

ОПТИКАЛЫҚ ҚУАТ ПАРАМЕТРІ БОЙЫНША ТОЛҚЫН ҰЗЫНДЫҒЫ 650 НМ ТАУ КЕН ҚАЗБАЛАРЫНЫҢ ШАХТАЛАР МЕН КАРЬЕРЛЕРДІҢ ГЕОТЕХНИКАЛЫҚ ЖАЙ КҮЙІН МОНИТОРИНГТЕУ ЖҮЙЕСІ ҚҰРАМЫНДАҒЫ ЛАЗЕРЛІК ЭМИТЕНТТЕРДІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ

АНДАТПА

Соңғы 40 жылда тұрақтандырылған лазерлер телекоммуникация, навигация, медицина, өндіріс технологиясы және кванттық есептеу сияқты көптеген жоғары технологиялық қосымшалардың ажырамас бөлігі болды. Бұл лазерлер өлшеулер мен операциялардың сенімділігі мен тиімділігін қамтамасыз ету үшін маңызды дәлдік пен тұрақтылықты қамтамасыз етеді. Бұл зерттеу оптикалық қуаты 10 мВт-тан 30 МВт-қа дейінгі тұрақтандырылған лазерлердің үш түрін қарастырады. Өлшемдер таңдалған лазерлердегі оптикалық қуат тұрақтылығы анықтамалық лазерлерден төмен екенін көрсетті. Нәтижелерді талдау қоршаған орта жағдайлары, қуат көзінің тұрақтылығы және оптикалық компоненттердің сапасы лазерлік сәулеленудің тұрақтылығына айтарлықтай әсер ететінін анықтады. Әсіресе, төмен құны бар таңдалған лазерлердің жоғары тұрақтандырылған лазерлермен салыстырғанда қуаттың айтарлықтай ауытқуы бар екені анықталды, бұл нақты ғылыми және технологиялық қолданбалар үшін лазерлерді дәл бақылау мен таңдаудың маңыздылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: лазер, когеренттілік, толқын ұзындығы, оптикалық қуат.

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ШАХТ И КАРЬЕРОВ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 650 НМ ПО ПАРАМЕТРУ ОПТИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ

АННОТАЦИЯ

В последние 40 лет стабилизированные лазеры стали неотъемлемой частью множества высокотехнологичных приложений, таких как телекоммуникации, навигация, медицина, производственные технологии и квантовые вычисления. Эти лазеры обеспечивают необходимую точность и стабильность, которая критична для обеспечения надежности и эффективности измерений и операций. В данном исследовании рассматриваются три типа стабилизированных лазеров с оптической мощностью от 10 мВт до 30 мВт. Измерения показали, что стабильность оптической мощности у выбранных лазеров уступает эталонным лазерам. Анализ результатов выявил, что условия окружающей среды, стабильность источника питания, и качество оптических компонентов оказывают значительное влияние на стабильность лазерного излучения. Особенно, выявлено, что выбранные лазеры с низкой себестоимостью имеют заметные колебания в мощности по сравнению с высоко стабилизированными лазерами, что подчеркивает важность точного контроля и выбора лазеров для специфических научных и технологических применений.

Ключевые слова: лазер, когерентность, длина волны, оптическая мощность

ASSESSMENT OF THE STABILITY OF LASER EMITTERS AS PART OF A MONITORING SYSTEM FOR THE GEOTECHNICAL CONDITION OF MINE WORKINGS AND QUARRIES WITH A WAVELENGTH OF 650 NM ACCORDING TO THE OPTICAL POWER PARAMETER

ANNOTATION

In the last 40 years, stabilized lasers have become an integral part of many high-tech applications such as telecommunications, navigation, medicine, manufacturing technology and quantum computing. These lasers provide the necessary accuracy and stability, which is critical to ensure the reliability and efficiency of measurements and operations. This study examines three types of stabilized lasers with optical power from 10 MW to 30 MW. The measurements showed that the stability of the optical power of the selected lasers is inferior to the reference lasers. The analysis of the results revealed that environmental conditions, the stability of the power supply, and the quality of optical components have a significant impact on the stability of laser radiation. Especially, it was found that the selected low-cost lasers have noticeable fluctuations in power compared to highly stabilized lasers, which emphasizes the importance of precise control and selection of lasers for specific scientific and technological applications.

