

## РОЗДІЛ І. ПРОБЛЕМИ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ПЕДАГОГІКИ

УДК 378:61:62-052(4ЄС)

Микола Авеніров

Незалежний дослідник

ORCID ID 0009-0008-1618-2888

DOI 10.24139/2312-5993/2025.04/003-017

### СУЧАСНИЙ СТАН ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

*У статті висвітлено сучасний стан професійної підготовки фахівців у галузі біомедичної інженерії в закладах вищої освіти країн Європейського Союзу на прикладі Польщі та Німеччини. Окреслено особливості реалізації проекту BIOMEDEA, у межах якого було розроблено рекомендації та настанови, що стали каталізатором створення нових освітніх програм і трансформації структур вищої освіти. Доведено, що досвід Польщі та Німеччини демонструє успішну імплементацію моделей професійної підготовки фахівців у галузі біомедичної інженерії у структурі Болонського процесу. Показано, що Польща зберігає традиції інженерної освіти в біомедичній сфері, вдало інтегруючи сучасні стандарти ENEA. Німеччина активно проводить освітні реформи, що підвищують прозорість, якість та мобільність, а університетські мережі й програми підсилюють академічну співпрацю й міжнародне визнання.*

**Ключові слова:** вища освіта, професійна підготовка, біомедична інженерія, фахівці в галузі біомедичної інженерії, країни Європейського Союзу.

**Постановка проблеми.** Сучасний етап розвитку науки й техніки характеризується активним упровадженням інноваційних технологій у сферу охорони здоров'я, що зумовлює зростання ролі біомедичної інженерії як міждисциплінарної галузі знань. Біомедична інженерія поєднує інженерні, медичні, біологічні та інформаційні компоненти, створюючи підґрунтя для розроблення та використання високотехнологічних медичних приладів, систем діагностики, терапії та реабілітації. Ця галузь характеризується надзвичайно інтенсивними темпами розвитку, що зумовлює глибинні трансформації у сфері медицини та охорони здоров'я, у результаті яких біомедична інженерія набула рис високоспеціалізованого технологічного напрямку, що виконує ключову функцію в забезпеченні безпечних умов надання медичної допомоги.

Водночас, в умовах стрімкої цифровізації медицини, поширення телемедичних сервісів, застосування штучного інтелекту для медичної візуалізації та прогнозування перебігу хвороб актуалізується потреба у фахівцях нового покоління, здатних працювати на стику інженерії та

медицини в усьому світі, зокрема й в Україні. Варто наголосити, що невід'ємною складовою якості професійної підготовки фахівців у галузі біомедичної інженерії в закладах вищої освіти в Україні є врахування інноваційного досвіду іноземних закладів вищої освіти. В умовах європейської інтеграції України доцільним є вивчення саме досвіду країн Європейського Союзу, що мають взірцеві практики та інноваційний досвід підготовки таких фахівців, які можуть бути адаптовані на національному ґрунті з урахуванням чинних державних норм.

**Аналіз актуальних досліджень.** Початок ХХІ ст. ознаменувався активізацією досліджень з означеної проблематики в усьому світі. Не стала винятком і Україна, де різним аспектам професійної підготовки фахівців у галузі біомедичної інженерії в закладах вищої освіти було приділено увагу таких українських науковців, як О. Галкін (розвиток освіти з біомедичної інженерії в Україні крізь призму світового досвіду), В. Максименко, О. Білошицька, Г. Овчаренко, К. Юр'єва (актуальні завдання біомедичної інженерії в Україні), К. Посохова (перспективи застосування VR та AR навчання в підготовці біомедичних інженерів), В. Яценко (концептуальні засади розвитку освітнього напрямку «Біомедична інженерія в Україні») та ін. Водночас можемо констатувати відсутність ґрунтовних наукових розвідок, присвячених вивченню питання професійної підготовки фахівців у галузі біомедичної інженерії в закладах вищої освіти країн Європейського Союзу.

Тому **метою нашої статті** є висвітлення сучасного стану професійної підготовки фахівців у галузі біомедичної інженерії в закладах вищої освіти країн Європейського Союзу.

Досягнення мети передбачало використання низки **методів дослідження**: загальнонаукових – аналіз, синтез, узагальнення, систематизація, порівняння – для опрацювання наукової літератури з проблем професійної підготовки фахівців у галузі біомедичної інженерії в закладах вищої освіти країн Європейського Союзу; конкретно наукові: системний аналіз, що уможливив установлення взаємозв'язків між елементами системи професійної підготовки фахівців у галузі біомедичної інженерії в закладах вищої освіти країн Європейського Союзу як цілісного феномену; термінологічний аналіз – дозволив установити сутнісні ознаки основоположних понять наукової розвідки.

