

УДК 535.513.1

С. В. Мурзин, Э. А. Волохов, Е. С. Горошко, Д. Н. Пятых

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИМЕНЯЕМОГО В КВАНТОВОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Аннотация. Внедрение квантовых технологий в различные отрасли науки и техники обеспечивают их бурное развитие. В частности приоритетной задачей становится обеспечение информационной безопасности цифровых данных. Шифрование цифровых данных достигается с помощью фундаментальных законов физики, что послужило разработкой квантового ключа. Для понимания протекающих процессов при генерации квантового ключа в квантово-оптическом канале связи, является наглядная демонстрация реализация формирования базисов. Согласно сформированным базисам, которые в свою очередь определяются состоянием поляризации излучения в канале связи, происходит генерация ключа. Необходимым является разработка имитационного стенда определяющего состояние поляризации лазерного излучения.

Ключевые слова: квантовые технологии, квантовые коммуникации, квантовое распределение ключей, состояние поляризации, базис излучения.

S. V. Murzin, E. A. Volokhov, E.S. Goroshko, D. N. Pyatykh

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

DEVELOPMENT OF A SIMULATION STAND FOR STUDYING THE POLARIZATION STATE OF LASER RADIATION USED IN A QUANTUM COMMUNICATION LINE

Abstract. The introduction of quantum technologies into various fields of science and technology is fueling their rapid development. Ensuring the information security of digital data, in particular, is becoming a priority. Digital data encryption is achieved using the fundamental laws of physics, which led to the development of the quantum key. To understand the processes involved in generating a quantum key in a quantum-optical communication channel, a visual demonstration of the formation of bases is provided. Key generation occurs based on the generated bases, which in turn are determined by the polarization state of the radiation in the communication channel. Developing a simulation rig to determine the polarization state of laser radiation is essential.

Keywords: quantum technologies, quantum communications, quantum key distribution, polarization state, radiation basis..

Введение

Квантовые технологии представляют собой принципиально новый физический подход к обеспечению конфиденциальности и целостности данных. Внедрение квантово-устойчивых решений становится приоритетной задачей для обеспечения информационной безопасности государства и бизнеса, особенно в условиях появления квантовых компьютеров, способных взломать существующие криптографические методы [1-3].

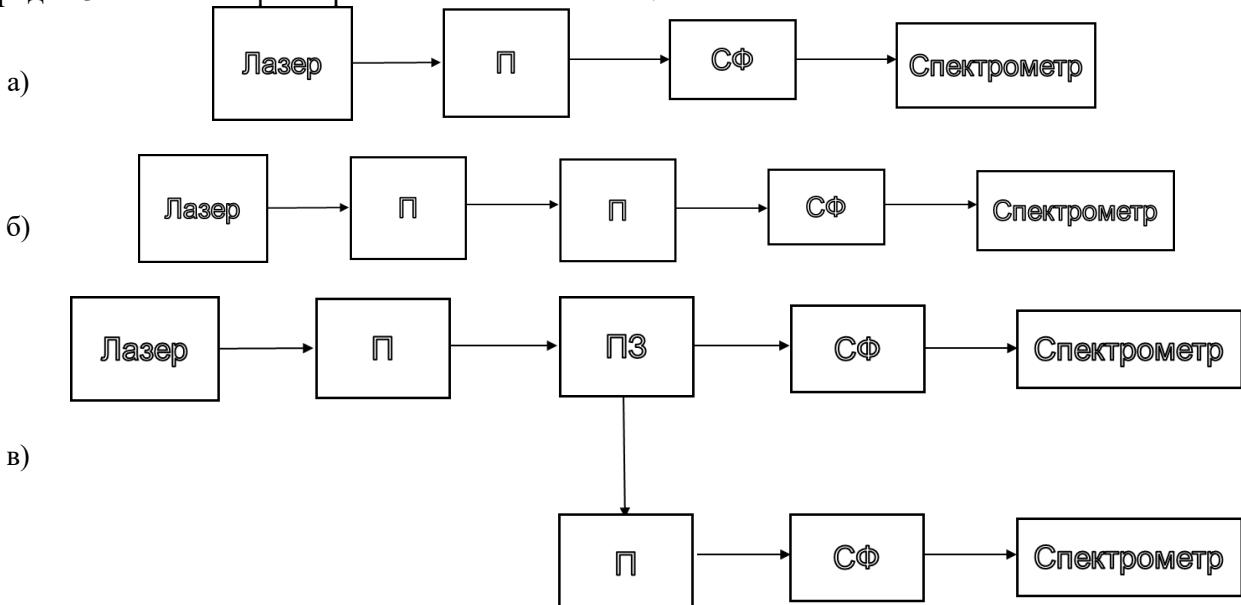
Актуальность данного направления подтверждается вовлеченностью многих компаний и НИИ, в том числе ГК «РосАтом», ОАО «РЖД» РКЦ, ФИАН и др., которые занимаются финансирование данной области и проведение различных исследований в данном направлении [4-7].

