

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

16+
ISSN 2071-6168

ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 8

Тула
Издательство ТулГУ
2021

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель
Гризов М.В., д-р техн. наук.
Первый заместитель председателя
Воротилин М.С., д-р техн. наук.
Заместитель председателя
Прейс В.В., д-р техн. наук, авторизованный представитель Издательства ТулГУ в РИНЦ.
Ответственный секретарь
Фаличова О.А., канд. техн. наук, авторизованный представитель ТулГУ в РИНЦ.

Члены редакционного совета:

Баташина И.А., д-р полит. наук, –
гл. редактор серии «Гуманитарные науки»;
Берестнев М.А., канд. юрид. наук, –
гл. редактор серии «Экономические и юридические науки»;
Борискин О.И., д-р техн. наук, –
гл. редактор серии «Технические науки»;
Егоров В.Н., канд. пед. наук, –
гл. редактор серии «Физическая культура. Спорт»;

Заславская О.В., д-р пед. наук, –
гл. редактор серии «Педагогика»;
Качурин Н.М., д-р техн. наук, –
гл. редактор серии «Науки о Земле»;
Пониморова О.Н., д-р хим. наук, –
гл. редактор серии «Естественные науки».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Борискин О.И., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула).
Заместитель главного редактора
Ларин С.Н., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Ответственный секретарь
Яковлев Б.С., канд. техн. наук (ТулГУ, г. Тула).
Авторизованный представитель ТулГУ в РИНЦ
Журич А.В., канд. техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Члены редакционной коллегии:

Александров А.Ю., д-р техн. наук (Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева, г. Ковров);
Баласаян Б.С., д-р техн. наук (Государственный инженерный университет Армении, г. Ереван, Армения);
Затомель Я., д-р техн. наук (Технический университет Остравы, г. Острава, Чехия);
Колтунович Т.Н., д-р техн. наук (Люблинский технологический университет, г. Люблин, Польша);
Лавриненко В.Ю., д-р техн. наук, (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва);
Ларкин Е.В., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);
Мельников В.Е., д-р техн. наук (Национальный исследовательский университет «МИИ», г. Москва);

Мещеряков В.Н., д-р техн. наук (Липецкий государственный технический университет, г. Липецк);
Можжечиков В.А., д-р техн. наук (АО «Тулаэлектротрипод», г. Тула);
Распопов В.Я., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);
Савин Л.А., д-р техн. наук (Орловский государственный технический университет, г. Орел);
Степанов В.М., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);
Сычугов А.А., канд. техн. наук (ТулГУ, г. Тула);
Тресубов В.И., д-р техн. наук (АО «НПО «СПЛАВ», г. Тула);
Яцун С.Ф., д-р техн. наук (Юго-Западный государственный университет, г. Курск).

Сборник зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). ПИ № ФС77-75986 от 19 июня 2019 г.

Подписной индекс сборника 27851 по Объединённому каталогу «Пресса России».

Сборник включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук», утверждённый ВАК Минобрнауки РФ, по следующим научным специальностям:

- 05.02.02 Машинноеведение системы приводов и детали машин;
- 05.02.07 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки;
- 05.02.08 Технология машиностроения;
- 05.02.09 Технологии и машины обработки давлением;
- 05.02.13 Машины, агрегаты и процессы (по отраслям);
- 05.02.23 Стандартизация и управление качеством продукции;
- 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы;
- 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям);
- 05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям);
- 05.13.11 Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Активация Windows

Чтобы активировать Windows, перейдите на [www.microsoft.com/windows/activation](#) и следуйте инструкциям.