**Виклад основного матеріалу.** У сучасному контексті біомедична інженерія (ВМЕ) розглядається не лише як міждисциплінарний підхід до комплексних біомедичних та інженерних завдань, але і як

самостійна наукова дисципліна зі специфічними методологічними засадами. Розвиток біомедичної інженерії виступає важливим чинником промислової диверсифікації та має значний потенціал у ролі каталізатора для формування нових секторів економіки й виникнення інноваційних стартапів (Pallikarakis, 2022).

Ці тенденції тісно узгоджуються з політичними ініціативами, спрямованими на побудову «Європи знань» як провідного конкурентоспроможного економічного регіону. Реалізація цього завдання відбувається шляхом формування Європейського дослідницького простору та впровадження положень Болонського процесу, орієнтованого на створення Європейського простору вищої освіти через гармонізацію й забезпечення високих стандартів якості освітніх систем у масштабах єдиного освітнього простору. Цей процес передбачає гармонізацію навчальних програм, установлення мінімальних кваліфікаційних вимог, а також розробку критеріїв ефективного контролю якості освіти, професійної підготовки, безперервного навчання та сертифікації.

У межах реалізації зазначених завдань у 2004 році було започатковано проєкт BIOMEDEA, ключовими документами якого стали: «Критерії акредитації програм з біомедичної інженерії в Європі»; «Протокол підготовки клінічних інженерів у Європі»; «Протокол безперервної освіти біомедичних/клінічних інженерів у Європі»; «Протокол міжнародно визнаної системи сертифікації та реєстру клінічних інженерів»; «Статус-звіти про освіту в галузі біомедичної інженерії в Європі». Провідним завданням проєкту стало досягнення консенсусу щодо підходів до освіти у сфері біомедичної та клінічної інженерії, розроблення нормативних документів з акредитації освітніх програм, підготовки та сертифікації фахівців, що працюють у системах охорони здоров'я. Реалізація цих цілей відбувається переважно шляхом проведення робочих семінарів, які об'єднують представників усіх зацікавлених сторін (Nagel, Slaaf, Barbenel, 2007).

Основна мета BIOMEDEA полягає у сприянні створенню Європейського простору вищої освіти в галузі біомедичної інженерії. Це передбачає розвиток університетської освіти, підвищення якості підготовки здобувачів, забезпечення їх академічної та професійної мобільності, удосконалення систем охорони здоров'я та, зрештою, зміцнення суспільного добробуту громадян Європи.

Проект BIOMEDEA є переважно європейською ініціативою, до якої наразі долучено понад 80 університетів та інших академічних установ. Водночас до співпраці поступово залучаються партнерські заклади з Північної та Південної Америки, а також Азії. Координацію діяльності здійснює Інститут біомедичної інженерії Штутгартського університету. Ініціатива має підтримку численних національних і міжнародних товариств з біомедичної інженерії та інших організацій, серед яких і Всесвітня організація охорони здоров'я.

Університети-учасники регулярно надають оновлену інформацію про свої освітні програми з біомедичної інженерії. Зібрані дані використовуються в межах BIOMEDEA для формування європейського довідника, що сприяє академічній мобільності студентів і викладачів. Крім того, усі європейські товариства з біомедичної інженерії готують і систематично оновлюють звіти про стан розвитку галузі у своїх країнах, охоплюючи питання освіти та правового регулювання (Nagel, Slaaf, Barbenel, 2007).

Розвиток біомедичної інженерії за останні п'ять десятиліть продемонстрував надзвичайно успішну динаміку, що значно розширила межі цієї міждисциплінарної наукової, інженерної та медичної сфери. Водночас жоден європейський університет не має достатніх ресурсів для охоплення всього спектра дослідницьких напрямів і освітніх програм у цій галузі. У зв'язку з цим важливим завданням є створення умов, за яких кожен здобувач вищої освіти в будь-якому європейському університеті матиме можливість обирати будь-який напрям біомедичної інженерії як спеціалізацію. Саме тому академічна мобільність та взаємне визнання здобутих результатів навчання визначено двома ключовими пріоритетами реалізації проекту (Pallikarakis, 2022).

