

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 308.005.01,
созданного на базе Федерального государственного унитарного предприятия
"Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и
радиотехнических измерений", подведомственного Федеральному агентству
по техническому регулированию и метрологии, по диссертации на соискание
ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24 ноября 2021 г.
протокол № 5.

О присуждении Полякову Виктору Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование и разработка водородного генератора с двойной сортировкой атомов для уменьшения нестабильности частоты» по специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение» принята к защите 20 сентября 2021 г., (протокол №3) диссертационным советом Д.308.005.01, созданном на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП ВНИИФТРИ), подведомственного Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии, адрес: 141570, Россия, Московская область, г. Солнечногорск, р.п. Менделеево, промзона ВНИИФТРИ, корпус 11, и утвержденным приказом Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки № 163-69 от 12.02.2010 и приказами Министерства образования и науки РФ о внесении изменений в составы диссертационных советов №71/нк (п.44) от 13.02.2013 г., №833/нк (п.30) от 25.11.2013 г., №847/нк от 29.07.2015 г., №1483/нк от 18.11.2016 г., №936/нк от 28.09.2017 г. и №1246/нк от 19.12.2017 г.

Соискатель Поляков Виктор Александрович, 1989 года рождения, в 2011 году окончил Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского по специальности «Физика», диплом о высшем образовании № К № 52861, работает ведущим инженером ЗАО «Время-Ч». Диссертация выполнена в Отделении стандартов и эталонов частоты ЗАО «Время-Ч».

Научный руководитель – доктор технических наук Демидов Николай Александрович, заместитель генерального директора по науке ЗАО «Время- Ч» - начальник отделения стандартов и эталонов частоты.

Официальные оппоненты:

Рыжков Анатолий Васильевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Московского Технического Университета Связи и Информатики (МТУСИ),

Закс Виктор Самуилович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Акционерного общества «Корпорация космических систем специального назначения «Комета» (АО «Корпорация Комета»)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки (ФГБУН) Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Заместителем директора ФГБУ науки ФИАН РАН С.Ю. Савиновым, ученым секретарем Отделения квантовой радиофизики ФИАН, к.ф.-м.н. А.Е. Дракиным и ведущим научным сотрудником лаборатории стандартов частоты ФИАН, к.ф.-м.н. В.Л. Величанским, указала, что физически обоснованное изменение конструкции водородного генератора с применением более избирательной сортировки атомов, поступающих в накопительную колбу, позволило уменьшить предел нестабильности и практически достичь этой нестабильности в созданных водородных генераторах.

Автор впервые выполнил теоретическую оценку уменьшения вклада в нестабильности частоты ВГ, обусловленного тепловыми шумами резонатора, за счет использования двойной сортировки атомов по квантовым состояниям. Основные результаты диссертационной работы А.В. Полякова оригинальны.

1. Автор исследовал и разработал конструкцию системы двойной сортировки, адаптированную для использования в промышленных приборах. С помощью математического моделирования был проведен расчет количества атомов в различных квантовых состояниях, попадающих в накопительную колбу. В диссертации исследованы и разработаны конструкции инвертирующих областей,

реализующих методы быстрого изменения направления магнитного поля и адиабатического быстрого прохождения.

4. Автором впервые проведено экспериментальное исследование ВГ с СДС по методу адиабатического быстрого прохождения. Определены зависимости мощности генерации и добротности спектральной линии от различных параметров СДС, исследовано влияние нестабильности параметров инвертирующей области на выходную частоту ВГ.

6. Впервые проведено исследование метрологических характеристик ВГ с СДС по методу адиабатического быстрого прохождения. Впервые определено СКДО выходного сигнала 5 МГц исследуемого образца на уровне $1,3 \cdot 10^{-16}$ на интервале времени измерения 1 сутки.

Основные положения обоснованы. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертация является законченной научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством, в которой содержится решение практически важной научной задачи уменьшения нестабильности частоты водородных стандартов частоты, достигаемого за счет использования пучка атомов водорода в одном квантовом состоянии.

По важности достигнутых научно-технических результатов и практической значимости диссертационная работа В.А. Полякова удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», а её автор, несомненно, достоин присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.15 «Метрология и метрологическое обеспечение».

