

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 627.317+621.373.826

Кравченко

Виктор Владимирович

Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров лазерного
излучения в соответствии с ИЕС 60065 и ИЕС 60950-1

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-38 80 01 «Приборостроение, метрология и
информационно-измерительные приборы и системы»

Научный руководитель:

Гурский Александр Леонидович

Доктор физико-математических наук,

профессор

Минск 2015

ВВЕДЕНИЕ

Развитие лазерных технологий в последнее время привело к значительному расширению сфер применения источников лазерного излучения и росту их применения в технических устройствах различного назначения. Однако, помимо преимуществ, предоставляемых данными технологиями, источники лазерного излучения являются потенциально опасными устройствами, и их использование требуют адекватного контроля. Особое внимание уделяется таким источникам в бытовых и аналогичных приборах, пользователями которых являются не специалисты, а широкие слои населения. Как правило, большинство таких изделий попадает под действие ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования». В частности, это аудио- видеоаппаратура и оборудование информационных технологий, требования безопасности для которых установлены национальными и межгосударственными стандартами идентичными с международными IEC 60065 и IEC 60950-1, которые ссылаются на со стандарт IEC 60825-1 в части безопасности лазерного излучения. Таким образом, возникает необходимость классификации и, в некоторых случаях, проведения испытаний описанной в соответствии со стандартом IEC 60825-1.

Необходимо отметить, что техническая возможность измерения параметров лазерного излучения имеется в ряде организаций Республики Беларусь, таких как Институт физики НАН Беларуси, РУП БелГИМ и др. Также, некоторые зарубежные компании реализуют программное обеспечение, представляющее, по сути, калькулятор класса опасности по известным параметрам. Однако, принимая во внимание, что за время написания данной работы, была опубликована новая редакция стандарта IEC 60825-1, изменения в которой неизбежно бы повлекли за собой изменения в подобных программах расчёта класса опасности, что привело бы к дополнительным затратам. Именно поэтому создание единого аппаратно-программного комплекса для проведения измерений, нацеленных именно на подтверждение соответствия требованиям стандартов безопасности, остаётся актуальной задачей. Это побудило испытательный центр БелГИСС создать собственный аппаратно-программный комплекс для проведения измерений параметров лазерного излучения, что и является целью данной работы. В ходе её выполнения решались задачи перекрытия максимально возможного диапазона номенклатуры продукции при минимальных финансовых затратах, обязательная автоматизация проведения всех испытаний и связанных с ними измерений, а также открытый программный код, с возможностью внесения изменений в программную часть комплекса.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Основной задачей данной работы является разработка и создание аппаратно-программного комплекса для проведения измерений параметров лазерного излучения с целью определения класса опасности лазеров. Испытания предусмотрены в соответствии с требованиями стандарта СТБ ИЕС 60825-1-2011 «Безопасность лазерных изделий. Часть 1. Классификация оборудования и требования», который является ссылочным в стандартах ИЕС 60065 и ИЕС 60950-1. Разрабатываемый комплекс планируется применять в аккредитованной испытательной лаборатории Белорусского государственного института стандартизации и сертификации, при проведении испытаний продукции в рамках сертификации и декларирования соответствия, для подтверждения соответствия техническому регламенту ТР ТС 004/2011.

В настоящее время основными организациями, занимающимися исследованием параметров и характеристик лазерного излучения являются лаборатории Института физики НАН Беларуси. Также, в Белорусском государственном институте метрологии создан и эксплуатируется исходный эталон единицы средней мощности лазерного излучения. Данные факты подтверждают, что техническое направление, связанное с использованием лазерной техники является достаточно развитым и перспективным и подчеркивает актуальность разрабатываемого в рамках данной магистерской диссертации комплекса.