© Авторы научных статей, 2021
© Издательство ТулГУ, 2021

Aldashov Aleksey Aleksandrovich, postgraduate, Aldashov.lescha@gmail.com, Russia, Saint-Petersburg, Saint-Petersburg Mining University,

Pastukhova Anastasia Andreevna, graduate, pastukhova.anastasia@gmail.com, Russia, Saint-Petersburg, Saint-Petersburg Mining University

УДК 621.311.22

DOI: 10.24412/2071-6168-2021-8-283-290

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ФУНДАМЕНТОВ АНКЕРНЫХ ОПОР МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОВОДОВ ВЛ

В.О. Акуличев, С.Ю. Захаров, И.А. Родионов, С.Г. Висич, М.В. Панарин, В.М. Степанов, А.А. Маслова

Рассмотрена математическая модель модуля дистанционной диагностики проводов воздушных линий по каналу измерения состояния фундаментов анкерных опор методом ультразвукового зондирования, которая реализуется на модуле и на сервере диспетчерского пункта электросетевой компании. Модуль вырабатывает управляющие сигналы на встроенные в опору излучатели ударного типа и излучатели ультразвуковых колебаний. Приемники ультразвуковых колебаний принимают сигналы, проходящие через бетон фундамента опоры воздушной линии электропередач от излучателей, и выдают в виде непрерывной аналоговой функции.

Ключевые слова: дистанционная диагностика, воздушная линия электропередач, фундамент, анкерная опора, измерение, ультразвуковое зондирование, диспетчерский пункт.

В России, как и во всем мире, запущен процесс цифровизации экономики и промышленности. Сегодня многие процессы управления российской энергосистемой уже интеллектуализированы: на объектах применяются автоматика, релейная защита, внедрены системы телеуправления и телемеханизации, энергокомпании считают информацию с основных объектов оборудования, оснащенных необходимым объемом датчиков, налажен двусторонний обмен информацией. Для России процесс цифровизации электросетевого комплекса – с одной стороны, естественная эволюция, а с другой – технологический ответ на внешние вызовы на фоне мировых тенденций [1-5].

На основе этих принципов ООО «СервисСофт» и филиалом «Тулэнерго» ПАО «МРСК Центра и Приволжья» разрабатывается серия модулей интеллектуальной диагностики воздушных линий электропередач воздушных линий (ВЛ) 6...220 кВ. В том числе ведется разработка математических моделей модулей диагностики проводов ВЛ 6...220 кВ. В данной статье рассмотрена математическая модель измерения состояния фундаментов анкерных опор методом ультразвукового зондирования в системе дистанционной диагностики проводов ВЛ.

В процессе дистанционного мониторинга фундаментов опор ВЛ по каналу измерения состояния фундаментов анкерных опор методом ультразвукового зондирования модуль вырабатывает управляющие сигналы на встроенные в опору излучатели ударного типа и излучатели ультразвуковых колебаний. Излучатель ударного типа математически представляется в виде реализации единичной импульсной функции δ , описывающей ударное воздействие на фундамент. Излучатели ультразвуковых колебаний характеризуются частотой $f_{уз}$, амплитудой $A_{уз}$ и длиной импульса $\tau_{уз}$ ультразвукового воздействия на фундамент. Приемники ультразвуковых колебаний принимают

сигналы, проходящие через бетон фундамента опоры воздушной линии электропередач от излучателей, и выдают в виде непрерывной аналоговой функции. После аналогоцифрового преобразования с периодом Ta квантования по времени данных от приемников ультразвукового зондирования фундаментов опор эта функция принимает вид [6-7]

$$a_{sfp}(k), a_{sfp}(k-1), a_{sfp}(k-2), \dots, a_{sfp}(k-N+1), a_{sfp}(k-N), \quad (1)$$

где a_{sfp} – значение выходного сигнала p приемника при действии s источника излучений на частоте зондирования f ; k – порядок отсчета значений переменных при квантовании; N – количество отсчетов значений выходного сигнала приемника при квантовании.

Каждое значение в последовательности измеренных значений выходного сигнала приемника ультразвуковых колебаний сравнивается с диапазоном допустимых значений для параметров бетона фундамента опоры воздушной линии электропередач и проводится проверка следующих соотношений

$$a_{sfp.min} \leq a_{sfp} \leq a_{sfp.max}, \quad (2)$$

где $a_{sfp.max}$ – максимально возможное значение выходного сигнала приемника при действии источников излучений, V ; $a_{sfp.min}$ – минимальное возможное значение выходного сигнала приемника при действии источников излучений, V .

