

Результаты расчета  $HRC$  стали 30 по разработанным формулам приведены в таблице, а корреляционное поле между результатами расчета и измерения  $HRC$  – на рис. 3.

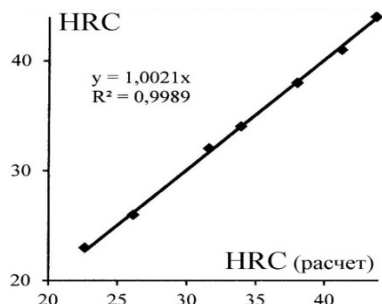


Рисунок 3 – Корреляционное поле зависимости между  $HRC$  стали 30 и результатами ее расчета

Представленные на рис. 3 зависимость и результаты ее статистической обработки (среднее квадратичное отклонение между твердостью  $HRC$  стали 30 и результатами ее расчета по данным рис. 3 составило 0,67 %) показали, что предложенная методика изменения используемой функциональной зависимости в соответствии с изменен-

ным значением магнитного параметра потенциально позволяет на порядок повысить достоверность функциональной зависимости твердости  $HRC$  стали 30 от ее магнитного параметра. Она легко может быть реализована в магнитных структуроскопах программным путем после преобразования результата измерения магнитного параметра в цифровую форму.

#### Литература

1. Неразрушающий контроль: справочник в 8 т. / В. В. Клюев [и др.] // Магнитные методы контроля; под общ. ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2006. – Т. 6. – Кн. 1. – 848 с.
2. Бида, Г. В. Магнитные свойства термообработанных сталей / Г. В. Бида, А. П. Ничипурук. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 218 с.
3. Клюев, В. В. Анализ и синтез структурочувствительных магнитных параметров сталей / В. В. Клюев, С. Г. Сандомирский. – М.: Изд. дом «СПЕКТР», 2017. – 248 с.
4. Сандомирский, С. Г. Повышение чувствительности остаточной намагниченности среднеуглеродистой стали к ее твердости / С. Г. Сандомирский // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. – 2021. – Вып. 10. – С. 100–104.

УДК 535 012.2 621.373.826.038.82

## ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ДИНАМИКА ГЕНЕРАЦИИ ОДНОМОДОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА

Свирина Л.П.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Выявлены свойства инвариантности экспериментально апробированной модели одномодового Nd:YAG лазера с диодной накачкой, обладающего линейной амплитудной и фазовой анизотропией резонатора. Объяснены экспериментально наблюдаемые закономерности и обнаружен ряд не известных ранее эффектов нелинейной динамики, присущих анизотропным лазерам класса В: бистабильность асимметричных периодических и хаотических режимов генерации волн с линейными ортогональными состояниями поляризации, режимы генерации, чувствительные к воздействию случайных флуктуаций, возникающие вследствие стохастизации периодических колебаний при прохождении линии рождения устойчивого предельного цикла вблизи порога генерации, последовательность бифуркаций удвоения периода.

**Ключевые слова:** Анизотропный твердотельный лазер, регулярные и сложные колебания.

## POLARIZATION DYNAMICS OF A SINGLE MODE SOLID STATE LASER

Svirina L.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The invariance properties have been elucidated of the experimentally confirmed model of a single-mode diode-pumped Nd:YAG laser, possessing linear amplitude and phase anisotropies of the cavity. The experimentally observed regularities have been elucidated and a series of new dynamical phenomena have been found, among which are: bistability of two-frequency asymmetric periodic and chaotic oscillations of waves with linear orthogonal states of polarization, noise-induced oscillations, arising as a result of stochastization of a periodic solution when the Hopf bifurcation line is passing in the vicinity of the lasing threshold, as well as a period doubling bifurcations cascade.

**Key words:** vector-field solid state laser, regular and complicated oscillations.

Адрес для переписки: Свирина Л.П., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: lpsvirina@bntu.by

В работе [1] при экспериментальном исследовании динамики однододового Nd:YAG лазера с накачкой полупроводниковым диодом с линейной фазовой и амплитудной анизотропией резонатора при наличии линейной связи волн генерации была обнаружена бистабильность одночастотных стационарных режимов генерации с ортогональными циркулярными состояниями поляризации волн. Переключение с одного состояния поляризации на другое осуществлялось изменением знака линейной фазовой анизотропии резонатора.