Одним из основных направлений развития и внедрения квантовых технологий в профессиональную деятельность является квантовые коммуникации, которые в свою очередь позволяют обеспечивать высокую степень защищенности информации, передаваемую по квантово-оптической линии связи. Это обеспечивается на основе фундаментальных законов физики, которые позволяют получить квантовое распределение зашифрованного ключа (КРК). Уникальность заключается в том, что при атаке на данный канал связи, и в случае перехвата данных, злоумышленник не сможет их расшифровать, а отправитель и получатель

своевременно смогут зафиксировать факт прослушки канала и прервать сеанс связи. На основе этого, необходимым является обеспечение, понимая принципов получения квантового ключа (КК), у студентов с помощью имитационного лабораторного стенда для исследования состояния поляризации источников лазерного излучения. Разработка такого стенда является целью настоящей работы.

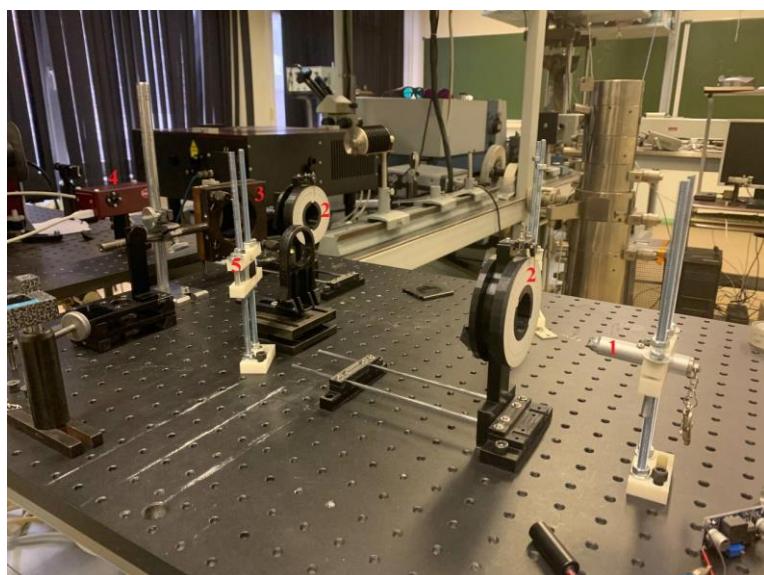
Экспериментальная установка и обсуждение результатов

Блок схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1. На рисунке 2 представлена фотография экспериментальной установки. Источником лазерного излучения является непрерывный лазерный диод с длиной волны 632 нм и мощностью излучения порядка 3мВт. Светофильтр использовался НС-11.



П-поляризатор, СФ- светофильтр, ПЗ-полупрозрачное зеркало.

Рис. 1. Блок схема экспериментальной установки



1 – лазер, 2 – поляризатор, 3 – светофильтр, 4 – спектрометр, 5 – зеркало

Рис. 2. Экспериментальная установка

На рисунке 3 представлена экспериментальная установка, собранная на основе блок схемы показанной на рис. 1(в), за исключением использования полупрозрачного зеркала.

