

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.173.03  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28 декабря 2016 г., протокол № 3

О присуждении Доржиеву Виталию Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

**Диссертация** «Разработка и исследование low-g электростатических микроэлектромеханических генераторов» по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах» принята к защите 28 октября 2016 г., протокол № 6, диссертационным советом Д 212.173.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, создан на основании приказа № 766/нк от 05.11.2013 г.

Соискатель Доржиев Виталий Юрьевич 1988 года рождения, в 2012 году окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению «Электроника и микроэлектроника». В настоящее время обучается в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Диссертация выполнена на кафедре полупроводниковых приборов и микроэлектроники Федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, доцент Драгунов Валерий Павлович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники, профессор.

**Официальные оппоненты:**

Косцов Эдуард Геннадьевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур, заведующий лабораторией;

Нестеренко Тамара Георгиевна, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», кафедра точного приборостроения, доцент, **дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (НИУ МИЭТ), г. Москва, г. Зеленоград, **в своем положительном отзыве**, подписанном Тимошенко Сергеем Петровичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой микроэлектроники, Бритковым Олегом Михайловичем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры микроэлектроники и Ларионовым Николаем Михайловичем, кандидатом технических наук, профессором, ученым секретарем НИУ МИЭТ и утвержденном Гавриловым Сергеем Александровичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе НИУ МИЭТ, **указала, что диссертация В.Ю. Доржиева «Разработка и исследование low-g**

электростатических микроэлектромеханических генераторов» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, имеющую важное значение для совершенствования методики проектирования МЭМС в целом. Представленные в работе результаты исследований достоверны, рекомендации по их применению и выводы обоснованы, публикации достаточно полно отражают основные положения и содержание работы. Результаты работы внедрены и в достаточной степени апробированы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней, приведенным в разделе II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Доржиев Виталий Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Соискатель имеет 24 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 24 работы, из них 10 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, 1 патент на изобретение. Общий объем работ – 7 печатных листов, авторский вклад – 70%.

Наиболее значимые работы:

1. Драгунов, В. П. Микроэлектромеханический генератор на основе дубликатора Беннета / В. П. Драгунов, В. Ю. Доржиев // Нано- и микросистемная техника. – 2012. – № 11. – С. 39–42.

2. Драгунов, В. П. Анализ влияния pull-in эффекта на параметры трехэлектродных МЭМС / В. П. Драгунов, В. Ю. Доржиев // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2013. – № 2. – С. 87–97.

3. Драгунов, В. П. Микроэлектромеханический преобразователь на основе дубликатора Беннета с одним переменным конденсатором / В. П. Драгунов, Д. Ю. Галайко, В. Ю. Доржиев, Ф. Бассэ // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2014. – № 2–3. – С. 67–80.

4. Dorzhiev, V. Electret-free micromachined silicon electrostatic vibration energy harvester with the Bennet's doubler as conditioning circuit / V. Dorzhiev, A. Karami, P. Basset, F. Marty, V. Dragunov, D. Galayko // IEEE Electron Device Letters. – 2015. – Vol. 36. – No. 2. – P. 183–185.

5. Драгунов, В. П. Влияние параметров диодов на работу схемы ЭМГ на основе дубликатора Беннета / В. П. Драгунов, В. Ю. Доржиев // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2015. – № 2. – С. 57–68.

6. Драгунов, В. П. Начальные условия и динамический pull-in эффект в МЭМС с изменяющимся межэлектродным зазором / В. П. Драгунов, В. Ю. Доржиев // Нано- и микросистемная техника. – 2015. – № 10. – С. 31–41.

7. Драгунов, В. П. Моделирование характеристик одноконденсаторного МЭМС-преобразователя с плоскопараллельными электродами / В. П. Драгунов, В. Н. Васюков, В. Ю. Доржиев // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2015. – № 4. – С. 59–70.

8. Драгунов, В. П. Влияние краевых эффектов на функционирование МЭМС / В. П. Драгунов, В. Ю. Доржиев // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2016. – № 1. – С. 48–61.

9. Электростатический микроэлектромеханический генератор для подзаряда химического источника тока: пат. 2528430 С2 Рос. Федерация: МПК H02N 1/00 / Драгунов В. П., Доржиев В. Ю.; заявитель и патентообладатель Новосибирск. гос. техн. унив. – № 2013101854/07; заявл. 15.01.13 ; опубл. 20.09.14, Бюл. № 26.