В данной работе выявлены свойства симметрии уравнений генерации данного лазера [2], что позволило объяснить экспериментальные результаты и обнаружить новые эффекты поляризационно динамики, присущие лазерам класса В.

Для реализуемых в эксперименте [1] параметров Nd:YAG лазера с диодной накачкой на плоскости управляющих (экспериментально регулируемых) параметров, в качестве которых служат превышение накачки над порогом  $\eta$  и разность частот генерируемых волн  $\Delta\omega$ , задаваемая резонатором, построена бифуркационная диаграмма (см. рис. 1). Область бистабильности обнаруженных экспериментально стационарных одночастотных режимов генерации ортогональных циркулярно поляризованных волн ограничена линией  $l_0$ , на которой имеет место суперкритическая бифуркация Хопфа и рождается устойчивый предельный цикл. Выше этой линии устойчив стационарный одночастотный режим. Как следует из теории, переключение с одного на другой режим может быть осуществлено изменением знака линейной фазовой и амплитудной анизотропии резонатора (поворотом соответствующих элементов резонатора на угол  $\pi/2$ ).

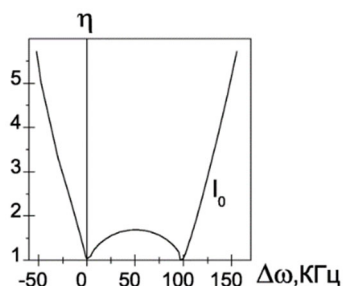


Рисунок 1 – область устойчивости стационарных одночастотных режимов генерации волн с ортогональными циркулярными состояниями поляризации

При увеличении линейной фазовой анизотропии резонатора и постоянном превышении накачки над порогом  $\eta = 2$  вначале на линии  $l_0$  возникает асимметричный предельный цикл с колебаниями всех переменных, соответствующий двухчастотному режиму генерации волн с линейными ортогональными состояниями поляриза-

ции, причем в силу свойств симметрии, существуют два асимметричных цикла, связанных друг с другом преобразованием симметрии. Выбор в генерации одного из этих циклов определяется параметрами резонатора.

Далее, асимметричный цикл претерпевает бифуркацию петли сепаратри и рождается асимметричный предельный цикл второго рода с колебаниями интенсивностей, разности населенностей и с вращением разности фаз волн генерации, причем вращение осуществляется в противоположные стороны (по и против часовой стрелки). При дальнейшем увеличении  $\Delta\omega$  этот цикл изменяет свою форму, теряет устойчивость, а затем фиксируется асимметричный хаотический режим типа перемежаемости с вращением разности фаз, локализованный в цилиндрическом фазовом пространстве.

Затем следует обратная последовательность бифуркаций удвоения периода для асимметричного предельного цикла II рода. На рис. 2 показаны временные реализации для интенсивности волны, поляризованной вдоль оси  $x$ , иллюстрирующие обратную последовательность бифуркаций удвоения периода:  $4T \rightarrow 2T \rightarrow T$ . Вращение разности фаз происходит в противоположных направлениях.

В области значений линейной фазовой анизотропии  $\Delta\omega$ , где линия  $l_0$ , на которой рождается устойчивый предельный цикл, проходит вблизи порога генерации  $\eta \geq 1$  обнаружены режимы генерации, чувствительные к воздействию внешних случайных флуктуаций.

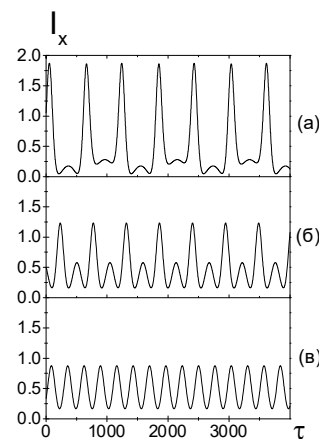


Рисунок 2 – эволюция временных реализаций для интенсивности  $x$ -компоненты генерируемого поля, иллюстрирующая обратную последовательность бифуркаций удвоения периода  $4T \rightarrow 2T \rightarrow T$ :  $\Delta\omega = 145,5$  КГц (а), 165 КГц (б), 165,75 КГц (в).

Влияние случайных флуктуаций в припороговой области генерации иллюстрирует рис. 3, на котором для  $\eta = 1,12$ ,  $\Delta\omega = 90$  КГц приведены фазовые проекции и временные реализации переменных для устойчивого цикла в отсутствие (а, б) и в присутствии (в, г) шума. Отметим, что сложные (хаотические и стохастические) колебания,

обусловленные стохастизацией периодического режима генерации, обнаружены также в четырехчастотном кольцевом газовом лазере с линейной связью эллиптически поляризованных встречных волн за счет обратного рассеяния [3].

