

УДК 621.316.825-14.35.09

UDC 621.316.825-14.35.09

**ОБНОВЛЕНИЕ КУРСА
«ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ
И КОНСТРУКЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ» ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ-
ЭНЕРГЕТИКОВ¹****UPDATE
OF THE COURSE
"ELECTRICAL AND STRUCTURAL
MATERIALS" FOR ENERGY
ENGINEERS**

Т. М. Ткаченко,
кандидат физико-математических наук,
доцент, доцент кафедры практической
подготовки студентов БГАТУ;

С. М. Барайшук,
кандидат физико-математических
наук, доцент, заведующий
кафедрой практической
подготовки студентов БГАТУ;

О. М. Михалкович,
кандидат физико-математических
наук, доцент кафедры физики
и методики преподавания физики
Белорусского государственного
педагогического университета
имени Максима Танка;

С. С. Неведов,
старший преподаватель
кафедры практической
подготовки студентов БГАТУ

T. Tkachenka,
associate professor of the Department
of practical training of students, PhD,
Associate Professor, BSATU;

S. Baraishuk,
associate professor,
PhD, chief of the Department
of practical training of students,
BSATU;

O. Mihalkovich,
associate Professor
of the Department of Physics
and Methods of Teaching Physics,
PhD, Belarusian State
Pedagogical University named
after Maxim Tank;

S. Nefedov,
Senior Lecturer
of the Department of practical
training of students, BSATU

Поступила в редакцию 29.09.2023.

Received on 29.09.2023.

В работе выделены основные изменения, проведенные в процессе обновления курса «Электротехнические и конструкционные материалы». Дисциплина преподается студентам-энергетикам на агроэнергетическом факультете Белорусского государственного аграрного технического университета. В рамках лекционного курса добавлены разделы, посвященные изучению неорганических стекол, пластмасс, резин, керамик и композиционных материалов. Переработан лабораторный практикум.

Ключевые слова: электротехнические материалы, конструкционные материалы, технический вуз, лекционный курс, лабораторный практикум, дистанционное обучение, система MOODLE.

The paper presents the main changes made in the process of updating the course «Electrical and Structural Materials» taught at the Agro-Energy Faculty of the Belarusian State Agrarian Technical University. As part of the lecture course, sections devoted to the study of inorganic glasses, plastics, rubbers, ceramics and composite materials have been added. The laboratory workshop of six papers has been updated.

Keywords: electrotechnical materials, construction materials, technical university, lecture course, laboratory workshop, distance learning, MOODLE system.

Введение. Решение любой технической задачи начинается с выбора материалов, на базе которых эта задача будет решена. Поэтому трудно переоценить роль преподавания курса основ материаловедения при подготовке студентов технических специальностей [1]. Необходимость обновления

курса «Электротехнические и конструкционные материалы», преподаваемого на агроэнергетическом факультете БГАТУ, была связана с реальными изменениями, произошедшими за несколько последних десятилетий в области используемых в технике материалов, а также с академическими изменения-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках проекта № ГР 20211394.

ми, связанными с сокращением времени обучения и переходом на четырехлетнюю подготовку специалистов-инженеров-энергетиков. Что касается первой причины обновления курса, то сложно даже кратко перечислить все новые группы современных материалов, которые не только синтезированы в последние десятилетия, но уже широко используются в технике. Это различные новые полупроводниковые материалы для энергетики, новые углеродные материалы: графен, фуллерен, нанотрубки, высокотемпературные сверхпроводники и многие другие. Очевидно, что основные сведения о таких материалах должны были войти в теоретическое описание обновленного курса. В свою очередь, ограничение времени обучения также требовало существенных методических изменений. В частности, изучение основ материаловедения требует знаний принципиальных законов природы, преподаваемых в курсе физики, но количество академических часов на изучение физики в университете существенно сокращено. В связи с этими обстоятельствами при подготовке обновленного курса по электротехническим и конструкционным материалам необходимо было придать ему максимально интеграционный характер. В переводе с латинского «*enteger*» означает полный, цельный, ненарушенный процесс, имеющий своим результатом целостность, объединение, соединение. Существует несколько интеграционных моделей [2–5]. В нашем случае мы постарались реализовать междисциплинарную интеграцию материаловедения, физики, химии, электротехники. Такой синтез содержания учебных дисциплин позволяет сформировать у студентов целостное представление о свойствах и особенностях применения электротехнических и конструкционных материалов на практике.

Еще одно современное требование к процессу обучения, являлось важным при обновлении курса – углубление его практико-профессиональной направленности, что было максимально учтено при обновлении цикла лабораторных работ по предмету.

Обновление лекционного курса. Проведенное обновление курса «Электротехнические и конструкционные материалы», преподаваемого на агроэнергетическом факультете в Белорусском государственном аграрном техническом университете, привело к заметным изменениям в лекционном курсе, в мето-

дике постановки лабораторных работ, а также к внедрению дистанционных форм обучения через систему MOODLE.

