

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора

по учебной работе

МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

О. И. Родькин

« 21 » февраля 2022 г.

Регистрационный № УД-1162-22 уч.

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

1 – 43 01 06 Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент

2022г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-43 01 06-2013 и учебных планов учреждения образования рег. № 133-21/уч. от 14.05.2021 г. и рег. № 136-21/уч. инт. з. от 14.05.2021 г. по специальности 1-43 01 06 Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент

СОСТАВИТЕЛЬ:

С.В. Артемчук, доцент кафедры энергоэффективных технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, кандидат технических наук, доцент;

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергоэффективных технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 11 от 27.05.2022 г.);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 10 от 21.06.2022 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Углубление электрификации отраслей экономики объективно для всех стран и сохранится в XXI веке. Валовый внутренний продукт и комфортность жизни корреляционно определяются электропотреблением, производительность труда – электровооруженностью. Рациональное увеличение потребления электроэнергии на душу населения актуально для Республики Беларусь, где годовое электропотребление вдвое ниже, чем в США.

Уровень же удельных и общих расходов электроэнергии недопустимо высок практически на все виды выпускаемой продукции (ВВП). Энергоемкость национального дохода в 2–2,5 раза выше, чем в развитых странах. За последние 15 лет энергоемкость ВВП в РБ уменьшилась на 55–60 %.

Эффективность использования электроэнергии – важнейшая часть обеспечения энергетической безопасности страны. Энергетической стратегией Республики Беларусь предусмотрено инновационное и опережающее развитие отраслей ТЭК, обеспечивающее производство конкурентоспособной продукции на уровне мировых стандартов при безусловном надежном и эффективном энергообеспечении всех отраслей экономики и населения.

Одной из важнейших задач ближайшего периода является создание новых организационных основ для эффективного развития и функционирования энергетики в условиях рыночных отношений. При этом снижение удельного расхода топлива на производство электроэнергии должно составить 25–30 г у.т./кВт·ч.

Дисциплина «Ветроэнергетика» является неотъемлемым звеном подготовки специалистов в области энергоэффективных технологий. Полученные знания в дальнейшем используются при выполнении дипломного проекта и решении проблем энергоэффективности систем электроснабжения предприятий на производстве.

Цель дисциплины – формирование у студентов системы знаний, умений, навыков и профессиональных компетенций в области использования энергии воздушных потоков ветроэнергетическими установками, приобретение студентами системы знаний в областях проектирования, монтажа, наладки, ремонта, технического обслуживания ветроэнергетических установок, рационального природопользования, экологической безопасности и энергоэффективности.

Задачи дисциплины:

- подготовка инженеров широкого профиля, обладающих навыками самостоятельной творческой инженерной и исследовательской работы по использованию ветровой энергии и ветроэнергетическим установкам, технико-экономическому обоснованию развития ветроэнергетики в комплексе с другими направлениями использования ветровых ресурсов и с учетом охраны окружающей среды.

- рациональное сочетание профессионального и образовательного компонентов подготовки, развитие у студентов представлений о ветроэнергетике в окружающей их повседневной жизни, расширение их мировоззрения, ознакомление с научными проблемами ветроэнергетики.

Для формирования современных и социально-профессиональных компетенций будущего специалиста в практику проведения занятий целесообразно внедрять методики и технологии активного обучения, которые способствуют вовлечению студентов в поиск и управление знаниями, приобретению опыта самостоятельного решения разнообразных задач.

Методики и технологии активного обучения включают самостоятельную работу студентов (СРС), проблемные лекции с применением мультимедийного комплекса, проведение тестирования по отдельным разделам и дисциплине в целом, письменные контрольные работы, устный опрос во время лабораторных и практических занятий, написание рефератов по отдельным разделам дисциплины, выступления студентов на семинарских и практических занятиях.

По дисциплине разрабатывается учебно-методический комплекс (УМК) с материалами, помогающими студенту в организации самостоятельной работы, включающий:

- учебную программу дисциплины;
- учебную литературу (учебник, учебное пособие, курс лекций, задачник, руководство по выполнению лабораторных работ и справочник);
- задания для самостоятельной работы студентов, тренажеры;
- методические указания по самостоятельной работе.

