

УДК 378.147.88

DOI: 10.54835/18102883_2024_35_9

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ КУРС ПО ИЗУЧЕНИЮ СКВАЖИННОГО КАНАЛА СВЯЗИ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ МАГИСТРАТУРЫ ПО ГЕОФИЗИКЕ

Стукач Олег Владимирович^{1,2},

доктор технических наук, профессор Московского института электроники
и математики им. А.Н. Тихонова,
tomsk@ieee.org

Ершов Иван Анатольевич²,

старший преподаватель кафедры защиты информации,
ershov@corp.nstu.ru

Кожемяк Олеся Анатольевна³,

старший преподаватель отделения электронной инженерии,
kozhemiyak@tpu.ru

Быков Сергей Владимирович²,

старший преподаватель кафедры защиты информации,
s.bykov@corp.nstu.ru

¹ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, 20

² Новосибирский государственный технический университет,
Россия, 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Появление и развитие новых технологий в неразрушающем контроле и геофизике требуют серьёзных изменений в преподавании профильных дисциплин. Мы предлагаем краткосрочный курс лабораторных работ для студентов магистратуры по исследованию канала связи для передачи телеметрической информации и неразрушающему контролю. Курс может быть использован для студентов продвинутого уровня, имеющих знания в области радиоэлектроники. Мы считаем, что для достижения высшего качества образования в этой области необходимо, чтобы каждый студент имел опыт работы с лабораторным оборудованием. Это особенно актуально для студентов, которые продолжают своё техническое образование, имея соответствующие дисциплины в учебных планах. Предлагаемый курс призван облегчить понимание концепций получения и передачи телеметрии, проведения экспериментов и анализа данных. Определены цели курса на уровне магистратуры, его структура, план занятий и форма индивидуального отчёта о проделанной работе. Проведен анализ исследований в области активного обучения и результатов его практического применения. Показано, что лабораторные исследования на стендах с использованием промышленного оборудования сильнее мотивируют студентов к освоению академических дисциплин. Курс позволяет студентам применять свои знания для проведения экспериментов, приближенных к тем, что встречаются при решении практических задач. В результате они оптимизируют процесс проведения эксперимента, за счёт чего совершенствуют свои инженерные навыки. Представлены примеры заданий на лабораторных занятиях. Эффективность предложенного курса была оценена по отзывам студентов.

Ключевые слова: инженерный курс, качество образования, геофизика, обработка сигналов, канал связи, электронное устройство, активное обучение

Введение

Первостепенной задачей современного технического образования является внедрение активных инновационных методов проектного обучения с учётом последних технологических достижений [1, 2]. Исследование [3] показывает, что такие технологии не только способствуют лучшему усвоению

материала студентами, но и позволяют им получать больше удовольствия от процесса обучения.

Учёт современных тенденций применения технологий цифровизации и цифровых двойников [4, 5], машинного обучения [6], квантовых коммуникаций [7] и Промышленности 4.0 [8] заставляет искать не только межпред-

метные связи с классическими представлениями, но и новые технологии обучения. Традиционный подход к инженерному образованию, связанный с последовательным изучением дисциплин в области теории цепей, обработки сигналов, измерений, устройств и систем, не работает при обучении студентов старших курсов и особенно магистратуры, поскольку им нужны очень специфические навыки и компетенции для их будущей работы [9].

Частью концепции междисциплинарного обучения являются лабораторные занятия на промышленном оборудовании или некоторых аналогах этого оборудования – стартовых наборах и макетах. В университетах по всему миру появляется всё больше междисциплинарных лабораторий [10].

В последние годы ведущие университеты страны также уделяют всё больше внимания коммуникативному обучению. Из-за растущего числа применений ультравысокочастотного излучения всё большее число учебных заведений включают в свою образовательную программу курсы, связанные с этой областью знания. Нами разработан новый курс для студентов магистратуры. Курс включает исследовательскую деятельность студента по передаче геофизических данных по телеметрическому каналу связи. В рамках курса студенты знакомятся с измерениями и спецификой процессов при использовании сигналов как в области высоких частот, так и в ультразвуковом диапазоне.

Очевидно, что существует острая потребность в комплексных программах, которые включали бы в себя развитие как базовых знаний, так и навыков в предметной области. Существующие пробелы в образовании должны быть восполнены путём сосредоточения внимания на междисциплинарном подходе на уровне магистратуры, который включал бы лабораторные работы и проектное обучение [11].

Авторы работы [12] отмечают, что у междисциплинарных предметов есть большой потенциал для повышения профессиональной компетентности и приобретения академических навыков. В подобных работах мало внимания уделяется техническим трудностям, характерным для лабораторных занятий. Возможности и ограничения использования новых инструментов информационных технологий для обучения в области измерений и приборостроения рассмотрены в статье [13].

Авторы отмечают, что непрерывное развитие электронной промышленности привело к постоянному изменению требований к навыкам выпускников. Студенты жаловались на то, что многочисленные курсы в значительной степени сосредоточены на теоретических знаниях, которые совсем не связаны с потребностями электронной промышленности. В статье представлен инновационный курс, который был разработан с использованием проектного обучения. Несмотря на то, что данный курс, основанный на междисциплинарных связях, продемонстрировал значительное улучшение удовлетворенности студентов, и 65 % студентов предпочли его традиционному обучению, основанному на лекциях, главный упор делался не на лабораторные занятия, а на развитие навыков работы в команде. Этот подход нам кажется явно недостаточным без непосредственного применения знаний на практике.