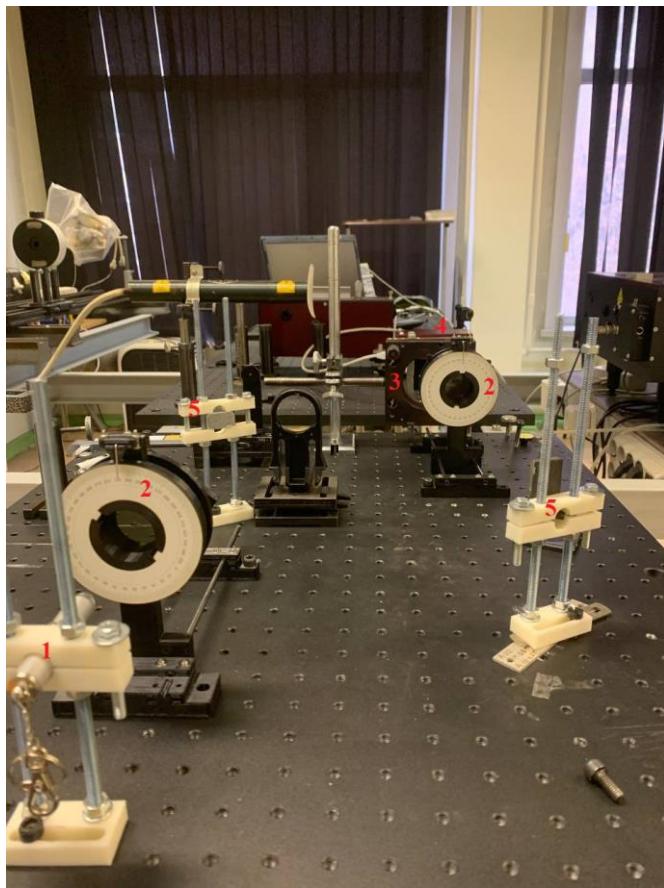


Рис. 3. Экспериментальная установка

Рассмотрев, основные принципы реализации КРК, представленные в [8] нами были разработаны схемы, для создания имитационного стенда по изучению состояния поляризации лазерного излучения. На рисунке 1(в) использована схема интерферометра Маха-Цендера, которая широко применяется в схемах для КРК.

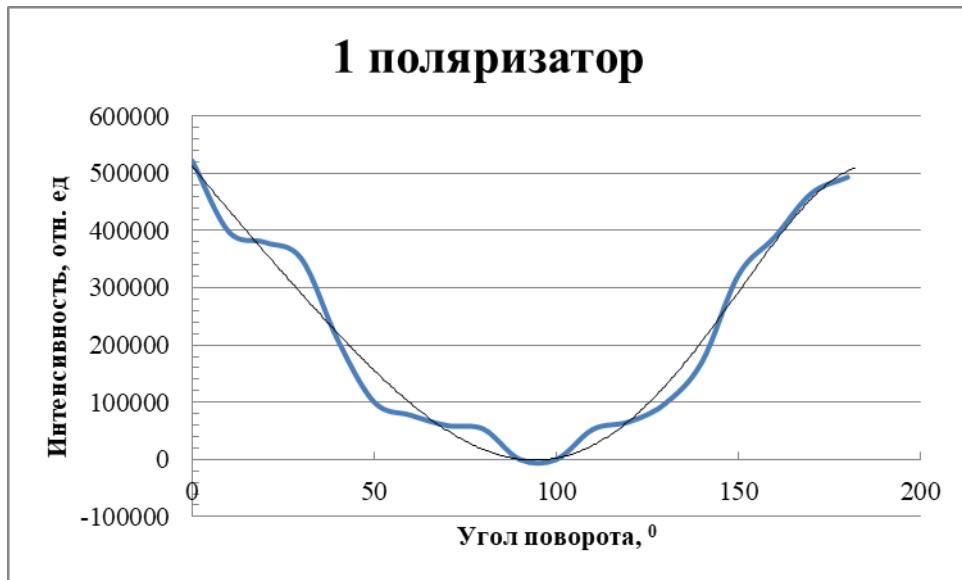
Начальным этапом работы заключается проведение экспериментов по исследованию состояния поляризации одного источника лазерного излучения. Для этого нами были реализованы схемы, представленные на рис. 1 (а) и рис. 1 (б), в установку показанной на рис. 2. Использование светофильтра обусловлено тем, что при прямом наведении лазерного излучения в окно спектрометра наблюдается его засветка, что не позволит определить его истинную интенсивность.

На рисунке 4 представлен интенсивность лазерного излучения длиной волны 632 нм. Из графика видно, что при условии совпадении плоскости лазерного излучения и плоскости поляризатора наблюдается максимальная интенсивность излучения. При повороте плоскости поляризатора наблюдается снижение интенсивности вплоть до нулевого значения. Таким образом, можно сделать вывод, что плоскость поляризации излучения лазерного источника с длиной волны равна 652 нм, является линейной. Результаты измерений были сведены в таблицу 1, также был произведен пересчет значения интенсивности излучения, с учетом прохождения через светофильтр.