Можливість вільного вибору дисциплін у межах численних спеціалізацій біомедичної інженерії може бути забезпечена не лише шляхом академічної мобільності, але й завдяки використанню онлайн-курсів, доступних як у Європі, так і поза її межами. З цією метою проект BIOMEDEA налагодив співпрацю з Європейським віртуальним кампусом з біомедичної інженерії (EVICAB).

Платформа EVICAB створена для надання здобувачам вищої освіти країн Європейського Союзу та інших країн доступу до освітніх програм з біомедичної інженерії. Вона включає лекційні курси, які читають провідні міжнародні науковці та викладачі, пропонуючи

матеріали в різних форматах та супроводжуючи їх навчально-методичним забезпеченням. Важливим є те, що курси визнаються багатьма університетами Європи, а участь у програмі є безкоштовною.

Ключовою метою проєкту BIOMEDEA є створення Європейського простору вищої освіти з удосконаленими механізмами забезпечення якості, зокрема шляхом акредитації освітніх програм та сертифікації клінічних інженерів. Реалізація цього завдання спрямована на забезпечення транснаціональної мобільності у сфері освіти, професійної підготовки та працевлаштування. Виконання запропонованих заходів дозволить:

- сприяти мобільності у сфері освіти та ринку праці;
- підвищити конкурентоспроможність європейської біомедичної індустрії;
- гарантувати належний рівень безпеки пацієнтів;
- сприяти зміцненню здоров'я та добробуту громадян Європи.

Паралельно з гармонізацією освітніх стандартів відбувається розробка нових міжнародних програм, які разом з іншими ініціативами у сфері біомедичної інженерії стають доступними здобувачам вищої освіти і викладачам через вебпортал EAMBES. Це сприяє розширенню академічної мобільності та забезпечує можливість індивідуального планування освітніх траєкторій у межах різних університетів Європи. У такий спосіб проєкт поєднує потреби й запити молодшої, динамічно зростаючої академічної спільноти з інтересами європейських академічних установ та професійних товариств, зацікавлених у підготовці висококваліфікованих фахівців із біомедичної інженерії (Nagel, Slaaf, Varbenel, 2007).

Інноваційність підходу полягає в інтеграції всіх ключових складових багатогалузевої та міждисциплінарної системи підготовки фахівців із біомедичної інженерії, включно з університетами, науковими та професійними товариствами, представниками промисловості та експертною спільнотою. Така інтеграція дозволяє досягти консенсусу з принципових питань та сформуванню єдиного стратегічного напрямку розвитку галузі.

Серед основних результатів реалізації проєкту можна виокремити:

- розроблення рекомендацій та методичних настанов щодо компетентностей, які мають бути сформовані у здобувачів освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів;

- визначення критеріїв для акредитації освітніх програм з біомедичної інженерії;
- підготовку протоколів щодо навчання, сертифікації та безперервної освіти клінічних інженерів;
- створення міжнародно визнаної системи сертифікації клінічних інженерів і відповідного реєстру;
- публікацію аналітичних звітів про стан освіти у сфері біомедичної інженерії в більшості європейських країн;
- формування довідника освітніх програм, що містить детальну інформацію про національні та міжнародні освітні ініціативи у сфері MBES в Європі.

Рекомендації та настанови ґрунтуються на загальноєвропейському консенсусі щодо таких положень:

- базова освітня програма бакалаврату з біомедичної інженерії, яка визначає ключові теми, обов'язкові для засвоєння всіма здобувачами ВМЕ, окреслює основні напрями спеціалізації та критично важливі навички, якими має володіти випускник;
- освітня програма магістерського рівня, що відображає інтелектуальні засади розвитку галузі, інтегрує інженерні науки та сучасну біологію, розкриває можливості застосування інженерних підходів у клінічній практиці, а також формує комплекс професійних компетентностей, необхідних для фахівців цієї галузі;
- базові компетентності у сферах інженерії та природничих наук, біології й медицини, а також загальні кваліфікації, включно з «м'якими навичками», які мають становити мінімальний результат для акредитованих програм ВМЕ;
- ключові компетентності та напрями спеціалізації, рекомендовані для врахування в настановах з акредитації європейських програм ВМЕ;
- гнучкі рамкові структури освітніх програм, що слугують орієнтиром у процесі акредитації програм з біомедичної інженерії;
- система підготовки, яка передбачає розроблення європейського протоколу з навчання, сертифікації та безперервного професійного розвитку біомедичних і клінічних інженерів, що працюють у медичному середовищі (Nagel, Slaaf, Barbenel, 2007).