Исследователи твёрдо уверены в эффективности межпредметного лабораторного обучения на основе проектов [14]. Оно даёт студентам более целостное представление о современных технологиях и имеет большую ценность, чем классические лабораторные работы. Кроме того, отмечается, что студенты лучше справляются с целым проектом, чем с классическими самостоятельными лабораторными работами. Последовательность проведения занятий разработана таким образом, чтобы способствовать глубокому пониманию основ, которые позволят немедленно перейти к работе в рамках своей профессии. План занятия предоставляет студентам возможность получить большой практический опыт работы с современным оборудованием.

Лабораторные курсы часто требуют дорогостоящего и сложного оборудования со специальными мерами для предотвращения повреждений, вызванных ошибками в эксплуатации. Как правило, занятия посещает много студентов. Наша лабораторная работа предполагает использование дорогого оборудования, и в его эксплуатации задействовано несколько студентов старших курсов. Может показаться, что переход на формат VR-лабораторных работ будет конкурентоспособным и востребованным [15]. На самом деле многие исследователи убедились в том, что эффективность и привлекательность таких работ была прозрачной, их разработка довольно затратной, а восторженные отзывы являлись вынужденным следствием недавней пандемии [16].

Большинство университетских программ в развитых странах используют более экономичный подход к преподаванию, чем в предыдущие годы [17]. Типичная программа включает курс математики и физики с акцентом на электромагнитные поля и волны, антенны и распространение радиоволн, оптические системы, теорию цепей и сигналов, технику сверхвысоких частот. Учебная программа может включать занятия по электронным устройствам, антеннам и беспроводной связи. В некоторых программах особое внимание уделяется фотонике и физической или квантовой электронике. Это типично для базового образования, и это не должно повторяться на уровне магистратуры.

В подготовке магистрантов мы можем выделить базовое образование, которое в нашем случае связано с физикой. Это необходимо для понимания общих физических принципов измерения и передачи данных. Как правило, здесь для лабораторных работ используется специальное оборудование [18].

Это антенны и микроволновые устройства, предназначенные для инженеров-электронщиков и инженеров связи. Это важно, поскольку инженеры должны иметь навыки уверенного использования реальных устройств. Хорошим примером является высококачественный курс радиолокации [19], отличающийся наличием учебников и современного лабораторного оборудования.

В работе [20] отмечается снижение качества обучения из-за невозможности использовать при подготовке инженеров базу реального производства. Именно поэтому ключевым аспектом, делающим предложенный нами курс более эффективным по сравнению с традиционными методами обучения, является учебный комплект, основанный на стандартном измерительном оборудовании, применяемом в промышленности. Для внедрения в процесс проблемного обучения используется специально разработанное программное обеспечение. Интеграция всех этих компонентов в работу позволяет студентам за короткое время приобрести набор профессиональных навыков.

Актуальность учебного курса

Одним из наиболее эффективных подходов к преподаванию способов использования радиочастотных и ультразвуковых сигналов является экспериментальная лабораторная

работа. Практическая работа позволяет освоить методы, отвечающие требованиям отрасли. Учебные лаборатории являются уникальной средой обучения, позволяющей одновременно проводить научные исследования. Магистранты работают в условиях бурного развития современных технологий, поэтому необходимо адаптировать учебную программу к потребностям промышленности [21].

Традиционные учебные лаборатории и стенды не соответствуют требованиям к современному образовательному процессу. В отличие от моделирования, использование реального экспериментального оборудования является способом показать тонкие различия между идеализированными системами (обычно изучавшимися и применявшимися в прошлом) и реальным поведением технических средств, используемых в промышленности.

Наша педагогическая задача состоит в том, чтобы повысить уровень подготовки студентов старших курсов, которые изучают электронику в качестве второстепенной дисциплины, путем изучения радиочастотной связи с использованием лабораторного оборудования. Наиболее близкой к нашим результатам является работа [22] о модернизации имеющихся лабораторных стендов и макетов с учётом последних достижений науки и техники на современной компонентной базе и статья [23], в которой авторы предложили студентам эффективную структуру курса для аудиторного преподавания и лабораторных работ в области радиочастотной и микроволновой инженерии. Однако авторы предлагают только структуру учебного плана, которая, на удивление, ничем не отличается от программы бакалавриата для всех технических университетов, и к тому же в некоторой степени устарела.

Цели нашего курса:

- углубить понимание техники для радиочастотной/ультразвуковой связи и областей её применения;
- изучить методы обработки сигналов с данных приборов;
- изучить проблемы, связанные с применением радиочастотных технологий и их влияние на передаваемые сигналы.

Особое внимание уделяется следующим аспектам: моделированию генерации сигнала; особенностям передачи сигнала в средах; приёму и обработке сигналов с помощью со-

временной математики и программного обеспечения; паразитным эффектам на высоких частотах; механическим допускам и широкополосному режиму работы.

Актуальность курса напрямую зависит от важности исследований в области применения радиочастотных технологий в геофизике. Это связано с необходимостью получения достоверной информации о состоянии нефтяных скважин, о соответствующих параметрах режима работы скважины и окружающих её пород. Изолирующие пакеры не позволяют использовать кабельные телеметрические системы, поэтому информацию приходится передавать по беспроводным каналам связи. Насосно-компрессорные трубы подвержены коррозии, и их необходимо своевременно менять, вовремя выявляя дефекты.

