

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук Янковского Андрея Петровича на диссертацию Кожевникова Алексея Николаевича «Расчетно-экспериментальная оценка технического состояния опор воздушных линий электропередачи», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

1. Оценка объема и структуры работы

Диссертация А.Н. Кожевникова на соискание ученой степени кандидата технических наук состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 165 наименований используемых публикаций отечественных и зарубежных авторов, и восьми приложений. Основное содержание изложено на 176 страницах, включает 21 таблицу и 93 рисунка. Объем приложений 46 страниц.

2. Актуальность избранной темы

Для передачи электроэнергии на большие расстояния наиболее широко используются воздушные линии электропередачи (ВЛ). Одним из важнейших требований, предъявляемых к ВЛ, является их бесперебойная работа. Из практики эксплуатации ВЛ известно, что нарушение их работы может происходить не только по причине обрыва проводов, но и за счет разрушения опор. Одним из видов опор ВЛ являются металлические опоры, которые представляют собой сложные пространственные решетчатые конструкции, поэтому тщательное инспектирование исправности каждой такой опоры на протяженном участке электропередачи является весьма затратным мероприятием как по времени, так и в финансовом отношении. В силу чего актуальной является проблема разработки такой методики мониторинга технического состояния металлических опор ВЛ, которая позволяла бы оперативно оценивать, хотя бы качественно, степень их поврежденности и выдавать рекомендации о необходимости инспектирования только тех опор ВЛ, исправность которых вызывает серьезные сомнения. Для проведения подобных оперативных оценок технического состояния строительных конструкций широкое распространение получили методы, основанные на анализе спектра их частот собственных колебаний. Однако разработанные методы таких оценок не могут быть напрямую применены к оценке состояния металлических опор ВЛ в силу отсутствия нормативных значений их динамических параметров. В обсуждаемой диссертации разработан соответствующий подход к определению технического состояния металлической промежуточной опоры П110-3 и предложен алгоритм выработки рекомендаций о необходимости тщательного инспектирования или ремонта только конкретных опор из всего их множества на протяженном участке электропередачи, исходя из анализа спектра частот их собственных колебаний, что и определяет **актуальность** темы диссертации.

3. Соответствие содержания диссертационной работы заявленной специальности

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»:

- п. 4 «Теория линейных и нелинейных колебаний»;
- п. 6 «Статистическая механика и надежность машин, приборов и конструкций»;
- п. 9 «Математическое моделирование поведения технических объектов и их несущих элементов при статических, динамических, тепловых, коррозионных и других воздействиях».

4. Степень разработанности темы, обоснованность научных положений и рекомендаций

На основе проведенного критического анализа проблемы идентификации степени повреждения опор ВЛ по исследованию спектра частот и форм их собственных колебаний обосновано несовершенство существующих на данный момент времени методик. Поэтому в диссертации выполнено комплексное расчетно-экспериментальное исследование с целью разработки эффективной методики оценки реального технического состояния металлических опор ВЛ по спектру частот их собственных колебаний, определенных в полевых условиях. Для этого предварительно разработана программа автоматизированного построения конечно-элементных моделей типовых металлических опор ВЛ, расчетным путем тщательно исследовано напряженно-деформированное состояние (НДС) реальной опоры П110-3 при варьировании величин типичных эксплуатационных дефектов, изучено влияние величины этих дефектов на расчетные спектры частот и формы ее собственных колебаний, а также проведено сравнение результатов расчетов с данными экспериментов, выполненных на натурной модели опоры ВЛ.

Сформулированная в диссертации цель достигнута, поставленные в связи с этим задачи решены полностью. Научные положения, рекомендации и сформулированные выводы вполне обоснованы.

5. Новизна и достоверность полученных результатов

Новые научные результаты, полученные в диссертации, заключаются в следующем

1. Разработан алгоритм идентификации технического состояния металлических решетчатых опор ВЛ, основанный на сравнительном анализе их расчетных частот собственных колебаний и реальных частот, определенных в полевых условиях. Этот алгоритм позволяет классифицировать опоры ВЛ по трем группам: «исправные», «работоспособные» и «ограниченно работоспособные», причем оперативному тщательному инспектированию подлежат только опоры, относящиеся к третьей группе.

