024) у [2] оцінюють ефективність використання VR-технологій в освіті інженерів-електриків, наголошуючи, що середовище моделювання має благотворний вплив на набуття навичок та розуміння правил електробезпеки. Однак автори звертають увагу, що віртуальна реальність не може повністю замінити роботу з реальними електромонтажними компонентами та потребує поєднання з традиційними практичними тренажерами. Питання того, як зробити навчання роботі з технічними системами більш зрозумілим і «легкозасвоюваним», активно піднімають і інші дослідники. Наприклад, у роботах Dedy Ariansyah та колег (2024) показано, що доповнена реальність реально підсилює сприйняття матеріалу, особливо коли йдеться про складні чи критично важливі операції. До критично важливих операцій при електромонтажі відноситься затискання дротів в клемних зборках, якість якого неможливо оцінити у віртуальному середовищі. Тому автори прямо радять поєднувати AR із реальними стендами та робочими ситуаціями — і саме це дає найкращий ефект.

Ще одна цікава тенденція — рух у бік створення відкритих, масштабованих і доступних лабораторних середовищ, оскільки питання вартості спорядження в енергетиці та автоматичі залишається актуальним. Camille Lavaussière та співавтори (2022) описують платформу **Laborem Box**, яка дозволяє робити віддалені лабораторні роботи з електроніки. Їхній досвід показує: модульні й гнучкі системи

відкривають студентам доступ до практики навіть при обмежених ресурсах. Обмеженість ресурсів є серйозною проблемою при навчанні електромотажу. Так, при експлуатації навчальних матеріалів, особливо з монолітними електричними дротами малих перетинів завжди є висока вірогідність їх виходу з лад – механічна поломка. Навчання видалення ізоляції з дротів при монтажі взагалі потребує певного обсягу розхідних матеріалів різної номенклатури. У випадку модульних конструкцій підтримання навчальної бази у працездатному стані полегшується.

Усі ці напрацювання добре показують: сучасне інженерне навчання рухається в бік комбінації цифрових технологій, симуляторів і реальних монтажних тренажерів. І хоч VR/AR-інструменти активно розвиваються, дослідники постійно наголошують: справжні фізичні стенди альтернатив не мають. Саме вони дають можливість реально попрацювати з електромотажними елементами й отримати навички, потрібні на виробництві. Це повністю збігається з тим, що під час практики було зафіксовано, що коли доступ студентів до роботи в реальних електрошахтах обмежений, сформувати повноцінні професійні компетентності просто неможливо. Так, завдяки різним фізичним кондиціям слухачів було відмічене як недостатньо затиснені дроти в клемних зборках так і їх деформацію обумовлену надлишковими зусиллями, при якій зірвалася різьба на гвинтах. Особливо це відмічалось при роботі слухачів саме в електричних шафах де був обмежений простір для монтажника.

Мета дослідження – створення навчального монтажного стенда, який би моделював конструкцію реальної електричної шафи, забезпечуючи можливість одночасного навчання групи студентів в 3-5 чоловік та дозволяв викладачеві ефективно контролювати процес виконання монтажних операцій.

Матеріали та методи дослідження. Вибір конструкції навчального монтажного стенда був здійснений на основі детального аналізу виробничих потреб та освітніх вимог і став результатом співпраці працівників компанії «СічЕнерго» та викладачів ННІ Енергетики, автоматики і енергозбереження НУБіП України, які здійснюють підготовку студентів за дисциплінами, пов'язаними з монтажем

електрообладнання. До розробки також долучились фахівці з Київського електромеханічного фахового та Київського енергетичного фахового коледжів.

Такий підхід був обумовлений необхідністю забезпечення відповідності компетенцій слухачів виробничими стандартами, дозволяючи відтворити умови промислових електричних шаф для потреб групової практики. Реальні кадрові та економічні умови сьогодення не дозволили прикріпити безпосередньо до кожного практиканта досвідченого фахівця із співробітників підприємства.

За рекомендаціями підприємства, було обрано шафу МКН1063, яка є однією з найбільш поширених у сучасних проєктах, згідно номенклатури замовлень компанії. Шафи МКН1063 мають габарити 1000×600×300 мм, що робить їх оптимальними для комплектації відкритих розподільчих пристроїв електропідстанцій різного рівня. Слід відзначити, що компанія виробляє велику номенклатуру виробів і є досить популярні у споживачів моделі електрошаф кратно менших габаритів. Проте менші шафи виявились істотно гіршими щодо навчальних потреб, оскільки не було можливості в них розміщувати електричні компоненти в декілька рядів із відповідною кабельною інфраструктурою.