Характеризуючи сучасний стан розвитку освіти з біомедичної інженерії у країнах Європейського Союзу, варто звернутися до досвіду Польщі та Німеччини.

Зауважимо, що освітня традиція у сфері медичної фізики та інженерії в Польщі має тривалу історію (Wasilewska-Radwańska, Palko, 2008), яка безпосередньо пов'язана з діяльністю Радієвого інституту у Варшаві. Інститут був заснований у 1934 році з ініціативи Марії Склодовської-Кюрі. Уже у 1936 році професор Чезари Павловський, асистент та згодом співробітник Марії Кюрі, організував перші курси з біомедичної інженерії та медичної фізики на фізичному відділенні Радієвого інституту.

Подальший розвиток освіти у цій сфері пов'язаний із заснуванням у 1946 році першого академічного курсу з медичної інженерії на факультеті електротехніки Варшавської політехніки. У 1951 році була започаткована спеціалізація під назвою «Електро медицина». До 2006 року підготовка з біомедичної інженерії здійснювалася переважно у формі спеціалізацій у межах інших освітніх напрямів, зокрема механіки, автоматики, робототехніки та електроніки (Wasilewska-Radwańska, Augustyniak, 2009).

Прискорений розвиток медицини та вдосконалення медичного обладнання зумовили необхідність оновлення підходів до викладання біомедичної інженерії в Польщі. Починаючи з 2005 – 2006 навчального року, було започатковано реформування освітніх програм, результатом якого стало створення консорціуму з шести провідних технічних університетів країни, а саме:

- Університету науки і технологій (Краків);
- Гданської політехніки (Гданськ);
- Сілезького технічного університету (Глівіце);
- Лодзького технічного університету (Лодзь);
- Варшавської політехніки (Варшава);
- Вроцлавської політехніки (Вроцлав).

Метою створення консорціуму стало розроблення нової освітньої програми й підготовка заявки до Міністерства науки і вищої освіти Польщі на відкриття нового напрямку підготовки «Біомедична інженерія» (BME). Ініціативу підтримали також відповідні комітети Польської академії наук. Заявка була подана в червні 2004 року й офіційно затверджена в червні 2006 року. Першим закладом, що здійснив набір студентів за спеціальністю «Біомедична інженерія», став АГН Університет науки і технологій у 2006 – 2007 навчальному році. Уже в 2007 – 2008 навчальному році всі університети – учасники консорціуму – розпочали підготовку студентів у цій галузі. До 2010 –

2011 навчального року освітні програми з біомедичної інженерії реалізовувалися вже в 16 польських університетах (Wasilewska-Radwańska, Pałko, 2008).

Навчальні плани спеціальності орієнтовані передусім на підготовку фахівців, здатних працювати як розробники медичного обладнання або клінічні інженери. Організація освітнього процесу відповідає вимогам Болонського процесу, що передбачає впровадження реформ у 45 європейських країнах з метою забезпечення гармонізації систем вищої освіти, академічних ступенів і стандартів якості, а також розширення можливостей академічної мобільності.

На сучасному етапі основними роботодавцями для випускників у галузі медичної фізики та біомедичної інженерії в Польщі є лікарні (зокрема, у сферах радіотерапії, радіодіагностики, інтервенційної радіології та ядерної медицини), а також науково-дослідні та дослідно-конструкторські підрозділи промислових підприємств.

Фінансування досліджень у сфері медичної фізики та біомедичної інженерії здійснюється частково за рахунок Міністерства науки і вищої освіти у вигляді грантів та прямої бюджетної підтримки університетів. Окремі напрями наукової діяльності координуються VI Відділенням медичних наук Польської академії наук. Додаткові можливості для проведення досліджень студентами та випускниками створюються завдяки залученню ресурсів 6-ї та 7-ї рамкових програм ЄС (FP6/FP7) (Zalewska, Pałko, Pawlicki, 2015).

У контексті підготовки фахівців у галузі біомедичної інженерії доцільно звернутися до досвіду Німеччини, яка вирізняється однією з найрозвиненіших освітніх систем у цій сфері. Біомедична інженерія інтегрує принципи інженерних наук та концепції проектування в медицину та біологію з метою вдосконалення систем охорони здоров'я, зокрема в діагностиці та терапії. Вона історично спирається на точні науки та інженерні підходи для створення інноваційних медичних технологій, що охоплюють діагностику, моніторинг і лікування (Schlötzelburg, Becks, Stieglitz, 2010).