2. Разработан универсальный способ конечно-элементного моделирования металлических опор ВЛ, основанный на выделении однотипных конструктивных блоков опоры и позволяющий относительно просто моделировать геометрию и силовой набор вертикальных секций опоры, переменных по высоте размеров, а также и горизонтальных траверс сложной формы.
3. Расчетным путем исследованы и проанализированы особенности НДС и динамических параметров (частот и форм собственных колебаний) типовой металлической промежуточной опоры П110-3 в зависимости от наличия или отсутствия присоединенных к ней проводов, а также от наличия и величины типовых дефектов ее конструкции, таких как: деформированные или отсутствующие силовые элементы решетки заполнения вертикальной стойки; рассогласование положения опорных точек; отсутствие закрепления одной из опорных точек; учет конечной жесткости основания под опорными точками.
4. Экспериментально исследованы влияние степени затяжки болтовых соединений в экспериментальной модели опоры ВЛ и жесткости основания на ее податливость при квазистатических нагружениях, а также на ее спектр частот собственных колебаний; проведено сравнение с аналогичными расчетными величинами конечно-элементной модели такой опоры ВЛ.
5. Установлено, что при учете присоединенных к опоре ВЛ проводов в рамках рассматриваемой проблемы их следует моделировать как сосредоточенные силы, а не как сосредоточенные массы.

Достоверность результатов, полученных соискателем, рекомендаций и выводов, сделанных в диссертации, обеспечивается корректным использованием положений механики деформируемого твердого тела и математической статистики, необходимым объемом экспериментальных измерений, проведенных с применением сертифицированного оборудования, а также использованием современных вычислительных методов и хорошо апробированных пакетов прикладных программ.

6. Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций

Научная значимость диссертации заключается в: 1) решении методом конечных элементов ряда базовых задач, необходимых для разработки расчетно-экспериментальной методики оценки технического состояния металлических промежуточных опор ВЛ; 2) подробном анализе результатов расчетов НДС и особенностей динамического поведения опор ВЛ, представляющих собой сложные пространственные решетчатые конструкции; 3) обосновании учета различных видов эксплуатационных дефектов конструкций опор ВЛ; 4) обосновании учета присоединенных проводов электропередачи как сосредоточенных сил, приложенных к конечно-элементной модели опоры, а не как сосредоточенных масс.

Разработанные в диссертации алгоритмы и методики, а также сделанные рекомендации могут быть использованы в практической деятельности организаций, производящих мониторинг технического состояния воздушных линий электропередачи, что подтверждено актом их внедрения в производственно-диагностическую деятельность АО «Электросетьсервис ЕНЭС». Кроме того, основные положения и результаты диссертации использованы при проведении занятий по факультативной дисциплине «Проектная деятельность» студентов направления подготовки 15.03.03 «Прикладная механика» на кафедре Прочности летательных аппаратов факультета летательных аппаратов Новосибирского государственного технического университета, что также подтверждено актом внедрения.

7. Достоинства и недостатки по содержанию и оформлению диссертации и автореферата

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Автореферат диссертации в целом полностью отражает ее содержание; исключение составляет лишь рисунок 1, *a* автореферата, который в диссертации отсутствует. Список цитируемой в диссертации литературы из 165 наименований, в том числе 42 зарубежных публикаций, свидетельствует о глубоком изучении соискателем рассматриваемой проблемы.

Основные результаты диссертации изложены в 21 научной работе, при этом 2 статьи опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ. Результаты диссертационной работы достаточно хорошо апробированы на Всероссийских и Международных научных конференциях.

К достоинствам диссертации следует отнести: 1) подробный и глубокий критический анализ теоретических и численных подходов к моделированию статического и динамического поведения металлических опор ВЛ и присоединенных к ним проводов, а также механических причин нарушения бесперебойной работы воздушных линий электропередачи; 2) направленную ориентацию разработанной конечно-элементной модели металлических решетчатых опор ВЛ на использование стандартных пакетов прикладных программ; 3) тщательный анализ результатов расчетов НДС, а также частот и форм собственных колебаний промежуточной опоры П110-3 при наличии и отсутствии типовых дефектов в ее конструкции; 4) верификацию расчетов, которая выполнена путем сравнения с экспериментальными данными, полученными соискателем на натурной модели опоры ВЛ; 5) корректную обработку методами математической статистики результатов полевых измерений частот собственных колебаний опор П110-3; 6) разработку достаточно простой и эффективной методики идентификации степени поврежденности конкретной опоры ВЛ по ее спектру частот собственных колебаний с указанием приближенного места расположения соответствующих

дефектов в конструкции опоры ВЛ или в точках ее опирания на бетонное основание.