Традиционно при подготовке инженеров-энергетиков предмет «Электротехнические и конструкционные материалы» излагается в двух разделах, первый из которых – «Конструкционные материалы». В этом разделе упор делается на механические свойства материалов. Во втором разделе «Электротехнические материалы» подробно рассматриваются свойства материалов при их использовании в электрических и магнитных полях.

При обновлении теории курса основные изменения коснулись именно раздела «Конструкционные материалы» [6]. Учебный материал этого раздела излагался как основы металловедения в предположении, что основной материал техники – металлы и сплавы. Однако в последние десятилетия ситуация в этой области радикально изменилась. Абсолютно во всех областях техники в значительной мере металлы и сплавы заменяют на керамику, пластмассы, композиты, в том числе нанокompозиты, практически без ухудшения, а часто и с улучшением результирующего набора механических свойств. В этой связи в обновленном курсе необходимо было добавить, хотя бы в краткой форме, сведения об этих группах материалов. А так как все материалы находятся в процессе постоянного обновления и пополнения, то было решено обобщенно классифицировать новые материалы по классам. Так, в разделе «Конструкционные материалы», помимо раздела «Металлы, сплавы, технологии», были добавлены раздел «Неметаллы» и «Композиционные материалы». В разделе «Неметаллы» изложены основные свойства групп, наиболее используемых в электротехнике: полимерные материалы – пластмассы и резины, неорганические стекла, керамика. Современный специалист должен четко представлять важнейшее различие всех существующих сегодня пластмасс, состоящее в способе отверждения, и соответствующую классификацию всех пластмасс на термопласты и реактопласты. Важность этого знания связана с принципиальными различиями в утилизации этих двух типов пластмасс, в процессах их термообработки, склеивании и т. п. Эти знания, безусловно, пригодятся специалисту в его профессиональной деятельности. В разделе дается представление о современных классифика-

торах, которыми маркируют пластмассы в целях упрощения работы с ними.

Ранее в учебной литературе по классу материалов «неорганические стекла», как правило, рассматривали только оксидные стекла. И хотя до сих пор оксидные, в основном силикатные, стекла действительно составляют большую часть используемых конструктивных стекол, в обновленном курсе добавлены сведения о стекле в общем виде. Показано, что стеклообразователем может быть любое вещество, включая металлы. В понятии «стекло» главное не вещество-стеклообразователь, а та квазиаморфная структура, которая образуется на его основе в результате переохлаждения расплава основы.

В разделе о керамике приведена основная классификация, достоинства и недостатки современных керамик и особо подчеркивается, что под названием материала «керамика» подразумевается не состав материала, а технология его получения. В современной технике в качестве конструктивных материалов используют далеко не только глиняную керамику, а керамики самых разнообразных составов. Это огромный класс высококачественных материалов, обладающих жаростойкостью, износоустойчивостью, устойчивостью к корро-

зии, биологической совместимостью и др. Большая часть современной технической керамики вообще не содержит глины. Так, например, одним из самых используемых современных классов магнитных материалов являются ферриты. Это керамика, полученная на основе тугоплавких окислов металлов, с обязательным содержанием окисла железа.

В современной технике огромное применение нашли разнообразные композиционные материалы (рисунок 1), поэтому в разделе о композиционных материалах обобщены основные сведения об этом классе: классификация как по типу матрицы, так и по типам наполнителя; деление по проявлению свойств на изотропные и анизотропные и др. Приведены данные о наиболее современном и бурно развивающемся классе композитов – нанокompозитах. В настоящее время нанотехнология считается одним из наиболее перспективных направлений в совершенствовании свойств материалов и создании материалов с заданным комплексом свойств. Использование нанокompонент в качестве наполнителей разнообразных матриц позволяет получить повышение механической прочности, твердости и других свойств исходных компонент не в разы, а на порядки.