До професійних завдань біомедичного інженера належить управління експлуатацією медичного обладнання в лікарнях із дотриманням відповідних галузевих стандартів. Цей фахівець, який у міжнародній практиці часто визначається як технік біомедичного обладнання або клінічний інженер, відповідає за закупівлю апаратури,

її планове тестування, профілактичне обслуговування та надання рекомендацій щодо використання й модернізації технічних систем.

Для здобувачів освіти, які планують професійну діяльність у сфері біомедичної інженерії, вивчення цієї дисципліни є принципово важливим, оскільки вона спрямована на поліпшення якості життя і здоров'я людини завдяки застосуванню інженерних методів у процесі розв'язання медико-біологічних проблем. Біомедичні інженери беруть участь у створенні широкого спектра інноваційних технологій, зокрема:

- сенсорів для виявлення онкомаркерів у крові;
- пристроїв для моделювання гематоенцефалічного бар'єра з метою фармакологічних досліджень;
- нейронних імплантатів для лікування хвороби Паркінсона методом глибокої стимуляції мозку;
- комп'ютерних моделей, що відтворюють процеси формування складних білкових структур;
- хвильових форм для магнітно-резонансної томографії;
- ультразвукових технологій для неінвазивного лікування новоутворень;
- ін'єкційних культур стовбурових клітин для регенерації ушкоджених тканин.

Біомедична інженерія орієнтована на підготовку здобувачів освіти до роботи у галузі промисловості, академічних установах, а також науково-дослідної діяльності. Метою програм є формування міждисциплінарних компетентностей на перетині медицини та інженерії. Біомедична інженерія поєднує інженерні принципи з фізичними, хімічними, математичними та обчислювальними науками для вивчення біологічних і медичних процесів, а також впливу на здоров'я людини (Slaaf, Genderen, 2009).

Завдяки цьому напряму формуються знання на різних рівнях – від молекулярного до органного, розробляються нові матеріали, біомедичні препарати, пристрої, імплантати та інформатичні технології для профілактики, діагностики, лікування й реабілітації пацієнтів. Серед провідних університетів Німеччини, що здійснюють підготовку фахівців у цій галузі, варто відзначити: Рейнсько-Вестфальський технічний університет Аахена, Гамбурзький університет прикладних наук, Університет Фрайбурга, Університет Фуртвангена, Технічний університет Ільменау та Вищу технічну школу Любека.

У Німеччині пропонується широкий спектр освітніх програм першого (бакалаврського), другого (магістерського) та третього (доктор філософії) рівнів вищої освіти, що охоплюють різні аспекти наукових досліджень у сфері медичної інженерії. Бакалаврські програми передбачають кілька ключових компонентів, спрямованих на підготовку висококваліфікованих фахівців, серед яких: глибоке засвоєння фундаментальних інженерних принципів, високий рівень методичної підготовки, що забезпечує здатність застосовувати теоретичні знання у практичній діяльності, а також формування унікального розуміння сучасних медичних проблем. Важливою складовою навчального процесу є здобуття практичних навичок із акцентом на дослідницьку діяльність, що сприяє розвитку критичного мислення та аналітичних здібностей студентів (Augustyniak, Tadeusiewicz, Wasilewska-Radwańska, 2010).

Тривалість бакалаврської програми становить сім семестрів, а навчання здійснюється як німецькою, так і англійською мовами, що робить його доступним для іноземних студентів. Вартість навчання залежить від університету. Для вступу на такі програми необхідно відповідати низці вимог, зокрема: мати сертифікат про завершення 12 класів; пред'явити вступний сертифікат із німецької мови або його еквівалент (для навчання в університетах прикладних наук); пройти обов'язкове восьмижневе стажування, що є важливою складовою підготовки; а також володіти німецькою мовою щонайменше на рівні B2 (Slaaf, Genderen, 2009).

У свою чергу, магістерські програми з біомедичної інженерії в університетах Німеччини орієнтовані на поєднання фундаментальних теоретичних знань із практичними навичками у сфері сучасних медико-технічних технологій. Основний акцент навчальних планів зосереджено на вивченні програмного забезпечення, математичних методів та числових підходів до вирішення завдань медичної інженерії. У процесі підготовки здобувачі вищої освіти опановують методи моделювання та симуляції, комп'ютерної математики й теорії систем, а також набувають компетентностей у програмуванні мікроконтролерів і сенсорних систем. Важливою складовою є засвоєння знань із фізіологічного моделювання, обробки біомедичних сигналів та зображень.