С увеличением глубины продуктивного нефтяного пласта надёжность электромагнитного канала снижается. Системы сверхвысоких частот выше 100 МГц не работают на больших глубинах из-за высокого затухания сигнала в среде (до 1 дБ/см). Поскольку в некоторых случаях кабельный канал невозможен, часто используется радиочастотный или ультразвуковой канал. В последние годы беспроводные системы привлекли внимание исследователей. Однако успех таких исследований основан на качестве образования в области геофизики и электроники. В образовательных программах, как правило, уделяют мало времени передаче телеметрии, главным образом, по историческим причинам. На это влиял факт отсутствия в этой области высокооплачиваемых рабочих мест для молодых инженеров. Однако в настоящее время инженерам требуется образование в области радиочастотной и ультразвуковой диагностики, которое может конкурировать с уровнем образования, предлагаемым в университетах большинства европейских стран. Поэтому с академической точки зрения тема передачи телеметрии в геофизике является актуальной и заставляет студентов мыслить на системном уровне. Он объединяет знания, полученные на других курсах, таких как измерительная техника, неразрушающий контроль, бурение скважин и т. д.

Образование сталкивается с разрывом между развитием технологий связи и геофизических исследований. Данная проблема решается в междисциплинарных областях. Поэтому важно создать среду для изучения

явлений, где ведущую роль играет радиоэлектроника. Мы предполагаем, что оптимальным объектом изучения являются способы передачи данных от геофизического оборудования к оператору по внутритрубному пространству. Таким образом, студенту важно понимать как физические процессы в канале связи, так и принципы работы радиочастотного оборудования.

Разработанная лабораторная работа подготавливает студентов к следующим умениям и владениям:

- применению на практике теоретических знаний;
- использованию лабораторных инструментов;
- тестированию электронных устройств;
- устранению неполадок оборудования;
- пониманию процессов приёма и обработки сигналов;
- работе в команде;
- анализу экспериментальных данных и их правильному оформлению.

Лабораторная работа проводится в три этапа:

1. Подготовка к лабораторной работе: изучение лекционных материалов и теоретических положений дисциплины.
2. *Результат:* у студента формируется представление о технологии проведения эксперимента и ожидаемых результатах по каждому пункту лабораторной работы.
3. Выполнение лабораторной работы: получение допуска к лабораторной работе, сравнение экспериментальных данных с ожидаемыми результатами. Этот этап завершается, когда экспериментальные данные совпадают с ожидаемым результатом.

Результат: таблицы данных, основанные на результатах эксперимента.

Оформление результатов: обработка экспериментальных данных, защита отчёта по лабораторной работе.

Результат: рейтинговый балл.

Опыт проведения данных лабораторных работ подтверждает значительное повышение эффективности обучения и позволяет вывести качество подготовки студентов на высокий уровень. Нами использованы следующие технологии обучения:

- проблемное обучение;
- самообразование;
- изучение и использование лабораторных инструментов;

- тестирование электронных устройств;
- формирующееся оценивание;
- использование современного программного обеспечения;
- возможность самостоятельно выбрать тему лабораторной работы.

Предполагается, что студенты продемонстрируют профессиональные навыки, умение получать необходимые знания независимо от экспериментальной работы с лабораторным стендом, использование которого коррелирует с использованием промышленного объекта.

Описание лабораторной работы

С 2014 г. реализуется масштабный проект по исследованию нового канала связи для передачи телеметрии в высокочастотном диапазоне для проектирования новых систем связи. Поскольку он представляет первостепенный интерес для студентов, изучающих контрольно-измерительные приборы, этот проект был анонсирован в университете в образовательных целях. Изучение систем связи, используемых в геофизике, требует междисциплинарных знаний в области обработки сигналов, систем связи, рассеяния, теории кодирования и передатчиков. В нашем курсе студенту предоставляется возможность изучить не только теорию, но и получить практические навыки работы с системой связи. Студенты становятся членами исследовательской группы на протяжении всего проекта. Вопросы, поднятые студента-

ми, помогают улучшить результаты исследований, чтобы проект был плодотворным для всех участников.

К сожалению, мы здесь сталкиваемся с использованием устаревших технологий. Это является не только академической проблемой, но и характерно для многих фирм, занимающихся приборостроением. Как отмечает ряд авторов, основная трудность заключается в высокой стоимости создания лабораторных стендов для студентов [24].

Промышленные инструменты и измерительное оборудование имеют высокую цену. В связи с этим некоторые университеты разрабатывают собственные стенды и программное обеспечение, покупают коммерческое программное обеспечение с образовательной скидкой либо вынуждены отказаться от лабораторных занятий на оборудовании в пользу моделирования. Из-за высокой стоимости геофизического оборудования студенты редко имеют возможность получить практические навыки, востребованные на рынке труда. Нам удалось изготовить имитационное оборудование, которое мало чем отличается от промышленного. Такие лабораторные установки играют важную роль в приобретении технических навыков.

Описание лабораторного стенда

Экспериментальное оборудование показано на рис. 1. Подробное описание схемы и принципа работы изложены в статьях [25, 26].



Рис. 1. Экспериментальная установка

Fig. 1. Experimental setup

Лабораторная работа проводится совместно с преподавателем. У студентов есть возможность самостоятельно проводить измерения (рис. 2). Установка демонстрирует студентам, как каждый элемент влияет на работу всей системы в целом.