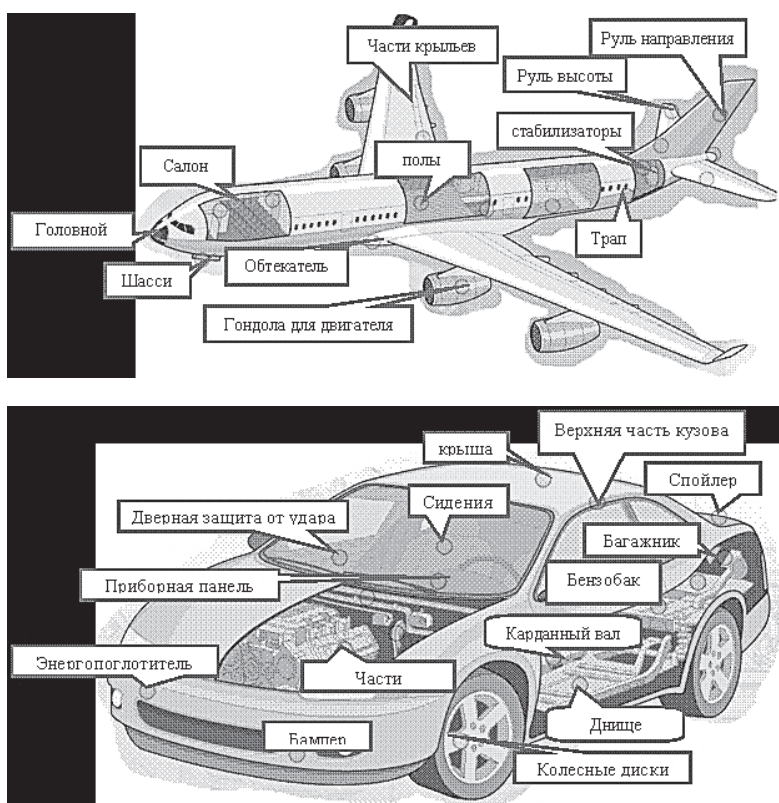


Рисунок 1 – Пример применения композитов в современном автомобилестроении и авиастроении

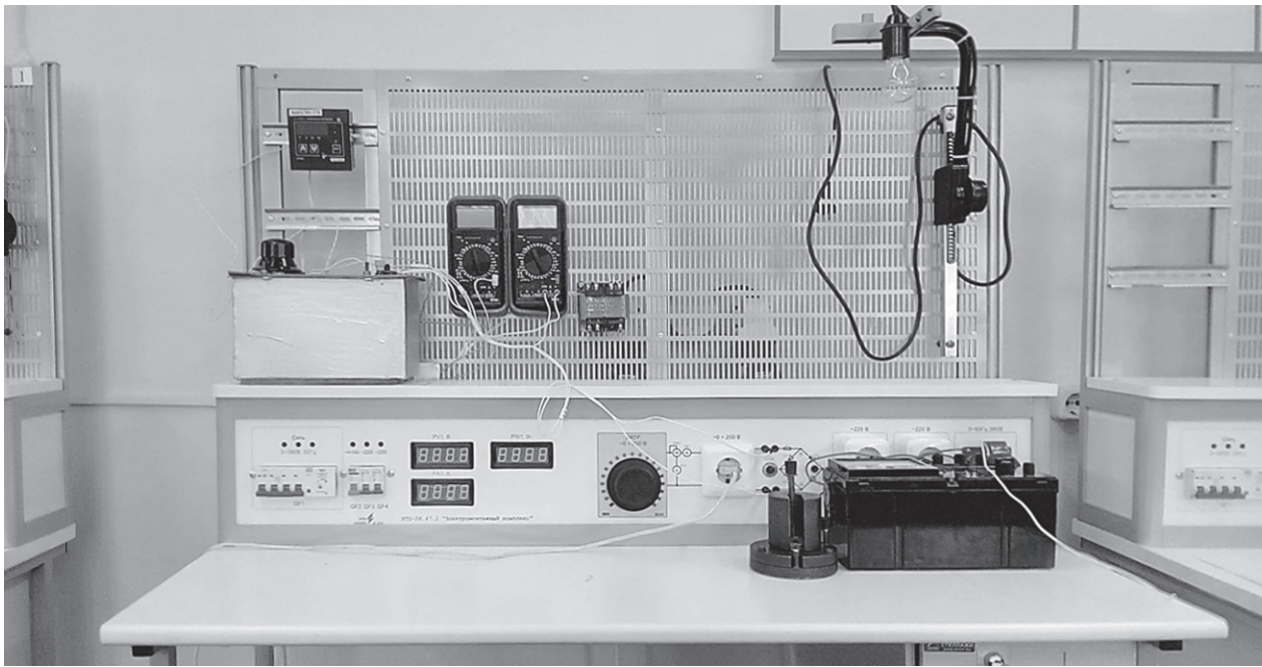
Обновление лабораторного практикума. При обновлении цикла лабораторных работ было учтено, что база материалов для нужд техники обновляется стремительно. Поэтому постановка работ была направлена на изучение общих закономерностей, позволяющих объединять материалы в классы по их фундаментальным свойствам [7–8]. Науками об общих закономерностях и свойствах материалов более всего являются физика и некоторые разделы химии, потому обновление лабораторного практикума было проведено в тесной «связке» дисциплин. В то же время обновление мы постарались провести на базе отечественного оборудования, находясь в тренде импортозамещения.

