

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.05

Соискатель: Курдюмов Николай Николаевич

Тема диссертации: Нелинейные колебания проводов, индуцированные спутным следом

Специальность: 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 29 сентября 2021 года, протокол 18, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Курдюмова Николая Николаевича является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Курдюмова Николая Николаевича отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 29 сентября 2021 года, протокол 18, диссертационный совет принял решение присудить Курдюмову Николаю Николаевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Тарлаковский Д.В., ученый секретарь диссертационного совета Федотенков Г.В.

Члены диссертационного совета: Антуфьев Б.А., Бирюков В.И., Вестяк В.А., Гришанина Т.В., Дудченко А.А., Зверьев Е.М., Кузнецов Е.Б., Медведский А.Л., Мовчан А.А., Нерубайло Б.В., Рабинский Л.Н., Рыбаков Л.С., Сидоренко А.С., Солдатенков И.А., Туркин И.К., Тютюнников Н.П.

Председатель

диссертационного совета Д 212.125.05

д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.125.05

к.ф.-м.н., доцент

Начальник отдела УАС МАИ
Т.А. Аникина



Федотенков Г.В.

29.09.2021.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «29» сентября 2021 г. № 18

О присуждении Курдюмову Николаю Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Нелинейные колебания проводов, индуцированные спутным следом» по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите «05» июля 2021 г., протокол № 17 диссертационным советом Д 212.125.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства образования и науки РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 – № 105/нк от «11» апреля 2012 г.

Соискатель Курдюмов Николай Николаевич, 1969 года рождения, окончил Московский государственный авиационный институт (технический университет) в 1993 году. В период с 1993 по 1997 г. Курдюмов Н.Н. проходил обучение в очной аспирантуре Московского государственного авиационного института (технического университета).

Соискатель работает старшим преподавателем в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) Министерства образования и науки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре «Механика наноструктурных материалов и систем» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) Министерства образования и науки РФ и в отделе механики адаптивных композиционных материалов и систем Института прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН).

Научный руководитель – доктор физико-математических наук **Данилин Александр Николаевич**, профессор, заместитель директора Института прикладной механики Российской академии наук по научной работе.

Официальные оппоненты:

Паймушин Виталий Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Прочность конструкций» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ, г. Казань), действительный член Академии наук Республики Татарстан, заслуженный деятель науки РФ;

Фельдштейн Валерий Адольфович, доктор технических наук, профессор, начальник отдела «Динамической и ударной прочности» АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ЦНИИмаш, г. Королёв) дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», в своём положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой математического и компьютерного моделирования, доктором физико-математических наук, доцентом Блинковым Юрием Анатольевичем, указала, что диссертационная работа Курдюмова Н.Н. выполнена на высоком уровне, как в научном, так и в практическом отношении. Основным

результатом работы является математическая модель субколебаний проводов расщеплённых фаз воздушных ЛЭП с кинематическими связями в виде связанной системы дифференциальных уравнений с учётом нелинейностей упругих, инерционных и аэродинамических сил.

Соискатель имеет 56 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 20 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 работ, в том числе 3 работы в журналах, цитируемых в базах данных Scopus и Web of Science. Соискателем оформлен 1 патент на изобретение. В материалах совместных публикаций в журналах из перечня ВАК РФ личный вклад автора является определяющим. Наиболее значимыми научными работами по теме диссертации являются:

1) Danilin A.N., Kurdyumov N.N., Shavnya R.A. Wake-Induced Oscillations of Two Bundle Conductors Connected at Intervals by Spacers // AIP Conference Proceedings 2343, 120005 (2021), <https://doi.org/10.1063/5.0048305>.

2) Шавня Р.А., Курдюмов Н.Н., Данилин А.Н. Индуцированные спутным следом колебания двухфазных проводов, связанных распорками // Труды XXXII Международной инновационной конференции молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения Москва, 2021 г. С. 341-348.

3) Сергей И.И., Виноградов А.А., Данилин А.Н., Курдюмов Н.Н. О моделировании пляски проводов воздушных ЛЭП и параметрическом анализе эффективности маятниковых гасителей // Вестник ПНИПУ. Механика. 2018, №4. С. 256-265. DOI: 10.15593/perm.mech/2018.4.23.

4) Данилин А.Н., Курдюмов Н.Н., Кузнецова Е.Л., Рабинский Л.Н. О моделировании деформирования проволочных конструкций спиральной структуры // Вестник ПНИПУ. Механика. 2015, №4. С. 72-93. DOI: 10.15593/perm.mech/2015.4.05.

