

И. Н. Карманов^{1}*

Проект Лаборатории фотонных технологий

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
*e-mail: i.n.karmanov@ssga.ru

Аннотация. В статье представлен разработанный на кафедре физики СГУГиТ проект учебно-научной лаборатории фотонных технологий. Создаваемая лаборатория предназначена, прежде всего, для материального обеспечения преподавания комплекса дисциплин, предусмотренного учебным планом по направлению подготовки Фотоника и оптоинформатика, а также по другим направлениям подготовки и специальностям Института оптики и технологий информационной безопасности. Кроме того, создание лаборатории позволит активизировать научную деятельность преподавателей и обучающихся в области перспективных квантовых технологий, предоставит дополнительные возможности для проектного обучения. Расширятся возможности кафедры по осуществлению профориентационной деятельности – проведение открытых уроков, мастер-классов, профессиональных проб для школьников.

Ключевые слова: учебно-научная лаборатория, материально-техническое обеспечение, лабораторные работы, фотоника и оптоинформатика, волоконная оптика, лазеры, нелинейная оптика, квантовые коммуникации

I. N. Karmanov^{1}*

The project of photonic technologies Laboratory

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk,
Russian Federation
*e-mail: i.n.karmanov@ssga.ru

Abstract. The article presents the project of the educational and scientific Photonic Technologies Laboratory developed at the Department of Physics of the SSUGT. The laboratory being created is intended, first of all, for material support of teaching a complex of disciplines in the field of Photonics and Optoinformatics, as well as in other areas of training and specialties of the Institute of Optics and Information Security Technologies. In addition, the creation of the laboratory will allow the intensification of the scientific activities of teachers and students in the field of advanced quantum technologies, will provide additional opportunities for project-based learning. The possibilities of the department for implementation of career guidance activities will expand – conducting open lessons, master classes, professional tests for schoolchildren.

Keywords: educational and scientific laboratory, material and technical support, laboratory work, photonics and optoinformatics, fiber optics, lasers, nonlinear optics, quantum communications

Введение

С 2021 года на кафедре физики СГУГиТ ведется подготовка бакалавров по перспективному направлению 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, профиль подготовки – «Приборы квантовой электроники» [1]. В целях повышения качества освоения обучающимися общепрофессиональных и профессиональных

компетенций была поставлена задача совершенствования материальной базы кафедры с созданием новой учебно-научной лаборатории фотонных технологий. Данная лаборатория должна обеспечивать проведение лабораторных и практических занятий по целому ряду специальных дисциплин учебного плана вышеуказанной образовательной программы, и ряда дисциплин, преподаваемых в рамках других направлений и специальностей Института оптики и технологий информационной безопасности (ИОиТИБ). Кроме того предполагается, что создание лаборатории предоставит дополнительные возможности для научной деятельности студентов и преподавателей не только кафедры физики, но и других кафедр ИОиТИБ.

Методы и материалы

При разработке проекта лаборатории была принята концепция совместного использования, как натуральных лабораторных установок, так и виртуальных тренажеров, которых допускаются современным образовательным стандартом ФГОС ВО 3++ [2]. Тем не менее, следует отметить, что основной упор был сделан на применение реальных, натуральных экспериментальных установок.

В качестве оборудования для создаваемой лаборатории было решено использовать установки и лицензионное программное обеспечение, выпущенные исключительно российскими производителями, чтобы минимизировать риски, связанные с санкционной политикой недружественных стран.

Предполагается, что новая лаборатория будет размещена в аудитории 314 (после необходимого ремонта).

Результаты

Прежде всего, был выделен комплекс дисциплин учебного плана по направлению подготовки Фотоника и оптоинформатика, профиль «Приборы квантовой электроники», лабораторные и практические занятия по которым должна обеспечивать создаваемая лаборатория. Дисциплины были разбиты на пять блоков:

- 1) Физическая оптика;
- 2) Источники, приемники и преобразователи излучения;
- 3) Физические свойства оптических волокон;
- 4) Оптические сети и системы связи;
- 5) Квантовые коммуникации и квантовая информатика.

Затем для каждого блока был осуществлен подбор оборудования и/или виртуальных тренажеров как из числа уже имеющегося на кафедре материально-технического обеспечения, так и подлежащего приобретению (табл. 1). В табл. 1 также приведен перечень лабораторных и практических работ, которые позволяет реализовать то или иное оборудование или программное обеспечение.