В ходе данной работы рассмотрены методы и средства измерения, интересующих нас параметров, проведен сравнительный анализ их преимуществ и недостатков. Далее, были проанализированы и учтены различные факторы, определившие технические требования к разработанному комплексу. Также были описаны алгоритмы проведения измерений и определения класса опасности лазеров, даны пояснения интерфейса и программного кода разработанного комплекса. С целью демонстрации возможностей комплекса в ходе работы было проведено экспериментальное определение класса опасности лазеросодержащего изделия, доступного широким слоям населения, проведен расчет неопределенности измерений, в соответствии со стандартными методиками.

Результаты работы были представлены на международной научно-технической конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ-БГУИР в секции «Приборостроение. Метрология и стандартизация в радиоэлектронике», Тезисы доклада также были опубликованы в сборнике материалов данной конференции.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации рассмотрены методы и средства измерения параметров лазерного излучения. Методы измерения мощности лазерного можно разделить на:

- тепловые;
- фотоэлектрические;
- пондеромоторные.

Тепловой принцип преобразования состоит в том, что в первичном измерительном преобразователе (ПИП) происходит как минимум двукратное преобразование энергии, при этом всегда в таком порядке: сначала часть входной оптической энергии в приемном элементе ПИП преобразуется в тепловую, а затем часть тепловой энергии, пропорциональная входной оптической величине, в чувствительном элементе ПИП преобразуется в сигнал измерительной информации, удобный для дальнейшей передачи, преобразования или регистрации. Чаще всего таким сигналом является изменение электрической величины: ЭДС, сопротивления, емкости, частоты и пр. Реже в чувствительном элементе происходит преобразование тепловой энергии в изменение неэлектрических величин, подлежащих измерению и регистрации. Тепловые ПИП делятся на:

- калориметры;
- термоэлементы;
- болометры;
- пироприемники.

Далее, рассматриваются методы и средства измерения длины волны лазера. Выделяют два направления в измерениях длин волн: абсолютные и относительные. Под абсолютными понимают непосредственные сравнения длины волны лазерного излучения с одной или несколькими стандартными длинами волн ламповых источников – обычно с оранжевой линией $\lambda = 0,605$ мкм (криптона-86). Под относительными измерениями длины волны понимают сравнение длин волн стабилизированных по частоте лазеров. Наиболее распространенные средства измерения длины волны:

- Призмный спектрометр;
- Дифракционный спектрометр;
- Двухлучевой интерферометр;
- Интерферометр Фабри-Перо;
- Измерители, использующие принцип оптического гетеродинамирования.

Вторая глава посвящена техническому обоснованию и выбору элементов разрабатываемого аппаратно-программного комплекса.

Были проанализированы параметры наиболее распространенных коммерческих лазеров, а также изделий, содержащих лазеры, попадающих на испытания в аккредитованную лабораторию БелГИСС. Как показал анализ, большая часть лазеров (72,3%) излучала на длине волны в видимой области спектра или 380-740 нм. 9,5% источников являлись инфракрасными лазерами коротковолновой области (740 нм - 2,5 мкм), 4,1% источников излучали в ультрафиолетовой области (180-380 нм). Также, область излучения 14,1% источников установить не удалось, в виду отсутствия необходимой информации, что, однако не изменило бы основного тренда использования видимой области излучения. При итоговом выборе учитывались и особенности для различных видов СИ, их преимущества и недостатки. Принимая во внимание отсутствие требований сверхточных измерений, выбор был остановлен на изделии ЗАО «СОЛАР ЛС», в силу меньшей стоимости. Был приобретен компактный широкодиапазонный спектрометр S100. Принцип работы спектрометра S100 основан на применение вогнутой дифракционной решетки. Изделие комплектуется ПЗС-детектором на базе неохлаждаемого линейного датчика изображения TCD1205 производства компании Toshiba.