Крім того, через лекційні курси, присвячені штучним органам, мембранним технологіям і малоінвазивній хірургії, студенти отримують ґрунтовне уявлення про застосування, ризики та проблеми,

пов'язані з використанням медичних виробів і технологічної медицини. Програма також передбачає виконання дослідницького проекту у співпраці з Університетом прикладних наук Фуртвангена (HFU), клінічними закладами-партнерами або промисловими компаніями протягом другого семестру, що слугує підготовчим етапом до написання магістерської дисертації (Schlötzelburg, Becks, Stieglitz, 2010).

Вступ до магістратури передбачає виконання низки вимог, серед яких: наявність диплома бакалавра медицини, природничих наук, інженерії чи суміжної спеціальності; підтвердження знання англійської мови на рівні IELTS не нижче 5.5 (або TOEFL) та німецької мови на рівні B2; подання резюме (CV), мотиваційного листа, рекомендаційного листа та копії паспорта.

Фінансові умови здобуття освіти залежать від статусу університету (державний чи приватний) і можуть варіюватися до 1500 євро за семестр. Таким чином, магістерські програми з біомедичної інженерії в Німеччині поєднують глибоку міждисциплінарну підготовку з дослідницькою практикою, забезпечуючи випускникам високу конкурентоспроможність на міжнародному ринку праці.

Після завершення магістерських студій із біомедичної інженерії в університетах Німеччини випускники отримують широкий спектр можливостей для професійної реалізації. Практично орієнтована методика підготовки, що поєднує теоретичні знання з прикладними навичками, забезпечує високий рівень конкурентоспроможності на ринку праці. Завдяки цьому випускники здатні швидко адаптуватися до професійного середовища та ефективно реалізовувати отримані компетентності у практичній діяльності. Серед можливих напрямів працевлаштування виокремлюють позиції в галузі передової виробничої інженерії, інженерії технологічних процесів, біомедичної інженерії, наукових досліджень і розробок, а також у суміжних сферах, зокрема біохімії та біомедичних наук. Перспективними кар'єрними позиціями для випускників є інженер-технолог, старший біомедичний інженер, старший науковий співробітник, інженер з виробництва, науковий асистент, біомедичний науковець або постдокторант у галузі біомедичної інженерії (Schlötzelburg, Becks, Stieglitz, 2010).

Окрім професійної кар'єри, випускники можуть продовжити наукові дослідження у провідних університетах Німеччини, що входять до десяти найкращих закладів у галузі біомедичної інженерії. Для цього існують численні дослідницькі програми, спрямовані на розвиток

інноваційних підходів у сфері біомедичної інженерії. Прикладом може слугувати програма з біомедичної системної інженерії в Рейнсько-Вестфальському технічному університеті Аахена, яка створює сприятливі умови для наукової діяльності студентів і молодих дослідників.

Магістерська програма з біомедичної системної інженерії реалізується в межах освітнього напрямку «Електротехніка, інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». Абітурієнти, які планують спеціалізуватися в галузі біомедичної системної інженерії, подають заявки саме на цю програму. Після успішного зарахування здобувачам надається можливість обрати одну зі спеціалізацій: біомедична системна інженерія, мікро- та наноелектроніка, системи та автоматизація, комунікаційна інженерія, комп'ютерна інженерія або електроенергетична інженерія (Slaaf, Genderen, 2009).

Біомедична системна інженерія передбачає застосування сучасних інженерних методів для розв'язання завдань медичної галузі в умовах міждисциплінарної взаємодії. Випускники програми набувають поглиблених теоретичних знань у сфері електротехніки, інформаційно-комунікаційних технологій та інженерної фізіології, а також високого рівня спеціалізації й компетентностей у проведенні наукових досліджень. Такі фахові навички забезпечують здатність до аналізу принципів функціонування медичних пристроїв, призначених для діагностики та терапії, а також до інтеграції інженерних концепцій проєктування у біологічні та медичні системи.

Зміст навчального плану охоплює широке коло тем, зокрема фізіологію на молекулярному, клітинному та органному рівнях, медичну візуалізацію, вимірювальні прилади та системи, робототехніку, технології навчання й обробки знань, а також методи візуалізації біомедичних даних. Студенти отримують доступ до розвиненої дослідницької інфраструктури, що створює умови для виконання наукових проєктів. По завершенні магістерського етапу навчання здобувачі, зацікавлені у продовженні наукової діяльності, можуть реалізовувати дослідницькі ініціативи, зокрема у партнерських університетах Німеччини, які пропонують спеціалізовані програми третього рівня вищої освіти (Schlötzelburg, Becks, Stieglitz, 2010).