Как известно, основной классификацией электротехнических материалов является классификация по поведению в электрическом (проводники, полупроводники и диэлектрики) и магнитном полях. Поэтому наиболее показательной в нашем обновленном лабораторном практикуме можно считать работы, в которых студентам предоставлена возможность самостоятельно экспериментально проанализировать изменение важнейшего электротехнического параметра материала – электрического сопротивления – различных материалов. Для описанной проблемы были проанализированы известные ранее лабораторные работы [9–10]. Экспериментальная лабораторная установка была создана на базе универсального электромонтажного комплекса НТЦ-08.47.1 «Электромонтажный комплекс» [11]. В соответствии с техническим заданием на две лабораторные работы «Электрические свойства проводников» и «Электрические свойства простейших полупроводниковых компонентов» [12] встроенный электрический модуль стенда был модернизирован: в частности, вместо вентиляционного канала установлен автотрансформатор, вместо аналоговых приборов установлены модульные вольтметр, амперметр, ваттметр, встроен источник постоянного напряжения, диодный мост, многофункциональные цифровые мультиметры Mastech MY64 (рисунок 2).

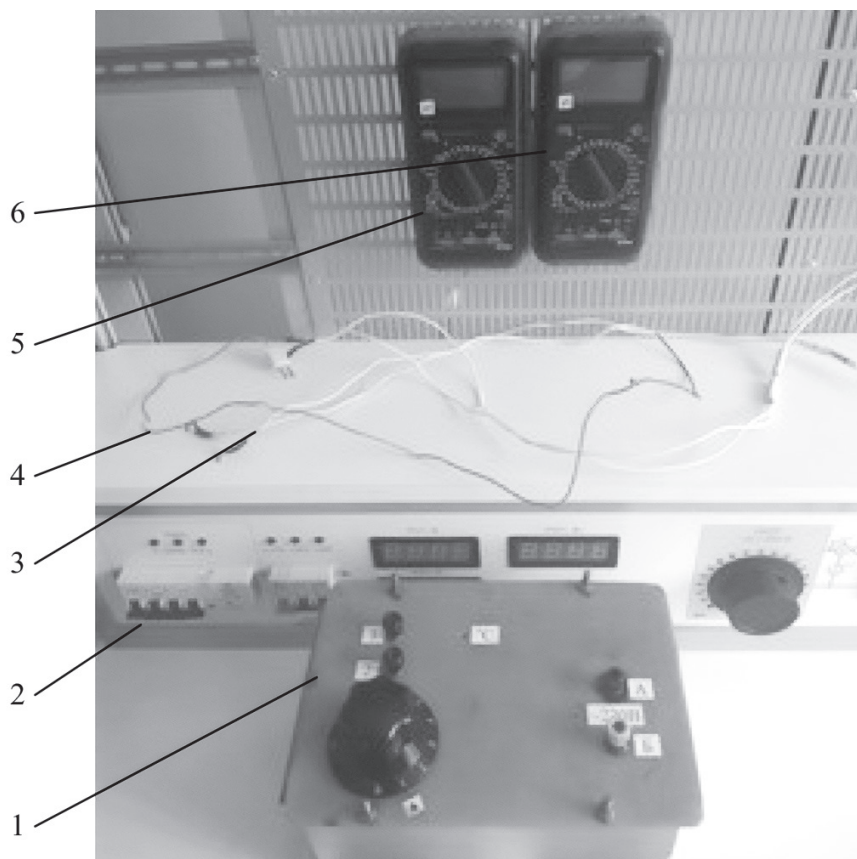
Особо следует подчеркнуть отличия поставленных работ от прототипов. Одним из важнейших отличий является то, что в лабораторных работах мы исследуем не полупроводниковые материалы, а полупровод-

никовые компоненты. Такую замену мы сочли уместной, так как полупроводники в электротехнических устройствах в чистом – «собственном» – виде не используются. Требуемые электротехнические свойства для практического применения полупроводников – проводимость электронного или дырочного типа – искусственно наводятся в них путем легирования. Но и легированные полупроводники в технике используются только в виде различных комбинаций, создающих простейшие полупроводниковые устройства, называемые полупроводниковыми компонентами или элементами. Поэтому при постановке новой лабораторной работы, как элемента практической подготовки, мы ориентировались на изучение свойств простейших полупроводниковых компонент, как непосредственно применяемых на практике.

Важным отличием работ по изучению температурной зависимости сопротивления материалов является также возможность на базе одного доработанного стенда проводить одновременное исследование двух различных групп – проводников и полупроводниковых компонент. Это позволяет значительно сократить время на проведение эксперимента, так как процесс нагревания-охлаждения материалов в большом объеме масла является «времязатратным». Еще одно отличие от прототипа [10] – это возможность в нашем практикуме проведения одновременного исследования большого числа образцов. Число вариантов для одного рабочего места превышает 30. На данный момент в работе одновременно исследуется 10 образцов: четыре различных металла (проводников) и шесть простейших полупроводниковых компонент. В качестве исследуемых металлов мы используем широко применяемые в энергетике медь, алюминий, нихром и константан. В качестве полупроводниковых компонент установлены термисторы и позисторы различных марок. В работе возможно разведение вариантов в рамках одного лабораторного стенда и одновременное выполнение работы несколькими студентами, что особенно уместно для «ускоренного» учебного процесса на заочном отделении.