Для оценки качества самостоятельной работы студентов осуществляется контроль за ее выполнением. Формы контроля самостоятельной работы студентов могут быть в виде собеседования, проверки и защиты индивидуальных расчетно-графических заданий, коллоквиумы, контрольные работы, тестирование, принятие зачетов, устный или письменный экзамены, и т.д.

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- основные этапы развития ветроэнергетики;
- ветер как явление природы и особенности использования ветра, как источника энергии;
- методики оценки ветроэнергетического потенциала территорий и построения атласа ветров;
- классификацию и типовые конструкции ВЭУ различной мощности, включая элементы конструкций) и особенности их применения;
- методики анализа аэродинамики ВЭУ;
- основы проектирования ветропарков с учетом вопросов охраны окружающей среды, электромагнитной совместимости;
- методы испытаний и контроля ВЭУ;
- особенности эксплуатации и обслуживания ВЭУ;
- методики анализа экономической эффективности ветроэнергетики;
- перспективы дальнейшего развития ветроэнергетики в мире и нашей стране.

уметь:

- оценивать ветроэнергетический потенциал территорий;
- проводить расчеты и осуществлять обоснованный выбор ветроэнергетических установок различной мощности;
- проектировать размещение ВЭУ в составе ветропарков, их подключение к энергосетям;
- осуществлять оценку влияния ВЭУ на окружающую среду, их размещения с учетом экологических и других требований и ограничений;
- осуществлять оценку экономической эффективности практического применения ВЭУ;

владеть:

- методами анализа ветропотенциала территорий;
- методиками анализа аэродинамики ВЭУ;
- методиками проектирования ветропарков;

- методами оценки влияния ВЭУ на окружающую среду, их размещения с учетом экологических и других требований и ограничений;
- методами оценки эффективности практического использования ВЭУ;

Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин «Физика», «Энергопреобразующие машины», «Механика жидкостей и газов» и др.

В соответствии с учебным планом дисциплина "Ветроэнергетика" изучается в объеме 142 часа, в т. ч. 62 аудиторных часов – очная форма обучения и 16 аудиторных часов – заочная форма обучения. Из них для очной формы обучения 28 часов лекций, 16 часа практических занятий и 18 часа лабораторных занятий, для заочной формы обучения 6 часов лекций, 6 часов практических занятий и 4 часа лабораторных занятий, выполняется контрольная работа.

Форма текущей аттестации – экзамен в 7 семестре для очной формы получения высшего образования и в 7 семестре для заочной формы получения высшего образования.

Форма получения высшего образования – очная и заочная.

Содержание учебного материала

1. Введение

Предмет и задачи дисциплины. Рекомендуемая литература. Ветроэнергетика как отрасль энергетики и техническая наука. История развития ветроэнергетики. Современное состояние ветроэнергетической отрасли в мире. Потенциал, проблемы и перспективы развития ветроэнергетики в Беларуси. Законодательство Республики Беларусь в области ветроэнергетики.

2. Ветер как источник энергии

Ветер как явление природы и энергетический ресурс. Формирование ветра, законы атмосферной циркуляции.

Основные гидрометеорологические и энергетических параметры ветра. Среднегодовая и максимальная скорость ветра; годовой и суточный ход скорости ветра. Повторяемость скоростей и направлений ветра. Интегральная и дифференциальная повторяемость, распределение Вейбулла. Удельная мощность и удельная энергия ветра. Построение атласа ветров.

Фоновая скорость ветра. Класс открытости метеостанции. Классификация Милевского. Методика определения шероховатости подстилающей поверхности. Изменение скорости ветра с высотой.

Оценка ветроэнергетического потенциала территории. Порядок оценки ветроэнергетического потенциала при размещении ветроэнергетических установок на территории Республики Беларусь. Порядок проведения измерений параметров ветра и использования полученных данных при планировании размещения ветроэнергетических установок.

Определение годовой выработки ВЭУ

3. Теоретические основы ветроэнергетики

Основные законы аэродинамики. Аэродинамические параметры обтекаемых воздушным потоком тел и характеристики крыльев различных профилей.

Принцип работы крыльчатого ветродвигателя. Теория идеального ветродвигателя. Коэффициент использования энергии ветра. Критерий Бетца. Аэродинамические характеристики ветродвигателей. Лобовое давление на ветроколесо. Крутящий момент. Сила лобового сопротивления. Быстроходность.