**Висновки та перспективи подальших наукових розвідок.** Інтеграція зусиль у межах Європейського простору вищої освіти, зокрема у сфері біомедичної інженерії в рамках консолідованої співпраці всіх зацікавлених сторін підвищує професійний статус галузі

та покращує якість підготовки фахівців, а також демонструє значні переваги для освітньої та медичної систем у Європі.

У межах реалізації проєкту BIOMEDEA було розроблено рекомендації та настанови, які стали каталізатором створення нових освітніх програм і трансформації структур вищої освіти. Зокрема, відзначається перехід від традиційних дипломних програм до системи «бакалавр-магістр», що відповідає принципам Болонського процесу та рекомендаціям BIOMEDEA. Дотримання цих стандартів сприяє академічній та професійній мобільності, а також зміцненню конкурентоспроможності європейських систем освіти, промисловості й охорони здоров'я.

Досвід Польщі та Німеччини демонструє успішну імплементацію моделей професійної підготовки фахівців у галузі біомедичної інженерії у структурі Болонського процесу. Доведено, що Польща зберігає традиції інженерної освіти в біомедичній сфері, вдало інтегруючи сучасні стандарти ЕНЕА. Німеччина активно проводить освітні реформи, що підвищують прозорість, якість та мобільність, а університетські мережі й програми підсилюють академічну співпрацю й міжнародне визнання.

Перспективи подальших наукових розвідок убачаємо в дослідженні особливостей реалізації програм професійної підготовки фахівців у галузі біомедичної інженерії в інших країнах Європейського Союзу.

#### ЛІТЕРАТУРА

- Augustyniak, P., Tadeusiewicz, R., & Wasilewska-Radwańska, M. (2010). BME education program following the expectations from the industry, health care and science. In P. D. Bamidis & N. Pallikarakis (Eds.), *XII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2010 (MEDICON 2010) (IFMBE Proceedings)*, (pp. 945-948). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-13039-7\\_239](https://doi.org/10.1007/978-3-642-13039-7_239)
- European Virtual Campus for Biomedical Engineering (EVICAB)* (n.d.). Retrieved from <https://lehre-svn.emsp.tu-berlin.de/Evicab/>
- Nagel, J. H., Slaaf, D. W., & Barbenel, J. (2007). Medical and biological engineering and science in the European higher education area: Working toward harmonization of biomedical programs for mobility in education and employment. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 26(3), 18-25. <https://doi.org/10.1109/MEMB.2007.364924>
- Pallikarakis, N. (2022). *Biomedical/clinical engineering education and certification: fifty years of actions*. Health Technology (Berlin). <https://doi.org/10.1007/s12553-022-00664-9>
- Schlötelburg, C., Becks, T., & Stieglitz, T. (2010). Biomedical engineering today: An overview from the viewpoint of the German Biomedical Engineering Society.

- Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*, 53(8), 759-767. <https://doi.org/10.1007/s00103-010-1103-2>
- Slaaf, D. W., & van Genderen, M. H. P. (2009). The fully integrated biomedical engineering programme at Eindhoven University of Technology. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 223(4), 389-397. <https://doi.org/10.1243/09544119JEIM498>.
- Standards and guidelines for quality assurance in the European Higher Education Area* (2015). European Association for Quality Assurance in Higher Education. Retrieved from [https://www.enqa.eu/wp-content/uploads/2015/11/ESG\\_2015.pdf](https://www.enqa.eu/wp-content/uploads/2015/11/ESG_2015.pdf)
- Wasilewska-Radwańska, M., & Augustyniak, P. (2009). Multidisciplinary school as a BME teaching option. In R. Magjarevic (Ed.), *11th International Congress of the IUPESM: For the benefit of the patient (IFMBE Proceedings)*, (pp. 200–203). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-03897-6\\_52](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03897-6_52)
- Wasilewska-Radwańska, M., & Palko, T. (2008). Actual state of medical physics and biomedical engineering education in Poland. In H. Eskola, O. Väisänen, J. Viik, & J. Hyttinen (Eds.), *14th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics (IFMBE Proceedings), Vol. 20*, (pp. 437–438). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-69367-3\\_117](https://doi.org/10.1007/978-3-540-69367-3_117)
- Zalewska, E., Pałko, T., & Pawlicki, G. (2015). Medical engineering in Poland. In I. Lacković & D. Vasić (Eds.), *6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering (IFMBE Proceedings), Vol. 45*, (pp. 967-969). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-11128-5\\_241](https://doi.org/10.1007/978-3-319-11128-5_241)

### SUMMARY

**Aveniurov Mykola.** Current state of professional training of specialists in biomedical engineering in higher education institutions of the European Union countries.