Схожий анализ параметров лазерного излучения был проведен и для выбора измерителя мощности. Кроме того были учтены требования к измерителям, установленные в стандартах IEC 60825-1, IEC/TR 60825-13 и IEC 61040. Опираясь на преимущества и недостатки, описанные в главе 1, а также ориентируясь на рамки, которые были поставлены в главе 2, был выбран измеритель [LabMax-TOP](#) с датчиками PM30 и PS-10 производства компании COHERENT Inc. Комплекс в сборе представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид аппаратно-программного комплекса

В третьей главе описана разработка программной части комплекса. Рассмотрены алгоритмы определения класса опасности для непрерывного и импульсного лазеров. В общем случае очередность действий выглядит следующим образом:

- Установление предела интенсивности доступного излучения (ПИДИ);
- Установление параметров излучения;
- Проведение измерения мощности либо энергии лазерного излучения;
- Сравнение измеренного значения интенсивности излучения с ПИДИ для рассматриваемого класса.

Было разработано программное обеспечение для проведения измерения параметров лазерного излучения и определения класса опасности. Для сопряжения с имеющимися средствами измерения была использована среда LabVIEW, разработанная компанией National Instruments. Интерфейс разработанной программы представлен на рисунке 2.

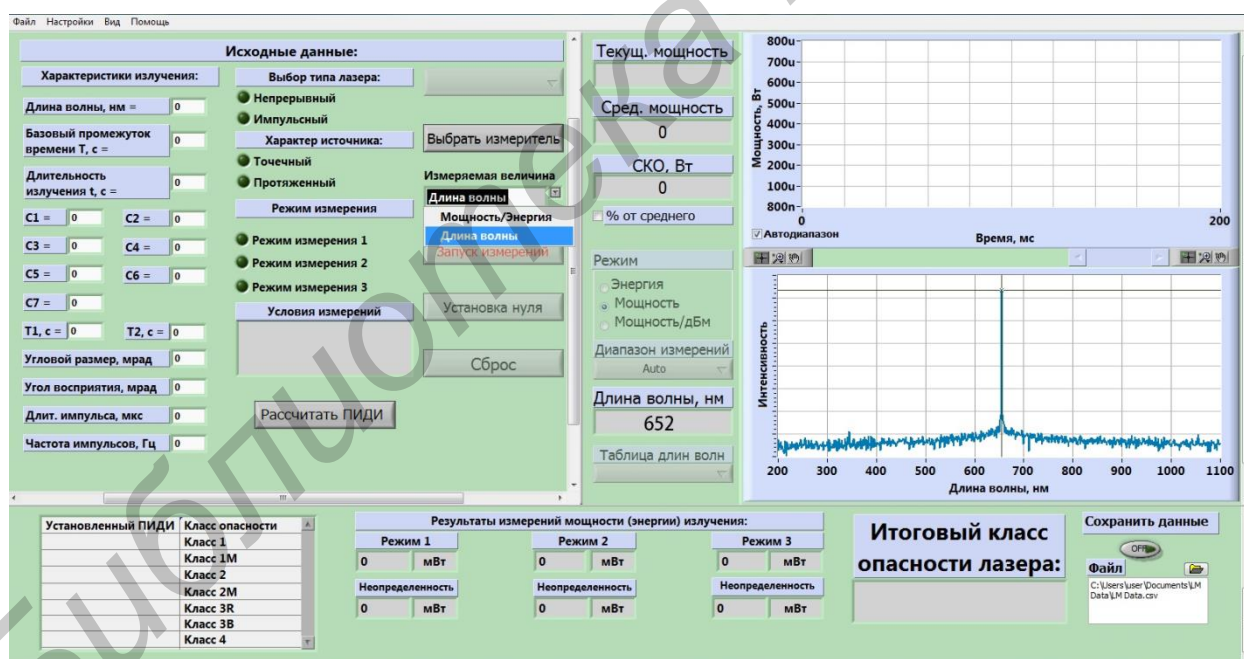


Рисунок 3.3 – Интерфейс разработанного программного обеспечения

Минимальные системные требования программного обеспечения:

- [Видеокарта](#) — объём памяти от 128 [Мб](#);
- [Операционная система](#) — [Windows](#) XP/Vista/7.
- [Процессор CPU](#) — 500[MHz](#).
- [Оперативная память RAM ОЗУ](#) — 256 RAM .
- 100 [Мб](#) свободного места на жёстком диске ([HDD](#)).