4. Классификация и типовые конструкции ВЭУ, и их элементы

Классификация ВЭУ. ВЭУ с горизонтальной и вертикальной осью

вращения. Преимущества и недостатки ветротурбин с горизонтальной и вертикальной осью вращения. Ветроустановки на эффекте Магнуса.

Конструкции современных ВЭУ с горизонтальной осью вращения. Требования к конструкциям ВЭУ. Технические характеристики современных ВЭУ и горизонтальной осью вращения.

Конструкции ВЭУ с вертикальной осью вращения. Роторы Дарье, Савониуса, Giromill, Мак-Гроув, геликоидный. Особенности аэродинамики ветроустановок с вертикальной осью вращения.

Генераторы для ВЭУ. Асинхронные генераторы. Синхронные генераторы.

Конструктивная компоновка гондолы ВЭУ. Базовая компоновка гондолы и ее разновидности (Klatt-генератор, Heller-De Julio-генератор, система Гендерсона). Упрощенная базовая компоновка гондолы. Простейшая конструкция гондолы на базе генератора с постоянными магнитами. ВЭУ с прямым приводом. Мульти генераторная компоновка гондолы ВЭУ на базе синхронного генератора с постоянными магнитами. Мульти генераторная компоновка гондолы на базе асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором (Удалов).

Фундаменты ветроустановок.

5. Режимы работы ветроэнергетических установок

Режимы работы ветроколеса. Использование ветроколесом энергии ветра. Связь режимов работы ветроколеса и генератора ВЭУ. Области контроля скорости и мощности ВЭУ. Методы контроля скорости ветроколеса и выходной мощности генератора (управление углом атаки лопастей, использование лопастей со срывом воздушного потока).

Скоростной режим генератора. Вращение с одной фиксированной скоростью. Вращение с двумя фиксированными скоростями. Использование силовой электроники совместно с генератором, работающим с переменной скоростью. Система на базе ассинхронизованного генератора, работающего с переменной скоростью. Система прямого привода, работающего с переменной скоростью. Выбор скорости остановки ВЭУ.

Согласование режима работы ВЭУ с электрической нагрузкой. Режимы с постоянной и переменной скоростью.

Контроль и управление ВЭУ. Области контроля скорости турбины. Схема регулирования скорости ротора с постоянным значением быстроходности. Схема поддержания пиковой мощности на выходе генератора. Схема поддержания частоты на выходе генератора. Регулирование мощности, отдаваемых в нагрузку, с помощью балластных резисторов.

6. Ветроэнергетические системы

Классификация ветроэнергетических систем. Автономные ветроэнергетические системы. Гибридные (ветродизельные) системы. Системы с подключением ветроустановок к мощным энергосистемам.

Автономные ВЭУ и их применение. Типовые конструкции автономных ВЭУ с горизонтальной и вертикальной осью вращения.

Методы накопления энергии. Электрохимическая батарея. Маховое колесо. Сжатый воздух. Суперпроводящая катушка. Гидроаккумулирование.

Гибридные ветроэнергетические станции. Децентрализованные системы электроснабжения с использованием ветродизельных комплексов.

Ветроэнергетические станции большой мощности (ветропарки). Основы проектирования ветропарков. Выбор площадок для размещения ветропарков, экологические ограничения по размещению в соответствии с законодательством

Республики Беларусь. Получение разрешений на строительство и техническое обеспечения строительства. Ветропарки, устанавливаемые на морском шельфе.

7. Эксплуатация и техническое обслуживание ВЭУ и ВЭС

Основные принципы организации безопасной эксплуатации и технического обслуживания ВЭУ и ВЭС. Работа с персоналом. Технический контроль и технологический надзор за организацией эксплуатации. Техническое обслуживание, ремонт и модернизация. Техническая документация. Системы управления и защиты ВЭУ. Требования безопасности к механическому оборудованию ВЭУ и ВЭС.

Требования безопасности к гидравлической и пневматической системам, к масляному хозяйству.

Требования безопасности к электрическому оборудованию ВЭУ и ВЭС. Требования безопасности к распределительным устройствам, силовым кабельным линиям, релейной защите и электроавтоматике.

Требования безопасности к системе заземления и молниезащите ВЭУ.

Планирование режима работы ВЭУ и ВЭС. Предупреждение и ликвидация технологических нарушений.

Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) ВЭУ и ВЭС.

8. Разработка и реализация ветроэнергетического проекта

Основные этапы разработки и реализации проекта в области ветроэнергетики.