При соблюдении соотношения данный отсчет помещается в последовательность измеренных значений выходного сигнала приемника при действии источников излучений. Если для какого-либо отсчета данное соотношение не соблюдается, то данный отсчет в последовательность измеренных значений выходного сигнала приемника не помещается. Эти значения принимаются как ошибочные отсчеты и отбрасываются [8].

При этом запускается счетчик ошибочных значений, значение счетчика определяется по формуле:

$$n_{a_{sfp}} = n_{a_{sfp}} + 1, \quad (3)$$

где $n_{a_{sfp}}$ – значение счетчика ошибочных значений выходного сигнала приемника.

Для суммарного подсчета срабатываний счетчика ошибочных значений выходного сигнала приемника производится сравнение:

$$n_{a_{sfp}} > N_{a_{sfp}}, \quad (4)$$

где $N_{a_{sfp}}$ – допустимое количество ошибочных значений, при которых приемник считается исправным.

Если данное соотношение соблюдается, то формируется сообщение ошибки, информирующей о неисправности приемника ультразвукового излучения, и данное сообщение передается на сервер электросетевой компании.

Если при подсчете ошибочных значений на любом отсчете k до достижения $N_{a_{sfp}}$ соблюдается соотношение (4), то счетчик ошибочных значений приемника сбрасывается, сообщение об ошибке приемника не формируется, и дальнейшие измерения выходных сигналов приемника продолжают.

В последовательностях сохраняются лишь те данные, которые соответствуют физически допустимым параметрам фундаментов опор ВЛ.

В результате получаем сформированную последовательность значений выходных напряжений приемников ультразвуковых колебаний для дальнейшей оценки состояния фундаментов опор ВЛ:

$$a_{sfp}(k), a_{sfp}(k-1), a_{sfp}(k-2), \dots, a_{sfp}(k-N+1), a_{sfp}(k-N), \quad (5)$$

где $a_{sfp}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала приемника при действии источников излучений, V .

Полученная последовательность в процессе реализации раскладывается на отдельные последовательности, учитывающие конкретные источники и приемники ультразвукового излучения. Эти последовательности можно представить в виде матрицы:

$$\begin{bmatrix} a_{1f_1}(k), a_{1f_1}(k-1), a_{1f_1}(k-2), \dots, a_{1f_1}(k-N+1), a_{1f_1}(k-N) \\ a_{1f_2}(k), a_{1f_2}(k-1), a_{1f_2}(k-2), \dots, a_{1f_2}(k-N+1), a_{1f_2}(k-N) \\ a_{1f_3}(k), a_{1f_3}(k-1), a_{1f_3}(k-2), \dots, a_{1f_3}(k-N+1), a_{1f_3}(k-N) \\ \dots \\ a_{1f_p}(k), a_{1f_p}(k-1), a_{1f_p}(k-2), \dots, a_{1f_p}(k-N+1), a_{1f_p}(k-N) \\ \dots \\ a_{2f_1}(k), a_{2f_1}(k-1), a_{2f_1}(k-2), \dots, a_{2f_1}(k-N+1), a_{2f_1}(k-N) \\ a_{2f_2}(k), a_{2f_2}(k-1), a_{2f_2}(k-2), \dots, a_{2f_2}(k-N+1), a_{2f_2}(k-N) \\ a_{2f_3}(k), a_{2f_3}(k-1), a_{2f_3}(k-2), \dots, a_{2f_3}(k-N+1), a_{2f_3}(k-N) \\ \dots \\ a_{2f_p}(k), a_{2f_p}(k-1), a_{2f_p}(k-2), \dots, a_{2f_p}(k-N+1), a_{2f_p}(k-N) \\ \dots \\ a_{sf_1}(k), a_{sf_1}(k-1), a_{sf_1}(k-2), \dots, a_{sf_1}(k-N+1), a_{sf_1}(k-N) \\ a_{sf_2}(k), a_{sf_2}(k-1), a_{sf_2}(k-2), \dots, a_{sf_2}(k-N+1), a_{sf_2}(k-N) \\ a_{sf_3}(k), a_{sf_3}(k-1), a_{sf_3}(k-2), \dots, a_{sf_3}(k-N+1), a_{sf_3}(k-N) \\ \dots \\ a_{sf_p}(k), a_{sf_p}(k-1), a_{sf_p}(k-2), \dots, a_{sf_p}(k-N+1), a_{sf_p}(k-N) \end{bmatrix} \quad (6)$$

