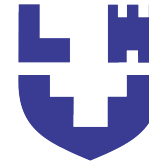


Міністерство освіти та науки України
Луцький національний технічний університет



УСТАНОВКИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Методичні вказівки до самостійної роботи для здобувачів першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
галузі знань 14 Електрична інженерія
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка,
денної та заочної форм навчання

ЛУЦЬК 2026

УДК 621.311:620.92

C55

До друку
Голова вченої ради
факультету архітектури, будівництва та енергетики
_____ О.В.Андрійчук

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозиторій
ЛНТУ
Директор бібліотеки _____ Н.П. Поліщук

Затверджено вченою радою факультету архітектури, будівництва та енергетики
ЛНТУ,
протокол № __ від « ____ » _____ 2026 року.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри електричної інженерії ЛНТУ,
протокол № __ від « ____ » _____ 2026 року.
Завідувач кафедри електричної інженерії _____ Ю.В. Грицюк

Укладачі: _____ Д.С. Собчук, кандидат технічних наук, доцент
кафедри електричної інженерії ЛНТУ,

Рецензент: _____ Л. Н. Добровольська, кандидат технічних наук,
професор кафедри електричної інженерії ЛНТУ

Відповідальний
за випуск: _____ Ю.В. Грицюк, кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри електричної інженерії ЛНТУ

C55 Установки відновлювальної енергетики [Текст]: методичні вказівки до
самостійної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної
форм навчання / уклад. Д. С. Собчук, . Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2026. 16 с.

Методичне видання складене відповідно до робочої програми дисципліни
«Установки відновлювальної енергетики».

У виданні розглядаються нормативно-правова база, тематичний план
дисципліни, питання для самостійного опрацювання, перелік контрольних
запитань для самоперевірки, а також перелік літератури.

© Д.С. Собчук, 2026

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

C55 Установки відновлювальної енергетики [Текст]: методичні вказівки до
самостійної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної
форм навчання / уклад. Д. С. Собчук, . Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2026. 16 с.

Комп'ютерний набір та верстка: Д.Собчук

Підп. до друку _____. 2026 р.

Формат 60×84/16. Папір офс. Гарн. Таймс.

Ум. друк.арк. 1,87. Обл.- вид.арк. 2,12.

Наклад 50 прим.

Відділ іміджу та промоції

Луцького національного технічного університету

43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Друк – Відділ іміджу та промоції ЛНТУ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧА ОСВІТИ	5
2 ПЛАНУВАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	7
3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ.....	8
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	15

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Установки відновлювальної енергетики» є важливою складовою професійної підготовки бакалаврів у галузі електричної інженерії за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».1 Вона спрямована на формування у здобувачів освіти комплексного розуміння принципів побудови та функціонування сучасних систем генерації на базі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).2 В умовах глобального енергетичного переходу знання принципів проектування та експлуатації таких установок набуває особливої актуальності.

Пропоноване методичне видання складене згідно з діючою робочою програмою та містить перелік тем, що винесені на самостійне опрацювання, питання для самоконтролю, завдання для практичної роботи, а також перелік рекомендованої літератури.1.

11. рекомендації до запропонованих реформ у секторі централізованого теплопостачання в Україні, доступ отримано квітня 22, 2026, <https://ens.dk/media/6422/download>
12. ДСТУ Сонячні станції | PDF - Scribd, доступ отримано квітня 22, 2026, <https://www.scribd.com/document/885025081/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3-%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D1%96-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97>
13. ДСТУ 8292:2015 Вітроенергетика. Вітрові електричні станції. Приєднання до електроенергетичної системи - БУДСТАНДАРТ Online, доступ отримано квітня 22, 2026, https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62875
14. ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ Факультет інженерно-техн., доступ отримано квітня 22, 2026, <https://dspace.pdau.edu.ua/bitstreams/ebe94f2d-092c-4ff6-92b3-8fd24d09a9e0/download>
15. ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ Енергоощадність. Терміни та визначення ЭНЕР, доступ отримано квітня 22, 2026, https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_2420-94.pdf
16. ДСТУ EN IEC 62040-1:2020 Системи безперебійного живлення. Частина 1. Вимоги щодо безпеки (EN IEC 62040-1:2019, IDT; IEC 62040-1:2017, IDT) - БУДСТАНДАРТ Online, доступ отримано квітня 22, 2026, https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91078
17. ДСТУ 8292 - 2015 Вітроенергетика. Вітрові Електричні Станції. Приєднання До Електроенергетичної Системи | PDF - Scribd, доступ отримано квітня 22, 2026, 8

1 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧА ОСВІТИ

Освітній процес у сфері електричної інженерії зазнає глибоких трансформацій, що зумовлено глобальним енергетичним переходом від традиційних централізованих систем до структур децентралізованої генерації (distributed generation) на базі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).¹ Навчальна дисципліна «Установки відновлювальної енергетики» є ключовою складовою фахової підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (спеціальність 141).¹ В умовах інтенсивного розвитку мікромереж (microgrids), гібридних систем та впровадження водневих технологій ⁴, підготовка компетентних інженерів вимагає не лише аудиторної роботи, але й глибокого самостійного опрацювання складних фізико-хімічних та електромеханічних процесів.