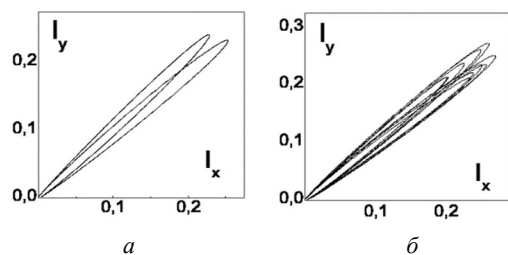


Рисунок 3 – фазовые проекции для интенсивностей ортогональных линейно поляризованных вдоль осей  $x$  и  $y$  волн в отсутствие (а) и при наличии (б)  $\delta$ -коррелированного белого шума:  
 $\eta = 1,12$ ,  $\Delta\omega = 90$  КГц

При пересечении линии  $I_0$  в нижней части диаграммы возможны как периодические, так и сложные колебания. На рис. 4 приведен фазовый портрет хаотических колебаний при  $\eta = 1.2$ ,  $\Delta\omega = 85$  КГц.

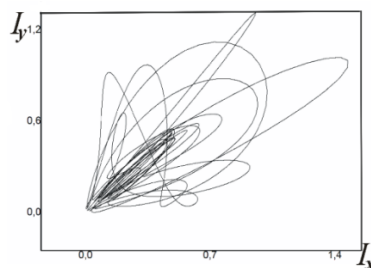


Рисунок 4 – хаотические колебания при  $\eta = 1,2$ ,  
 $\Delta\omega = 85$  КГц.

#### Литература

1. Experimental and theoretical study of longitudinally monomode vectorial solid-state laser / M. Brune [et al.] // Phys. Rev. A. – 1999. – Vol. 59, № 1, – P. 831–840.
2. Свирина, Л. П. Фазовая неустойчивость в одномодовом твердотельном лазере с анизотропным резонатором. / Л. П. Свирина // Оптика и спектроскопия. – 2009. – Т.1. 107, № 2. – P. 207–212.
3. Свирина, Л. П. Фазовая неустойчивость в четырехчастотном кольцевом газовом лазере с анизотропным резонатором / Л. П. Свирина // Квантовая электроника. – 2008. – Т. 38, № 1. – P.1–15.

УДК 666.321

### ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАОЛИНОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Сергиевич О.А.<sup>1</sup>, Попов Р.Ю.<sup>1</sup>, Дятлова Е.М.<sup>1</sup>, Богдан Е.О.<sup>1</sup>, Колонтаева Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Приведены результаты исследований, направленные на повышение качественных характеристик каолинов месторождений Республики Беларусь «Ситница» и «Дедовка» путем гидравлического кондиционирования, химической и биологической обработки. Представлены данные об изучении физико-химических и технологических свойств природных и обогащенных каолинов, а также процессов, протекающих при их термической обработке интервале температур 20–1100 °С. Установлена взаимосвязь степени кондиционности, структуры и физико-химических характеристик, что позволило рекомендовать наиболее рациональные методы обогащения исследуемого каолинового сырья.

**Ключевые слова:** каолиновое сырье, запесоченность, обогащение, химическая обработка, свойства.

### INCREASING THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF KAOLIN DEPOSITS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Sergievich O.<sup>1</sup>, Popov R.<sup>1</sup>, Bogdan E.<sup>1</sup>, Dyatlova E.<sup>1</sup>, Kolontaeva T.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** There are presented the results of improving the quality characteristics of kaolins from the deposits of "Sitnitsa" and "Dedovka" (Republic of Belarus) by means of hydraulic conditioning, chemical and biological treatment. Data are presented on the study of the physicochemical and technological properties of natural and enriched kaolins, as well as the processes occurring during their heat treatment in the temperature range of 20–1100 °С. The relationship between the degree of conditionality, structure and physico-chemical characteristics has been established, which made it possible to recommend the most rational methods for enriching the studied kaolin raw materials.

**Key words:** kaolin raw materials, sandiness, enrichment, chemical processing, properties.

Адрес для переписки: Попов Р.Ю., ул. Свердлова, 13а, Минск 220006, Республика Беларусь  
e-mail: rospopov@mail.ru