Соискатель имеет 13 опубликованных работ по теме диссертации, из них 4 – в журналах, входящих в базы данных Web of Science и Scopus, и рекомендованных ВАК, и 1 патент на изобретение:

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Беляев А.А., Демидов Н.А., Поляков В.А., Тимофеев Ю.В., «Оценка возможного уменьшения нестабильности частоты водородного генератора при использовании пучка атомов в одном квантовом состоянии», Измерительная техника, вып. 8, сс. 28-31, 2018. Версия: Belyaev, A.A., Demidov, N.A., Polyakov,

V.A. *et al.* Estimation of the Possible Reduction of the Limit Frequency Instability of a Hydrogen Generator Using an Atom Beam in One Quantum State. *Meas Tech* **61**, 779–783 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11018-018-1501-7>;

2. Поляков В.А., Беляев А.А., Демидов Н.А., Тимофеев Ю.В., «Система двойной сортировки атомов по квантовым состояниям для промышленного водородного стандарта частоты», *Измерительная техника*, вып. 8, сс. 31-36, 2018. Версия: Polyakov, V.A., Belyaev, A.A., Demidov, N.A. *et al.* System for Double Sorting of Atoms by Quantum State for a Commercial Hydrogen Frequency Standard. *Meas Tech* **61**, 784–790 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11018-018-1502-6>;

3. Тимофеев Ю.В., Поляков В.А., Беляев А.А., Демидов Н.А., «Результаты экспериментальных исследований водородного генератора с двойной сортировкой атомов по квантовым состояниям», *Измерительная техника*, вып. 8, сс. 40-43, 2018. Версия: Timofeev, Y.V., Polyakov, V.A., Belyaev, A.A. *et al.* Results of Experimental Studies of a Hydrogen Generator with Double Selection of Atoms by Quantum State. *Meas Tech* **61**, 797–801 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11018-018-1504-4>;

4. Демидов Н.А., Беляев А.А., Поляков В.А., Тимофеев Ю.В., «Бортовой водородный стандарт частоты для космической обсерватории Миллиметрон», *Измерительная техника*, вып. 8, сс. 36-40, 2018. Версия: Demidov, N.A., Belyaev, A.A., Polyakov, V.A. *et al.* Onboard Hydrogen Frequency Standard for the Millimetron Space Observatory. *Meas Tech* **61**, 791–796 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11018-018-1503-5>;

5. Патент на изобретение № 2726851 от 05.03.2020. Беляев А.А., Демидов Н.А., Поляков В.А., Тимофеев Ю.В. «Квантовый водородный генератор стандарта частоты».

Все приведенные сведения о публикациях автора достоверны. В совместных публикациях личный вклад автора диссертационной работы является определяющим.

На автореферат поступили отзывы из 9 организаций:

РУП «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГИМ), Республика Беларусь, г. Минск;

Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга Московского государственного университета (ГАИШ МГУ), г. Москва;

Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП «ЦНИИмаш»), г. Королев;

Федерального государственного бюджетного учреждения «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны Российской Федерации (ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России), г. Мытищи Московская обл.;

Конструкторского бюро навигационных систем «НАВИС», г. Москва;

Западно-Сибирского филиала ФГУП «ВНИИФТРИ», г. Новосибирск

Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Радиосвязь» (АО «НПП «Радиосвязь»), г. Красноярск;

Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва.

Научно-производственного предприятия «Исток» им. А.И. Шокина» (НПП «Исток»), г. Фрязино;

Все полученные отзывы положительные.

В целом авторы отзывов заключают, что автореферат хорошо оформлен и достаточно полно освещает поставленные перед диссертантом задачи, методы их решения и достигнутые им результаты, представленная диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой и соответствует всем требованиям ВАК, автор работы – Поляков В.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

В отзывах на автореферат имеются следующие замечания, вопросы и рекомендации:

- не совсем корректно использование термина «теоретического предела»;
- возможно ли увеличение добротности линии и мощности генерации при использовании других технологий?
- в автореферате представлены результаты измерения нестабильности частоты ВГ с СДС в сравнении с промышленными стандартами частоты, имеющими худшие характеристики;

- в автореферате не приведены значения предельно возможного уменьшения нестабильности частоты при использовании СДС;
- можно ли уменьшить температуру резонатора?
- не рассмотрена технико-экономическая эффективность применения ВГ с СДС;
- можно было бы представить экспериментальные данные по вкладу, обусловленному тепловыми шумами приемника, а также оценку возможного уменьшения этого вклада за счет использования разработанного ВГ.