На данный момент почти все оборудование, вошедшее в состав проектируемой лаборатории, имеется в наличии. Исключение составляет лишь лабораторный стенд «Режимы импульсной генерации твердотельного лазера», который находится в стадии изготовления в ООО «Академлазермаш», функционирующем на базе Института автоматики и электрометрии СО РАН.

Структура и возможности лабораторного комплекса

Дисциплины	Оборудование	Лабораторные / практические работы
Блок 1. Физическая оптика		
<p>Физика</p> <p>Оптическая физика</p> <p>Специальные разделы физики</p>	<p>Натурные лабораторные установки на базе гелий-неоновых и полупроводниковых лазеров, разработанные на кафедре физики СГУГиТ.</p> <p>Лабораторные комплексы по волновой оптике, интегрированные с ПК, разработанные на кафедре физики СГУГиТ [3–5].</p> <p>Комплекс виртуальных лабораторных работ по физике (разработка СГУГиТ) [6, 7].</p>	<p>Интерференция:</p> <ul style="list-style-type: none"> – опыт Юнга; – кольца Ньютона. <p>Дифракция:</p> <ul style="list-style-type: none"> – дифракция Фраунгофера на щели; – дифракционная решетка; – определение радиуса отверстия дифракционным методом; – изготовление и изучение зонной пластины Френеля; – изготовление и исследование дифракционных оптических элементов. <p>Поляризация:</p> <ul style="list-style-type: none"> – проверка закона Малюса; – изучение свойств поляризованного света; – изучение двойного лучепреломления в полимерной пленке. <p>Разложение в спектр (дисперсия).</p> <p>Голография:</p> <ul style="list-style-type: none"> – изготовление и исследование голограммных оптических элементов. <p>Геометрическая оптика:</p> <ul style="list-style-type: none"> – определение показателя преломления стеклянной пластины; – определение оптической силы и показателя преломления линзы; – определение фокусных расстояний и положения главных плоскостей оптической системы

Дисциплины	Оборудование	Лабораторные / практические работы
Блок 2. Источники, приемники и преобразователи излучения		
<p>Основы фотоники</p> <p>Физические основы оптоинформатики</p> <p>Физика твердого тела</p>	<p>Лабораторный стенд «Исследование характеристик оптических источников и фотодиодов» [8]</p>	<p>Ватт-амперные характеристики лазерного диода (ЛД) и светоизлучающего диода (СИД).</p> <p>Поляризационные свойства излучения ЛД и СИД</p> <p>Зависимость степени когерентности ЛД от тока накачки</p>
<p>Оптические спектры атомов</p> <p>Основы спектроскопии</p> <p>Нелинейная оптика</p> <p>Проектирование квантовых приборов</p> <p>Схемотехника устройств фотоники и квантовой электроники</p>	<p>Лабораторный стенд «Режимы импульсной генерации твердотельного лазера» на основе неодимового лазера с диодной накачкой [9]</p>	<p>Измерение расходимости лазерного излучения.</p> <p>Измерение энергетических и временных характеристик лазерного излучения.</p> <p>Активная модуляция добротности (Q-switch) в неодимовом лазере.</p> <p>Синхронизация мод (CWML) в неодимовом лазере.</p> <p>Режим модуляции добротности с синхронизацией мод (QML) в неодимовом лазере.</p> <p>Изучение интерферометра Майкельсона.</p> <p>Измерение длительности ультракороткого импульса неодимового лазера корреляционным методом.</p> <p>Генерация второй гармоники в кристалле LBO</p>
Блок 3. Физические свойства оптических волокон		
<p>Физические основы оптоинформатики</p> <p>Оптическая физика</p>	<p>Лабораторный стенд «Физические основы распространения оптических волн в волоконных световодах» [10]</p>	<p>Изучение зависимости коэффициента отражения от угла падения при различных поляризациях падающей волны.</p> <p>Измерение угла Брюстера.</p> <p>Измерение угла полного внутреннего отражения.</p> <p>Зависимость углов Брюстера и полного внутреннего отражения от показателя преломления сред</p>