**На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все положительные):**

1. Зиновьева Вадима Борисовича, кандидата технических наук, начальника лаборатории отдела микроэлектроники акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Восток». Замечаний нет.

2. Шевченко Вадима Петровича, кандидата технических наук, начальника отдела по координации и анализу работ НИОКР «Научно-исследовательского и конструкторского института радиоэлектронной техники» – филиала Федерального государственного унитарного предприятия федерального

научно-производственного центра «Производственное объединение «Старт» имени М.В. Проценко».

Замечание. «Некоторые предложения, будучи слишком длинными, являются сложными для восприятия».

3. Аксенова Валентина Васильевича, доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук. Замечаний нет.

4. Голода Сергея Владиславовича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук.

Замечания. «К незначительным недостаткам по оформлению автореферата можно отнести замеченные опечатки на с. 10 (6 строка снизу, лишняя буква), с. 11 (8 строка снизу, повторение слов) и отсутствие расшифровки некоторых обозначений к рисункам, что затрудняет восприятие материала. Во второй главе приводятся данные, что значения электростатической силы, полученные с использованием, найденного в ходе выполнения работы, аппроксимационного выражения отличаются от оценок, полученных в программном пакете ANSYS, не более, чем на 12%. Однако, из текста автореферата неясно какой из расчетных методов наиболее хорошо согласуется с экспериментом».

5. Некрасова Якова Анатольевича, кандидата технических наук, начальника сектора отдела микромеханических (инерциальных) интеллектуальных датчиков АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Замечания. «К недостаткам работы можно отнести – небрежность оформления автореферата, которое проявляется в наличии части слова (стр. 10) или повторении слов (стр. 11), введении сокращения (ИПК), нераскрытого в тексте. Что представляют собой величины  $U_1$ ,  $U_2$  (стр. 12) можно понять только из текста диссертации, но никак из автореферата.

В тексте диссертации приведена величина напряжения 500 В (стр. 132), которая никак не может относиться к микромеханическому устройству.

Оценку конструкций преобразователей по критерию «значительно устойчивее» (стр. 14) целесообразно было бы заменить количественной.

Хотя, как упоминалось выше, направление исследований в диссертации может быть отнесено к пионерскому в нашей стране, утверждение, что в «настоящее время не существует научно обоснованной методики проектирования электростатических преобразователей» (стр. 4) представляется некорректным, т.к. в 2016 г. вышли две монографии по этому направлению *Electrostatic Kinetic Energy Harvesting* и *Nonlinearity in Energy Harvesting Systems*, которые предварялись диссертациями и публикациями».

6. Блохиной Елены Владимировны, кандидата физико-математических наук, лектора, научного руководителя исследовательской группы электрических цепей и систем, научного координатора лаборатории IoE2 Школы электрической и электронной инженерии Университетского колледжа Дублина. Замечаний нет.

7. Маргулиса Виктора Александровича, доктора физико-математических наук, профессора, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева». Замечаний нет.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их широкой известностью в области исследования и создания микроэлектромеханических систем (МЭМС), близостью решаемых ими научных и прикладных задач к тематике диссертационной работы Доржиева В.Ю и способностью оценить научную и практическую ценность диссертации.

Доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией тонкопленочных сегнетоэлектрических структур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук Косцов Эдуард Геннадьевич и кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры

точного приборостроения Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Нестеренко Тамара Георгиевна известны своими работами по исследованию МЭМС различного типа, имеют большое количество публикаций по тематике, близкой к тематике диссертационной работы Доржиева В.Ю., могут оценить актуальность избранной темы, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну. (перечень последних публикаций см. на сайте [http://www.nstu.ru/files/dissertations/svedeniya\\_\\_publikacii\\_-\\_koscov\\_bez\\_pechati\\_148186785920.pdf](http://www.nstu.ru/files/dissertations/svedeniya__publikacii_-_koscov_bez_pechati_148186785920.pdf) и [http://www.nstu.ru/files/dissertations/svedeniya\\_\\_publikacii\\_-\\_nesterenko\\_bez\\_pechati\\_148150959291.pdf](http://www.nstu.ru/files/dissertations/svedeniya__publikacii_-_nesterenko_bez_pechati_148150959291.pdf)).