Таке рішення створене на базі МКН1063 має дозволити студентам отримувати практичні навички на обладнанні, яке активно використовується у промислових умовах. Особливо це актуально в умовах зростаючого попиту на реконструкцію електропідстанцій після руйнувань внаслідок війни, оскільки крім монтажу фахівці мають набути компетенції стосовно ремонту із монтажем та демонтажем елементів в робочих шафах.

Стенд МКН1063 було оснащено базовими електричними компонентами — автоматичними вимикачами, реле, контакторами та клемми з додатковою номенклатурою засобів автоматизації а саме програмно-логічними контролерами (ПЛК), програмованими реле та індикаторами стану. Окремо варто підкреслити монтаж пристроїв дистанційного керування, які функціонують через мережу мобільного зв'язку. Для їх монтажу було потрібно виконати отвори в конструкції шаф із засобами герметизації та працювати із коаксіальними кабелями, які

вимагають особливих компетенцій. Це дає змогу відтворювати актуальні сценарії обладнання для Smart Grid та IoT-системи.

З точки зору схем компоновки, стенд відтворює типові розташування компонентів у виробничих шафах. Стенд складається з 2-х частин а саме монтажна панель для розміщення елементів та металевий корпус. На монтажній панелі виконані технологічні отвори для кріплення DIN рейки тощо. На корпусі є місця для розташування монтажної панелі та технологічні заглушки. Зокрема, виведення антен здійснювалось саме через заглушку, яка кріпиться на болтових з'єднаннях. Для навчальних потреб компанією було виготовлено запас заглушок, які йшли в комплекті навчального стенду, саме для практичної підготовки студентів. При практичному навчанні було виявлено, що при роботі з монтажною панеллю розташованій горизонтально на верстаті проблем із виконанням операцій не виникало і студенти засвоїли їх впродовж кількох годин. При монтажі в шафі і підключення дротів також було швидко засвоєно студентами, проте при потребі заміни окремих елементів без загального демонтажу виявились суттєві складнощі. Для надання консультацій було запропоновано використати спеціальні прозорі бокові панелі. Завдяки цьому вдалось забезпечити зручний огляд для групи студентів дозволяючи викладачу/майстру підприємства одночасно контролювати процес та консультувати учасників.

Навчальні сценарії включають:

- Групові роботи, що дозволяють одночасно задіяти 3–5 студентів навколо стенда для виконання різних етапів монтажу та налаштування обладнання.
- Діагностика та усунення несправностей, у тому числі і “під напругою”. Для забезпечення електробезпеки замість напруги в 220 В використовували знижену напругу 12 В і спеціальні індикаторні пристрої, придатні для таких напруг.
- Інтерактивні демонстрації викладачем підключення ПЛК, програмованих реле та інших елементів системи автоматизації. Оскільки такі елементи використовують як правило напругу в 220В такі елементи для забезпечення електробезпеки встановлювались за прозорим екраном.

Результати досліджень та їх обговорення.

У рамках проєкту було успішно завершено розробку навчального стенда, призначеного для інтенсивної підготовки фахівців з електромонтажних робіт.

Конструктивні та ергономічні характеристики

Створений стенд (рис. 1) розроблено на базі шафи МКН1063 вирізняється низкою конструктивних переваг, спрямованих на максимізацію ефективності навчального процесу.