Дисциплины	Оборудование	Лабораторные / практические работы
Блок 4. Оптические сети и системы связи		
<p>Основы оптоинформатики</p> <p>Волоконно-оптические линии связи</p> <p>Современные оптические коммуникации</p>	Лабораторный стенд «Компоненты волоконно-оптической линии связи (ВОЛС)» [11]	<p>Сборка ВОЛС и работа с измерительным оборудованием.</p> <p>Энергетическая характеристика лазерного модуля.</p>
	Лабораторный стенд «Модель оптического линейного тракта» [12]	<p>Темновой ток и токовая чувствительность фотоприемника.</p> <p>Затухание в оптическом волокне.</p> <p>Потери постоянных соединений ВОЛС.</p> <p>Разъемные соединения ВОЛС</p> <p>Постоянные и переменные аттенюаторы для ВОЛС.</p> <p>Оптические разветвители.</p> <p>WDM сплиттеры.</p> <p>Простейшая оптическая сеть с уплотнением на WDM сплиттерах.</p> <p>Модель оптического линейного тракта без уплотнения и с WDM уплотнением каналов</p>
	Виртуальный тренажер «Основы волоконно-оптических линий связи» [13]	<p>Волоконно-оптический кабель.</p> <p>Сварка волокна.</p> <p>Оптоволоконные разъемы.</p> <p>Оконцевание оптоволокна.</p> <p>Внутреннее устройство оптических коннекторов и адаптеров.</p> <p>Оптическая муфта.</p> <p>Разводка распределительной коробки.</p> <p>Монтаж розетки</p>
Блок 5. Квантовые коммуникации и квантовая информатика		
<p>Физические основы оптоинформатики</p> <p>Основы фотоники</p>	Виртуальный тренажер «Основы квантовой криптографии» [14]	<p>Сборка и юстировка оптической схемы, реализующей протокол BB84.</p> <p>Использование протокола BB84</p>
	Виртуальный тренажер «Свойства фотонов» (разработка СГУГиТ) [15]	<p>Фотоэффект.</p> <p>Неделимость фотона.</p> <p>Интерференция одиночных фотонов</p>

Обсуждение

Ввод в эксплуатацию новой учебно-научной лаборатории создаст дополнительные возможности для внедрения в учебный процесс кафедры физики СГУГиТ элементов проектной деятельности [16].

Лаборатория фотонных технологий может быть использована не только для обучения студентов СГУГиТ, но и позволит усилить профориентационную составляющую деятельности кафедры физики. Новым трендом в этой области являются так называемые «профессиональные пробы» [17], позволяющие школьникам, серьезно задумывающимся о будущей профессиональной деятельности в той или иной интересующей их области, попробовать себя, что называется, «в деле» – на реальном оборудовании, либо на его аналоге – виртуальном тренажере. Предполагается, что создаваемая лаборатория позволит ребятам, интересующимся фотоникой и оптоинформатикой, в ходе такой пробы ознакомиться с физическими основами оптических информационных технологий, самостоятельно собрать модель волоконно-оптической линии связи и исследовать ее параметры, увидеть, как работает квантовый протокол защиты информации и т.д.

Заключение

Создание лаборатории фотонных технологий на кафедре физики СГУГиТ обеспечит технические возможности для качественной подготовки обучающихся по направлению Фотоника и оптоинформатика. Это особенно важно в связи с вероятными уже в ближайшей перспективе глубинными изменениями в образовательной системе Российской Федерации, с намечающимся трендом к возрождению базового инженерного образования, к переходу от бакалавриата к специалитету [18].

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность руководству ФГБОУ ВО «СГУГиТ» в лице ректора А.П. Карпика и директора ИОиТИБ А.В. Шабуровой за поддержку проекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карманов И.Н., Михайлова Д.С., Сырнева А.С. Открытие подготовки по направлению «Фотоника и оптоинформатика» – ответ на вызовы цифровизации оптических технологий // Актуальные вопросы образования. – 2020. – Т. 3. – С. 50–55.
2. ФГОС ВО 3++ по направлению подготовки бакалавров 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика [Электронный ресурс]. – URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/120303_V_3_12102017.pdf (дата обращения: 28.02.2023).
3. Корнеев В.С., Райхерт В.А., Шергин С.Л., Никулин Д.М. Компьютерная обработка изображений дифракционных картин в лабораторных работах по физике // Физическое образование в ВУЗах. – 2019. – Т. 25. – № 4. – С. 31–38.
4. Корнеев В.С., Райхерт В.А. Цифровые технологии обработки оптических изображений в лабораторном практикуме по физике // Актуальные вопросы образования. – 2020. – Т. 1. – С. 185–190.
5. Корнеев В.С., Райхерт В.А. Компьютеризация лабораторных работ по физике на примере лабораторной работы «Соотношение неопределенностей для фотонов» // Актуальные вопросы образования. – 2018. – № 1. – С. 200–204.