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» – один из ведущих университетов России, занимающихся исследованиями в области микроэлектроники и микросистемной техники. Коллектив кафедры микроэлектроники, возглавляемый доктором технических наук, профессором Тимошенко Сергеем Петровичем, хорошо известен в научном сообществе своими научными и практическими результатами в области разработки конструкций и технологий изготовления МЭМС различного типа. (перечень последних публикаций см. на сайте [http://www.nstu.ru/files/dissertations/svedeniya\\_\\_publikacii\\_-\\_veduschaya\\_organizaciya\\_bez\\_pechati\\_148153700991.pdf](http://www.nstu.ru/files/dissertations/svedeniya__publikacii_-_veduschaya_organizaciya_bez_pechati_148153700991.pdf)).

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** методика определения допустимого диапазона перемещений подвижного электрода и напряжений МЭМС с изменением межэлектродного зазора при произвольных начальных условиях;

**предложены** модификации электрической схемы на основе дубликатора Беннета, позволившие значительно увеличить ток подзаряда источника питания

и вырабатываемую мощность без применения дополнительных схем, потребляющих энергию;

**доказана** возможность работы электростатического генератора на основе дубликатора Беннета с первичным источником питания в цепи переменного конденсатора при любой глубине модуляции емкости;

**введена** новая классификация электрических схем электростатических генераторов, учитывающая зарядовое состояние первичного источника питания.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**определены** пределы применимости существующих и предложены новые аналитические выражения для расчета электрической емкости и электростатической силы с учетом краевых эффектов в 2D-приближении;

**применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс существующих методов исследования колебательных процессов, в т.ч. метод фазовых траекторий;

**изложена** методика определения допустимого диапазона перемещений подвижного электрода и напряжений МЭМС с изменением межэлектродного зазора при произвольных начальных условиях;

**раскрыты** несоответствия в существующих методах расчета характеристик микроэлектромеханических генераторов по отношению к экспериментальным результатам;

**изучено** влияние обратных токов и емкостей диодов на характеристики электростатических генераторов;

**проведена модернизация** существующих математических моделей, используемых для расчета характеристик МЭМС, позволившая учесть обратные токи и емкости диодов.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены:** методика расчета напряжения срабатывания переключателя с учетом нелинейности возвращающей силы, методика расчета надежности электрического контакта с учетом влияния на электростатическую



силу краевых эффектов, аналитические выражения для оценки электрической емкости с учетом краевых эффектов в 2D-приближении, технические предложения по конструкциям генераторов, методика расчета и моделирования генераторов, новые схемотехнические решения;

результаты работы **использованы** АО «Новосибирский завод полупроводниковых приборов с особым конструкторским бюро» при выполнении ОКР «Разработка типоряда микроэлектромеханических емкостных генераторов энергии, обеспечивающих преобразование механических колебаний малой амплитуды в электрическую энергию» (шифр «Материя-8») и ЗАО «Системы телевидения» при разработке микроэлектромеханических переключателей для систем связи, что подтверждается актами внедрения;

полученные результаты **внедрены** в образовательный процесс в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (учебный процесс на факультете радиотехники и электроники), что так же подтверждается актом внедрения;

**определены** перспективы практического использования результатов исследований при проектировании МЭМС;

**создана** система практических рекомендаций по выбору электрической схемы микрогенератора;

**представлены** предложения по увеличению эффективности преобразования энергии механических колебаний в электрическую.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ:** результаты получены с применением стандартного поверенного измерительного оборудования, характеризуются высокой воспроизводимостью и согласуются с результатами испытаний близких по тематике исследования;

**теория** построена на проверяемых данных и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

**идея базируется** на обобщении передового опыта отечественных и зарубежных исследований в области создания МЭМС;

**использовано** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

**установлено** качественное и количественное совпадение авторских результатов исследования электростатических МЭМС, с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

**использованы:** современная измерительная аппаратура; современные методы анализа с применением стандартных методик; установка для создания механических колебаний, соответствующая требованиям ГОСТ 25051.3, ГОСТ 25051.4, ISO 5344: 2004(E).

**Личный вклад соискателя** состоит в подготовке обзора литературных источников по тематике диссертации, разработке математических моделей, проведении математического моделирования, создании экспериментальных установок и опытных образцов, в постановке и проведении экспериментов, выполнении обработки, анализа и обобщения получаемых результатов, формулировании выводов и положений, выносимых на защиту, в подготовке основных публикаций по выполненной работе.

На заседании 28 декабря 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Доржиеву В.Ю. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 10 докторов наук по специальности 05.27.01, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного с

Гридчин Виктор Алексеевич

Ученый секретарь  
диссертационного с

Остертак Дмитрий Иванович

28 декабря 2016 г.