В этих и других работах соискателя содержится исчерпывающая информация о проведенных в диссертации научных исследованиях.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от научного руководителя, ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные;

от Могилевича Льва Ильича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Прикладная математика и системный анализ» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», отзыв положительный;

от Седельникова Андрея Валерьевича, доктора технических наук, профессора кафедры космического машиностроения имени генерального конструктора Д.И. Козлова федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», отзыв положительный;

от Старовойтова Эдуарда Ивановича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «Строительная механика» Учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта», отзыв положительный;

от Захарова Андрея Петровича, директора по производству Preformed Line Products (Russia) Ltd. – ООО «ПЛП РУС», отзыв положительный;

от Гарифуллина Мансура Фоатовича, доктора технических наук, профессора, Главного научного сотрудника НИО-19, ЦАГИ, отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены актуальность, новизна, достоверность полученных автором результатов и их ценность.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзывах официальных оппонентов и ведущей организации имеются следующие основные критические замечания:

1. Для описания продольной деформации используется квадратичное приближение. Почему не достаточно линейного выражения, которое удобнее для аналитических вычислений и упрощает вычислительный алгоритм?

2. В работе отсутствует анализ динамической неустойчивости системы с определением критических скоростей ветрового потока, при которых начинаются субколебания проводов. Такой анализ желательно привести для полноты исследования, например, на основе теоремы Ляпунова об устойчивости движения линеаризованных систем уравнений колебаний.

3. В пятой главе, в решении всех тестовых задач при аппроксимации локальных перемещений в пределах конечного элемента автор использует только два члена тригонометрического ряда для функций формы конечного элемента. Если использование данного количества членов ряда достаточно, то должно быть приведено сравнение полученных результатов при различном количестве членов ряда в представлении Ритца.

4. Было бы проще, как это обычно делается в теории колебаний, за отсчётную конфигурацию принимать равновесное состояние; при этом не требуется вычислять работу силы тяжести и, что особенно важно, не требуется знание монтажной длины провода, часто не известной на практике.

5. Выбор базисных функций для конечных элементов в виде рядов Фурье сильно усложняет разрешающую систему уравнений при этом, что по смыслу задачи применение ряда Фурье не к отдельному элементу, а к пролёту в целом, было бы существенно проще и физически прозрачнее.

В отзывах на автореферат следует отметить такие критические замечания.

1. В третьей главе диссертации для аппроксимации аэродинамических нагрузок используются экспериментальные данные, полученные Прайсом. Однако, не меньший интерес представляют известные данные, полученные Симпсоном, Диана и др. Из автореферата неясны мотивы такого выбора.

2. При решении модельных и тестовых задач исследуется система двух проводов. Желательно рассмотреть системы трёх- и более проводов.

3. Вызывает практический интерес возможность распространения представленной математической модели и вычислительных алгоритмов на задачи галопирования проводов.

4. При вычислении аэродинамических нагрузок не учтено влияние чисел Рейнольдса и Струхалья, угла между направлением ветра и проводом, влияние величины выступов навивки и других значимых факторов.

5. При решении задачи Коши следует предварительно оценить вносимую численным методом величину схемного демпфирования. В противном случае оценки устойчивости системы будут искажены.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит исследования в области нелинейной динамики упругих конструкций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая математическая модель нелинейных колебаний проводов воздушных линий электропередач (ЛЭП) с кинематическими связями в виде жестких распорок, индуцированных спутным следом расщеплённых фаз с учётом нелинейностей упругих, инерционных и аэродинамических сил;

предложен новый подход к построению определяющих кинематических соотношений, позволяющих с различной степенью «детализации» описывать колебания в заданных частотных диапазонах, а также определению аэродинамических нагрузок на подветренный провод на основе модифицированной теории Симпсона с использованием эмпирических данных Блевинса и Прайса;

доказана применимость разработанных методов и алгоритмов для численных расчетов субколебаний проводов расщеплённых фаз воздушных

ЛЭП с целью управления амплитудно-частотными характеристиками для подавления или устранения негативного влияния на элементы системы динамических нагрузок;

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность применения разработанной математической модели субколебаний для анализа закономерностей возникновения и развития автоколебательных процессов, анализа чувствительности модели к изменению исходных параметров, проведения оптимизационных расчётов; применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс существующих базовых положений механики деформируемого твердого тела, общие подходы механики сплошной среды и асимптотических методов, а также современные пакеты математического моделирования; **изложены** этапы построения математической модели субколебаний на основе конечно-элементной дискретизации по пространственным координатам, включая выбор функций формы, получение нелинейных дифференциальных уравнений колебаний на основе принципа возможных перемещений, получение выражений для аэродинамических сил, составление вычислительного алгоритма с использованием параметризации уравнений с выбором в качестве аргумента длины интегральной кривой решения; **раскрыты** особенности колебательных процессов, индуцируемых аэродинамическим следом, в условиях нестационарного движения; **изучены** степени влияния конструктивных параметров воздушной ЛЭП на субколебания проводов, связанных жесткими распорками; **проведен** большой объем вычислительных экспериментов для верификации модели, сопоставления с известными экспериментальными данными, исследования феномена субколебаний проводов в различных условиях.