где $a_{1f_1}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала первого приемника при действии первого источника излучений, В; $a_{1f_2}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала второго приемника при действии первого источника излучений, В; $a_{1f_3}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала третьего приемника при действии первого источника излучений, В; $a_{1f_p}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала p приемника при действии первого источника излучений, В; $a_{2f_1}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала первого приемника при действии второго источника излучений, В; $a_{2f_2}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала второго приемника при действии второго источника излучений, В; $a_{2f_3}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала третьего приемника при действии второго источника излучений, В; $a_{2f_p}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала p приемника при действии второго источника излучений, В; $a_{sf_1}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала первого приемника при действии s источника излучений, В; $a_{sf_2}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала второго приемника при действии s источника излучений, В; $a_{sf_3}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала третьего приемника при действии s источника излучений, В; $a_{sf_p}(k)$ – сформированные значения выходного сигнала p приемника при действии s источника излучений, В.

Сформированная матрица последовательностей отсчетов значений выходных сигналов p приемников при действии s источников излучений для фундаментов опор ВЛ является математическим представлением откликов, проходящих через фундамент опоры ВЛ ультразвуковых колебаний. Матрица отражает динамические качества фундаментов опор ВЛ и передается на сервер электросетевой компании. В результате на сервере формируется база данных фундаментов опор ВЛ. Период T сбора и передачи данных определяется может быть различным и определяется электросетевой компанией.

На сервере электросетевой компании производится гармонический анализ принятых числовых рядов, представленных строками матрицы последовательностей отсчетов значений выходных сигналов p приемников при действии s источников излучений для фундаментов опор ВЛ. Это обеспечивает анализ откликов, проходящих через фундамент опоры ВЛ ультразвуковых колебаний и характеризующих динамические качества фундаментов опор ВЛ.

Гармоническое разложение принятых числовых рядов производим с использованием рядов Фурье [9-10].

Для каждой строки полученной матрицы составим уравнение, которое в общем случае имеет следующий вид

$$A_{sf_p}(f) = \sum_{l=(k-N)}^{l=k} a_{sf_p}(k) * \text{Cos}(2\pi k f / N), \quad (7)$$

где $A_{sf_p}(f)$ – амплитуда гармонической составляющей на частоте f выходного сигнала p приемника при действии s источника излучений, В; f – частота гармонического разложения выходного сигнала p приемника при действии s источника излучений, Гц; N – количество отсчетов значений приемников ультразвукового зондирования фундаментов опор при квантовании; l – индекс суммирования.

Для нахождения амплитуд гармонических составляющих на частотах исследуемого спектра, определим его диапазон в виде набора определенных частот $f_1, f_2, f_3, \dots, f_j$.

$$f = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_j\}. \quad (8)$$

Определив амплитуды гармонических составляющих на частотах $f_1, f_2, f_3, \dots, f_j$, получим последовательность значений амплитуд от частот разложения

$$A_{sf_p}(f_1), A_{sf_p}(f_2), A_{sf_p}(f_3), \dots, A_{sf_p}(f_j), \quad (9)$$

где j – индекс разложения на гармоники спектра.

Данное уравнение составляется для каждой строки матрицы последовательностей отсчетов значений выходных сигналов p приемников при действии s источников излучений для фундаментов опор ВЛ. На основании разложения формируется последовательности разложения амплитуд от частот разложения [11-13].