а



б

Рисунок 2 – Внешний вид доработанного лабораторного стенда: а – общая комплектация стенда; б – оборудование для проведения работ «Зависимость электрических свойств проводниковых материалов от температуры» и «Зависимость электрических свойств полупроводниковых компонент от температуры»; 1 – испытательная емкость; 2 – базовый стенд НТЦ-08.47.1 «Электромонтажный комплекс»; 3 – измерительные провода; 4 – датчик температуры (термопара); 5, 6 – многофункциональные цифровые мультиметры Mastech MY64

Доработан стенд и для постановки лабораторной работы по изучению зависимости электрических свойств простейших полупроводниковых компонент от освещенности (рисунок 4) [13–15]. Особенностью данной работы также является то, что в наборе образцов для исследования сопротивления либо выходного напряжения используются не полупроводниковые материалы, а различные полупроводниковые компоненты. В число исследуемых компонент включена солнечная панель, что наглядно демонстрирует студентам энергетических специальностей влияние мощности освещенности на выходное напряжение такого полупроводникового компонента.

Полностью обновленный лабораторный практикум из шести работ представлен в работе [16].

Использование системы MOODLE. В последние годы существенно повышена роль дистанционного образования. Это совокупность методов, форм и средств взаимодействия со студентами в процессе их самостоятельного, но контролируемого со стороны преподавателя освоения дисциплины. Дистанционные образовательные технологии имеют ряд преимуществ перед традиционными формами обучения: гибкость, возможность для студентов заниматься предметом в удобное для себя время и обращаться ко многим источникам учебной информации – электронным библиотекам, банкам данных и т. п. Современные телекоммуникационные средства позволяют студенту, территориально отдаленному от преподавателя, в любое время лично обратиться к нему.