Рис. 2. Измерения на прототипе схемы, подключённой к передатчику

Fig. 2. Measurements on the circuit prototype connecting to transmitter

Инженер должен не только уметь читать электронные схемы, но и подключать их к реальным электронным системам. Для этой цели мы предлагаем использовать устройство, показанное на рис. 3, представляющее собой передатчик сигнала. Еще раз отметим, что качественное обучение инженерному делу невозможно без использования реальной электроники.

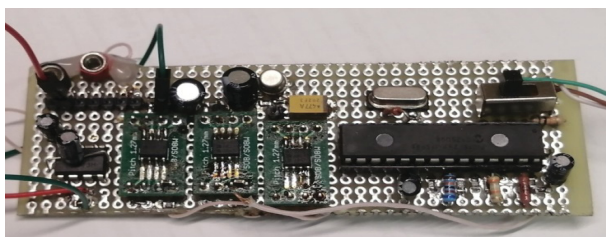


Рис. 3. Устройство для обучения

Fig. 3. Device for studying

На рис. 4 показан экран осциллографа, на котором отображены сигналы на входе и выходе передатчика. Это имитация передачи телеметрии, закодированная кодом «Манчестер II». Используя щуп осциллографа, студенты наблюдают преобразование электрического сигнала при его прохождении через электрическую цепь. На выход цепи подключается акустический передатчик. На другом конце установки (рис. 1) располагается акустический приёмник, подключённый через усилитель к осциллографу.

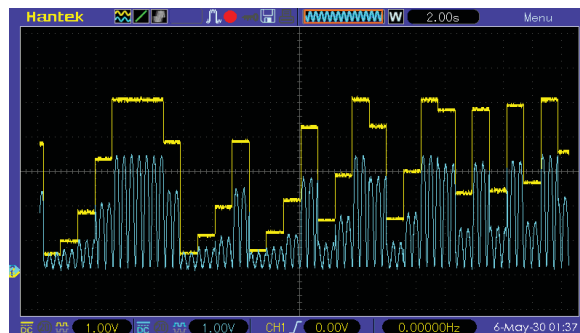


Рис. 4. Наблюдение за результатом обработки сигнала

Fig. 4. Observing signal processing effects

На одном устройстве работает бригада из двух человек. Если лабораторную работу выполняют три студента или более, эффективность обучения значительно снижается, поскольку третьему студенту будет нечего делать. Кроме того, устройства будут выходить из строя во время учебного процесса. Поэтому необходимо предусмотреть возможность выполнения ремонта персоналом без высокой квалификации. Починить электронную плату способны даже студенты. Таким образом, можно предоставить студентам возможность получить реальные практические навыки по ремонту электронных устройств [27].

Изучение канала связи для передачи телеметрической информации

Один из вариантов лабораторного стенда позволяет имитировать передачу телеметрических данных через буровую трубу, которая является средой передачи. Внешний вид стенда показан на рис. 5. Он состоит из рупорных антенн по краям буровой трубы, передатчика и приёмника. Для измерения коэффициента передачи использовался осциллограф. В ходе лабораторной работы студенты измеряют коэффициент передачи в полосе частот и объясняют окно прозрачности в той полосе частот, где коэффициент усиления наибольший (рис. 6).



Рис. 5. Лабораторный стенд для изучения телеметрического канала связи

Fig. 5. Experimental setup for telemetry transfer studying

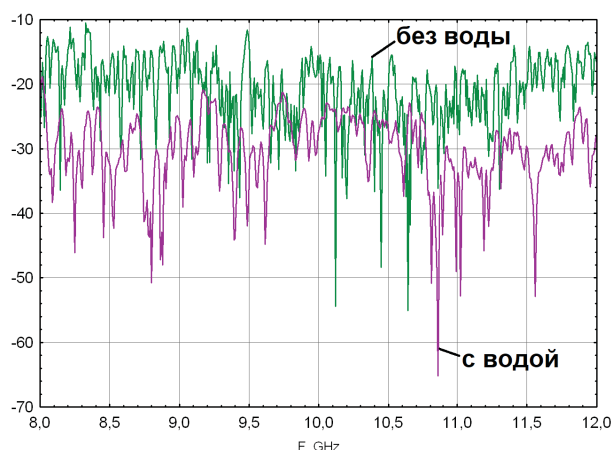


Рис. 6. Затухание сигнала в зависимости от частоты в бурильной трубе

Fig. 6. Attenuation vs frequency at signal propagation through a drilling pipe

Отклик системы представляет собой суперпозицию характеристик канала связи и антенны. Требования к антенному каналу служат ориентиром, с которым будут сравниваться как теоретические, так и экспериментальные результаты. На самом деле измеренные значения далеки от идеала. Студент должен отобразить огибающую радиоимпульса на осциллографе и убедиться, что форма сигнала была сильно искажена в воде по сравнению с такой же, полученной в пустой трубе (рис. 7).

