

menov, Iu.A. Shaposhnikov // Iuzhno-Sibirskii nauchnyi vestnik. – 2022. – No. 6 (46). – S. 137-142. – DOI 10.25699/SSSB.2022.46.6.013.

2. Semenov, I.V. Modelirovanie protsessa rezaniia stebel pri dinamicheskoi nagruzke / I.V. Semenov, Iu.A. Shaposhnikov // Iuzhno-Sibirskii nauchnyi vestnik. – 2023. – No. 2 (48). – S. 113-118. – DOI 10.25699/SSSB.2023.48.2.003.

3. Mirenkov, V.V. Analiz napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia nozha izmelchaishego barabana kormouborochnogo kombaina / V.V. Mirenkov, V.F. Khizhenok, P.E. Rodzevich // Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo. – 2014. – № 1 (56). – S. 20-28.

4. Gu Kh. Analiz nadezhnosti rotora v izmelchitele kormov na osnove ANSYS // Ezhegodnoe mezhdunarodnoe soveshchanie ASABE 2017. –

Amerikanskoe obshchestvo inzhenerov selskogo khoziaistva i biologii, 2017. – S. 1.

5. Volvak S.F., Shapovalov V.I. Analiz matematicheskoi modeli tekhnologicheskogo protsessa izmelcheniia stebelchatykh kormov // Izvestiia Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniia. 2015. T. 1. S. 90-93.

6. Melnikov S.V. Mekhanizatsiia i avtomatizatsiia zhivotnovodcheskikh ferm. – Leningrad: Kolos. Leningr. otdelenie. 1978. – 560 s., il.

7. Mekhanizatsiia zhivotnovodcheskikh ferm: [Dlia in-tov i fak. mekhanizatsii sel. khoz-va] / S.V. Melnikov, P.V. Andreev, V.F. Bazhenkov i dr. – Moskva: Kolos, 1969. – 440 s.

8. Iasinskas A., Sakalauskas A., Domeika R. Otsenka fiziko-mekhanicheskikh svoistv travianistykh bioenergeticheskikh rastenii // Biomassa i bioenergiia. – 2008. – T. 32. – No. 10. – S. 952-958.



УДК 621.316.1.13

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-241-11-77-84

Р.В. Вензелев

R.V. Venzelev



**ВОЗМОЖНОСТЬ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ  
АВТОНОМНОГО УСТРОЙСТВА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ  
ПЛОСКОСТНОГО КОНТАКТНОГО СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ШИН  
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

**POSSIBILITY OF DEVELOPING AND USING AN AUTONOMOUS DEVICE  
FOR ACOUSTIC EMISSION OF A PLANE CONTACT CONNECTION  
OF ELECTRICAL BUSES TO EVALUATE ITS TECHNICAL CONDITION**

**Ключевые слова:** мониторинг, контроль, техническое состояние, контакты, электрические шины, акустическая эмиссия, дефектоскопия, ультразвук.

Исследуется возможность разработки и применения автономного устройства акустической эмиссии для оценки технического состояния плоскостных контактных соединений электрических шин, используемых в распределительных устройствах напряжением 0,4-35 кВ. В условиях современных энергосистем, где контроль и выявление на ранних стадиях развития дефектов в контактных соединениях играют одну из ключевых ролей, влияющих на уровень надежности электроустановок, предложенное устройство акустической эмиссии может значительно повысить качество контроля, особенно в случаях, когда традиционные методы, например, тепловизионный контроль, не могут быть эффективно применены. Предложенное устрой-

ство включает в себя блок управления, генератор импульсов, излучающий и принимающий пьезоэлектрические преобразователи, аттенюатор, усилитель, аналого-цифровой преобразователь, блок памяти, аккумулятор, датчик температуры и модуль беспроводной передачи данных, что позволяет проводить контроль дистанционно в реальном времени и передавать данные на удаленный пункт управления без необходимости участия оператора. В ходе исследования была предложена усовершенствованная структурная схема дефектоскопа, а также проведены стендовые исследования, которые показали стабильность амплитуды при измерении уровня ультразвукового сигнала, проходящего через контактное соединение, находящееся под напряжением, достигающим 80 кВ. Результаты работы подтверждают эффективность применения устройства ультразвуковой эмиссии контактов шин, реализованного на базе ультразвукового дефектоскопа при его мо-

дернизации с целью автономной работы и размещения в местах с затрудненным доступом для выполнения тепловизионного контроля, а также при отсутствии возможности обеспечения необходимых для контроля условий.