6. Тюшев А.Н., Бугаков П.Ю. Компьютерная программа «Diffraction_young» для двух лабораторных работ: «Опыт Юнга» и «Дифракционная решетка» // Актуальные вопросы образования. – 2020. – Т. 1. – С. 146–150.
7. Тюшев А.Н., Бугаков П.Ю. Nrings / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019611353, 24.01.2019. Заявка № 2019610160 от 10.01.2019.
8. Лабораторная установка «Исследование характеристик оптических источников и фотодиодов» [Электронный ресурс]. – URL: https://newstyle-y.ru/high-school/radio/laboratornyj-kompleks/item_5923/ (дата обращения: 28.02.2023).
9. В.И. Донин, Д.В. Яковин, А.В. Грибанов. Структура пикосекундных импульсов генерации в диодно-накачиваемом Nd:YAG-лазере с модуляцией добротности и синхронизацией мод // Квантовая электроника. – Т.45. – № 12. – 2015. – С. 1117–1120.
10. Лабораторная установка «Физические основы распространения оптических волн в волоконных световодах» [Электронный ресурс]. – URL: https://newstyle-y.ru/high-school/radio/laboratornyj-kompleks/item_5815/ (дата обращения: 28.02.2023).
11. Лабораторный стенд «Компоненты волоконно-оптической линии связи» ВОЛС-01 [Электронный ресурс]. – URL: <https://labstand.ru/catalog/volokonno-opticheskie-linii-svyazi/laboratornyj-stend-komponenty-volokonno-opticheskoy-linii-svyazi-vols-01> (дата обращения: 28.02.2023).
12. Лабораторный стенд «Модель оптического линейного тракта» ВОЛС-07 [Электронный ресурс]. – URL: <https://labstand.ru/catalog/volokonno-opticheskie-linii-svyazi/laboratornyj-stend-model-opticheskogo-linejnogo-trakta-vols-07> (дата обращения: 28.02.2023).
13. Виртуальный тренажер «Основы волоконно-оптических линий связи» [Электронный ресурс]. – URL: <https://labstand.ru/catalog/strukturirovannye-kabelnye-sistemy-i-elektroseti/virtualnyj-trenazhyor-osnovy-volokonno-opticheskikh-linij-svyazi-focl-virt-3> (дата обращения: 28.02.2023).
14. Виртуальный тренажер «Основы квантовой криптографии» [Электронный ресурс]. – URL: <https://labstand.ru/catalog/kriptograficheskie-sredstva/virtualnyj-trenazhyor-osnovy-kvantovoj-kriptografii-qcrypto-virt> (дата обращения: 28.02.2023).
15. Тюшев, А.Н. Физика. Оптика. Молекулярная физика. Квантовая физика [Текст]: практикум / А.Н. Тюшев. – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – 94 с.
16. Карманов И.Н. Перспективы реализации проектного обучения на кафедре физики СГУГиТ // Актуальные вопросы образования. – 2021. – Т. 1. – С. 59–62.
17. Профессиональная проба – путь в профессию: Методическое пособие по разработке программ практических мероприятий (профессиональных проб) для организации профориентационной работы с обучающимися / сост.: Т. В. Шатина, Н. Н. Малова, Т. Ю. Морозова. – Саранск: ЦНППМ «Педагог13.ру», 2022. – 240 с. [Электронный ресурс] – URL: https://obr.edurm.ru/images/2022/Профессиональная_проба-путь_в_профессию_2022.pdf (дата обращения 28.02.2023).
18. Послание Президента Федеральному Собранию 21 февраля 2023 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/70565> (дата обращения: 28.02.2023).

© И. Н. Карманов, 2023