Объединяя результаты, получим матрицу амплитуд гармонического разложения по частотам f для каждого выходного сигнала p приемника при действии каждого s источника излучений:

$$ASFP = \begin{bmatrix} A_{1f_1}(f_1), A_{1f_1}(f_2), A_{1f_1}(f_3), \dots, A_{1f_1}(f_j) \\ A_{1f_2}(f_1), A_{1f_2}(f_2), A_{1f_2}(f_3), \dots, A_{1f_2}(f_j) \\ A_{1f_3}(f_1), A_{1f_3}(f_2), A_{1f_3}(f_3), \dots, A_{1f_3}(f_j) \\ \dots \\ A_{1f_p}(f_1), A_{1f_p}(f_2), A_{1f_p}(f_3), \dots, A_{1f_p}(f_j) \\ \dots \\ A_{2f_1}(f_1), A_{2f_1}(f_2), A_{2f_1}(f_3), \dots, A_{2f_1}(f_j) \\ A_{2f_2}(f_1), A_{2f_2}(f_2), A_{2f_2}(f_3), \dots, A_{2f_2}(f_j) \\ A_{2f_3}(f_1), A_{2f_3}(f_2), A_{2f_3}(f_3), \dots, A_{2f_3}(f_j) \\ \dots \\ A_{2f_p}(f_1), A_{2f_p}(f_2), A_{2f_p}(f_3), \dots, A_{2f_p}(f_j) \\ \dots \\ A_{sf_1}(f_1), A_{sf_1}(f_2), A_{sf_1}(f_3), \dots, A_{sf_1}(f_j) \\ A_{sf_2}(f_1), A_{sf_2}(f_2), A_{sf_2}(f_3), \dots, A_{sf_2}(f_j) \\ A_{sf_3}(f_1), A_{sf_3}(f_2), A_{sf_3}(f_3), \dots, A_{sf_3}(f_j) \\ \dots \\ A_{sf_p}(f_1), A_{sf_p}(f_2), A_{sf_p}(f_3), \dots, A_{sf_p}(f_j) \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где $ASFP$ – матрица амплитуд гармонического разложения по частотам для выходных сигналов приемников при действии источников излучений.

Цифровая математическая модель модуля дистанционного мониторинга фундаментов опор ВЛ по каналу фиксации динамики изменения состояния фундаментов анкерных опор во времени строится на основании анализа элементов матрицы $ASFP$ (10).

После проведения монтажа фундамента опоры ВЛ электропередач проводится исследование его динамических свойств. Для этого поочередно оценивается воздействие источников излучений на приемники, строятся последовательности измеренных значений выходного сигнала приемника ультразвуковых колебаний.

В результате получаем анализ откликов на механические воздействия для нового фундамента опоры ВЛ.

Динамические свойства нового фундамента фиксируются с помощью матрицы $ASFP(t=0)$, (11)

где $ASFP(t=0)$ – матрица динамических свойств нового фундамента опор ВЛ электропередач.

Через установленный период времени T проводится процедура очередного дистанционного мониторинга фундаментов опор ВЛ. Процедуре очередного дистанционного мониторинга фундаментов опор ВЛ присваивается номер m , полученные результаты обрабатываются и формируется матрица

$$ASFP(t=tm), \quad (12)$$

где $ASFP(t=tm)$ – матрица динамических свойств фундамента опор ВЛ электропередач для m дистанционного мониторинга фундаментов опор ВЛ.

Производится поэлементное сравнение членов матриц динамических свойств нового фундамента и динамических свойств текущего состояния фундамента опор ВЛ. Вычисляется модуль для каждого значения поэлементного сравнения членов матриц динамических свойств

$$\Delta IASFP(t, Tm) = IASFP(t=0) - ASFP(t=tm)I, \quad (13)$$

где $IASFP(t=0) - ASFP(t=tm)I$ – модуль для каждого значения поэлементного сравнения членов матриц динамических свойств нового фундамента и текущих динамических свойств фундамента на момент его дистанционного мониторинга; $\Delta ASFP(t, Tm)$ – матрица модулей поэлементного сравнения для нового фундамента и фундамента на момент его дистанционного мониторинга.

Полученное соотношение фиксирует абсолютное значение динамики изменения текущего состояния фундамента опор во времени относительно нового фундамента.

Для фиксации относительного изменения динамических свойств фундамента между двумя соседними процедурами дистанционного мониторинга получено соотношение

$$\Delta ASFP(t, T(m-1), Tm) = IASFP(t=T(m-1) - ASFP(t=tm)I / T, \quad (14)$$

где $\Delta ASFP(t, T(m-1), Tm)$ – матрица фиксации относительного изменения динамических свойств фундамента между двумя соседними процедурами дистанционного мониторинга; T – период дистанционного мониторинга, с.