Самостійна робота здобувача освіти є фундаментальним компонентом навчального процесу, який забезпечує формування аналітичного мислення та здатності до вирішення нестандартних інженерних завдань у сфері відновлюваної енергетики. Відповідно до Закону України «Про вищу освіту» та внутрішніх положень закладів вищої освіти (зокрема, досвіду Луцького національного технічного університету), самостійна робота становить значну частину загального обсягу кредитів ЄКТС, відведених на вивчення дисципліни.¹ Організація цього процесу базується на принципах системності, науковості та практичної спрямованості. Здобувачі освіти повинні самостійно опрацьовувати нормативну документацію, серед якої ключову роль відіграють Державні будівельні норми (ДБН В.1.2-11:2021 щодо енергоефективності будівель) ⁵, Державні стандарти України у сфері геїоенергетики (ДСТУ ISO 9488:2010, ДСТУ 4885:2007) ⁶⁷ та вітроенергетики (ДСТУ 8292:2015, ДСТУ 8340:2015, ДСТУ 8339:2015).⁸⁹¹⁰

Процес самостійного вивчення поділяється на підготовчий, основний та завершальний етапи. На підготовчому етапі здобувач аналізує мету та обирає необхідну методичну літературу.¹ Наприклад, при вивченні вітроенергетичних

установок необхідно спиратися на стандарти приєднання до електроенергетичної системи (ДСТУ 8292:2015) 11 та методики оцінки впливу на навколишнє середовище (ДСТУ 8339:2015).10 Основний етап включає безпосереднє опрацювання математичних моделей перетворення енергії (фотоелектричний ефект, аеродинаміка вітрових турбін, електрохімія паливних елементів), а також розв'язання розрахункових задач.1 Завершальний етап передбачає самоконтроль за допомогою відповідей на теоретичні запитання та підготовку до захисту практичних і лабораторних робіт.

Фундаментальною метою цих методичних вказівок є надання студентам структурованого теоретичного та практичного інструментарію для опанування найбільш складних модулів курсу: технологій перетворення постійного струму в змінний (DC-AC інвертування), принципів балансування потужності в гібридних мікромережах, фізики систем накопичення енергії (акумуляторних та водневих) та методів техніко-економічного аналізу енергоефективності установок ВДЕ.1412

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ВІДОМОСТІ про самооцінювання освітньої програми, , <https://public.naqa.gov.ua/api/SelfEstimation/13683/Pdf>
2. Збірник матеріалів конференції - international online conference 'corpora and discourse - КІП, 2026, <https://corpora.kamts1.kpi.ua/public/conferences/51/PEMS-2017/ZbimyktezPEMS2017.pdf>
3. Відділ водневого матеріалознавства та вуглецевих наноструктур - ІПМ НАНУ ім. І.М.Францевича, <http://www.materials.kiev.ua/science2.0/structure/department.jsp?id=57>
4. Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність. ДБН В.1.2-11:2021 від 30.12.2021 | LIGA:ZAKON, <https://ips.ligazakon.net/document/DBN00032>
5. ДСТУ ISO 9488:2010 Енергія сонячна. Словник термінів (ISO 9488:1999, IDT), https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68857
6. ДСТУ 4885:2007 Енергоощадність. Геліоенергетика. Методика визначання ресурсів, доступ отримано квітня 22, 2026, https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53529
7. ДСТУ 8292:2015 Ветроэнергетика. Ветровые электрические станции. Присоединение к электроэнергетической системе - БУДСТАНДАРТ Online, доступ отримано квітня 22, 2026, https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=62875
8. ДСТУ 8340:2015 Вітроенергетика. Площадки для вітроелектростанцій. Вимоги до вибору - БУДСТАНДАРТ Online, доступ отримано квітня 22, 2026, https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62885
9. ДСТУ 8339:2015 Вітроенергетика. Вітроелектростанції. Оцінення впливу вітроелектростанцій на навколишнє середовище - БУДСТАНДАРТ Online, доступ отримано квітня 22, 2026, https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62884
10. ВІТРОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ, доступ отримано квітня 22, 2026, https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU5/dstu_8292-2015.pdf