**Keywords:** *monitoring, control, technical condition, contacts, electrical busbars, acoustic emission, flaw detection, ultrasound.*

This paper discusses the possibility of developing and using an autonomous acoustic emission device to evaluate the technical condition of plane contact connections of electrical buses used in switchgears with voltages of 0.4-35 kV. In the modern power systems where monitoring and detection of defects in contact connections at early stages of development plays one of the key roles affecting the level of reliability of electrical installations, the proposed acoustic emission device may significantly improve the quality of monitoring, especially in cases where traditional methods such as thermal imaging controls cannot be effec-

tively applied. The proposed device includes a control unit, a pulse generator, emitting and receiving piezoelectric transducers, an attenuator, an amplifier, an analog-to-digital converter, a memory unit, a battery, a temperature sensor and a wireless data transmission module which allows for remote control in real time and transmit data to a remote control point without the need for operator participation. As part of the study, an improved structural diagram of the flaw detector was proposed, and bench studies were carried out which showed the stability of the amplitude when measuring the level of an ultrasonic signal passing through a contact connection under a voltage reaching 80 kV. The research findings confirm the effectiveness of using a device for ultrasonic emission of bus-bar contacts implemented on the basis of an ultrasonic flaw detector taking into account its modernization for the purpose of autonomous operation and placement in places with difficult access for thermal imaging inspection as well as in the absence of the possibility of providing the conditions necessary for inspection.

**Вензелев Роман Викторович**, руководитель группы ремонтов оборудования подстанций, АО «КрасЭКо», г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: [venzelove\\_rv@mail.ru](mailto:venzelove_rv@mail.ru).

**Venzelev Roman Viktorovich**, Head of Substation Equipment Repair Group, AO "KrasEKO", Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: [venzelove\\_rv@mail.ru](mailto:venzelove_rv@mail.ru).

### Введение

В условиях современных энергосистем России, где объемы эксплуатируемого электросетевого комплекса составляют не менее 480 тыс. подстанций суммарной трансформаторной мощностью более 750 ГВА [1], часть из которых обеспечивают электроснабжением объекты агропромышленного сектора, важным аспектом остается повышение надежности и эффективности диагностики контактных соединений. Одним из перспективных методов диагностики является ультразвуковая эмиссия, которая может быть использована для оценки состояния контактных соединений шин, размещенных в комплектных распределительных устройствах (КРУ).

Применение в эксплуатации метода для удаленного определения наличия дефекта в плоскостном контактном соединении электрических шин (ПКСЭШ) и оценки степени его развития способно значительно повысить качество контроля в энергетических системах надежность энергообъектов. Метод будет востребован в ряде случаев, например:

- при проведении контроля контактов в труднодоступных местах, таких как секции шин, расположенных в КРУ до 35 кВ, а также на шинных мостах, расположенных в закрытых коробах

и других местах с затрудненным доступом для контроля под напряжением;

- обеспечение контроля в случаях, когда тепловизионный контроль контактов затруднен отсутствием необходимых условий, таких как прямой визуальный контакт и наличие нагрузки на контактах не менее 0,3 от номинального тока контактных шин для обеспечения точности измерений;

- для оценки рисков при планируемом увеличении нагрузки через контролируемые контакты присоединений.

В исследованиях по определению технического состояния ПКСЭШ с помощью ультразвуковой эмиссии показана перспектива применения устройства на базе ультразвукового дефектоскопа [2], представлена нейросетевая модель, предназначенная для определения уровня дефекта контактного соединения [3], а также показана возможность прогнозирования состояния контакта в программном обеспечении, реализующем алгоритмы машинного обучения [4].

**Целью** работы являлась оценка возможности разработки и применения автономного устройства ультразвуковой эмиссии для измерения и передачи данных, необходимых для определения технического состояния плоскостного контакта электрических шин.