В четвертой главе было проведено экспериментальное определение класса опасности на примере лазерных указок. Измеренная длина волны составила 652 нм, а средняя мощность равнялась 3,887 мВт. Автоматическое сравнение измеренных значений со значениями установленного комплексом ПИДИ вывело итоговый класс опасности лазера – 3R.

Для расчета неопределенности измерений был использован алгоритм, представленный в ГОСТ ИСО 11554-2007.

Среднее значение m полученное из n отсчетов m_i , вычислялось по формуле:

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}. \quad (1)$$

Стандартное отклонение среднего значения S_m вычислялось по формуле:

$$s_{\bar{m}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n(n-1)}}. \quad (2)$$

Расширенную относительную неопределенность определяемого среднего значения $U_{rel}(m)$ с использованием стандартного отклонения отсчетов S_m и расширенной относительной неопределенности калибровочного коэффициента $U_{rel}(C)$ вычисляли по формуле:

$$U_{rel}(\bar{m}) = \sqrt{\frac{4s_{\bar{m}}^2}{\bar{m}^2} + [U_{rel}(C)]^2}, \quad (3)$$

где

$$U_{rel}(C) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [U_{rel}(C_i)]^2}. \quad (4)$$

$U_{rel}(C_i)$ являются расширенными относительными неопределенностями калибровочных коэффициентов различных составляющих измерительной системы, например детектора, ослабителя, электронного измерительного оборудования. Расширенные относительные неопределенности оценены с доверительной вероятностью 95 % (при коэффициенте охвата $k = 2$).

Итоговое измеренное значение мощности излучения

$$P_{изл.} = (3,89 \pm 0,51) \text{ мВт}; P_{д.в.} = 0,95$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы был разработан аппаратно-программный комплекс для проведения измерений параметров лазерного излучения с целью определения класса опасности лазеров в соответствии с требованиями национальных и межгосударственных стандартов СТБ ИЕС 60825-1-2011 и ГОСТ ИЕС 60825-1-2013. В первой главе диссертации были рассмотрены методы и средства измерения, интересующих нас параметров, проведен сравнительный анализ их преимуществ и недостатков. Во второй главе были проанализированы и учтены различные факторы, определившие технические требования к разработанному комплексу. В третьей главе работы описаны алгоритмы проведения измерений и определения класса опасности лазера, а также описаны интерфейс и программный код разработанного комплекса. В четвертой главе было проведено экспериментальное определение класса опасности лазеросодержащего изделия, доступного широким слоям населения. Был проведен расчет неопределенности измерений, в соответствии со стандартными методиками.

Основные технические характеристики комплекса:

- Измеряемые величины – длина волны и мощность (энергия) лазерного излучения;
- Возможность работы с непрерывными и импульсными лазерами;
- Спектральный диапазон измерителя длины волны: 190-1100; спектральное разрешение – 1,2 нм;
- Диапазон длин волн измерителя мощности излучения – 0,19-11 мкм;
- Диапазон измеряемой мощности – 0,1 мкВт...30Вт;
- Разрешающая способность измерительного прибора 0,1 % выбранного диапазона
- Сопряжение с ПЭВМ через интерфейсы USB и RS-232.

На момент написания диссертации составные части разработанного комплекса завершили процедуры калибровки либо метрологической аттестации в аккредитованных поверочных лабораториях и были полностью готовы к применению. Некоторые возможности комплекса уже используются испытательным центром БелГИСС.

Учитывая реализованные функции аппаратно-программного комплекса, его технические характеристики, а также автоматизацию процесса измерений, можно утверждать, что все задачи, поставленные в начале данной работы были выполнены в полном объеме.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

[А.1] Кравченко В.В. Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров лазерного излучения // Приборостроение. Метрология и стандартизация в радиоэлектронике: Тезисы докл. к Международной НТК, приуроченной к 50-летию МРТИ-БГУИР – Минск БГУИР, 2014 – С. 136-137.