Для выработки сигналов предупреждения о состоянии фундаментов опор ВЛ производится поэлементное сравнение матрицы фиксации относительного изменения динамических свойств фундамента.

Сигнал предупреждения о текущем состоянии фундамента относительно его нового состояния вырабатывается на основе анализа следующего неравенства

$$\Delta ASFP(t, Tm) < \Delta ASFP \text{ доп. } (t, Tm), \quad (15)$$

где $\Delta ASFP \text{ доп. } (t, Tm)$ – матрица допускаемых значений модулей поэлементного сравнения для нового фундамента и фундамента на момент его дистанционного мониторинга.

При соблюдении данного соотношения по всем значениям модулей поэлементного сравнения для нового фундамента и фундамента на момент его дистанционного мониторинга сигнал предупреждения не вырабатывается.

При нарушении данного соотношения хотя бы по одному любому из модулей поэлементного сравнения для нового фундамента и фундамента на момент его дистанционного мониторинга вырабатывается сигнал предупреждения для принятия решений службами электросетевой компании по детальному обследованию фундамента опоры ВЛ электропередач.

Сигнал предупреждения об изменении состояния фундамента относительно его состояния при предыдущем мониторинге вырабатывается на основе анализа следующего неравенства фиксации относительного изменения динамических свойств фундамента между двумя соседними процедурами дистанционного мониторинга

$$\Delta ASFP(t, T(m-1), Tm) < \Delta ASFP \text{ доп. } (t, T(m-1), Tm), \quad (16)$$

где $\Delta ASFP \text{ доп. } (t, T(m-1), Tm)$ – матрица допускаемых значений модулей поэлементного сравнения на периоде T между двумя соседними дистанционными мониторингами.

При соблюдении данного соотношения по всем значениям модулей поэлементного сравнения для двух соседних дистанционных мониторингов фундаментов сигнал предупреждения не вырабатывается.

При нарушении данного соотношения хотя бы по одному любому из модулей поэлементного сравнения для двух соседних дистанционных мониторингов вырабатывается сигнал предупреждения для принятия решений службами электросетевой компании по детальному обследованию фундамента опоры ВЛ электропередач [14].

Математическая модель модуля дистанционной диагностики фундаментов опор ВЛ по каналу измерения состояния фундаментов анкерных опор реализуется на микропроцессоре модуля дистанционного мониторинга фундаментов опор и на сервере диспетчерского пункта электросетевой компании.

Список литературы

- ГОСТ 17624-2012 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
- ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
- СТО 5694700729.120.95.017-2009 МЕТОДИКА диагностики состояния фундаментов опор ВЛ методом неразрушающего контроля. ОАО «ФСК ЕЭС». 2009. 28 с.
- Козлов В.Н., Подольский В.И., Самокрутов А.А., Шевальдыкин В.Г. Оценка состояния железобетонных опор контактной сети ультразвуковым прибором поверхностного прозвучивания. В мире НК. 2000. № 1 (7). С. 45–47.
- Krause M., Mielentz F., Milman B. et al. Ultrasonic imaging of concrete members using an array system. *Insght*. 2000. Vol. 42. No. 7. P. 447–450.
- Зиновьев В.Н. Определение микротрещинообразования бетона при сжатии ультразвуковым импульсным методом // *Инновации в науке и образовании* – 2009: VII Междунар. науч. конф. (20-22 окт.): труды. Калининград, 2009. Ч. 2. С. 70-76.
- ASTM C597 — 16 Standard: Test Method for Pulse Velocity Through Concrete // *Book of Standards Volume 04.02*. [Электронный ресурс] URL: <http://www.astm.org/Standards/C597.htm> (дата обращения: 10.02.21).
- Titov S.A., Maev R.G., Bogachenkov A.N. Measuring the acoustic wave velocity and sample thickness using an ultrasonic transducer array // *Tech. Phys. Lett*. 2009. V. 35. P. 1029. <https://doi.org/10.1134/S1063785009110170>
- Базулин Е.Г., Исмаилов Г.М. Одновременное измерение скорости ультразвуковой поперечной волны и толщины объекта контроля с плоскопараллельными границами с использованием двух антенных решеток // *Дефектоскопия*. 2013. № 8. С. 20–34.
- Качанов В.К., Соколов И.В., Концов Р.В., Сирицын А.А. Использование антенных решеток для безэталонного измерения скорости ультразвука и толщины бетонных изделий // *Дефектоскопия*. 2017. № 1. С. 26–33.
- Математическая модель измерения тока в системе дистанционной диагностики проводов ВЛ / В.О. Акулчев, В.Ю. Непомнящий, А.Д. Дудин, С.Г. Висич, В.М. Степанов, М.В. Панарин, А.А. Маслова // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2020. Вып.12. С. 405-410.