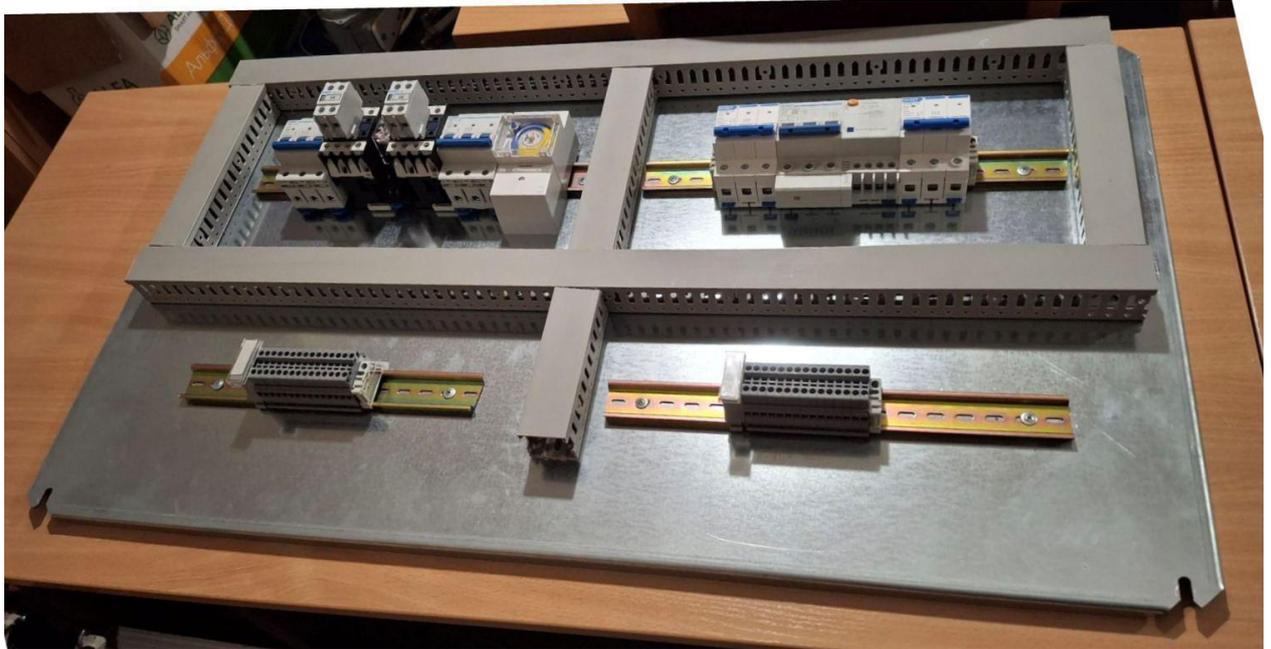


Рис. 1. Стенд для відпрацювання електромонтажу на базі шафи МКН1063

Ключовою особливістю є гнучкість монтажних операцій, яка дозволяє відпрацьовувати дві основні схеми роботи:

- **Монтаж на панель:** студенти виконують монтаж обладнання на плиті, яка розташована горизонтально на верстаті.
- **Безпосередній монтаж у шафі:** Після завершення монтажу на плиті, вона встановлюється вертикально у шафу, що імітує реальні умови кінцевого складання електрощитового обладнання на виробництві. Для перевірки до клемної зборки шафи підключається зовнішнє живлення. Подання напруги здійснюється або викладачем або наставником підприємства після здійснення ним перевірки монтажу.

Завдяки прозорим боковим стінкам значно збільшено зону огляду, що є критично важливим для групових занять, оскільки при подачі напруги наставник

перебуває між електричною шафою та учнями. Організоване освітлення робочої зони дозволяє викладачеві демонструвати та студентам візуально спостерігати найменші й найтонші монтажні операції. Застосована модульна компоновка забезпечує високу гнучкість: конфігурація стенда легко змінюється відповідно до типу занять, що проводиться. Ергономіка стенда дозволяє одночасну роботу 3–5 студентів, а відкритий доступ до робочих поверхонь спрощує демонстрацію, надання консультацій та контроль з боку викладача.

Розроблений стенд володіє широким функціоналом, що дозволяє не лише відпрацьовувати базові навички, але й адаптувати студентів до сучасних виробничих умов. Зокрема, стенд забезпечує можливість виконання повного циклу електромонтажних робіт, починаючи від прокладання багатожильного чи монолітного кабелю як безпосередньо, так і з виконанням його закріплення. Додатково є можливість відпрацювання операцій з демонтажу частин обладнання без демонтажу монтажної плити, що є обов'язковою компетенцією для інженерів спеціальностей G3 та G7. Крім того, стенд дозволяє працювати з програмованими логічними контролерами (ПЛК) при їх монтажу на DIN рейки та іншим сучасним обладнанням автоматизації безпосередньо в шафі, оскільки програмування ПЛК на практиці здійснюється інженером "по місцю" після інсталяції його монтажниками. Також є можливим підключення ПЛК в інформаційну мережу з використанням сучасних технологій "витої пари", що є перевагою саме цього стенду. Тому стенд є ефективним інструментом для тренування навичок діагностики та пошуку несправностей, а також для проведення повноцінних лабораторних занять для фахівців спеціальності G3 та G7.