К замечаниям по содержанию диссертации и автореферата относится следующее:

1. В формуле (1.12), которая является базовой для определения частот и форм собственных колебаний расчетной модели, не учитываются демпфирующие свойства реального материала, из которого изготавливаются металлические опоры ВЛ. Однако известно, что учет демпфирования приводит к изменению значений собственных частот рассчитываемой конструкции. В диссертации отсутствует обоснование неучета демпфирования в формуле (1.12).

2. Силовые элементы рассматриваемых в диссертации опор ВЛ (натурной модели и типовой промежуточной опоры П110-3) – металлические стержни с поперечным сечением в виде равнополочных уголков – в реальности скрепляются болтовыми соединениями, а в конечно-элементных моделях опор заменены на жесткие соединения по типу сварных. В диссертации отсутствует обоснование допустимости такой замены крепежа силовых элементов в расчетной модели.

3. При определении эквивалентных напряжений по формуле (2.3) не учитываются касательные напряжения от кручения стержневых элементов силового набора опоры, хотя согласно формуле (1.18) кручение используется соискателем балочными конечными элементами моделируется.

4. Имеется ряд редакционных замечаний по тексту статьи и автореферата:

- в автореферате отсутствует расшифровка аббревиатуры НДС;
- по всему тексту диссертации и автореферата используется неудачный термин «инерциальные нагрузки от собственного веса», под которыми в действительности понимаются распределенные массовые нагрузки;
- одним и тем же символом u обозначаются и вектор-столбец перемещений, и первая компонента этого вектора (см. формулу (1.5)), и модуль вектора перемещений; аналогично, одним и тем же символом f_i обозначаются и i -я частота собственных колебаний конструкции, и частота колебаний реальной конструкции, определенная i -м датчиком, установленным на ней;
- в диссертации не приведены значения физико-механических характеристик материалов реальных металлических опор, при которых проводились расчеты по методу конечных элементов;
- отсутствуют пояснения величин, используемых в формуле (5.3);
- не указаны единицы изменения по оси ординат амплитудно-частотной характеристики на рис. 5.16;
- в автореферате не указан смысл величин A_i и \bar{A}_i , используемых в логических схемах на рисунках 9–13;
- в автореферате отсутствует пояснительная подпись к правой части рисунка 2.

Обнаружен ряд досадных опечаток:

– в формуле (3.1) вместо величины f_i^1 должна использоваться величина f_i^{j-1} , иначе рисунок 3.2 не соответствует расчетной формуле (3.1);

– ряд текстовых опечаток допущен по всему тексту диссертации, а также при оформлении списка цитируемой литературы.

Однако указанные замечания и недостатки принципиально не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

Заключение

На основе критического анализа материалов диссертации и автореферата, а также замечаний, приведенных выше, можно сделать следующий вывод: диссертационная работа Кожевникова Алексея Николаевича «Расчетно-экспериментальная оценка технического состояния опор воздушных линий электропередачи» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение ряда научных задач, имеющих важное практическое значение для усовершенствования процесса мониторинга технического состояния промежуточных металлических решетчатых опор воздушных линий электропередачи.

Диссертация «Расчетно-экспериментальная оценка технического состояния опор воздушных линий электропередачи» соответствует требованиям пунктов 9, 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени кандидата наук, а ее автор, Кожевников Алексей Николаевич, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Ведущий научный сотрудник
ФГБУН Института теоретической
и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН,
доктор физико-математических наук

Янковский Андрей
Петрович

1.06.2021

Научная специальность: 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»
Подпись Янковского Андрея Петровича заверяю:

Почтовый адрес: Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, д. 4/1.
Раб. Тел.: 8(383)3303804
E-mail: yankovsky_ap@rambler.ru



удостоверяю *Янковского А.П.*
Зав. канцелярией Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича Сибирского отделения
Российской академии наук