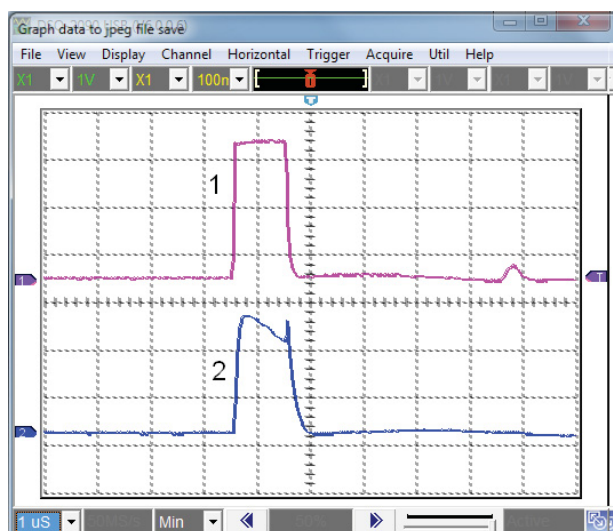


Рис. 7. Входное воздействие и наблюдаемый отклик

Fig. 7. Impact pulse and observed response

Студенты проводят измерение уровней затухания и коэффициента стоячей волны для каждого элемента системы, что позволяет лучше понять физические процессы. Программное обеспечение для визуализации и анализа измеряемой информации является мощным

инструментом для изучения важных основ оценки неопределённости и оценивания переменных параметров [28].

Мы пока не имеем возможности показать студентам плату прибора и процесс его установки в лабораторный стенд. Кроме того, установка не предусматривает использование плат сбора данных, что не дает возможности проводить онлайн занятия. В будущем планируется это сделать, и установка будет представлять собой настоящую киберфизическую систему, пригодную для демонстрации возможностей технологии Интернета вещей [29].

Заключение

Научно-образовательные центры ведущих нефтяных компаний уделяют особое внимание подготовке и переподготовке своих кадров с целью расширения их научного кругозора. По отзывам студентов, работа на реальном физическом оборудовании, приближенном к производственным установкам, позволяет получить наибольшее понимание физических процессов в устройствах, что важно для фундаментального инженерного образования. В данной статье предлагается курс лабораторных работ по радиочастотному каналу связи для передачи телеметрии. Поскольку курс развивает компетенции как в области геофизики, так и в области связи, он вызывает большой интерес у студентов и может выработать навыки для их будущей работы. В результате мы наблюдаем заинтересованность студентов на занятиях. Оценка знаний студентов демонстрирует эффективность предлагаемого курса по сравнению с традиционным. Кроме того, некоторые студенты решили выполнить выпускную работу по данной теме, а также продолжить исследования в аспирантуре.

Расширение области применения радиочастотных технологий требует внедрения соответствующих курсов в образовательную программу университетов. В статье представлен оригинальный междисциплинарный курс по исследованию канала связи и соответствующего оборудования для передачи телеметрической информации через скважину, основанный на использовании физических имитаторов лабораторных стендов. В связи с тем, что его использование в процессе обучения только началось, он нуждается в дальнейшем развитии и совершенствовании.

Курс направлен не только на обучение магистрантов, но и на проведение ими исследо-

ваний в области радиочастотной связи. Курс позволяет магистрантам определиться с темой выпускной квалификационной работы. При разработке курса был применен комплексный подход, который включал изучение технологий передачи телеметрической информации, обработки сигналов и практическую направленность. Большую часть времени студенты тратят на изучение инструментов и методов, используемых в промышленности, а также на изучение фундаментальных дисциплин. Оценка результатов обучения демонстрирует обоснованность предлагаемого курса для инженеров-геофизиков. Дальнейшая разработка курса будет направлена на поддержку программного обеспечения, совершенствование

лабораторных стендов и способов оценки полученных знаний студентов.

Наш опыт показал, что при изучении курса у студентов наблюдалась высокая степень мотивации и вовлеченности в процесс, а также улучшались знания и навыки. Ожидается, что они будут лучше понимать природу физических процессов в изученных устройствах. Всё это дает хорошую мотивацию к обучению и исследованиям, и нацеливает на профессиональную деятельность. Мы считаем, что всё это играет основополагающую роль в становлении молодого инженера.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-29-00024