Поставленная цель достигнута решением следующих задач:

1) оценена возможность доработки обобщенной структурной схемы дефектоскопов для решения задач контроля технического состояния ПКСЭШ в КРУ до 35 кВ;

2) проведена проверка стабильности амплитуды ультразвукового сигнала, пройденного через ПКСЭШ, находящееся под напряжением;

3) предложен способ размещения технического устройства на контролируемом контакте.

### Объекты и методы

В настоящее время требования к контактным соединениям шин регламентированы нормативно-технической документацией, такой как РД 34.45-51.300-97 «Объемы и нормы испытаний электрооборудования» (РД). Согласно РД, ключевыми параметрами контроля болтовых контактных соединений являются переходное сопротивление и температура. Температура измеряется при помощи тепловизионного контроля доступных соединений, при условии наличия токовой нагрузки на шинах не менее 30% от номинальной. Однако конструкция большинства КРУ ограничивает возможность тепловизионного контроля, что приводит к необходимости выполнения трудозатратного инструментального контроля переходных сопротивлений контактов. В требованиях РД указано, что сопротивление контактного соединения не должно превышать сопротивление эквивалентного участка шины более чем в 1,2 раза. Оба метода являются периодическими, выполняются 1 раз в 3 года, при этом выявление дефектов происходит только в момент измерений.

Ввиду того, что измерение величины переходного сопротивления контактов, находящихся под напряжением, является трудно реализуемым на практике, предложен метод контроля с применением ультразвуковой эмиссии контактов. Суть метода заключается в измерении температуры контакта и величины ультразвукового сигнала, пройденного через контролируемое ПКСЭШ. Измерение температуры, генерация сигнала, его прием и измерение, а также передача полученных данных осуществляются автономным устройством ультразвуковой эмиссии (УУЭ), которое должно быть установлено непосредственно на контролируемом ПКСЭШ. После передачи данных от УУЭ в автоматизированную систему управления технологическим процес-

сом энергообъекта или на автоматизированное рабочее место дежурного диспетчера специализированное программное обеспечение выполняет оценку технического состояния ПКСЭШ и производит расчет его будущего состояния контакта. Оценка выполняется с применением нейросетевых моделей. При этом наиболее точно оценить состояние контактного соединения возможно при нахождении разницы ( $\Delta_c$ ) начального ультразвукового сигнала, зафиксированного при первичной установке УУЭ, и сигнала, измеренного в процессе эксплуатации. Зависимость между значением  $\Delta_c$ , температурой и переходным сопротивлением контакта аппроксимируется нейронной сетью. Результатом работы нейросетевой модели зависимости является индикация наличия или отсутствия дефекта в контакте. Увеличение значения  $\Delta_c$  позволяет судить о наличии между контактными поверхностями воздушной прослойки, вызванной ослаблением болтов соединения или образованием окислов, что в обоих случаях влечет за собой рост переходного сопротивления и нагрев, с последующим развитием которого возможно оплавление, разрушение контакта и образование различного рода технологических нарушений и аварий в электроустановках [2-4]. Фрагмент поверхности отклика, сформированной с применением нейросетевой модели зависимости  $\Delta_c$  от температуры и сопротивления, показан на рисунке 1.

Для каждой из точек полученной поверхности отклика  $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$  и  $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$  средняя абсолютная ошибка нейросетевой модели определяется следующим образом:

$$d_{abs}(p, q) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |p_i - q_i|. \quad (1)$$

Среднеквадратическая ошибка имеет вид:

$$d_{root}(p, q) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2}. \quad (2)$$

В рассматриваемом ПКСЭШ  $p_i$  – фактические значения, использованные для обучения нейронной сети,  $q_i$  – прогнозируемые значения, полученные в результате работы нейронной сети.

Величины  $d_{abs}(p, q)$  и  $d_{root}(p, q)$  при аппроксимации данных в нейросетевом базисе имеют значения  $7,54 \cdot 10^{-1}$  и  $9,77 \cdot 10^{-1}$  соответственно, что является достаточно низким уровнем ошибки нейронной сети при достижении задачи выявления зависимостей ПКСЭШ [3].