Keywords: laser, coherence, wavelength, optical power

Введение

Стабилизированные лазеры играют важную роль в современном мире благодаря своей способности обеспечивать стабильность и точность в различных областях, таких как телекоммуникации, навигация и позиционирование, медицина, производственные технологии, квантовые технологии и экологические исследования. Область обеспечения единиц измерения также не обходится без применения лазерных излучателей. В последние 40 лет воспроизведение единицы длины в мировой практике обеспечивается с помощью высоко стабилизированных лазеров. Эти лазеры значительно улучшили качество связи и расширили возможности в научных и технологических областях.



Для достижения необходимой точности и стабильности в экспериментах критически важно учитывать параметры, такие как мощность и её стабильность. Изменения в мощности лазера могут существенно повлиять на качество передаваемых данных и результатов измерений. В зависимости от области применения, мощность лазеров может варьироваться от нановатт (нВт) до ватт (Вт). В фундаментальной физике и квантовых технологиях используются лазеры с мощностью от нановатт до милливатт. В телекоммуникационных системах, работающих с оптическими волокнами, мощность лазеров обычно измеряется в милливаттах (мВт) до нескольких сотен милливатт. Здесь важно обеспечить достаточную мощность для достижения необходимых расстояний и пропускной способности, одновременно минимизируя затухание и нелинейные эффекты в волокне. В промышленности лазеры с мощностью от нескольких ватт до сотен ватт применяются для резки, сварки и гравировки материалов.

Материалы и методы

Стабильность оптической мощности лазера можно оценить по следующим факторам:

- ✓ *Условия окружающей среды:* Изменения температуры, влажность и давления окружающей среды могут оказывать влияние на работу лазера, особенно если лазер не защищён от внешних температурных колебаний. Внутренние компоненты лазера, включая активную среду и оптические элементы, могут расширяться или сжиматься при изменении температуры, что может вызвать колебания в мощности излучения. В высокоточных лазерных головках используются системы термостатирования для поддержания стабильной температуры.
- ✓ *Питание:* Стабильность источника питания критична для лазеров, так как колебания в напряжении или токе могут привести к изменению мощности.
- ✓ *Оптические компоненты:* Изменения в положении или качестве оптических элементов (оптоволокна и фотодетектора) могут влиять на мощность излучения но не значительно.
- ✓ *Качество лазерной активной среды:* Лазерная активная среда может изготавливаться из газа, кристалла или полупроводника. Она должна быть качественной и однородной.

Разработка измерительных систем мониторинга на основе волоконно-оптических датчиков невозможно представить без лазерных излучателей, стабилизированных по мощности. Для достижения этих целей отобраны диодные лазерные излучатели представленные на рисунке 1.



а) KFL-11M



б) YJ-550C



в) Guangyan

Рисунок 1 – Лазерные излучатели (а, б, в)

Согласно документации от завода-изготовителя выбранные лазеры имеют оптической мощности от 10 мВт до 30 мВт.

Исследования проведены в лабораториях условиях, которые приведены ниже:

- температура окружающей среды, °С 22,3-23,0;
- относительной влажность, % 50;
- атмосферное давление, кПа 96,8.

Определение фактические значения оптической мощности лазеров производилось с измерителем оптического ваттметра PM100D, производства фирмы «ThorLabs», Германия (рисунок 2). Метрологические характеристики ваттметра PM100D:

- длина волны: 400-1100 нм;
- опт. мощность: 500 нВт-500 мВт;
- линейность: $\pm 0,5\%$;
- неопределенность измерений $\pm 7\%$.



Рисунок 2 – Оптический ваттметр PM100D

Для сравнения получаемых результатов выбранных лазеров параллельно исследована лазерная головка в составе государственного вторичного эталона единицы длины. Эталон предназначен для поверки и калибровки измерителей линейных перемещений, рулеток, измерительных лент и лазерных дальномеров с методом интерференции.

Перед измерением параметра оптической мощности, лазера выдержаны в включенном состоянии в течение 1 часа, для исключения колебаний и достижения температурной стабильности лазерного кристалла.