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Collaborative learning in engineering design education: a systematic literature review / G.V. Helden, B.T.C. Zandbergen, M.M. Specht, E.K.A. Gill // IEEE Transactions on Education. – 2023. – Vol. 66. – № 5. – P. 509–521. DOI: 10.1109/TE.2023.3283609.
2. Агаев Ф.Т., Маммадова Г.А., Меликова Р.Т. «Образование 4.0» в эпоху цифровой трансформации: пути повышения ее эффективности // Открытое образование. – 2023. – Т. 27. – № 4. – С. 4–16. DOI: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2023-4-4-16>.
3. Clinton-Lisell V., Wilson N. More than chalkboards: classroom spaces and collaborative learning attitudes // Learning environments research. – 2019. – Vol. 22. – P. 325–344. DOI: 10.1007/s10984-019-09287-w.
4. Использование цифрового двойника для обучения студентов металлургического профиля / В.Н. Баранов, А.И. Безруких, И.А. Константинов, Э.А. Рудницкий, Н.С. Солопеко, Ю.В. Байковский // Высшее образование в России. – 2022. – Т. 31. – № 2. – С. 135–148. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-2-135-148.
5. Preparing students for a digitized future / M.E. Torbaghan, M. Sasidharan, I. Jefferson, J. Watkins // IEEE Transactions on Education. – 2023. – Vol. 66. – № 1. – P. 20–29. DOI: 10.1109/TE.2022.3174263.
6. Creation and evaluation of a pretertiary Artificial Intelligence (AI) curriculum / T.K.F. Chiu, H. Meng, C.-S. Chai, I. King, S.W.H. Wong, Y. Yam // IEEE Transactions on Education. – 2022. – Vol. 65. – № 1. – P. 30–39. DOI: 10.1109/TE.2021.3085878.
7. Building a quantum engineering undergraduate program / A. Asfaw, A. Blais, K.R. Brown et al. // IEEE Transactions on Education. – 2022. – Vol. 65. – № 2. – P. 220–242. DOI: 10.1109/TE.2022.3144943.
8. Using an interdisciplinary demonstration platform for teaching Industry 4.0 / J. Wermann, A.W. Colombo, A. Pechmann, M. Zarte // Procedia Manufacturing. – 2019. – Vol. 31. – P. 302–308. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.03.048.
9. Routhe H.W., Holgaard J.E., Kolmos A. Experienced Learning Outcomes for Interdisciplinary Projects in Engineering Education // IEEE Transactions on Education. – 2023. – Vol. 66. – № 5. – P. 487–499. DOI: 10.1109/TE.2023.3284835.
10. Decentralized actuator control laboratory: educational deployment and analysis of its learning effectiveness / K. Chen, R. Mahalingam, N. Ormsbee, et al. // IEEE Transactions on Education. – 2024. – Vol. 67. – № 1. – P. 11–19. DOI: 10.1109/TE.2023.3298266.
11. Choo W.H., Kawasaki M., Kung F. RF engineering education – the approach to bridging the industry gap // 2008 IEEE International RF and Microwave Conference. – Kuala Lumpur, Malaysia, 2008. – P. 180–183. DOI: 10.1109/RFM.2008.4897394.
12. Koch F.D. et al. Motivating first-year university students by interdisciplinary study projects // European Journal of Engineering Education. – 2017. – Vol. 42. – № 1. – P. 17–31. DOI: 10.1080/03043797.2016.1193126.
13. Fan H. et al. Interdisciplinary project-based learning: experiences and reflections from teaching electronic engineering in China // IEEE Transactions on Education. – 2023. – Vol. 66. – № 1. – P. 73–82. DOI: 10.1109/TE.2022.3186184.
14. Cross-curricular project-based laboratory learning enables hands-on interdisciplinary education for chemical engineering students / A. Reviere, B. Jacobs, I. Stals, J.D. Clercq // Education for Chemical Engineers. – 2024. – Vol. 47. – P. 1–9. DOI: 10.1016/j.ece.2024.01.001.

15. Холодилин И.Ю., Горожанкин А.Н. Будущее электротехнического образования на базе AR- и VR-технологий // Инженерное образование. – 2022. – № 32. – С. 74–83. – DOI: 10.54835/18102883_2022_32_7.
16. Teaching electronics in the context of Industry 4.0: a survey on the brazilian scenario in the areas of re-configurable logic and microcontrollers / E.G. Mendes, T.F. Sigahi, J.D. Pinto et al. // IEEE Transactions on Education. – 2024. – Vol. 67. – № 1. – P. 65–73. DOI: 10.1109/TE.2023.3315203.
17. Warnick K.F., Selvan K.T. Teaching and learning electromagnetics in 2020: issues, trends, opportunities, and ideas for developing courses // IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2020. – Vol. 62. – № 2. – P. 24–30. DOI: 10.1109/MAP.2020.2969269.
18. Litinskaya Y.A. et al. Antenna measurement equipment for radio engineering education // IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). – 2018. – P. 1–4. DOI: 10.1109/INFORINO.2018. 8581835.
19. Diewald A.R., Wallrath P., Muller S. Five radar sessions for university education // 48th European Microwave Conference (EuMC). – 2018. – P. 456–459. DOI: 10.23919/EuMC.2018.8541528.
20. Похолков Ю.П. Инженерное образование России: проблемы и решения. Концепция развития инженерного образования в современных условиях // Инженерное образование. – 2021. – № 30. – С. 96–107. DOI: 10.54835/18102883_2021_30_9.
21. Партнерство инженерных вузов и предприятий. Опыт ТУСУР / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров, Ю.С. Жидик, И.А. Чистоедова // Инженерное образование. – 2022. – № 32. – С. 84–96. – DOI: 10.54835/18102883_2022_32_8.
22. Сидоров В.Г., Гринберг Г.М., Бархатова Д.А. Модернизация учебного демонстрационного стенда как способ повышения качества практической подготовки будущих инженеров // Открытое образование. – 2023. – Т. 27. – № 5. – С. 4–12. – DOI: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2023-5-4-12>.
23. Massa A. et al. Teaching electromagnetics to next-generation engineers – the ELEDIA recipe: the ELEDIA teaching style // IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2020. – Vol. 62. – № 2. – P. 50–61. DOI: 10.1109/MAP.2020.2970307.
24. Short-term project on microwave passive planar circuits: an educational approach / I. Huynen, R. Platteborze, D. Vanhoenacker-Janvier, A. Vander Vorst // IEEE Transactions on Education. – 2000. – Vol. 43. – № 2. – P. 227–236. DOI: 10.1109/13.848078.
25. Стукач О.В., Ершов И.А., Быков С.В. Приёмно-передающее устройство для исследования канала связи забой-устье // Журнал радиоэлектроники. – 2023. – № 12. DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.12.11>
26. Разработка ультразвукового приемопередатчика для скважинной телеметрии / О.В. Стукач, И.А. Ершов, С.В. Быков, С.А. Гладышев // Журнал радиоэлектроники. – 2022. – № 11. DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.11.3>
27. Павлова И.В., Потапов А.А. Опыт разработки лабораторных стендов студентами в рамках проектного обучения // Преподаватель XXI век. – 2021. – № 1-1. – Ч. 1. – С. 114–121. DOI: 10.31862/2073-9613-2021-1-114-121.
28. Pejcinovic B., Campbell R.L. Active learning, hardware projects and reverse instruction in microwave/ RF education // 2013 European Microwave Conference. – 2013. – P. 1571–1574. DOI: 10.23919/EuMC.2013.6686971.
29. Интеллектуальная киберфизическая система формирования потребностей Интернета вещей / В.М. Трембач, А.А. Микрюков, И.С. Ведьманов, Т.Г. Трембач // Открытое образование. – 2022. – Т. 26. – № 5. – С. 20–31. DOI: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2022-5-20-31>