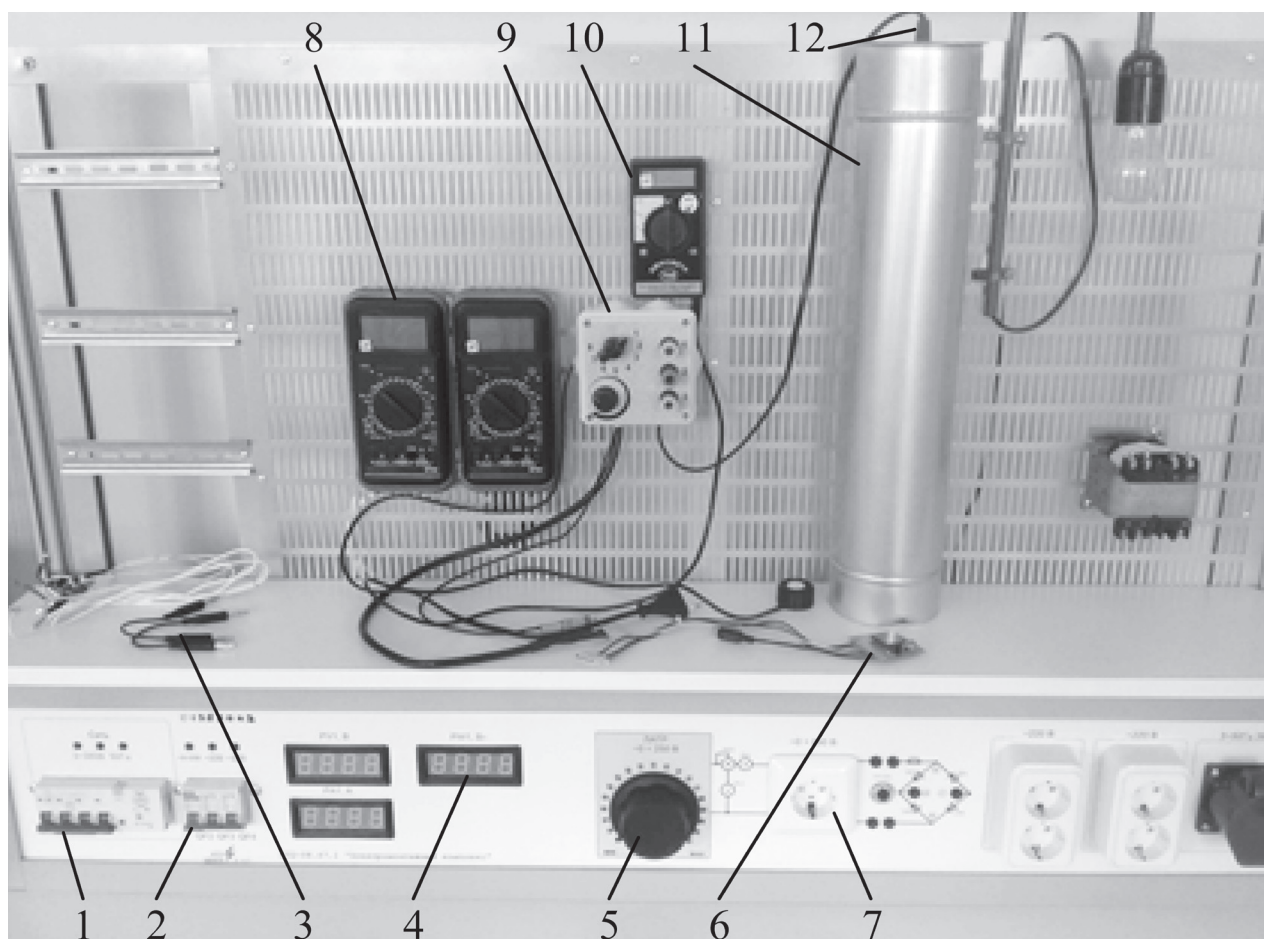


Рисунок 4 – Доработанный лабораторный стенд для проведения работы «Зависимость электрических свойств полупроводниковых компонент от освещенности»: 1 – вводный четырехполюсный автоматический выключатель, 2 – однополюсный автоматический выключатель, 3 – измерительные провода, 4 – стендовый ваттметр, 5 – автотрансформатор (ЛАТР $\sim 0\div 250$ В), 6 – плата с исследуемыми полупроводниковыми компонентами, 7 – розетка для подключения блока управления, 8 – мультиметр Mastech MY64, 9 – блок управления, 10 – люксметр, 11 – металлическая труба, 12 – источник света

В настоящее время наибольшее распространение в мире получили платформы электронного обучения Blackboard и Moodle. По данным компании Blackboard, ее программные продукты поддерживают учебный процесс в 72 % университетов мира, входящих в топ-200 глобальных рейтингов. В системе Moodle важнейшим элементом осуществления дистанционного преподавания является электронный учебно-методический комплекс по дисциплине. Комплекс должен содержать материалы, позволяющие студенту изучать дисциплину самостоятельно в соответствии с учебной программой вуза по данной дисциплине [17]. Учебно-методический комплекс – это электронная библиотека, содержащая основные и дополнительные учебно-методические пособия, практикумы, каталоги ссылок на соответствующие образовательные порталы в Интернете. В комплексе должен быть конспект лекций преподавателя, непосредственно осуществляющего преподавание предмета в вузе. В комплексе также предполагаются методические указания к лабораторным и практическим занятиям по курсу, набор тестов для самопроверки студентами полученных знаний. Может содержаться и другой полезный в изучении предмета материал. Разработка электронного контента и работа в виртуальной среде, особенно на первом этапе, требуют от преподавателя значительных временных затрат, информационно-коммуникационной компетентности, навыков формирования учебных и оценочных средств работы в электронной обучающей среде. Но в дальнейшем отлаженная система дистанционного обучения освобождает преподавателя от исключительной функции лектора (транслятора теоретической информации). У него появляется дополнительное время для индивидуальной работы со студентами, проведения консультаций, рецензирования работ, общения в сети и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барайшук, С. М. Роль современного материаловедения в подготовке инженеров-энергетиков для АПК / С. М. Барайшук, Т. М. Ткаченко // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве. – 2019. – С. 336–338.
2. Лопаткин, В. М. Интегративные тенденции в развитии образовательных систем: Международный и Российский опыт / В. М. Лопаткин // Вестник ТГПУ. Сер. Естественные и точные науки. – 2004. – № 6 (43). – С. 141–148.

Нами разработан электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по дисциплине, включающий весь объем данных по предмету: теоретическое пособие, практикум, архив рекомендуемых учебников, ссылки на полезные электронные ресурсы. В комплекс входит большая база тестовых вопросов, которые позволяют студентам путем постоянной тренировки укреплять знания по предмету.

Особое значение ЭУМК приобретает для студентов заочной формы обучения. В современной энергетике предъявляются особые требования к специалисту, зачастую он должен разбираться в нескольких специальностях одновременно, то есть существует потребность во втором высшем образовании. Заочная форма обучения позволяет это делать, не отрываясь от рабочего процесса. Студенты-заочники обучаются по тем же стандартам, получают те же знания и навыки, что и студенты дневных (очных) факультетов, однако количество аудиторных занятий и объем самостоятельной работы для них значительно различается в пользу последней [18–19].