Библиотека БГУИР



Кравченко Виктор Владимирович

Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров лазерного излучения в соответствии с IEC 60065 и IEC 60950-1

Научный руководитель:
Гурский Александр Леонидович
Доктор физико-математических наук,
профессор



Области применения современных лазеров:

2

- металлообработка (сварка, резка, упрочнение);
- микротехнологии (микроэлектроника, обработка пленок, нанесение пленочных слоев, литография, подстройка параметров, интегральная оптика, микрооптика, микромеханика и др.);
- лазерная маркировка материалов и изделий;
- полиграфия (изготовление печатных форм, лазерная печать);
- оптическая связь и волоконные технологии;
- химические технологии (разделение изотопов, катализ и т.д.);
- звуко- и видеозапись и воспроизведение;
- измерения и контроль в технологических процессах, дефектоскопия;
- оптическая локация, навигация, дальнометрия, батиметрия;
- лазерная спектроскопия;
- клиническая медицина (хирургия, терапия и диагностика);
- голография и ее применения;
- реставрация художественных произведений (в т. ч. очистка);
- трехмерное моделирование и синтез 3-х мерных объектов;
- ядерная промышленность;
- военная техника;
- строительство.



ТНПА, устанавливающие требования

3

безопасности источников лазерного излучения:

- СТБ МЭК 60065-2004
- ГОСТ IEC 60065-2011
- СТБ МЭК 60950-1-2003
- ГОСТ IEC 60950-1-2011



- **СТБ IEC 60825-1-2011**
- **ГОСТ IEC 60825-1-2013**



Цели и задачи работы

4

Цель работы: создание аппаратно-программного комплекса для проведения измерений параметров лазерного излучения в целях определения класса опасности лазера.

Задачи:

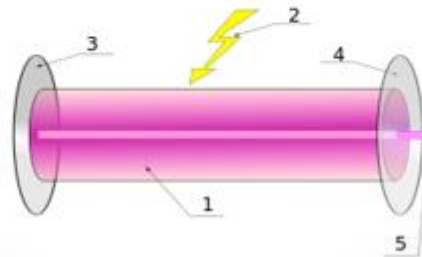
- Оптимальность - измерения в максимально возможном диапазоне величин, при минимальных финансовых затратах;
- Автоматизация работ;
- Возможность внесения изменений в программное обеспечение (открытый код).



5

Принцип работы лазера

- Лазер - устройство, которое может быть создано для генерации или усиления излучения в диапазоне длин волн от 180 нм до 1 мм, главным образом посредством управляемого вынужденного испускания.



