# УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКЕ

## Л. И. БУРОВ<sup>1)</sup>, А. С. ГОРБАЦЕВИЧ<sup>1)</sup>, П. М. ЛОБАЦЕВИЧ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Представлено описание структуры и возможностей учебно-исследовательского комплекса на основе неодимового лазера с поперечной диодной накачкой. Комплекс позволяет реализовать режимы свободной генерации, модуляции добротности и генерации второй гармоники и исследовать энергетические, поляризационные и динамические характеристики выходного излучения. Обсуждаются возможности использования комплекса для лабораторного практикума, решения некоторых исследовательских задач и ближайшие перспективы расширения его функций.

*Ключевые слова:* твердотельный лазер; поперечная диодная накачка; режимы лазерной генерации; параметры лазерного излучения.

## THE EQUIPMENT FOR TRAINING AND RESEARCH IN LASER PHYSICS

## L. I. BUROV<sup>a</sup>, A. S. GORBATSEVICH<sup>a</sup>, P. M. LOBATSEVICH<sup>a</sup>

## <sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

The description of the structure and potentialities of the equipment for training and research based on the solid-state laser with side-diode-pumping is presented. The equipment provides to realize the free running lasing, Q-switch, the second harmonic generation and to investigate the power, polarization and dynamic parameters of the output radiation. The possibilities to use the equipment for education, training and research and immediate prospect to improve it's capabilities are discussed.

Key words: solid-state laser; side-diode-pumping; lasing regimes; laser radiation parameters.

Лазеры давно стали неотъемлемым элементом широкого круга устройств и технологических процессов, что определяет всё возрастающую потребность в квалифицированных специалистах, обладающих навыками не только профессионального использования разнообразных лазерных систем, но и их возможной адаптации для решения специфических задач, даже мелкого ремонта. Но такая подготовка требует специфической материальной базы, которая соответствует современному техническому уровню, а также позволяет решать определенные исследовательские задачи. Более того, необходимо обеспечить доступ будущего специалиста к элементам сложных лазерных систем и устройств для приобретения навыков практической работы по их настройке.

### Образец цитирования:

Буров Л. И., Горбацевич А. С., Лобацевич П. М. Учебноисследовательский комплекс по лазерной физике // Вестн. БГУ. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. 2016. № 2. С. 79–83.

#### Авторы:

*Леонид Иванович Буров* – кандидат физико-математических наук; доцент кафедры общей физики физического факультета.

Александр Сергеевич Горбацевич – кандидат физико-математических наук; доцент кафедры общей физики физического факультета.

Павел Михайлович Лобацевич – магистрант кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета.

### For citation:

Burov L. I., Gorbatsevich A. S., Lobatsevich P. M. The equipment for training and research in laser physics. *Vestnik BGU. Ser. 1, Fiz. Mat. Inform.* 2016. No. 2. P. 79–83 (in Russ.).

#### Authors:

*Leonid Burov*, PhD (physics and mathematics); associate professor at the department of general physics, faculty of physics. *burov@bsu.by* 

*Alexander Gorbatsevich*, PhD (physics and mathematics); associate professor at the department of general physics, faculty of physics.

alex.gorbatsevich@gmail.com

*Pavel Lobatsevich*, master's degree student at the department of laser physics and spectroscopy, faculty of physics. *pavel.lobatsevich@mail.ru* 

## Вестник БГУ. Сер. 1. 2016. № 2. С. 79-83

Среди разнообразных лазерных систем особое место занимают твердотельные лазеры, так как они обладают высокой мощностью и достаточно компактными размерами [1, 2]. Более того, использование диодной накачки позволяет усилить это преимущество, что и определяет расширение присутствия таких систем на рынке лазеров [3]. Таким образом, твердотельные лазеры с диодной накачкой (ТЛДН) становятся основными компонентами многих технологических процессов, вытесняя другие типы твердотельных лазеров.

Для ТЛДН используются две основные схемы накачки: продольная и поперечная [4]. Первая позволяет получить лучшее качество пучка, существенно более компактные размеры, но меньшую выходную мощность. Однако из отдельных компактных ТЛДН (их часто называют лазерными микрочипами) можно создавать блоки по аналогии с диодными линейками и матрицами [1]. Поперечная же накачка при относительной компактности дает возможность получить существенно большую выходную мощность, достаточную для ряда технологических применений, где другие типы лазеров работать не могут. Однако для ТЛДН с поперечной накачкой гораздо сильнее проявляются те недостатки, которые характерны для неоднородной накачки твердотельных лазеров (например, низкое качество пучка и большие тепловые потери) [1].

Промышленные ТЛДН малопригодны для использования в спецпрактикуме в целях подготовки специалистов в области лазерной физики, поскольку выпускаются в виде моноблоков, исключающих доступ к внутреннему устройству системы. Более того, ТЛДН с поперечной накачкой имеют высокую мощность и принудительную систему охлаждения, что требует специального оборудования помещений. На физическом факультете БГУ разработан учебно-исследовательский комплекс по изучению ТЛДН с поперечной накачкой, который позволяет не только ознакомиться с особенностями поперечной диодной накачки и способами ее реализации, но и освоить современные методы нахождения и измерения широкого спектра параметров выходного излучения (энергетических, пространственных, поляризационных и динамических).