Заключение. На кафедре практической подготовки студентов агроэнергетического факультета БГАТУ обновлен курс преподавания предмета «Электротехнические и конструкционные материалы». В лекционный курс включены разделы о неметаллических и композиционных материалах, на базе республиканского оборудования и с учетом сегодняшнего состояния практического применения материалов обновлен лабораторный практикум, создан и интенсивно используется электронный учебно-методический комплекс для реализации возможности дистанционного обучения, большая база тестовых вопросов комплекса в системе Moodle позволяет студентам закреплять полученные знания, а преподавателю дистанционно контролировать процесс обучения.

REFERENCES

1. Barajshuk, S. M. Rol' sovremennogo materialovedeniya v podgotovke inzhenerov-energetikov dlya APK / S. M. Barajshuk, T. M. Tkachenko // Tekhnicheskoe i kadrovoe obespechenie innovacionnyh tekhnologij v sel'skom hozyajstve. – 2019. – S. 336–338.
2. Lopatkin, V. M. Integrativnye tendencii v razvitanii obrazovatel'nyh sistem: Mezhdunarodnyj i Rossijskij opyt / V. M. Lopatkin // Vestnik TGPU. Ser. Estestvennye i tochnye nauki. – 2004. – № 6 (43). – S. 141–148.

3. Интегративный подход в учебном процессе вуза / Г. Я. Гревцева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 5. – С. 262.
4. Осипов, В. В. Интегративный подход в формировании компетенций в образовательном процессе / В. В. Осипов, Т. П. Бугаева // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 1. – С. 140–144.
5. Шестакова, Л. А. Междисциплинарная интеграция как методологическая основа современного образовательного процесса / Л. А. Шестакова // Вестник МГУ. Серия 3: Педагогика. Психология. Образовательные ресурсы и технологии. – 2013. – 1(2) – С. 47–52.
6. Ткаченко, Т. М. Электротехнические и конструкционные материалы : учебное пособие / Т. М. Ткаченко. – Минск : БГАТУ, 2022. – 212 с.
7. Кучеренко, Л. В. Постановка лабораторной работы по физике с профессиональной направленностью / Л. В. Кучеренко // CETERIS PARIBUS. – Москва. – 2016. – № 9 – С. 51–54.
8. Слюсаренко, Э. Е. Совершенствование методов преподавания естественнонаучных дисциплин / Э. Е. Слюсаренко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 11 (часть 1). – С. 29–30.
9. Курс агульної фізики. Лабораторні практикум / під редакцією М. С. Цядрыка і Ул. А. Якавенкі. – Мазыр: Белы вецер, 2000.
10. Исследование зависимости сопротивления металлов и полупроводников от температуры: методические указания к выполнению лабораторной работы Э-05а по курсу «Общей физики», для студентов всех специальностей / сост. доцент, д. ф-м. н. Борисенко С. И. – Томск: изд. ТПУ, 2008. – 15 с.
11. УП «НТП «Центр» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ntpcentr.com/ru/cat/elektromontazh/>. – Дата доступа: 28.03.2023.
12. Особенности постановки лабораторной работы по изучению электрических свойств проводниковых и полупроводниковых материалов на базе универсального электромонтажного комплекса / С. М. Барайшук [и др.] // Весті БДПУ. Серія 3. – 2017. – № 4. – С. 23–28.
13. Методика постановки лабораторной работы по изучению зависимости электрических свойств полупроводниковых материалов от освещенности / С. М. Барайшук [и др.] // Весті БДПУ. Серія 3 – 2018. – № 6 (96). – С. 50–55.
14. Методика постановки лабораторной работы по изучению зависимости электротехнических характеристик полупроводниковых компонент от освещенности / С. С. Неведов [и др.] // Весті БДПУ. Серія 3. – 2019. – № 4. – С. 46–52.
15. Ткаченко, Т. М. Особенности постановки лабораторной работы по изучению свойств полупроводников в курсе материаловедения / Т. М. Ткаченко, С. М. Барайшук, С. С. Неведов // Эпоха науки. – 2021. – № 28. – С. 93–98.
16. Ткаченко, Т. М. Электротехнические и конструкционные материалы: практикум / Т. М. Ткаченко, С. М. Барайшук, С. С. Неведов. – Минск : БГАТУ. – 2022. – 236 с.
17. Электротехнические и конструкционные материалы [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Электротехнические и конструкционные материалы» для специальностей: 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства» (по направлениям), направления специальности: 1-74 06 05-01 Энергетическое обеспе-
3. Integrativnyj podhod v uchebnom processe vuza / G. Ya. Grevceva [i dr.] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2017. – № 5. – S. 262.
4. Osipov, V. V. Integrativnyj podhod v formirovanii kompetencij v obrazovatel'nom processe / V. V. Osipov, T. P. Bugaeva // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2017. – № 1. – S. 140–144.
5. Shestakova, L. A. Mezhdisciplinarnaya integraciya kak metodologicheskaya osnova sovremennogo obrazovatel'nogo processa / L. A. Shestakova // Vestnik MGU. Seriya 3: Pedagogika. Psihologiya. Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2013. – 1(2) – S. 47–52.
6. Tkachenko, T. M. Elektrotekhnicheskie i konstrukcionnye materialy : uchebnoe posobie / T. M. Tkachenko. – Minsk : BGATU, 2022. – 212 s.
7. Kucherenko, L. V. Postanovka laboratornoj raboty no fizike s professional'noj napravlennost'yu / L. V. Kucherenko // CETERIS PARIBUS. – Moskva. – 2016. – № 9 – S. 51–54.
8. Slyusarenko, E. E. Sovershenstvovanie metodov prepodavaniya estestvennonauchnyh disciplin / E. E. Slyusarenko // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. – 2013. – № 11 (chast' 1). – S. 29–30.
9. Kurs agul'naj fiziki. Laboratornyj praktikum / pad redakcyaj M. S. Cedryka i Ul. A. Yakavenki. – Mazyr: Bely vecer, 2000.
10. Issledovanie zavisimosti soprotivleniya metallov i poluprovodnikov ot temperatury: metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu laboratornoj raboty E-05a po kursu «Obshchej fiziki», dlya studentov vseh special'nostej / sost. docent, d. f-m. n. Borisenko S. I. –Tomsk: izd. TPU, 2008. – 15 s.
11. UP «NTP «Centr» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ntpcentr.com/ru/cat/elektromontazh/>. – Data dostupa: 28.03.2023.
12. Osobennosti postanovki laboratornoj raboty po izucheniyu elektricheskikh svojstv provodnikovyh i poluprovodnikovyh materialov na baze universal'nogo elektromontazhnogo kompleksa / S. M. Barajshuk [i dr.] // Becci BDPU. Seryya 3. – 2017. – № 4. – S. 23–28.
13. Metodika postanovki laboratornoj raboty po izucheniyu zavisimosti elektricheskikh svojstv poluprovodnikovyh materialov ot osveshchennosti / S. M. Barajshuk [i dr.] // Vesci BDPU. Seryya 3 – 2018. – № 6 (96). – S. 50–55.
14. Metodika postanovki laboratornoj raboty po izucheniyu zavisimosti elektrotekhnicheskikh harakteristik poluprovodnikovyh komponent ot osveshchennosti / S. S. Nefedov [i dr.] // Becci BDPU. Seryya 3. – 2019. – № 4. – S. 46–52.
15. Tkachenko, T. M. Osobennosti postanovki laboratornoj raboty po izucheniyu svojstv poluprovodnikov v kurse materialovedeniya / T. M. Tkachenko, S. M. Barajshuk, S. S. Nefedov // Epoha nauki. – 2021. – № 28. – S. 93–98.
16. Tkachenko, T. M. Elektrotekhnicheskie i konstrukcionnye materialy: praktikum / T. M. Tkachenko, S. M. Barajshuk, S. S. Nefedov. – Minsk : BGATU. – 2022. – 236 s.
17. Elektrotekhnicheskie i konstrukcionnye materialy [Elektronnyj resurs] : elektronnyj uchebno-metodicheskij kompleks po uchebnoj discipline «Elektrotekhnicheskie i konstrukcionnye materialy» dlya special'nostej: 1-74 06 05 «Energeticheskoe obespechenie sel'skogo hozyajstva» (po napravleniyam), napravleniya special'nosti: 1-74 06 05-01 Energeticheskoe obespechenie sel'skogo hozyaj-