6

Классификация лазеров





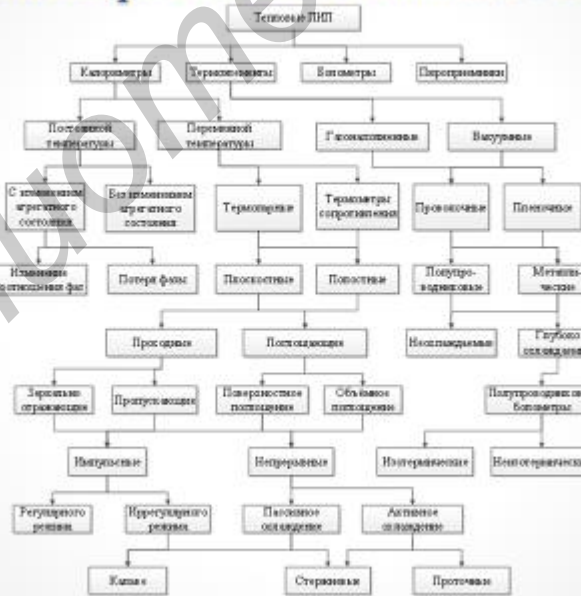
Измерение мощности лазерного излучения

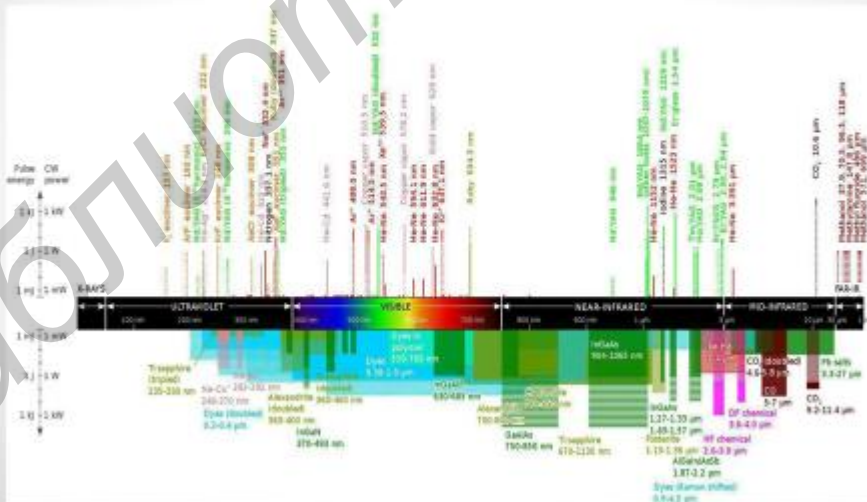
7



Классификация тепловых ПИП

8

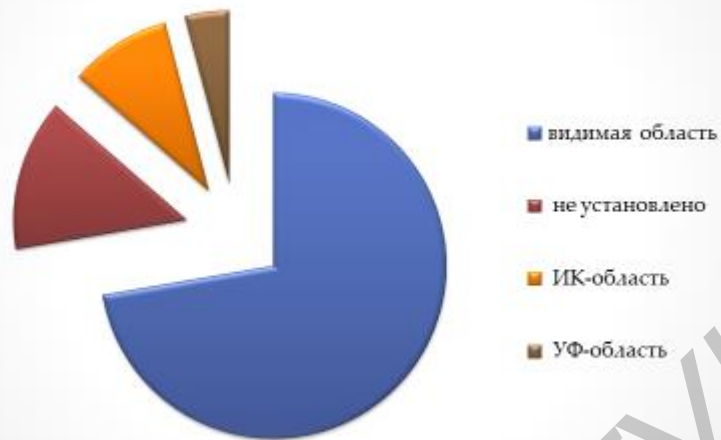






Длины волн испытываемых в ИЦ БелГИСС лазеров

11



Спектрометр S100

12



Спектрограф	
Спектральный диапазон, нм	190-1100
Дифракционная решетка, штрихы(среднее значение)	300
Фокусное расстояние, мм	99
Длина спектра, мм	30
Обратная линейная дисперсия, нм/мм (среднее значение)	33,28
Спектральное разрешение, нм (среднее значение)	1,0
Входная щель, ширина высота, не более, мм	0,02 3,0
Размеры, мм	66 86 149
Вес, кг	0,75
Приемно-регистрирующая система	
Линейный датчик изображения	Toshiba TCD 1205
Количество пикселей	2048
Размер пикселя, мм ²	0,2
Длина светочувствительной зоны, мм	28,6
Разрешение (среднее значение, нм)	1,2
Разрядность АЦП	14 бит; 16384 отсчета
Интерфейс связи с компьютером	Full-Speed USB
Синхронизация	IN/OUT



Распределение лазеров по характеру пучка

13



- Точечные коллимированные источники
- Не установлено
- Диффузные, сканирующие и др.



Измеритель мощности лазерного излучения

14

Измеритель COHERENT LabMax-TOP с датчиком PowerMax PM30





Параметры измерителя мощности LabMax-TOP

15

Параметр	Описание/значение
Подключаемые датчики	Термоэлектрические датчики Оптические датчики Пирозлектрические датчики
Разрешающая способность измерительного прибора (% от полного масштаба)	0,1
Точность позиционирования (мм)	0,1
Ошибка частоты повторений	< 1%
Максимальная частота повторения импульсов (Гц)	10 000 проб (1,000 Гц каждый импульс)
Импульсный запуск	Внутренний и внешний (на выбор)
Периодичность выборки мощности (Гц)	10
Неопределенность	
Прибор	± 1% от значения
Система	измеритель + датчик
Аналоговый выход	± 2%
Компьютерный интерфейс	USB, RS-232
Размер (ВхШхГ)	152 x 229 x 53 мм