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

разработаны новые подходы к моделированию и эффективному расчёту нелинейных колебаний проводов расщеплённых фаз воздушных ЛЭП, индуцированных спутным следом;

определены направления практического использования результатов исследований, в частности, – для оптимизации расстановки распорок в пролёте ЛЭП, определению мест установки гасителей колебаний;

создан новый расчётный подход к решению задач о колебаниях проводов в аэродинамическом (спутном) следе с учётом кинематических связей между проводами;

представлены результаты вычислений в виде графиков зависимостей перемещений полюсов сечений проводов по времени, траекторий их движения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных соотношениях механики и результатах экспериментальных исследований субколебаний, полученных различными авторами.

идея базируется на методе конечно-элементной дискретизации, позволяющей получить на основе вариационного принципа систему нелинейных дифференциальных уравнений колебаний в обобщенных координатах, а также на полиномиальной аппроксимации и линеаризации экспериментальных данных по определению аэродинамических сил в спутном следе;

использованы сравнения авторских результатов расчета с аналитическими результатами, а также с известными экспериментальными данными;

установлено реализуемость предложенной математической модели субколебаний для анализа динамических нагрузок и амплитудно-частотных характеристик;

использованы современные программы для численного интегрирования по времени систем нелинейных дифференциальных уравнений.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задачи о субколебаниях проводов, разработке математической модели колебаний проводов расщеплённых фаз воздушных ЛЭП с кинематическими связями в виде жестких распорок с учётом нелинейностей упругих, инерционных сил и аэродинамических сил, разработке алгоритмов численного интегрирования нелинейных уравнений движения, а также в проведении серии численных экспериментов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В работе отсутствует анализ динамической неустойчивости системы с определением критических скоростей ветрового потока, при которых начинаются субколебания проводов. Такой анализ желательно привести для полноты исследования, например, на основе теоремы Ляпунова об устойчивости движения линеаризованных систем уравнений колебаний.
2. В пятой главе, в решении всех тестовых задач при аппроксимации локальных перемещений в пределах конечного элемента автор использует только два члена тригонометрического ряда для функций формы конечного элемента. Если использование данного количества членов ряда достаточно, то должно быть приведено сравнение полученных результатов при различном количестве членов ряда в представлении Ритца.
3. Результаты расчёта коэффициентов изгибной и крутильной жесткости провода должны рассматриваться как оценочные (что и отражено в названии соответствующего раздела диссертации), так как такой важный фактор, как эффект фрикционного взаимодействия повивов, не учитывается предложенной моделью.

Соискатель Курдюмов Н.Н. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привёл собственную аргументацию:

1. Анализ динамической неустойчивости в работе не приведён, поскольку работа в этом направлении не закончена. Основной целью работы является создание математической модели для анализа закритического поведения —

нелинейных нестационарных колебаний проводов, индуцированных спутным следом.

Что касается вычисления критических скоростей ветра, то такой анализ нами проводится на основе теории Ляпунова. В результате линеаризации уравнений в окрестности равновесного состояния получается однородная система линейных дифференциальных уравнений, для которой характеристическое уравнение имеет достаточно сложный вид. Оно имеет действительные и комплексные корни. Для асимптотической устойчивости необходимо и достаточно, чтобы вещественные части всех корней характеристического уравнения были отрицательны. Если среди корней имеется хотя бы один с положительной вещественной частью, то система неустойчива и развивается автоколебательный процесс.


2. Согласен. Такой анализ следовало бы привести в диссертационной работе. В результате численных экспериментов было установлено, что удержание двух членов ряда вполне достаточно для получения достоверных результатов. Удержание большего числа членов «утяжеляет» систему разрешающих уравнений, поскольку размерность задачи резко увеличивается и приводит к росту вычислительных затрат.

3. Да, именно так. Учёт трения на основе предложенной теории возможен, но это не является предметом диссертационной работы, тем более что эта работа потребует большой экспериментальной работы и проверки. Наилучший результат в этом направлении может быть получен в результате серии экспериментов с проводами для определения жесткостей в условиях тяжения.


На заседании 29 сентября 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Курдюмову Николаю Николаевичу ученую степень кандидата физико-математических наук, поскольку представленная диссертация является законченным научно-квалификационным исследованием, которое содержит решение задачи, имеющей важное значение для развития механики деформируемого твердого тела.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 9 докторов физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней нет.

Председатель
Диссертационного совета Д 212.125.05
д.ф.-м.н., профессор

 — Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д 212.125.05
к.ф.-м.н., доцент

 Федотенков Г.В.

Начальник отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина



29.09.2021г.