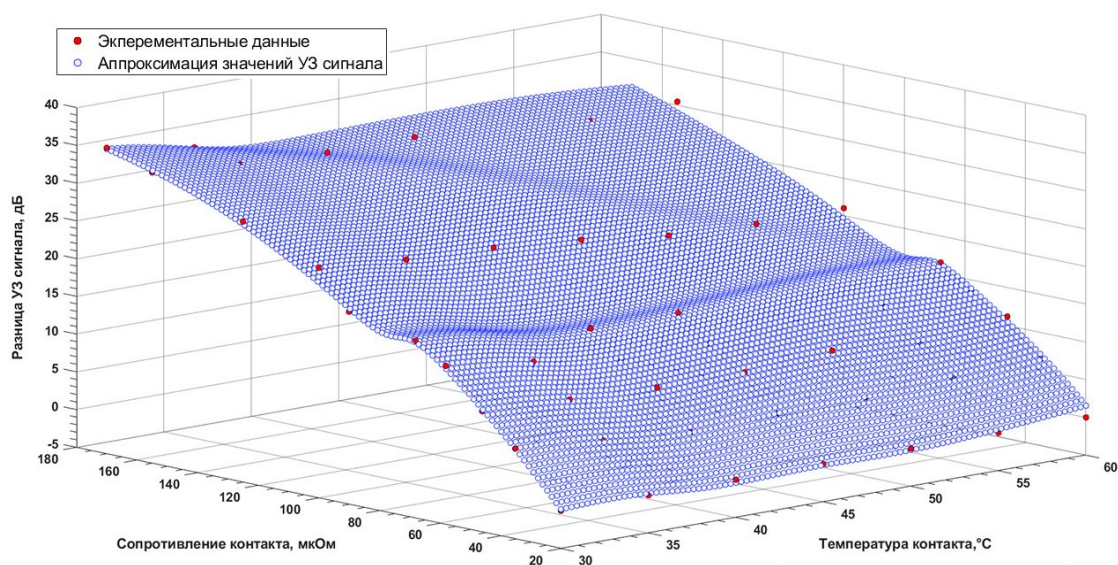


Рис. 1. Поверхность отклика нейросетевой модели

Таким образом, основным требованием к техническому состоянию ПКСЭШ при контроле с применением метода ультразвуковой эмиссии является отсутствие динамики роста  $\Delta_c$ , величина которого зависит от переходного сопротивления и температуры контакта.

В соответствии с предложенным методом наличие технического устройства для выполнения ультразвуковой эмиссии и измерения температуры является неотъемлемой частью контроля технического состояния ПКСЭШ в процессе эксплуатации под напряжением.

В настоящее время на рынке ультразвуковых дефектоскопов отсутствуют готовые устройства, предназначенные для решения задачи ультразвуковой эмиссии и измерения температуры ПКСЭШ, поэтому, для получения необходимых технических параметров контролируемого контакта с целью их последующей обработки требуется внести доработки в структурную схему дефектоскопа. Для этого выполнен анализ патентов изобретений, включенных в базы Федерального института промышленной собственности и Европейского патентного ведомства, который показал, что независимо от назначения и исполнения обобщенная структурная схема ультразвуковых дефектоскопов включает следующие элементы: блок управления, генератор импульсов, излучающий пьезоэлектрический преобразователь, принимающий пьезоэлектрический преобразователь, аттенюатор, усилитель, аналогово-цифровой преобразователь, блок памяти, органы управления, монитор [5-7].

При рассмотрении возможности доработки схемы для обеспечения требуемого функциона-

ла учитывалась необходимость работы УУЭ в автономном режиме, что требовало включения в схему аккумуляторной батареи. Для корректной работы нейросетевой модели, выполняющей оценку наличия дефекта, необходимо значение температуры контакта в момент контроля, поэтому в схему устройства включен температурный датчик. Также функционал устройства предполагает передачу в автоматизированную систему измеренных под напряжением данных, это возможно при включении в схему блока беспроводной передачи данных.