Современное программное обеспечение, используемое при реализации проектов в области ветроэнергетики.

Расчет основных параметров, характеризующих экономическую эффективность вложения средств в ветроэнергетические проекты в Республике Беларусь.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

для очной формы получения высшего образования

Номер модуля, занятия	Наименование модуля, занятия; перечень основных (базовых) вопросов	Количество аудиторных часов					Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Управляемая самостоятельная работа студентов	Литература	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Введение	2				[1-3, 12-14]	—
2	Ветер как источник энергии	2	6	8		[1-3, 5-7]	Защита лабораторных работ, контрольный срез, решение компьютерных задач
3	Теоретические основы ветроэнергетики	4		8		[1,2,4]	Защита лабораторных работ,

							контрольный срез, решение компьютерных задач
4	Классификация и типовые конструкции ВЭУ и их элементы	4	6			[1,2,4,5]	контрольный срез, решение компьютерных задач
5	Режимы работы ветроэнергетических установок	4	6			[4]	контрольный срез, решение компьютерных задач
6	Ветроэнергетические системы	4				[4,5, 12–15]	контрольный срез, решение компьютерных задач
7	Эксплуатация и техническое обслуживание ВЭУ и ВЭС	4				[8]	
8	Разработка и реализация ветроэнергетического проекта	4				[7, 11,16, 17]	Защита лабораторных работ, контрольный срез, решение компьютерных задач
	И Т О Г О	28	18	16			

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

для заочной формы получения высшего образования

Номер модуля, занятия	Наименование модуля, занятия; перечень основных (базовых) вопросов	Количество аудиторных часов				Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные занятия	Управляемая самостоятельная работа студентов		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Введение					[1,2,3,4, 5]	
2	Ветер как источник энергии	1	2	2		[1,2,3,4, 5]	контрольный срез, решение компьютерных задач
3	Теоретические основы ветроэнергетики	1	2			[1,2,3,4, 5]	контрольный срез, решение компьютерных

							задач
4	Классификация и типовые конструкции ВЭУ и их элементы	1	2	2		[8]	Защита лабораторных работ, контрольный срез, решение компьютерных задач
5	Режимы работы ветроэнергетических установок	1				[5]	
6	Ветроэнергетические системы	0,5				[3,4,5, 6,7]	
7	Эксплуатация и техническое обслуживание ВЭУ и ВЭС	0,5				[8]	контрольный срез, решение компьютерных задач
8	Разработка и реализация ветроэнергетического проекта	1				[6]	контрольный срез, решение компьютерных задач
	ИТОГО	6	6	4			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЛИТЕРАТУРА

Инновационные подходы и методы преподавания дисциплины

При организации образовательного процесса используется практико-ориентированный подход, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, творческий подход, реализуемые, на практических и лабораторных занятиях.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Баран, А. Н. Проектирование объектов возобновляемой энергетики: учеб. пособие / А. Н. Баран [и др.]. – Минск: РИВШ, 2020. – 440 с.
2. Безруких, П. П. Ветроэнергетика: справочно-методическое издание / под общ. ред. П. П. Безруких М.: «Интехэнерго- Издат», «Теплоэнергетик», 2014. — 304 с.

3. Ветроэнергетика: учебное пособие по курсам "Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики", "Физические основы использования возобновляемых источников энергии", "Проектирование и эксплуатация солнечных и ветровых электростанций" для студентов, обучающихся по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / [А. Г. Васьков и др.]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исслед. ун-т "МЭИ". - Москва: Издательство МЭИ, 2016. - 383 с.
4. Лаврентьев, Н. А. Ветроресурсы и условия возведения ветроэнергетических установок на территории Восточной Прибалтийско-Черноморской зоны Европы / Н. А. Лаврентьев., Г. В. Волобуева, А. И. Гноевой, Г. Г. Камлюк, В. И. Евчук. – Минск: Право и экономика, 2010. – 465 с.
5. Удалов, С. Н. Возобновляемые источники энергии: [учебник]/С. Н. Удалов Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.