Поступила: 20.03.2024

Принята: 25.05.2024

Опубликована: 30.06.2024

UDC 378.147.88

DOI: 10.54835/18102883_2024_35_9

INTERDISCIPLINARY CLASSES OF THE BOREHOLE COMMUNICATION CHANNEL FOR THE TELEMETRY TRANSFER TO INCREASE MOTIVATION OF MS STUDENTS IN GEOPHYSICS

Oleg V. Stukach^{1,2},
Dr. Sc., Professor,
tomsk@ieee.org

Ivan A. Ershov²,
Senior Lecturer,
ershov@corp.nstu.ru

Olesya A. Kozhemyak³,
Senior Lecturer,
kozhemyak@tpu.ru

Sergey V. Bykov²,
Senior Lecturer,
s.bykov@corp.nstu.ru

¹ Higher School of Economics,
34, Tallinskaya street, Moscow, 123458, Russian Federation

² Novosibirsk State Technical University,
20, K. Marks avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

³ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation

Advanced technologies in non-destructive testing and geophysics require major changes in education. We propose a short-term laboratory course in investigation of communication channel for telemetry transfer and non-destructive testing for the MS students. The course can be used for students aware in electronics. We guess that in order to achieve the highest quality of education in this field it is necessary that every student has experience in working with laboratory equipment. It is especially urgent for students who continue their technical education with relevant disciplines in curricula. The proposed course is designed to facilitate understanding of the concepts of receiving and transmitting telemetry, conducting experiments and data analysis. The authors defined the objectives of the MS course, its structure, lessons plan and the form of an individual report. The paper introduces the overview in the active learning and the results of its practical application. It is shown that the laboratory experiments using industrial equipment motivate students more strongly to academic training. The course allows students to apply their knowledge to carry out experiments close to practical problems. As a result, they optimize the experimental process thereby improving their engineering skills. Examples of tasks in laboratory classes are presented. The effectiveness of the proposed course was evaluated based on students' feedback.

Keywords: engineering course, the quality of education, geophysics, signal processing, communication channel, electronic device, active learning

The study was carried out with the financial support of the Russian Scientific Foundation in the framework of scientific project no. 22-29-00024.

REFERENCES

1. Helden G.V., Zandbergen B.T.C., Specht M.M., Gill E.K.A. Collaborative learning in engineering design education: a systematic literature review. *IEEE Transactions on Education*, 2023, vol. 66, no. 5, pp. 509–521. DOI: 10.1109/TE.2023.3283609.
2. Agaev F.T., Mammadova G.A., Melikova R.T. "Education 4.0" in the era of digital transformation: ways to improve its efficiency. *Open Education*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 4–16. DOI: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2023-4-4-16>. In Rus.
3. Clinton-Lisell V., Wilson N. More than chalkboards: classroom spaces and collaborative learning attitudes. *Learning environments research*, 2019, vol. 22, pp. 325–344. DOI: 10.1007/s10984-019-09287-w.