2. Проаналізуйте структуру сумарних втрат електроенергії (оптичних, теплових, омичних) в процесі її генерації та перетворення.¹
3. Як загальний ККД гібридної системи впливає на її економічну оцінку та техніко-економічне обґрунтування?¹
4. Яку роль відіграють грантові програми стимулювання та декарбонізації (наприклад, європейська ініціатива BEW) при модернізації енергоефективних мікромереж?¹²
5. Наведіть алгоритм техніко-економічного аналізу впровадження об'єкта мікромережі, що комбінує кілька відновлюваних джерел.¹

2 ПЛАНУВАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Організація самостійної роботи студентів вимагає особливої уваги, тому що частина питань кожної теми вноситься на самостійне вивчення студентами. Самостійна робота студента забезпечується системою навчально-методичних засобів, передбачених кафедрою для вивчення навчальної дисципліни. Навчальний матеріал, передбачений для засвоєння під час самостійної роботи, вноситься на підсумковий контроль поряд з навчальними матеріалами, який опрацьовується на навчальних заняттях.

№ з/п	Тематика	К-сть годин
1	Сучасна структура децентралізованої енергетики: мікромережі, off-grid та on-grid топології.	10/15
2	Фізика сонячної енергетики, еквівалентна схема заміщення ФЕ та параметри модулів.	10/15
3	Явище часткового затінення (partial shading) та MPPT-алгоритми (P&O, Incremental Conductance).	10/18
4	Проектування та розрахунок автономних (Off-grid) та мережевих (On-grid) фотоелектричних систем.	10/18
5	Фізика вітрової енергетики, аеродинамічні обмеження (Betz Limit) та характеристики турбін (Power Curve).	10/16
6	Воднева енергетика: електроліз, паливні елементи та водневий цикл перетворення енергії.	10/16
7	Технології DC-AC інвертування: обчислення ККД, управління реактивною потужністю ($\cos \varphi$) та гармоніки.	10/10
8	Гібридні (Hybrid wind-solar) системи: балансування генерації та оптимізація.	10/10
9	Системи накопичення енергії: свинцево-кислотні та LiFePO ₄ технології, глибина розряду (DoD).	5/10
10	Енергоефективність та економіка ВДЕ: розрахунок втрат і техніко-економічне обґрунтування (LCOE).	5/10
Разом:		90/138

3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

Згідно з методикою вивчення дисципліни 1, здобувач освіти повинен самостійно опрацювати ключові питання за кожним тематичним модулем курсу, використовуючи рекомендовану літературу. Нижче наведено перелік питань для самоконтролю

Змістовий модуль 1.

Фізика сонячної енергетики та компоненти ФЕС (Лекції 1–7)

Лекція 1 (Сучасна структура децентралізованої енергетики)

1. Проаналізуйте різницю між архітектурами мікромереж (microgrids) та традиційних розподільчих систем і обґрунтуйте роль відновлюваних джерел у децентралізації генерації.¹
2. Яким чином концепція "distributed generation" (розподіленої генерації) змінює підходи до розрахунку енергетичного балансу регіону?¹
3. Назвіть ключові відмінності між on-grid та off-grid топологіями децентралізованих енергетичних систем.¹
4. Яку роль відіграють мікромережі у забезпеченні енергетичної незалежності локальних споживачів?¹
5. Проаналізуйте вплив розосередженого генерування на режим роботи розподільних електричних мереж згідно з сучасними дослідженнями.¹⁸

Лекція 2 (Фотоелектричний ефект і напівпровідникові структури)

1. Поясніть фізичну суть фотоелектричного ефекту в р-п переході та особливості формування струму короткого замикання (I_{sc}) з точки зору зонної теорії напівпровідників.¹
2. Які параметри входять до еквівалентної схеми заміщення фотоелектричного елемента (I_L , I_S , R_s , R_p)?¹
3. Як шунтуючий опір (R_p) та послідовний опір (R_s) впливають на форму вольт-амперної (I_V) характеристики фотоелемента?¹
4. Поясніть механізм генерації електронно-діркових пар під дією сонячного випромінювання.¹

4. Опишіть вплив високої частоти широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) на рівень комутаційних втрат в силових транзисторах інвертора.¹
5. Чим відрізняється піковий ККД від зваженого європейського ККД (Euro Efficiency) і чому останній є більш репрезентативним?¹