Функционально комплекс состоит из трех основных модулей – блока управления, лазерного излучателя и блока регистрации. Блок управления предназначен для установки значений амплитуды импульсов тока электрической накачки диодных линеек (в пределах от 20 до 200 A), частоты следования импульсов тока (от 1 до 20 Гц), а также обеспечения термостабилизации диодных линеек в пределах от 10 до 45 °C. Длительность импульса может изменяться от 50 до 250 мкс с шагом 50 мкс, максимальная его продолжительность определяется техническими характеристиками диодных линеек.

Блок излучателя предназначен для получения лазерного пучка, его общий вид со снятым кожухом представлен на рис. 1.



Рис. 1. Лазерный излучатель: 1 – держатель для кристалла удвоения частоты; 2 – выходное зеркало; 3 – держатель пассивного затвора; 4 – квантрон; 5 – глухое зеркало

Все элементы этого блока размещаются на двух фиксированных стержнях внутри корпуса. Данное техническое решение позволяет изменять базу лазерного резонатора в широких пределах, помещать и внутри и снаружи него дополнительные элементы, такие как кристалл для удвоения частоты лазерного излучения, пассивный затвор для обеспечения режима модуляции добротности или другие системы и устройства.

Основным элементом резонатора излучателя является квантрон, который включает в себя две диодные линейки, два элемента Пельтье, обеспечивающих термостабилизацию диодных линеек, активного

элемента в виде стержня Nd : YAG и отражателя, необходимого для более равномерной засветки активного стержня по сечению. В данном комплексе используются два квантрона, в одном внутренняя поверхность отражателя матированная, а в другом – зеркальная, однако опробовалась и конфигурация квантрона без отражателя. Для квантронов выбрана планарная система накачки, когда диодные линейки располагаются по обе стороны от неодимового стержня и лежат в одной плоскости. Такая схема из-за возможности прямой засветки одной линейки излучением второй может приводить к снижению их мощности [5]. Однако проведенные исследования для различных квантронов показали, что снижение мощности наблюдалось не на всех режимах работы.

Конструкция излучателя позволяет реализовать режимы свободной генерации, генерации второй гармоники, пассивной модуляции добротности и генерации второй гармоники при пассивной модуляции добротности.

Блок регистрации в стандартной модификации включает систему регистрации энергии лазерного импульса (Ophir Vega с измерительным датчиком PE50-C) и призму Глана для получения поляризованных составляющих его энергии. Для измерения формы и длительности лазерного импульса применялся осциллограф Tektronix TDS 2022C (он не входит в состав комплекса). Для получения спектральных данных использовалась оптоволоконная линия с выводом информации на удаленный спектральный прибор. Кроме того, проводились предварительные исследования с применением камеры BPC 11BEAM-AGE, позволяющей снимать поперечный профиль пучка и измерять параметр качества пучка  $M^2$ . Все это указывает на широкие возможности комплекса при использовании уже имеющегося измерительного оборудования. Например, для исследования динамических характеристик в режиме свободной генерации хорошие результаты обеспечивает даже достаточно простой осциллограф с временным разрешением в несколько микросекунд.

Установка позволяет проводить измерения следующих характеристик:

• ватт-амперных параметров излучателя (лазера) для различных температур диодных линеек и коэффициента отражения выходного зеркала в режиме свободной генерации;

• степени поляризации выходного излучения лазера в режиме свободной генерации при различных величинах тока накачки и температуры диодных линеек;

- зависимости формы и длительности импульса генерации от тока накачки диодных линеек;
- переходных характеристик вблизи и вдали от порога генерации;
- энергии и длительности импульса генерации в режиме пассивной модуляции добротности;
- энергии импульса второй гармоники в режиме модуляции добротности;
- распределения интенсивности генерации по сечению пучка.

Таким образом, разработанный комплекс даже в самом простом исполнении (блок питания и блок излучателя с одним квантроном) обеспечивает проведение серии лабораторных работ, причем их выполнение включает натурное знакомство с элементами лазерного излучателя, его сборку и юстировку для реализации различных режимов генерации. Некоторые типичные зависимости для параметров, которые могут исследоваться с помощью комплекса, представлены на рис. 2.