В отзывах имеются также замечания по оформлению текста редакционного характера, однако приведенные в отзывах замечания и отмеченные недостатки не снижают научной ценности и практической значимости работы.

Выбор официальных оппонентов обоснован их компетентностью в научной области темы диссертации, а ведущая организация является компетентной организацией в области квантовых стандартов частоты и времени.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработан и внедрен квантовый водородный генератор, входящий в состав перспективного активного стандарта частоты и времени VCH-2021. Внедрение полученных Поляковым В.А. результатов позволит уменьшить нестабильность частоты водородного стандарта частоты до $1,5 \cdot 10^{-16}$ на интервале времени измерения 1 сутки, что необходимо для совершенствования комплекса воспроизведения, хранения единиц времени и частоты и передачи национальной шкалы времени UTC (SU).

Научная новизна полученных в работе результатов заключается в следующем:

- 1) впервые выполнена оценка возможного уменьшения нестабильности частоты ВГ, обусловленной тепловыми шумами резонатора, за счет использования двойной сортировки атомов по квантовым состояниям;
- 2) впервые исследована и разработана конструкция системы двойной сортировки с учетом ограничений, связанных с использованием в промышленных стандартах частоты, выполнено математическое моделирование траекторий движения атомов водорода в СДС для случая шести-полюсных и четырех-полюсных сортирующих магнитов, произведен расчет относительного количества

атомов водорода в состояниях с $F = 1$, $m_F = 0, \pm 1$, попадающих в накопительную колбу;

3) впервые проведен расчет инвертирующих полей, разработана конструкция, проведено исследование и сравнение эффективности и сложности реализации двух конструкций инвертирующей области, реализующих методы быстрого изменения направления магнитного поля и адиабатического быстрого прохождения;

4) впервые проведено экспериментальное исследование ВГ с СДС по методу адиабатического быстрого прохождения. Определены зависимости мощности генерации и добротности спектральной линии от различных параметров СДС: величины и градиента продольного магнитного поля, частоты и амплитуды переменного поперечного магнитного поля, интенсивности пучка атомов водорода;

5) впервые исследовано влияние нестабильности параметров инвертирующей области на выходную частоту ВГ;

6) впервые проведено исследование метрологических характеристик ВГ с СДС по методу адиабатического быстрого прохождения, определено СКДО выходного сигнала 5 МГц.

Практическая значимость обоснована тем, что ВГ с двойной сортировкой атомов будут являться основой перспективных ВСЧВ для множества приложений, ВСЧВ с улучшенными характеристиками найдут многочисленные применения в науке и промышленности: модернизация водородных хранителей; создание перевозимых и бортовых космических квантовых часов нового поколения; модернизация ВСЧВ, вырабатывающих опорный сигнал для фонтанов на основе охлажденных атомов цезия или рубидия, а также для измерения гравитационного поля на Земле и в космосе. Результаты исследования были внедрены в ЗАО «Время-Ч» и использованы при разработке генератора квантового водородного ЯКУР.411141.052, входящего в состав перспективного Стандарта частоты и времени водородного VCH-2021, что подтверждено актом внедрения, а оригинальность технического решения – патентом на изобретение № 2726851 от 05.03.2020 «Квантовый водородный генератор стандарта частоты».

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты теоретических исследований и математического моделирования подтверждены результатами проведенных экспериментальных исследований. Экспериментальные данные были получены с помощью калиброванного и поверенного оборудования ЗАО «Время-Ч».

Личный вклад соискателя состоит в разработке конструкции СДС, разработке методов оценки эффективности СДС, проведении экспериментальных исследований мощности генерации, добротности спектральной линии и нестабильности частоты выходной частоты, исследовании влияния параметров СДС на выходную частоту ВГ, разработке модуля управления СДС. Также автор участвовал в различных международных и всероссийских научных конференциях, на которых результаты исследований получили одобрение.

На заседании 24 ноября 2021 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Полякова В.А. представляет собой законченную научно-квалифицированную работу, соответствующую критериям, которые установлены Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Полякову Виктору Александровичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, участвующих в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, из них 8 докторов наук по специальности диссертации, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» – 19, «против» - 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета

Некрасов В.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета

Балаханов М.В.

24 ноября 2021 г.

М.П.