Лекція 13 (Hybrid wind-solar systems)

1. Деталізуйте проблеми взаємодії вітрових і сонячних генераторів в межах єдиної мікромережі та поясніть базові стратегії балансування.¹
2. Охарактеризуйте методи оптимізаційного розрахунку конфігурації гібридної вітро-сонячної системи.¹
3. Яким чином інтеграція допоміжного джерела (наприклад, дизель-генератора через випрямляч) підвищує загальну надійність гібридної системи?¹⁵
4. Поясніть принцип стабілізації генерації в періоди різких змін погодних умов.¹
5. Як здійснюється управління on-grid інвертором в складі комплексної гібридної енергосистеми з кількома джерелами?¹

Лекція 14 (Накопичення енергії (АКБ, водень))

1. Проведіть порівняльний аналіз свинцево-кислотних та літій-залізо-фосфатних (LiFePO_4) акумуляторів за показником енергетичної щільності.¹
2. Охарактеризуйте вплив допустимої глибини розряду (DoD) на тривалість життєвого циклу свинцевих та літєвих батарей.¹
3. Які критерії враховуються при проектуванні та розрахунку параметрів системи накопичення для автономних (off-grid) об'єктів?¹
4. Проаналізуйте режими одночасного заряду та розряду в гібридній системі накопичення.¹
5. Порівняйте доцільність використання акумуляторних банків та водневого циклу для короткострокового і довгострокового акумулювання енергії.¹

Лекція 15 (Енергоефективність та інтеграція ВДЕ)

1. Розкрийте сутність показника нормованої вартості електроенергії (LCOE) та поясніть, які параметри входять до його розрахунку.¹

1. Опишіть робочі зони графіка кривої потужності (Power Curve) вітротурбіни: від швидкості старту (cut-in speed) до швидкості вимкнення (cut-out speed).1
2. Чому на ділянці після досягнення номінальної швидкості вітру (rated speed) турбіна підтримує постійну вихідну потужність?.1
3. Які системи аеродинамічного чи механічного захисту застосовуються при шквальних вітрах, що перевищують cut-out speed?.1
4. Як побудова реальної кривої потужності турбіни допомагає прогнозувати її середньорічний виробіток?.1
5. Згідно з вимогами ДСТУ 8292:2015, які існують особливості приєднання вітрових електричних станцій до електроенергетичної системи?.19

Лекція 11 (Воднева енергетика)

1. Охарактеризуйте три основні етапи водневого циклу (електроліз води, зберігання, зворотне перетворення) та проаналізуйте загальний ККД цього процесу.1
2. У чому полягає принцип дії електролізера та які типи мембран (наприклад, протонного обміну) використовуються для розщеплення води?.1
3. Поясніть фізико-хімічний процес генерації постійного електричного струму всередині водневого паливного елемента (Fuel Cell).1
4. Відповідно до положень ДСТУ 3027-95, поясніть термінологічну роль водню як вторинного універсального енергоносія.4
5. Які особливості розрахунку водневого циклу перетворення енергії для інтеграції його у відновлювану мікромережу?.1

Лекція 12 (DC-AC інвертори та їх ефективність)

1. Від яких експлуатаційних факторів залежить коефіцієнт корисної дії (ККД) DC-AC інвертора при різних рівнях навантаження?.1
2. Поясніть, яким чином сучасні мережеві інвертори управляють коефіцієнтом потужності ($\cos \phi$) для компенсації реактивної енергії.1
3. У чому полягають причини появи гармонік струму на виході інвертора та як вони впливають на загальну якість електроенергії?.1

5. Чому напівпровідникові матеріали, зокрема кремній, є базовими для створення р-п переходів у сучасній комерційній фотоенергетиці?.1

Лекція 3 (Фотоелектричні модулі та їх параметри)

1. Опишіть вплив температури навколишнього середовища на вольт-амперну (IV) характеристику фотоелемента. Чому напруга падає при нагріванні панелі?.1
2. Дайте визначення коефіцієнта заповнення (Fill Factor, FF) та поясніть його зв'язок з напругою (V_{mpp}) та струмом (I_{mpp}) у точці максимальної потужності.1
3. Порівняйте монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові (Thin Film) технології виготовлення фотомодулів за критеріями ККД.1
4. Яким чином температурні коефіцієнти модулів впливають на розрахунок їх продуктивності у різні пори року?.1
5. Як змінюються параметри напруги, струму і потужності при серійно-паралельному з'єднанні фотоелектричних модулів в єдиний масив?.1

Лекція 4 (Часткове затінення та байпасні діоди)