*Рис. 2.* Зависимости: a – энергии импульса генерации от тока накачки: — T = 33 °C, ----- T = 25 °C;  $\delta$  – энергии импульса генерации от температуры диодных линеек (окончание см. на с. 82)



Рис. 2. Окончание (начало см. на с. 81):

в – энергии импульса генерации от угла поворота призмы Глана; г – интенсивности (I) импульса генерации от времени в режиме свободной генерации: I – импульс тока накачки, 2 – интенсивность излучения генерации

Приведенные зависимости получены при длительности импульса 250 мкс и частоте следования 20 Гц, хотя это не играет существенной роли. Здесь просто использованы максимально допустимые величины для данного типа диодных линеек. При других условиях зависимости примерно сохраняются, но могут меняться значения параметров. Например, при уменьшении длительности импульса накачки растут пороговые значения.

Выходная характеристика – зависимость энергии импульса генерации (P) от амплитудного значения тока накачки (I) – в режиме свободной генерации практически линейна в области выше порога (см. рис. 2, *a*), что позволяет определять эффективность генерации при различных параметрах работы излучателя.

Энергия импульса генерации имеет сложную зависимость от температуры (T) диодных линеек (на рис. 2,  $\delta$ , представлена зависимость для квантрона с матовой отражающей поверхностью отражателя), которая определяется тем, что в области 800 нм активный элемент имеет несколько полос поглощения, а при изменении температуры диодной линейки меняется длина волны генерации, которая может попадать как в максимумы поглощения активного элемента, так и в спектральный диапазон между ними, что приводит к уменьшению эффективности генерации.

Степень поляризации выходного излучения Nd : YAG-лазера при оптической накачке определяется поляризацией ее излучения [6]. В квантронах поляризация излучения диодных линеек является горизонтальной, т. е. направленной вдоль оси активного элемента, что должно приводить к изотропному возбуждению активных центров. Таким образом, в случае отсутствия анизотропных элементов выходное излучение лазера должно быть неполяризованным. Для рассматриваемого лазера согласно данным (для квантрона с матовым отражателем), представленным на рис. 2, *в*, степень поляризации составляет около 15 %. Наличие незначительной поляризации выходного излучения может быть связано как с анизотропией, стимулированной тепловыми эффектами в активном элементе, так и с малым несовпадением векторов поляризации диодных линеек с осью неодимового стержня.

Для изучения динамических характеристик используется быстродействующий фотодетектор, соединенный с осциллографом. Типичная зависимость интенсивности генерации лазерного излучения представлена на рис. 2, *г*, где видна задержка импульса генерации по отношению как к импульсу тока накачки (*1*), так и к пульсации (*2*) в переходном режиме. Подобная зависимость может быть получена и для режима пассивной модуляции добротности.

Таким образом, разработанный лазерный комплекс может быть использован для постановки достаточно широкого набора работ специального практикума по лазерной физике, а также для организации учебно-исследовательской работы при подготовке магистров. Комплекс обеспечивает прямой доступ к основным элементам лазерного излучателя, что позволяет формировать умения и навыки практической работы с современными лазерными системами. Данный комплекс может быть исполнен в разных вариантах с использованием имеющейся измерительной базы. Авторы предполагают дальнейшее расширение его возможностей для исследования энергетической и поляризационной пространственной структуры выходного излучения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (REFERENCES)

1. Koechner W. Solid-state laser engineering. Berlin, 2006.

2. Handbook of solid-state laser. Materials, system and applications / eds.: B. Denker, E. Shklovsky. Cambridge, 2013.

3. Bhaskarabhatla A., Klepper S. Latent submarket dynamics and industry evolution: lessons from the U. S. laser industry // Ind. Corp. Change. 2014. Vol. 23. P. 1381–1415 [Bhaskarabhatla A., Klepper S. Latent submarket dynamics and industry evolution: lessons from the U. S. laser industry. *Ind. Corp. Change*. 2014. Vol. 23. P. 1381–1415 (in Engl.)].

4. Fan T. Y. Diode pumped solid state lasers // Lincoln Lab. J. 1990. Vol. 3, № 3. P. 413–425 [Fan T. Y. Diode pumped solid state lasers. *Lincoln Lab. J.* 1990. Vol. 3, No. 3. P. 413–425 (in Engl.)].

5. Гречин С. Г., Николаев П. П. Квантроны твердотельных лазеров с поперечной диодной накачкой // Квант. электроника. 2009. Т. 39, № 1. С. 1–17 [Grechin S. G., Nikolaev P. P. Diode-side-pumped laser heads for solid-state lasers. Kvantovaya elektron. = Quantum Electron. 2009. Vol. 39, No. 1. P. 1–17 (in Russ.)].

6. Кравцов Н. В., Ларионцев Е. Г., Наумкин Н. И. Зависимость поляризации излучения линейного Nd : YAG-лазера от поляризации излучения накачки // Квант. электроника. 2004. Т. 34, № 9. С. 839–842 [Kravtsov N. V., Lariontsev E. G., Naumkin N. I. Dependence of polarization of radiation of a linear Nd : YAG laser on the pump radiation polarization. *Kvantovaya elektron. = Quantum Electron.* 2004. Vol. 34, No. 9. P. 839–842 (in Russ.)].

> Статья поступила в редколлегию 10.12.2015. Received by editorial board 10.12.2015.