Впровадження цього стенда в освітній процес забезпечує відповідну підготовку фахівців. Додатково спостерігається зростання швидкості та точності виконання монтажних операцій, а також підвищення безпекового рівня виконання робіт. Можливість одночасного спостереження й аналізу дій виконавця всією групою забезпечує ефект взаємо навчання. Отже, використання стенда забезпечує кращу адаптацію випускників до реальних умов виробництва щодо електромонтажу, скорочуючи період їхньої професійної адаптації на підприємствах.

Висновки і перспективи.

1. Під час практики в ТОВ «СічЕнерго» було виявлено суттєві прогалини у практичній підготовці студентів щодо монтажу електрообладнання, обумовлені недостатнім урахуванням специфіки виробництва.
2. Одночасне масове навчання виявилось нездійсненим при роботах безпосередньо в електричних шафах розміщених вертикально.
3. Розроблений навчальний стенд на базі шафи МКН1063 забезпечує можливість ефективного формування монтажних компетенцій.

References

1. Waugh, D., Newnam, S., & Rodwell, D. (2025). Systematic review of electrical worker competency interventions: A systems-thinking perspective. *Applied Ergonomics*, 129, 104600. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2025.104600>
2. Stefan, H., Mortimer, M., Horan, B., & McMillan, S. (2024). How effective is virtual reality for electrical safety training? Evaluating trainees' reactions, learning, and training duration. *Journal of Safety Research*, 90, 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.06.002>
3. Ariansyah, D., Pardamean, B., Barbaro, E., & Erkoyuncu, J. A. (2024). Augmented reality training for improved learnability. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 48, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.11.003>
4. Lavayssière, C., Larroque, B., & Luthon, F. (2022). Laborem Box: A scalable and open source platform to design remote lab experiments in electronics. *HardwareX*, 11, e00301. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00301>

DEVELOPMENT OF A TRAINING STAND BASED ON THE MKN1063 CABINET FOR THE PRACTICAL PREPARATION OF STUDENTS IN ELECTRICAL INSTALLATION AND AUTOMATION

A. Dudnik, V. Hryshchenko, V. Liktey, S. Polovko, O. Karlova

Abstract. *The article presents the results of a study aimed at addressing the problem of insufficient practical training of students in electrical engineering specialties in the areas of installation, commissioning, and operation of electrical equipment. An analysis of the industrial internship conducted at the company LLC "SichEnergo" revealed that a significant portion of students lack the necessary competencies to work with cabinet electrical equipment. In particular, difficulties were identified during installation work in the confined spaces of electrical cabinets, insufficient skills in cable routing, installation of modular equipment on DIN rails, execution of switching operations, and connection of circuit breakers, relays, contactors, PLCs, and other apparatus. A separate methodological issue was the impossibility of organizing group training directly at real, operating cabinets due to limited access to the working area. A review of current research in the field of engineering education showed that, despite the development of VR/AR*

technologies, digital simulators cannot fully replace physical installation stands. Virtual tools are effective for visualizing and familiarizing students with system construction principles; however, detecting and correcting cable connection defects, proper use of tools, organizing the installation space, and performing operations in real conditions require hands-on work with actual components. Therefore, the optimal training model is a combination of digital technologies and physical constructions that can accurately simulate the production environment. To address this issue, a universal training installation stand was developed based on the industrial MKN1063 electrical cabinet. The stand's design includes typical electrical installation components, programmable logic controllers, modular relays, circuit breakers, communication modules, and other equipment, allowing students to practice both basic and advanced training scenarios aligned with modern production requirements, including Smart Grid and IoT infrastructure. The stand is equipped with transparent side panels, enabling the entire group to simultaneously observe the installation process, analyze execution techniques, and correct errors. A key innovation of the stand is the ability to perform installation first on a horizontally placed panel and then on its vertical placement inside the cabinet. This approach allows for accurate replication of real production conditions, practice of the full installation cycle, and development of competencies required for working with cabinet equipment. The modular layout provides flexibility in configuring training tasks, including disassembly, troubleshooting, and maintenance operations. Results of the trial implementation demonstrated increased accuracy in performing installation tasks, improved teamwork skills, and higher compliance with electrical safety requirements.

Key words: *installation of electrical equipment, control cabinet, panel, stand*