Следует учитывать, что в процессе работы устройства отсутствует необходимость в корректировке параметров дефектоскопа и контроле оператором амплитуды ультразвукового сигнала, так как настройка режимов работы устройства осуществляется по беспроводному каналу связи, а анализ полученных данных выполняется автоматически в специализированном программном обеспечении. В связи с этим принято решение об исключении монитора и органов управления из схемы устройства с целью снижения энергопотребления и массогабаритных характеристик.

В результате доработки обобщенной структурной схемы ультразвуковых дефектоскопов получена структурная схема УУЭ, которая представлена на рисунке 2.

После доработки схемы требовалось учесть габаритные размеры УУЭ, так как работа устройства предполагает размещение на контактах КРУ, где расстояние от токоведущих частей до заземленных конструкций регламентировано. Известно, что плоские токоведущие ши-

ны в подавляющем большинстве КРУ имеют ширину от 60 до 100 мм, поэтому при размещении на трех фазах системы шин или шинном мосту ширина устройства не должна в среднем превышать 80 мм.

При анализе рынка ультразвуковых дефектоскопов со сниженными габаритными размерами определено, что наиболее близким к прототипу по параметрам является дефектоскоп «Velograph II», который позволяет контролировать сварные швы, измерять толщину стенок изделий, вести поиск мест коррозии и т.п. Значи-

тельным плюсом конструкции дефектоскопа является наличие модуля Bluetooth для передачи измеренного сигнала на отдельностоящий монитор дефектоскопа, представляющий собой карманный переносной компьютер с установленным специализированным программным обеспечением. Питание устройства осуществляется от встроенного аккумулятора, габариты и масса устройства имеют следующие показатели: ширина – 68 мм, длина 100 мм, толщина – 26 мм, масса – 165 г.

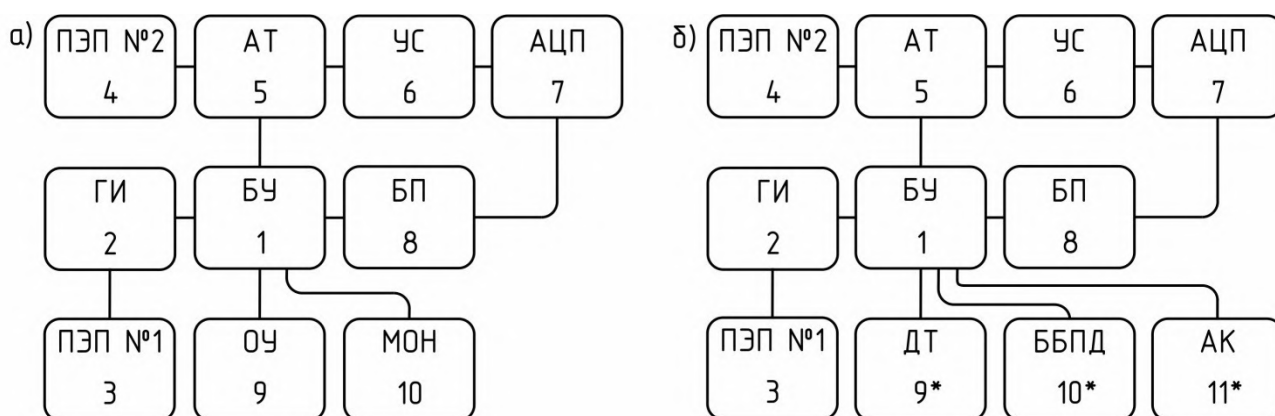


Рис. 2. Структурная схема:

- а) обобщенная структурная схема ультразвуковых дефектоскопов;  
 б) структурная схема УУЭ; 1 – блок управления (БУ), 2 – генератор импульсов (ГИ),  
 3 – излучающий пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП № 1),  
 4 – принимающий пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП № 2), 5 – аттенюатор (АТ),  
 6 – усилитель (УС), 7 – аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), 8 – блок памяти (БП),  
 9 – органы управления (ОУ), 10 – монитор (МОН), 9\* – температурный датчик (ТД),  
 10\* – блок беспроводной передачи данных (ББПД), 11\* – аккумуляторная батарея (АБ)

На примере дефектоскопа Velograph II показана возможность создания УУЭ с требуемыми габаритными размерами для контроля ПКСЭШ в КРУ.