4. Baranov V.N., Bezrukikh A.I., Konstantinov I.L., Rudnitsky E.A., Solopeko N.S., Baykovskiy Yu.V. Digital twin application in teaching students majoring in metallurgical engineering. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*, 2022, vol. 31, no. 2, pp. 135–148. (In Russ.) DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-2-135-148
5. Torbaghan M.E., Sasidharan M., Jefferson I., Watkins J. Preparing students for a digitized future. *IEEE Transactions on Education*, 2023, vol. 66, no. 1, pp. 20–29. DOI: 10.1109/TE.2022.3174263.
6. Chiu T.K.F., Meng H., Chai C.-S., King I., Wong S.W.H., Yam Y. Creation and evaluation of a pretertiary Artificial Intelligence (AI) curriculum. *IEEE Transactions on Education*, 2022, vol. 65, no. 1, pp. 30–39. DOI: 10.1109/TE.2021.3085878.
7. Asfaw A., Blais A., Brown K.R. Building a quantum engineering undergraduate program. *IEEE Transactions on Education*, 2022, vol. 65, no. 2, pp. 220–242. DOI: 10.1109/TE.2022.3144943.
8. Wermann J., Colombo A.W., Pechmann A., Zarte M. Using an interdisciplinary demonstration platform for teaching Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 2019, vol. 31, pp. 302–308. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.03.048.
9. Routhe H.W., Holgaard J.E., Kolmos A. Experienced learning outcomes for interdisciplinary projects in engineering education. *IEEE Transactions on Education*, 2023, vol. 66, no. 5, pp. 487–499. DOI: 10.1109/TE.2023.3284835.
10. Chen K., Mahalingam R., Ormsbee N. Decentralized actuator control laboratory: educational deployment and analysis of its learning effectiveness. *IEEE Transactions on Education*, 2024, vol. 67, no. 1, pp. 11–19. DOI: 10.1109/TE.2023.3298266.
11. Choo W.H., Kawasaki M., Kung F. RF engineering education – the approach to bridging the industry gap. *2008 IEEE International RF and Microwave Conference*. Kuala Lumpur, Malaysia, 2008. pp. 180–183. DOI: 10.1109/RFM.2008.4897394.
12. Koch F.D. Motivating first-year university students by interdisciplinary study projects. *European Journal of Engineering Education*, 2017, vol. 42, no. 1, pp. 17–31. DOI: 10.1080/03043797.2016.1193126.
13. Fan H. Interdisciplinary project-based learning: experiences and reflections from teaching electronic engineering in China. *IEEE Transactions on Education*, 2023, vol. 66, no. 1, pp. 73–82. DOI: 10.1109/TE.2022.3186184.
14. Reviere A., Jacobs B., Stals I., Clercq J.D. Cross-curricular project-based laboratory learning enables hands-on interdisciplinary education for chemical engineering students. *Education for Chemical Engineers*, 2024, vol. 47, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.ece.2024.01.001.
15. Kholodilin I.Yu., Gorozhankin A.N. The future of electrical education based on AR- and VR-technologies. *Engineering Education*, 2022, no. 32, pp. 74–83. (In Russ.) DOI: 10.54835/18102883_2022_32_7.
16. Mendes E.G., Sigahi T.F., Pinto J.D. Teaching electronics in the context of Industry 4.0: a survey on the Brazilian scenario in the areas of reconfigurable logic and microcontrollers. *IEEE Transactions on Education*, 2024, vol. 67, no. 1, pp. 65–73. DOI: 10.1109/TE.2023.3315203.
17. Warnick K.F., Selvan K.T. Teaching and learning electromagnetics in 2020: issues, trends, opportunities, and ideas for developing courses. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 2020, vol. 62, no. 2, pp. 24–30. DOI: 10.1109/MAP.2020.2969269.
18. Litinskaya Y.A. Antenna measurement equipment for radio engineering education. *IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino)*, 2018. pp. 1–4. DOI: 10.1109/INFORINO.2018.8581835.
19. Diewald A.R., Wallrath P., Muller S. Five radar sessions for university education. *48th European Microwave Conference (EuMC)*, 2018. pp. 456–459. DOI: 10.23919/EuMC.2018.8541528.
20. Pokholkov Yu.P. Engineering education in Russia: problems and solutions. The concept of development of engineering education in modern conditions. *Engineering education*, 2021, no. 30, pp. 96–107. (In Russ.) DOI: 10.54835/18102883_2021_30_9.
21. Troyan P.E., Sakharov Yu.V., Zhidik Yu.S., Chistoedova I.A. Partnership of engineering universities and enterprises. The experience of TUSUR. *Engineering education*, 2022, no. 32, pp. 84–96. (In Russ.) DOI: 10.54835/18102883_2022_32_8.
22. Sidorov V.G., Grinberg G.M., Barkhatova D.A. Modernization of the educational demonstration stand as a way to improve the quality of practical training of future engineers. *Open Education*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 4–12. DOI: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2023-5-4-12> In Rus.
23. Massa A. Teaching electromagnetics to next-generation engineers – the ELEDIA recipe: the ELEDIA teaching style. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 2020, vol. 62, no. 2, pp. 50–61. DOI: 10.1109/MAP.2020.2970307.
24. Huynen I., Platteborze R., Vanhoenacker-Janvier D., Vander Vorst A. Short-term project on microwave passive planar circuits: an educational approach. *IEEE Transactions on Education*, 2000, vol. 43, no. 2, pp. 227–236. DOI: 10.1109/13.848078.
25. Stukach O.V., Ershov I.A., Bykov S.V. Transceiver for investigation of the downhole-wellhead communication channel. *Journal of Radio Electronics*, 2023, no. 12. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.12.11>

26. Stukach O.V., Ershov I.A., Bykov S.V., Gladyshev S.A. Design of an ultrasonic transceiver for downhole telemetry. *Journal of Radio Electronics*, 2022, no. 11. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.11.3>
27. Pavlova I.V., Potapov A.A. The Experience of students in Developing Laboratory Stands within the framework of project Based Learning. *Prepodavatel XXI vek. Russian Journal of Education*, 2021, no. 1, P. 1, pp. 114–121. (In Russ.) DOI: 10.31862/2073-9613-2021-1-114-121
28. Pejcinovic B., Campbell R.L. Active learning, hardware projects and reverse instruction in microwave/ RF education. *2013 European Microwave Conference*. 2013. pp. 1571–1574. DOI: 10.23919/EuMC.2013.6686971.
29. Trembach V.M., Mikryukov A.A., Vachmanov I.S., Trembach T.G. Intelligent cyber-physical system for shaping the needs of the internet of things. *Open Education*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 20–31. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2022-5-20-31>.

Received: 20.03.2024

Revised: 25.05.2024

Accepted: 30.06.2024