Технические характеристики детекторов мощности

16

Параметр	Описание/значение	
	PM30	PS-10
Обозначение	PM30	PS-10
Вид датчика	Термоэлектрический	Термоэлектрический
Диапазон длин волн, мкм	0,19-11	0,3-11
Диаметр приемной зоны, мм	19	10
Максимальная мощность, Вт	30	1
Шум, мВт	0,5	0,003
Неопределенность, %	2	1
Максимальная средняя плотность мощности, кВт/см ²	26	0,5
Время отклика, с	2	2

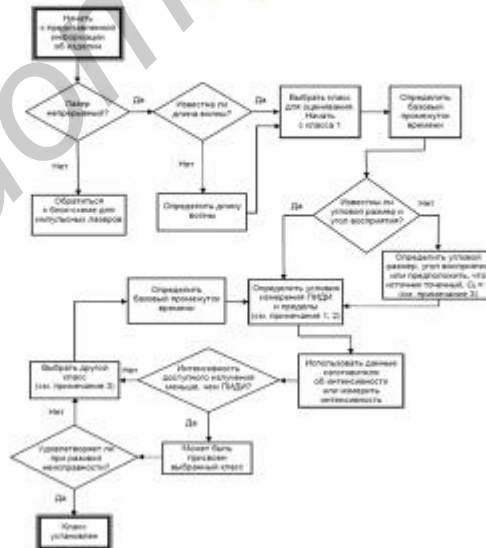


Классы опасности лазеров в соответствии с СТБ IEC 60825-1-2011

- Класс 1
- Класс 1M
- Класс 2
- Класс 2M
- Класс 3R
- Класс 3B
- Класс 4



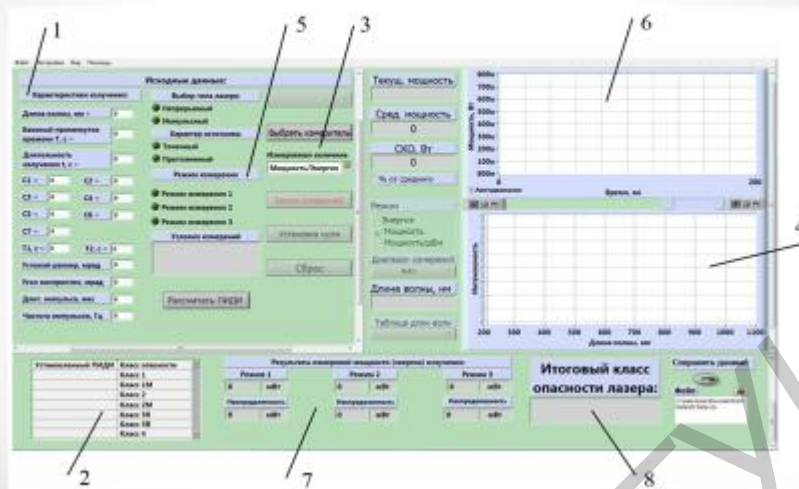
Алгоритм определения класса опасности непрерывного лазера





Интерфейс разработанного программного обеспечения

19



Внешний вид испытываемых изделий

20





Измерение длины волны

Исходные данные:

Характеристики излучения: Инфракрасный Видимый Ультрафиолетовый

Длина волны, нм: 652

Волновой промежуток среза, Г, с: 100

Длина волны излучения, с: 1000

С1 = 0 С2 = 0 С3 = 0 С4 = 0 С5 = 0 С6 = 0 С7 = 0

Т1, с: 0 Т2, с: 0

Угловой размер, мрад: 0

Угол отражения, мрад: 0

Длит. импульса, нс: 0

Частота импульсов, Гц: 0

Выбор типа лазера: Реперирующий Импульсный Длительный

Выбор источника: Диодный Газовый

Измерения мощности: Мощность/Плотность Длинна волны

Итоговый класс опасности лазера: **Класс 1**

Установленный ПДД	Класс опасности
0,39 мВт	Класс 1
0,39 мВт	Класс 1M
1 мВт	Класс 2
1 мВт	Класс 2M
5 мВт	Класс 3R
5,5 Вт	Класс 3B
> 0,5 Вт	Класс 4