*The article examines the current state of professional training of specialists in biomedical engineering in higher education institutions of the European Union countries, with particular attention to the cases of Poland and Germany. Biomedical engineering, as an interdisciplinary field that combines engineering sciences, medicine, biology, and information technologies, requires a rethinking of traditional educational approaches and the implementation of innovative models of higher education. A special focus is given to the BIOMEDEA project, which formulated recommendations and guidelines that acted as a catalyst for the development of new curricula and the transformation of existing educational structures in Europe. The project highlighted the necessity of harmonizing biomedical engineering programs with the requirements of modern healthcare systems, regulatory frameworks such as the EU Medical Device Regulation, and the growing demand for specialists with both engineering and clinical competencies. The comparative analysis demonstrates that Poland and Germany represent successful examples of implementing professional training models in biomedical engineering within the structure of the Bologna Process. Poland preserves its strong traditions of engineering education, adapting them to the needs of the biomedical sector while integrating contemporary standards of the European Higher Education Area. German universities, in turn, actively pursue educational reforms that enhance quality assurance mechanisms, promote interdisciplinary approaches, and expand opportunities for international cooperation. The article emphasizes that German higher education system places particular importance on transparency, international accreditation, and joint degree programs, which significantly strengthen academic collaboration and recognition*

*of biomedical engineering qualifications across Europe. In Poland, the balance between classical engineering foundations and new interdisciplinary modules provides students with a solid professional background while ensuring adaptability to technological innovations and labor market demands.*

**Key words:** *higher education, professional training, biomedical engineering, specialists in biomedical engine, European Union countries.*

**УДК 004.45:37.091.2(4)**

**Олена Сидоренко**

Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка  
ORCID ID 0000-0002-6494-0451

**Лариса Ключко**

Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка  
ORCID ID 0000-0003-1762-5894  
DOI 10.24139/2312-5993/2025.04/017-024

## **СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ: ДОСВІД КРАЇН ЄВРОПИ**

*Традиційні форми та зміст навчання як найважливіших соціальних інститутах часто не відповідають зростаючим вимогам учнів щодо їхньої якості, доступності, вартості та актуальності. Але соціальним завданням сучасних навчальних закладів є підготовка молодих людей до майбутнього життя в соціумі та професійної діяльності відповідно до рівня культури, моральних цінностей та передових ідей свого часу. Тому стрімкі соціальні зміни зажадали відповідних змін у системі навчання та заміни традиційної (репродуктивної) освітньої інноваційної парадигми з креативними методами навчання, орієнтованими на підвищення мотивації, індивідуальну траєкторію їх навчання, мобільність і доступність освіти завдяки різним джерелам інформації, вільно розміщеним у мережі Internet.*

*У статті розглядаються практики впровадження смарт-технологій у школах та вишах Європи. Проаналізовано ключові документи Єврокомісії (Digital Education Action Plan), а також конкретні приклади Фінляндії, Естонії, Іспанії, Італії та інших країн. Показано механізми оцінки цифрової компетентності (SELFIE, eTwinning), застосування інтерактивних панелей та планшетів, робототехніки та систем адаптивного навчання. Виявлено переваги та обмеження поточних підходів, надано рекомендації щодо подальшого розвитку смарт-освіти.*

**Ключові слова:** *смарт-технології, цифрова компетентність, інтерактивна панель, планшети, адаптивне навчання, країни Європи.*

**Постановка проблеми.** Інноваційна парадигма освіти посилює роль смарт-технологій навчання, оскільки активно використовує досягнення вітчизняної та зарубіжної науки, інтенсифікує навчальний процес, сприяючи формуванню особистості нового типу, здатної до міжкультурної адаптації у ситуаціях, пов'язаних з високими темпами змін у різних сферах діяльності соціуму та потребують переосмислення підходів у навчальному процесі. Єдиний інформаційний освітній простір дозволяє його учасникам віртуально взаємодіяти у різних формах, сприяючи розвитку дистанційної, електронної та мобільної освіти.