Таблица 1 – Результаты измерений интенсивности лазерного излучения в зависимости от поворота поляризатора

Угол поворота, $^{\circ}$	Интенсивность с светофильтром, отн. ед.	Интенсивность без светофильтра, отн. ед.
0	5500	521940
10	4200	398440
20	4000	379440
30	3700	350940
40	2200	208440
50	1060	100140

60	820	77340
70	630	59290
80	565	53115
90	0	0
100	0	0
110	560	52640
120	700	65940
130	1040	98240
140	1800	170440
150	3400	322440
160	4100	388940
170	4900	464940
180	5200	493440



Синяя – экспериментальные значения, Чёрная – линия тренда, представляющая собой полином 5 порядка

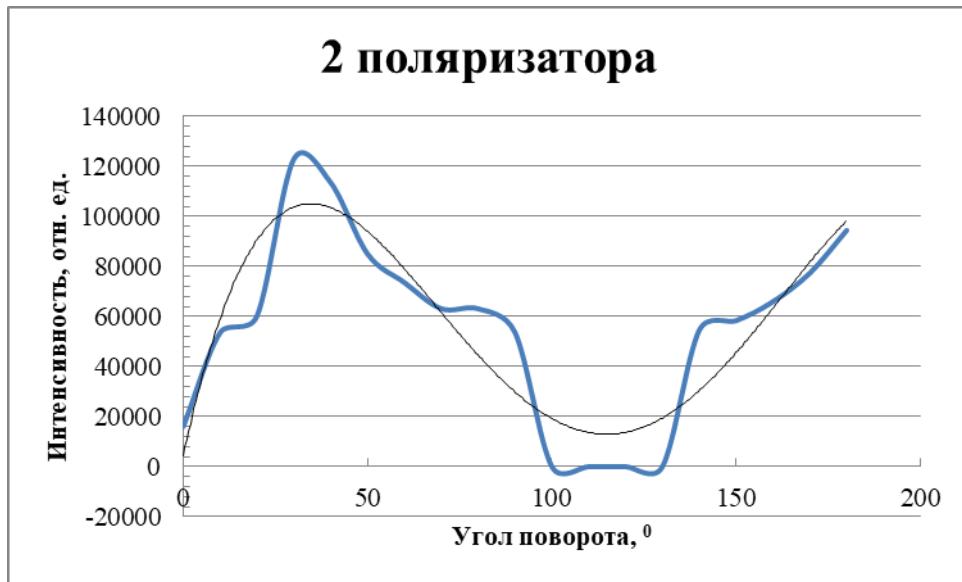
Рис. 4. Интенсивность лазерного излучения при повороте плоскости поляризатора

Далее в качестве проверки нами была реализована однопроходная схема по определению задающего базиса с помощью второго поляризатора. Разработанная схема была использована в качестве проверки работоспособности данного имитационного стенда, для реализации условий изменения базиса световой волны, который в свою очередь является ключевым параметром при реализации КРК. Главной целью являлось способной данного стенда, наглядно показать процессы, происходящие в квантовом канале связи. Это обусловлено в свою очередь, сложными физическими представлениями, которые описывают при генерации квантового ключа, что для понимания не всегда является достаточным. Поэтому в качестве задающего необходимый базис являлся первый поляризатор, который был ориентирован под углом 450 к плоскости поляризации лазерного излучения. Результаты данного имитационного эксперимента представлены на рисунке 5. Результаты измерений были сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений интенсивности лазерного излучения в зависимости от поворота 2 поляризатора при заданном угле 1 поляризатора

Угол поворота, град.	Интенсивность с светофильтром, отн. ед.	Интенсивность без светофильтра, отн. ед.
0	175	16065
10	570	53590
20	640	60240
30	1300	122940
40	1200	113440
50	900	84940

60	780	73540
70	670	63090
80	670	63090
90	570	53590
100	0	0
110	0	0
120	0	0
130	0	0
140	580	54540
150	620	58340
160	700	65940
170	820	77340
180	1000	94440



Синяя – экспериментальные значения, Черная – линия тренда, представляющая собой полином 4 порядка

Рис. 5. Интенсивность лазерного излучения при повороте плоскости поляризатора

Как видно из графика 5, максимум интенсивности лазерного излучения находится при угле плоскости поляризатора равного примерно 45^0 . Как было сказано выше, при задании базиса с помощью 1 поляризатора, который устанавливался под углом 45^0 , указывает на то, что в случае, когда плоскости двух поляризаторов находятся во взаимно-ортогональных плоскостях, регистрация излучения не наблюдается. Что также отмечается из рис. 4 и рис.5 соответственно.

Таким образом, предложенная пробная схема, подтверждается свою работоспособность в качестве, имитационного стенда для определения состояния поляризации лазерного излучения, а также в дальнейшей перспективе модернизации и доработки для имитационного стенда КРК, применяемого в квантовых сетях коммуникации.