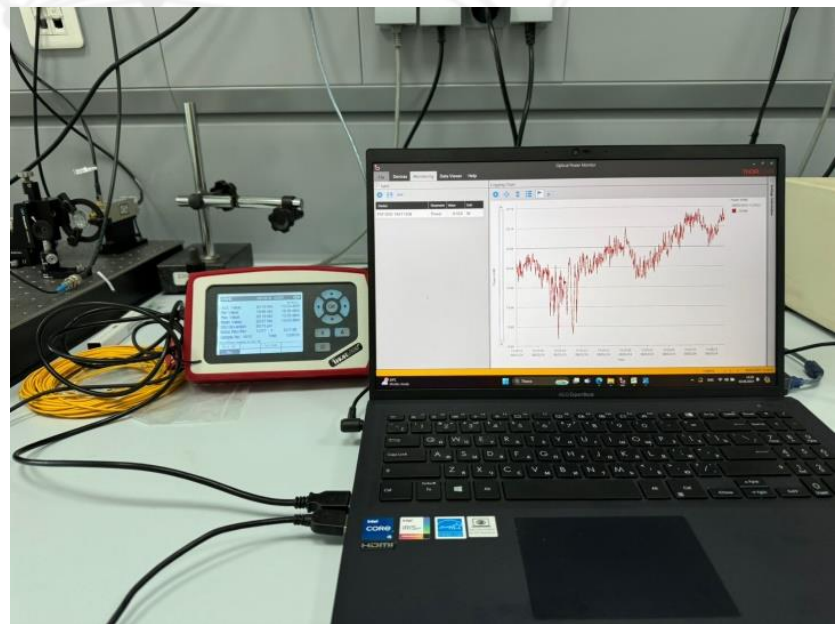
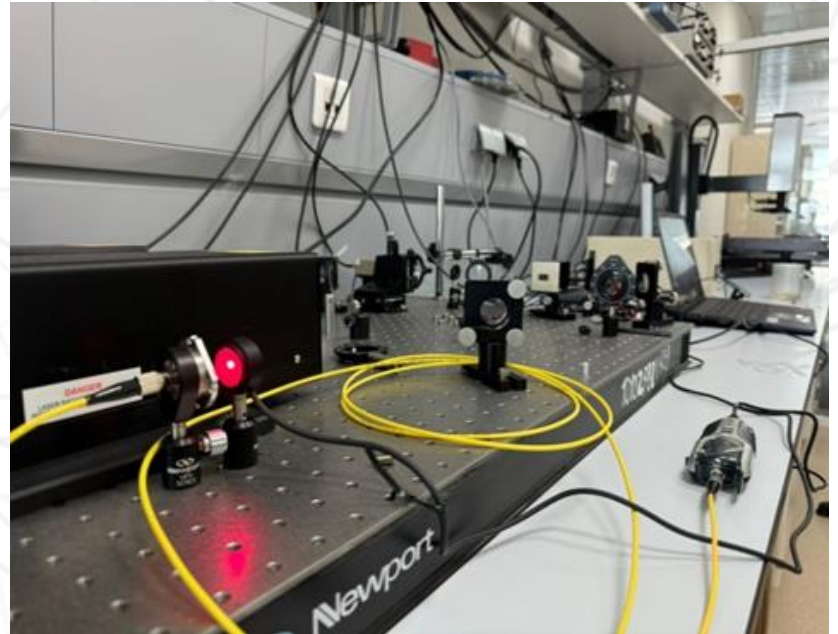


Рисунок 3 - Определение оптической мощности лазеров

С применением измерителем оптической мощности PM100D с фотодетектором S121C получены следующие результаты лазеров и для сравнения стабилизированного лазера приведенной в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения оптической мощности

Тип лазера	Среднее значение оп. мощности, мВт	Стандартное отклонение, мкВт
Guangyan	21,13	239,6
YJ-550C	10,06	507,5
KFL-11M	11,61	62,38
XL	11.61	62.38