1. Дослідіть явище "partial shading" (часткового затінення). Яким чином байпасні діоди запобігають перегріву комірок (hot spots) та як їх спрацьовування впливає на форму загальної кривої потужності?.1
2. Поясніть причини виникнення локальних екстремумів на кривій потужності фотомодуля під час часткового затінення.1
3. Як впливає кут падіння світлового потоку на ефективність генерації електроенергії сонячною панеллю?.1
4. Опишіть методи розрахунку температурного дрейфу параметрів ($\Delta V_{oc} / ^\circ C$) при проектуванні захисних схем.1
5. Чому відсутність байпасних діодів може призвести до деградації всієї сонячної панелі при перекритті навіть однієї комірки?.1

Лекція 5 (MPPT-алгоритми та ШІМ-регулювання)

1. Складіть порівняльний аналіз алгоритмів пошуку точки максимальної потужності (MPPT). У чому полягають ключові відмінності між методами Incremental Conductance та Perturb & Observe (P&O)?.1

2. У чому полягає основна перевага MPPT-контролера над традиційним PWM-контролером (ШИМ) в умовах мінливої хмарності?.1
3. Поясніть математичний алгоритм роботи методу P&O під час відстеження MPP на вольт-амперній кривій.1
4. Як апаратними засобами здійснюється визначення максимальної потужності (MPP) сонячного масиву?.1
5. За яких умов використання простого ШИМ-регулювання є технічно та економічно виправданим порівняно з MPPT?.1

Лекція 6 (Off-grid фотоелектричні системи)

1. Обґрунтуйте принципи підбору контролера заряду та методу розрахунку необхідної місткості акумуляторних батарей для повністю автономних (off-grid) систем електропостачання.1
2. Які структурні елементи є обов'язковими для функціонування автономної фотоелектричної системи?.1
3. Як вибір номінальної напруги шини постійного струму впливає на струмові навантаження автономного інвертора?.1
4. Назвіть ключові етапи комплексного розрахунку автономної системи для забезпечення енергетичного балансу.1
5. Проаналізуйте режими роботи off-grid сонячної системи під динамічно змінним навантаженням споживачів.1

Лекція 7 (On-grid системи та islanding effect)

1. Яку роль відіграє "islanding effect" (островування) і чому стандарти безпеки вимагають автоматичного відключення мережевих інверторів при втраті напруги опорної мережі?.1
2. Опишіть алгоритм фазового автопідлаштування та синхронізації on-grid інвертора з параметрами зовнішньої мережі.1
3. Назвіть активні та пасивні методи виявлення ефекту островування (anti-islanding) у сучасних grid-tie інверторах.1
4. Згідно зі стандартами (зокрема ДСТУ EN 50160:2014), за якими характеристиками напруги оцінюється якість електропостачання від мережевої ФЕС?.13

5. Опишіть етапи розрахунку мережевої (on-grid) фотоелектричної системи для максимальної енерговіддачі в мережу.1

Змістовий модуль 2.

Аеродинаміка вітротурбін та гібридні технології (Лекції 8–15)

Лекція 8 (Вітрова енергетика: фізика процесу)

1. Виведіть формулу кінетичної потужності вітрового потоку та поясніть математичну причину кубічної залежності вихідної потужності турбіни від швидкості вітру.1
2. Як впливає густина повітря (ρ) на розрахункову потужність вітрової турбіни?.1
3. Охарактеризуйте залежність генеруючої потужності від площі обмітання (A) вітрового ротора.1
4. Як змінюється кінетична енергія повітряного потоку при взаємодії з лопатями турбіни під навантаженням?.1
5. Проаналізуйте вплив змін швидкості вітру на стабільність генерації електроенергії вітровими станціями.1

Лекція 9 (Betz Limit та коефіцієнт використання енергії вітру)

1. Розкрийте фізичний зміст "Обмеження Беца" (Betz Limit). Чому теоретичний коефіцієнт використання енергії вітру не може перевищувати 59.3%, навіть в ідеальному роторі?.1
2. Які реальні аеродинамічні та кінематичні втрати зменшують фактичний коефіцієнт використання енергії порівняно з межею Беца?.1
3. Охарактеризуйте електромеханічні втрати в генераторах та мультиплікаторах вітроенергетичних установок.1
4. Яким чином проводиться експериментальне визначення та підтвердження коефіцієнта Беца у лабораторних умовах?.1
5. Поясніть алгоритм комплексного розрахунку аеродинамічних параметрів сучасних BEY.1

Лекція 10 (Power Curve вітрової турбіни)