



В первой главе описаны физические основы генерации фемтосекундного излучения. Приводится теоретическое описание основных временных и спектральных характеристик излучения лазера с самосинхронизацией мод.

Во второй главе рассматриваются методы стабилизации частоты повторения и сдвига частотной гребенки фемтосекундного лазера. Описаны наиболее распространенные схемы стабилизации. В том числе, приводится описание разработанного соискателем метода стабилизации частоты повторения и сдвига гребенки на основе комбинированного рубидиевого стандарта частоты. Подробно описывается схема работы метода и основные преимущества её применения.

В третьей главе описываются способы устранения частотного сдвига гребенки фемтосекундного лазера с помощью внешних интерферометров Фабри-Перо и Майкельсона. Приведенные схемы обеспечивают контроль сдвига частотной гребенки лазеров с самосинхронизацией мод с шириной спектральной линии менее октавы, что позволяет распространить их применение на лазеры нано- и пикосекундного диапазонов.

Четвертая глава посвящена методам селекции периодических последовательностей идентичных импульсов фемтосекундного лазера с управляемой фазой между несущей и огибающей. Описываются принципы и схемы получения последовательностей идентичных фемтосекундных импульсов. Также приводятся экспериментальные результаты генерации последовательностей идентичных импульсов с дискретностью перестройки фазы между несущей и огибающей, равной  $2\pi/5$ .

Пятая глава посвящена методам снижения дискретности установки фазы между огибающей и несущей в последовательностях идентичных фемтосекундных импульсов и принципам создания последовательностей ультракоротких импульсов с заданным скольжением фазы между соседними импульсами. Приводятся экспериментальные результаты генерации последовательностей с малой дискретностью перестройки фазы между несущей и огибающей, а также по получению знакопеременных по напряженности электрического поля последовательностей ультракоротких импульсов.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

**Актуальность темы исследования** обусловлена возможностью применения результатов исследований в таких областях, как метрология и нелинейная оптика. Стабилизация или устранение сдвига частотной гребенки и частоты повторения импульсов излучения фемтосекундного лазера, позволяет получить линейку реперов для измерения частот в оптическом и СВЧ диапазонах. А предложенный Н.Н. Головиным метод управления сдвигом частотной гребенки с помощью интерферометра Майкельсона позволяет распространить его применимость на лазеры пико- и наносекундного диапазонов. Управление фазой между несущей и огибающей фемтосекундных импульсов имеет большое

значение для таких приложений нелинейной оптики, как получение аттосекундных импульсов и когерентное сложение импульсов. Кроме того, у последовательности идентичных фемтосекундных импульсов сдвиг частотной гребенки равен нулю.

**Целью работы** является разработка новых способов управления сдвигом гребенки частот и фазой между огибающей и несущей излучения фемтосекундного лазера.

**Научная новизна** работы заключается в том, что автором:

1. Предложены метод и схема контроля сдвига частотной гребенки с произвольной шириной спектра с применением интерферометра Майкельсона.

2. Предложен и экспериментально реализован метод получения последовательности идентичных фемтосекундных импульсов без сдвига частотной гребенки с управляемой разностью фаз между огибающей и несущей с использованием селектора импульсов на основе электрооптического модулятора.

3. Предложен и продемонстрирован метод получения знакопеременных по напряженности электрического поля последовательностей ультракоротких импульсов.

**Практическая значимость полученных результатов** состоит в том, что предложенная схема управления сдвигом частотной гребенки с помощью интерферометра Майкельсона пригодна для различных ширин спектра излучения лазера, что позволяет распространить рассмотренный метод на лазеры с самосинхронизацией мод нано- и пикосекундного диапазонов.

Кроме того, предложенный в работе метод получения последовательностей фемтосекундных импульсов без сдвига частотной гребенки с селектируемой разностью фаз между огибающей и несущей имеет практическую значимость для таких приложений нелинейной оптики, как получение аттосекундных импульсов и когерентное сложение импульсов.

Создание знакопеременных по напряженности электрического поля последовательностей импульсов может представлять интерес, для изучения быстропротекающих процессов при взаимодействии излучения с веществом.

**Результаты работы использованы** в научно-технической деятельности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» при выполнении ряда научно-исследовательских работ.

По результатам диссертационного исследования Н.Н. Головина **опубликовано** 16 научных работах. Из них работ, опубликованных согласно перечню российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней (перечень ВАК РФ) – 6, работ в научных журналах, индексируемых базами Scopus и Web of Science – 4, а также в материалах конференции, индексируемой базами Scopus и Web of Science – 3. Получены 2 патента Российской Федерации на изобретение и 2 патента на полезную модель.

**Содержание диссертационной работы и автореферата соответствуют** паспорту специальности 2.2.6 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы в направлениях исследований:

пункту 1 «Исследование и разработка новых методов и процессов, которые могут быть положены в основу создания оптических и оптико-электронных приборов, систем и комплексов различного назначения, функционирующих в оптическом диапазоне спектра и терагерцовом диапазоне»;

пункту 12 «Разработка, совершенствование и исследование характеристик приборов, систем и комплексов с использованием электромагнитного излучения оптического диапазона волн, предназначенных для решения задач:

- измерения геометрических и физических величин;
- создания оптического и оптико-электронного оборудования для научных исследований в различных областях науки и техники».

**Автореферат** диссертации изложен на 20 страницах, содержит 7 рисунков и список основных публикаций соискателя по теме диссертации из 13 наименований.

**Содержание автореферата** полностью **соответствует** содержанию диссертации и отражает основные результаты, полученные в процессе ее выполнения.

**Замечания, требующие пояснений:**

1. Отсутствует сравнение с другими способами измерения сдвига гребенки для излучения с шириной спектра меньше октавы.
2. Не обсуждаются ограничения установления минимальной дискретности перестройки фазы несущей относительно огибающей.
3. Во втором защищаемом положении «... $q$  – целое число...» не в полном объеме содержит требования к значению  $q$ . Очевидно, необходима более детальная формулировка для возможных его значений.
4. Не везде в тексте диссертации соблюдены требования п.15 «Положения о присуждении ученых степеней» (например стр. 26, 28, 65, 74).

Указанные замечания не снижают ценности диссертационной работы Н.Н. Головина.

**Общее заключение о работе**

Диссертация Н.Н. Головина на тему «Управление сдвигом гребенки частот и фазой между огибающей и несущей излучения фемтосекундного лазера» полностью соответствует требованиям, установленным в пп. 9 – 14 «Положения присуждении учёных степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, ред. от 26.09.2022 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям и является полностью завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые, достоверные и в полной мере обоснованные результаты, имеющие существенное значение для развития метрологии и нелинейной оптики.



Исходя из вышеизложенного считаем, что Головин Николай Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.6 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Диссертационная работа и автореферат рассмотрены и обсуждены на заседании отделения распространения оптических волн Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук, протокол заседания № 5 от 07 декабря 2022 г.

Руководитель отделения распространения  
оптических волн,  
д.ф.-м.н. (специальность 01.04.05 - Оптика),  
профессор  
Землянов Александр Анатольевич

Главный научный сотрудник лаборатории  
нелинейно-оптических взаимодействий,  
д.ф.-м.н. (специальность 01.04.05 - Оптика)  
Кабанов Андрей Михайлович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы  
им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН)  
634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1.  
Тел: +7 (3822) 49-27-38. E-mail: [director@iao.ru](mailto:director@iao.ru). Веб-сайт: <https://www.iao.ru/ru>

Отзыв получен 12.12.2022  Степанов М.А.  
с отзывом ознакомлен 12.12.2022  Головин Н.Н.