12. Математическая модель модуля дистанционного мониторинга проводов по каналам измерения механических воздействий на провод воздушной линии/ Акуличев В.О., Непомнящий В.Ю., Висич С.Г., Панарин М.В., Маслова А.А. // Энергобезопасность и энергосбережение. 2021. № 2. С. 41-45.

13. Математическая модель дистанционного мониторинга изоляторов вл по каналу измерения тока утечки/ Акуличев В.О., Непомнящий В.Ю., Висич С.Г., Степанов В.М., Панарин М.В., Панарин В.М., Маслова А.А.// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 4. С. 159-165.

14. Математическая модель модуля дистанционного мониторинга проводов по каналу измерения температуры провода воздушной линии/ Акуличев В.О., Непомнящий В.Ю., Висич С.Г., Панарин М.В., Маслова А.А.// Энергобезопасность и энергосбережение. 2021. № 3. С. 46-51.

Акуличев Виталий Олегович, первый заместитель генерального директора, директор по развитию, Akulichev.VO@mrsk-l.ru, Россия, Калининград, ПАО «МРСК Центра и Приволжья».

Захаров Сергей Юрьевич, и.о. первого заместителя директора - Главного инженера, Zaharov.SY@tl.mrsk-cp.ru, Россия, Тула, Филиал «Тулэнерго» ПАО «МРСК Центра и Приволжья».

Родионов Игорь Александрович, заместитель главного инженера по управлению производственными активами, Rodionov.IA@tl.mrsk-cp.ru, Россия, Тула, филиал «Тулэнерго» ПАО «МРСК Центра и Приволжья».

Висич Сергей Геннадьевич, ведущий инженер, Visich.SG@tl.mrsk-cp.ru, Россия, Тула, ПАО «МРСК Центра и Приволжья».

Панарин Михаил Владимирович, канд. техн. наук, директор, pmv@ssoft24.com, Россия, Тула, ООО «СервисСофт Инжиниринг».

Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, energyv@tsu.tula.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет.

Маслова Анна Александровна, д-р техн. наук, доцент, anna_zuykova@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

MATHEMATICAL MODEL FOR MEASURING THE STATE OF THE FOUNDATIONS OF ANCHOR SUPPORTS BY THE METHOD OF ULTRASONIC SENSING IN THE SYSTEM OF REMOTE DIAGNOSTICS OF OVERLINE WIRES

V.O. Akulichev, S.Yu. Zakharov, I.A. Rodionov, S.G. Visich, M.V. Panarin, V.M. Stepanov, A.A. Maslova

A mathematical model of the module for remote diagnostics of wires of overhead lines through the channel for measuring the state of the foundations of anchor supports by the method of ultrasonic sounding, which is implemented on the module and on the server of the dispatching office of the power grid company, is considered. The module generates control signals for shock-type emitters and ultrasonic vibration emitters built into the support. Receivers of ultrasonic vibrations receive signals passing through the concrete of the foundation of the overhead power line support from the emitters, and output them in the form of a continuous analog function.

Key words: remote diagnostics, overhead power line, foundation, anchor support, measurement, ultrasonic sounding, control room.