Заключение

На основе полученных результатов необходимо отметить, что разработка такого стенда позволит углубить и расширить представления о квантовых технологиях на практике, в частности для основ квантовой коммуникации, широко применяемой в КРК. Кроме того необходимо отметить, что предложенный имитационный стенд можно будет дополнять и модернизировать для наглядного представления протекающих процессов в квантовом канале связи, в процессе генерации квантового ключа. В дальнейшем предполагается проведение экспериментов с непрерывным источником, который представляет собой лазерный диод с длинной волны 780 нм мощностью 5 мВт. Для подтверждения работоспособности на различных источниках лазерного излучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Квантовые вычисления и сенсорика: основные тенденции. <https://roscongress.org/materials/kvantovye-vychisleniya-i-sensorika-osnovnye-tendentsii/>
2. Современное состояние квантовых технологий/ Экспертное заключение по итогам сессии ФБТ-2025 «Квантовые технологии: на рубеже возможностей». <https://roscongress.org/materials/sovremennoe-sostoyanie-kvantovykh-tehnologiy/>
3. Квантовые технологии - новая, быстро развивающаяся область научной и практической деятельности. <https://www.niime.ru/press-center/news/1368-kvantovye-tehnologii-novaya-bystro-razvivayushchayasya-oblachnoy-i-prakticheskoy-deyatelnosti/>
4. Квантовые технологии в РЖД. [https://www.tadviser.ru/index.php/](https://www.tadviser.ru/index.php)
5. Дорожная карта развития высокотехнологичного направления «Квантовые коммуникации» <https://proquant.ru/quants/govpolicy/waycard/dorozhnaya-karta-razvitiya-vysokotekhnologichnoy-oblasti-kvantovye-kommunikatsii>
6. Центр технологий квантовых коммуникаций. От испытаний до внедрения <https://proquant.ru/quants/trends/tsentr-tehnologiy-kvantovykh-kommunikatsiy-ot-ispytaniy-do-vnedreniya>.
7. «Росатом» в российском квантовом проекте. «Квантовая» дорожная карта: результаты и перспективы <https://atommedia.online/reference/rosatom-v-rossijskom-kvantovom-proek/>.
8. Техническое описание компетенции: «Квантовые технологии», чемпионат AtomSkills-2024, Россия, 2024.

REFERENCES

1. Quantum Computing and Sensorics: Key Trends. <https://roscongress.org/materials/kvantovye-vychisleniya-i-sensorika-osnovnye-tendentsii/>
2. The Current State of Quantum Technologies/Expert Opinion on the Results of the FBT-2025 Session "Quantum Technologies: On the Frontier of Possibilities." <https://roscongress.org/materials/sovremennoe-sostoyanie-kvantovykh-tehnologiy/>
3. Quantum Technologies – a New, Rapidly Developing Field of Scientific and Practical Activity. <https://www.niime.ru/press-center/news/1368-kvantovye-tehnologii-novaya-bystro-razvivayushchayasya-oblachnoy-i-prakticheskoy-deyatelnosti/>
4. Quantum Technologies in Russian Railways. [https://www.tadviser.ru/index.php/](https://www.tadviser.ru/index.php)
5. Roadmap for the development of the high-tech field "Quantum Communications" <https://proquant.ru/quants/govpolicy/waycard/dorozhnaya-karta-razvitiya-vysokotekhnologichnoy-oblasti-kvantovye-kommunikatsii>
6. Center for Quantum Communications Technologies. From testing to implementation <https://proquant.ru/quants/trends/tsentr-tehnologiy-kvantovykh-kommunikatsiy-ot-ispytaniy-do-vnedreniya>.
7. Rosatom in the Russian quantum project. Quantum roadmap: results and prospects <https://atommedia.online/reference/rosatom-v-rossijskom-kvantovom-proek/>.
8. Technical description of the competency: "Quantum technologies", AtomSkills-2024 championship, Russia, 2024.

Информация об авторах

Мурzin Семен Витальевич – старший преподаватель кафедры «Физика, Механика и Приборостроение», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: murzin_sv@irgups.ru

Волохов Эрнест Андреевич – студент, e-mail: volokerik@gmail.com

Горошко Елизавета Сергеевна – студент, e-mail: goroschkoliza@gmail.com

Пятых Дарья Николаевна – студент, e-mail: Pyatih2007@mail.ru

Information about the authors

Semyon Vitalievich Murzin – Senior Lecturer, Department of Physics, Mechanics, and Instrumentation, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: murzin_sv@irgups.ru

Ernest Andreevich Volohov – Student, e-mail: volokerik@gmail.com

Elizaveta Sergeevna Goroshko – Student, e-mail: goroschkoliza@gmail.com

Daria Nikolaevna Pyatykh – Student, e-mail: Pyatih2007@mail.ru