- чение сельского хозяйства (электроэнергетика), 1-74 06 05-02 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (теплоэнергетика) / УО «БГАТУ», АЭФ, Кафедра ППС ; сост.: Т. М. Ткаченко [и др.] . – Электронные данные (145 674 731 байт). – Минск : БГАТУ, 2017.
18. Заочное образование: особенности формы обучения, мотиваций и стратегий студентов. Информационный бюллетень. – М. : НИУ ВШЭ, 2013. – 28 с.
19. Прохорчик С. А. Проблемы заочного и дистанционного образования / С. А. Прохорчик // Высшее техническое образование. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 104–108.
- stva (elektroenergetika), 1-74 06 05-02 Energeticheskoe obespechenie sel'skogo hozyajstva (teploenergetika) / UO «BGATU», AEF, Kafedra PPS ; sost.: T. M. Tkachenko [i dr.] . – Elektronnyye dannye (145 674 731 bajt). – Minsk : BGATU, 2017.
18. Zaochnoe obrazovanie: osobennosti formy obucheniya, motivacij i strategij studentov. Informacionnyj byulleten'. – M. : NIU VShE, 2013. – 28 s.
19. Prohorchik S. A. Problemy zaohnogo i distancionnogo obrazovaniya / S. A. Prohorchik // Vyssee tekhnicheskoe obrazovanie. – 2017. – T. 1, № 1. – S. 104–108.