Akulichev Vitaly Olegovich, first deputy general director, director for development, akulichev.vo@mrsk-l.ru, Russia, Kaliningrad, IDGC of Center and Volga Region, PJSC,

Zakharov Sergey Yurievich, acting first deputy director - chief engineer, zaharov.sy@tl.mrsk-cp.ru, Russia, Orel, Tulenergo branch of IDGC of Center and Volga Region, PJSC, Tulenergo branch of IDGC of Center and Volga Region, PJSC,

Rodionov Igor Alexandrovich, deputy chief engineer for production assets management, rodionov.ia@tl.mrsk-cp.ru, Russia, Tula, Tulenergo branch of IDGC of Center and Volga Region, PJSC,

Visich Sergey Gennadievich, leading engineer, visich.sg@tl.mrsk-cp.ru, Russia, Tula, IDGC of Center and Volga Region PJSC,

Panarin Mikhail Vladimirovich, candidate of technical sciences, director, pmv@ssoft24.com, Russia, Tula, ServiceSoft Engineering LLC,

Stepanov Vladimir Mikhailovich, doctor of technical sciences, professor, head of department, energyv@tsu.tula.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Maslova Anna Aleksandrovna, doctor of technical sciences, docent, anna_zuykova@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 622.232.8

DOI: 10.24412/2071-6168-2021-8-290-296

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОЧИСТНОЙ КОМБАЙН-СКРЕБОВЫЙ КОНВЕЙЕР

Г.И. Бабоккин

Разработана методика расчета потребляемой электрической энергии и ее удельного расхода системой очистной комбайн-скребковый конвейер при работе в высокопроизводительном механизированном очистном забое. Установлено, что удельный расход электрической энергии системы очистной комбайн-скребковый конвейер уменьшается на 9,1 % при работе комбайна по челноковой технологической схеме, в сравнении с односторонней схемой, и увеличивается с увеличением длины лавы.

Ключевые слова: очистной комбайн, скребковый конвейер, потребляемая электрическая энергия, удельный расход, лава.

Для выемки угля при отработке пластов пологого падения мощностью 0,9-6,0 м на шахтах страны применяют механизированные комплексы с узкозахватными очистными комбайнами (ОК). Повышение производительности и улучшение технико-экономических показателей очистных забоев угольных шахт достигается увеличением установленной мощности электрооборудования системы очистной комбайн-скребковый конвейер (ОК-СК) [1-4]. При этом доля электрической энергии, потребляемой технологическими операциями добычи и транспортировки угля достигает 12,1-15,7% от общего электропотребления угольных шахт [1]. В связи с потребностями

<i>Сычев Ю.А., Ковальчук М.С., Алдашов А.А., Сериков В.А., Пастухова А.А.</i> Проблемы разработки интеллектуальных систем электроснабжения на предприятиях минерально-сырьевого комплекса	273
<i>Акуличев В.О., Захаров С.Ю., Родионов И.А., Висич С.Г., Панарин М.В., Степанов В.М., Маслова А.А.</i> Математическая модель измерения состояния фундаментов анкерных опор методом ультразвукового зондирования в системе дистанционной диагностики проводов ВЛ	283
<i>Бабочкин Г.И.</i> Исследование энергетических параметров системы очистной комбайн-скребковый конвейер	290
ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Шадский Г.В., Сальников В.С., Ерзин О.А.</i> Робастное управления передним углом режущего клина при точении	297
<i>Решетникова О.П., Знаиоров Б.М., Васин А.Н., Белоусова Н.В., Семочкин Г.А.</i> Аналитическое определение необходимой величины угла скоса опорного ножа при круглом бесцентровом шлифовании	303
<i>Жмурин В.В., Хрячкова В.В.</i> Повышение качества обработки деталей из нержавеющей сталей на среднегабаритных многоцелевых станках фрезерной группы	309
<i>Шадский Г.В., Сальников В.С., Ерзин О.А.</i> Синтез системы управления передним углом режущего клина при точении	313

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ

ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 8

Редактор О.И. Борискин

Компьютерная правка и верстка – Б.С. Яковлев

Учредитель:

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
300012, г. Тула, просп. Ленина, 92

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97

Подписано в печать 25.08.21. Дата выхода в свет 16.09.21.

Формат бумаги 70×100 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 53,30

Тираж 500 экз. Заказ 114

Цена свободная

Адрес редакции и издателя:
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95

Отпечатано в Издательстве ТулГУ
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите на [www.microsoft.com/russia/activation](#)