Введение исходных данных

Исходные данные:

Характеристики излучения: Инфракрасный Видимый Ультрафиолетовый

Длина волны, нм: 652

Волновой промежуток среза, Г, с: 100

Длина волны излучения, с: 1000

С1 = 0 С2 = 0 С3 = 0 С4 = 0 С5 = 0 С6 = 0 С7 = 0

Т1, с: 0 Т2, с: 0

Угловой размер, мрад: 0

Угол отражения, мрад: 0

Длит. импульса, нс: 0

Частота импульсов, Гц: 0

Выбор типа лазера: Реперирующий Импульсный Длительный

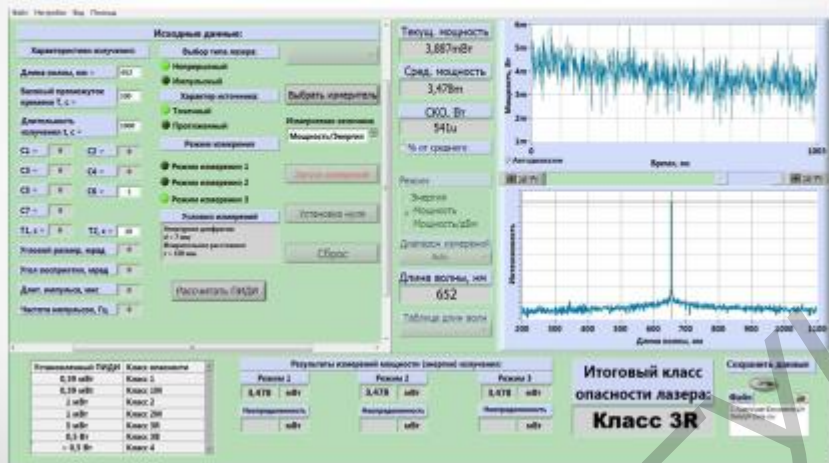
Выбор источника: Диодный Газовый

Измерения мощности: Мощность/Плотность Длинна волны

Итоговый класс опасности лазера: **Класс 1**

Установленный ПДД	Класс опасности
0,39 мВт	Класс 1
0,39 мВт	Класс 1M
1 мВт	Класс 2
1 мВт	Класс 2M
5 мВт	Класс 3R
5,5 Вт	Класс 3B
> 0,5 Вт	Класс 4

Измерение мощности и определение класса опасности



Расчёт неопределённости

Согласно ГОСТ ИСО 11554-2007:

Средняя мощность:
$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}$$

$$\bar{P} = \frac{3891,4}{1000} = 3,8914 \text{ (мВт)}$$

Стандартное отклонение среднего значения:

$$s_{\bar{m}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n(n-1)}} \quad S_{\bar{m}} = \sqrt{\frac{379,766}{1000(1000-1)}} = 0,019497 \text{ (мВт)}$$

Расширенная относительная неопределённость калибровочных коэффициентов:

$$U_{rel}(C) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [U_{rel}(C_i)]^2} \quad U_{rel}(C) = 0,508400921 \text{ (мВт)}$$

Расширенная относительная неопределённость определяемого среднего значения:

$$U_{rel}(\bar{m}) = \sqrt{\frac{4s_{\bar{m}}^2}{\bar{m}^2} + [U_{rel}(C)]^2} \quad U_{rel}(C) = \sqrt{\frac{(4 \cdot 0,019497)^2}{3,8914^2} + (0,508400921)^2} = 0,508400959 \text{ (мВт)}$$

$$P_{изл.} = (3,89 \pm 0,51) \text{ мВт}; P_{д.в.} = 0,95$$