Дополнительная

6. [ТКП 17.10-44-2020 \(33140\)](#) Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорологическая деятельность. Порядок проведения измерений параметров ветра и оценки ветроэнергетического потенциала при размещении ветроэнергетических установок на территории Республики Беларусь.
7. Энергосбережение и возобновляемые источники энергии: учеб.-метод. пособие / С.П. Кундас [и др.]; под ред. С.П. Кундаса. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – 160 с.
8. Елистратов, В. В., Основное и вспомогательное оборудование установок нетрадиционной и возобновляемой энергетики. Ветроэнергетические установки: учеб. пособие/В. В. Елистратов, М. В Кузнецов., С. Е. Лыков. – СПб.: Изд-во СПб ГПУ, 2008. – 100 с.

Средства обеспечения освоения дисциплины

1. Учебные кинофильмы.
2. Профессиональные компьютерные программы, например: WindPro, Windfarm, Wind Farmer, WindSim, RET Screen, ANSYS.
3. Презентации.
4. Учебно-методические пособия.

Общие требования к контролю качества и средствам диагностики

В вузовской системе управления качеством образования (системе менеджмента качества по СТБ ИСО 9001:2001) осуществляется мониторинг, измерения, контроль качества.

Для аттестации студентов и выпускников на соответствие их персональных знаний и умений поэтапным или конечным требованиям стандарта создаются фонды оценочных средств и технологий, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и др.

Оценка знаний студента на курсовых экзаменах, при защите лабораторных и практических работ производится по 10-балльной шкале. Для оценки знаний и компетентности студентов используются критерии, утвержденные Министерством образования Республики Беларусь.

Для контроля качества образования, в том числе применения компьютерного тестирования используются следующие средства диагностики:

- типовые задания;
- тесты по отдельным разделам и дисциплине в целом;
- письменные контрольные работы;
- устный опрос во время лабораторных и практических занятий;
- составление рефератов по отдельным разделам дисциплины;
- выступления студентов на практических занятиях;
- письменный экзамен, устный экзамен.

Практические занятия, их содержание и объем в часах

№ п/п	Наименование тем	Содержание	Объем, ч	
			очная	заочная
1	Определение характеристик скорости ветра	Систематизация данных о характеристиках ветра Определение характеристик скорости (среднемесячная, сезонная, среднегодовая и средняя многолетняя скорость, повторяемость направлений), на основе многолетних данных метеорологических измерений для различных территорий РБ. Расчет основных параметров распределения Вейбулла для скорости ветра	4	–
2	Распределение фоновых скоростей ветра по территориям	Приведение фактических средних скоростей ветра к фоновым. Фоновое районирование по климатическим территориальным особенностям ветра. Зональное распределение на территории фоновых скоростей ветра. Оценка скорости ветра в зависимости от рельефа и шероховатости местности и других местных условий. Оценка скорости ветра на высотах размещения ветрогенераторов.	4	2
3	Расчет энергетических характеристик ветрового потока	Расчет удельной мощности, удельной энергии и валового потенциала ветровой энергии. Технический и экономический потенциал ветровой энергии	4	2
4	Определение мощности и энергии, вырабатываемой ветроустановкой	Расчет мощности и энергии, вырабатываемой ветроустановками различного типа. Определение среднегодовой выработки энергии	4	2
		И Т О Г О	16	6

Лабораторные занятия, их содержание и объем в часах

№ п/п	Наименование тем	Содержание	Объем, ч	
			очная	заочная
1	Измерение скорости и направления ветра на различной высоте.	Изучение принципа действия анемометра. Измерение скорости и направления ветра на трех высотах. Прогнозирование по результатам измерений скорости ветра на высоте 100 м	6	2

2	Изучение конструкции и измерение основных характеристики ВЭУ малой мощности с горизонтальной осью вращения	Изучение принципа действия и конструкции ВЭУ-6 и лабораторного стенда. Измерение технических характеристик установки в реальных условиях эксплуатации	6	2
3	Изучение конструкции и измерение основных характеристики ВЭУ малой мощности с вертикальной осью вращения (геликоидного типа)	Изучение конструкции и принципа действия VK-58 и лабораторного стенда. Измерение технических характеристик установки в реальных условиях эксплуатации	6	
		И Т О Г О	18	4

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название Кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу
Математика	Кафедра физики и математики	нет	
Физика	Кафедра физики и математики	нет	
Механика жидкости и газа	Кафедра энергоэффективных технологий	нет	
Энергопреобразующие машины	Кафедра энергоэффективных технологий	нет	

Согласовано:

Зав. кафедрой энергоэффективных технологий

В.А. Пашинский