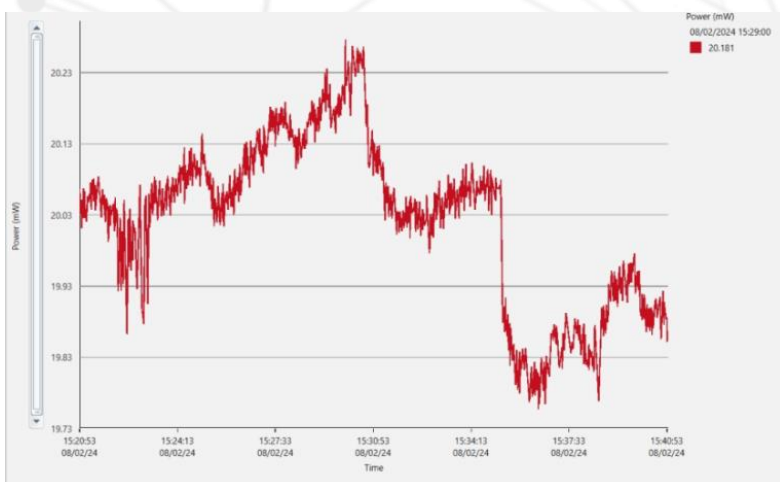
Колебания показаний лазеров по оптической мощности в промежутке времени представлены ниже:

1. GUANGYAN

Макс. значение 21,84 мВт

Мин. значение 20,43 мВт

Продолжительность: 20 мин

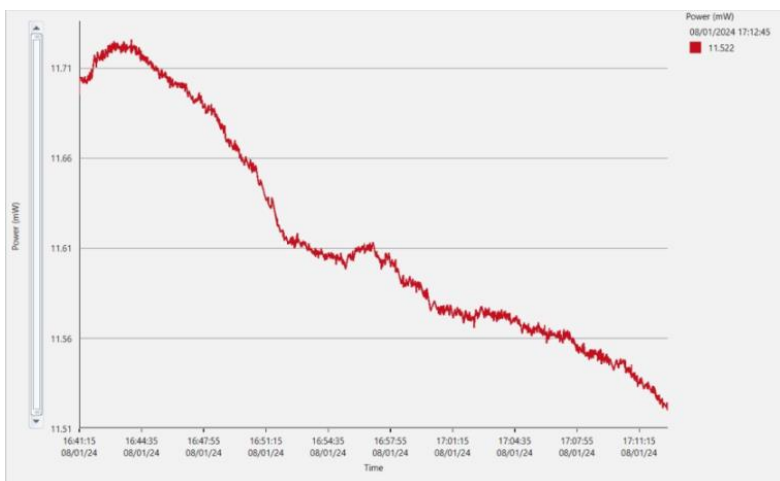


2. KFL-11M

Макс. значение 11,72 мВт

Мин. значение 11,50 мВт

Продолжительность: 32 мин

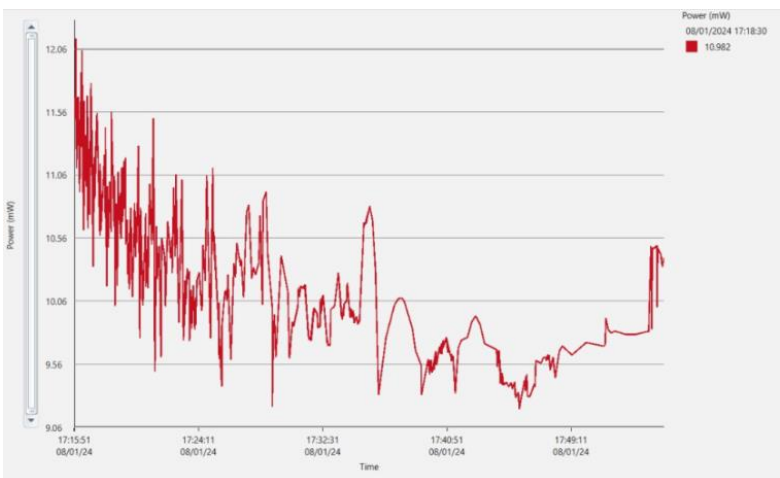


3. YJ-550C

Макс. значение 12,70 мВт

Мин. значение 9,21 мВт

Продолжительность: 39 мин

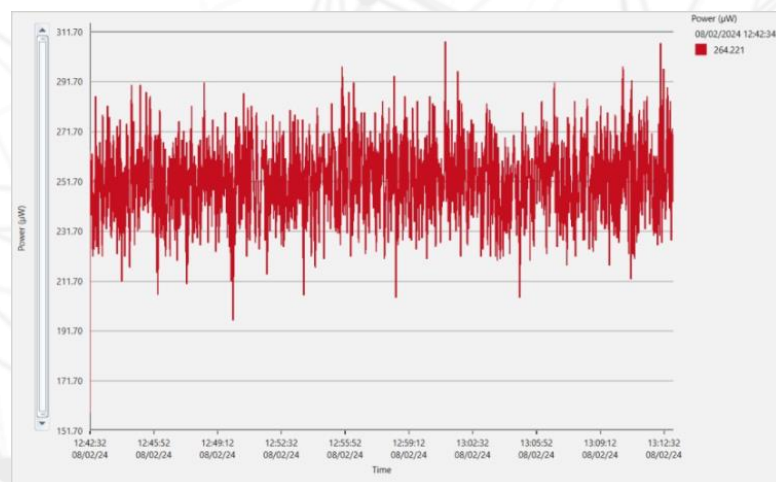


4. XL-80

Макс. значение 266 мкВт

Мин. значение 209,4 мкВт

Продолжительность: 30 мин



Заключение

Как показал результат, выбранные лазерные источники по сравнению эталона по стабильности уступают разы. На это может повлиять факторы которые описали выше:

- ✓ *Условия окружающей среды:* В данном случае, все измерения проводилось в лаборатории геометрии, что исключают перепад температуры и показаниям других параметров окружающей среды. Также, можно исключить попадание пыли, грязи и другие загрязняющие вещества, которые оседают на оптических элементах, и вызывать колебания в мощности.
- ✓ *Питание:* Стабильность источника питания критична для лазеров, так как колебания в напряжении или токе могут привести к изменению мощности. Отобранные объекты исследования, питаются от постоянного тока (с батареи AAA). Они испытывали большую флуктуации в мощности и теряли свою стабильность со временем.
- ✓ *Оптические компоненты:* Оптические элементы лазера, такие как оптоволокно, линзы и другие элементы, стабильно установлены и не подвергался механическим деформациям.
- ✓ *Качество лазерной активной среды:* Выбранные объекты исследования имеют довольно низкую себестоимость по сравнению стабилизированных лазеров, что и объясняет разности их показаний и точности.



Благодарность

Статья написана в рамках научно-технической программы программно-целевого финансирования Министерство торговли и интеграции Республики Казахстан: BR19980899 "Разработка системы мониторинга геотехнического состояния горных выработок шахт и карьеров на основе интеллектуальных волоконно-оптических датчиков".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Международный комитет по неионизирующей радиации Международной Ассоциации по радиационной защите с Международной организацией труда: Использование лазеров на рабочем месте: Практическое руководство //Серия «Охрана труда и здоровья» – №68. Женева, Международное бюро труда, 1993.
2. Fang Liu, Chun Wang, Liufeng Li, Lisheng Chen. Long-term and wideband laser intensity stabilization with an electro-optic amplitude modulator, - China, 2012
3. Winters Electro-Optics, Inc. Laser heterodyne system. Operators manual. - Longmont, 2005.
4. Kazi Monowar Abedin, Awatef Rashid Al Jabri, S.M. Mujibur Rahman. Power stability of different lasers and its effect on the outcome of phase-stepping shearography experiments. — Muskat, Oman: 2023.
5. Методика калибровки. Частотно-стабилизированные лазеры. Астана. 2024
6. A. Yariv. Quantum Electronics. 1989
7. R.W.P. Drever. Laser phase and frequency stabilization using an optical resonator. 1983
8. Arroyo Instruments. Understanding Laser Power Stability: What You Need To Know [Электрондық ресурсы]/Columbia Climate School. URL. Understanding Laser Power Stability: What You Need To Know (arroyoinstruments.com). (қолжетімді 21.08.2024)