### Экспериментальная часть

Для оценки возможности проведения измерений уровня ультразвукового сигнала в условиях эксплуатации шин под рабочим напряжением в распределительных устройствах 0,4-35 кВ проведена проверка стабильности амплитуды ультразвукового сигнала. Проверка вызвана необходимостью подтверждения отсутствия посторонних возмущений в амплитуде ультразвукового сигнала, образование которых возможно во время измерений при воздействии рабочего напряжения контактного соединения на излучающий и приемный пьезоэлектрические преобразователи. Наличие таких возмущений способно исказить результат измерений, что приведет к ложной индикации наличия дефекта

в ПКСЭШ. Исследования проведены в условиях электротехнической лаборатории.

С целью проверки подготовлена модель контактного соединения из алюминиевой шины АД31 шириной 80 мм и толщиной 10 мм. Для размещения и фиксированного положения пьезоэлектрических преобразователей в центральной части контакта изготовлены держатели. Для индикации наличия, а также определения стабильности амплитуды ультразвукового сигнала использован ультразвуковой прибор УДС2ВФ-ЦИВОМ-ЭП, который оснащен аккумулятором для возможности автономной работы.

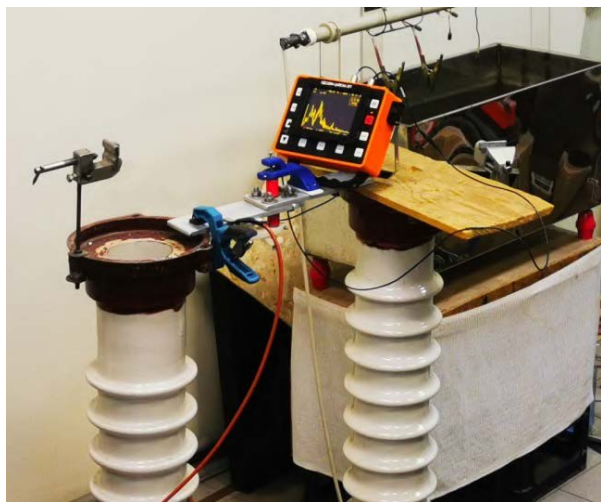
При сборке стенда контактное соединение было изолировано от заземленных участков керамическими изоляторами. На верхней и нижней шинах, образующих контакт, установлены пьезоэлектрические преобразователи. Ультразвуковой дефектоскоп установлен на контактной шине и соединен с пьезоэлектрическими преоб-

разователями. Для имитации рабочего напряжения на шинах применен высоковольтный стационарный стенд типа СВС-100 предназначенный для высоковольтных испытаний изделий и оборудования напряжением до 100 кВ.

После включения прибора и подстройки уровня ультразвукового сигнала подано напряжение на шины через рабочий проводник стенда СВС-100, Визуализация стабильности ультразвукового сигнала, пройденного через контакт шин, фиксировалась на мониторе дефектоскопа. Напряжение увеличивалось ступенями по 10 кВ, при этом время подачи напряжения на каждой ступени составляло не менее 1 мин. Исследования проводились в три этапа. Каждый этап соответствовал уровню переходного сопротивления контакта 27, 60 и 128 мкОм, это дало возможность оценить стабильность ультразвукового сигнала при 50, 66,5 и 78 дБ соответственно. На всех этапах исследование выполнялось до уровня напряжения на шинах 80 кВ.

Результаты стендовых исследований показали отсутствие возмущений при работе пьезоэлектрических преобразователей в процессе измерений сигнала на каждом из этапов исследования.

Общий вид модели контакта с размещенным дефектоскопом на шинах, находящихся под напряжением 80 кВ, показан на рисунке 3.



*Рис. 3. Общий вид модели контакта при выполнении измерений*

**Размещение автономного устройства ультразвуковой эмиссии на контролируемых контактах.** ПКЭСШ в КРУ могут находиться в различных условиях эксплуатации, включая воздействие вибрации, температуры, влажности и загрязнений. Устройство должно

быть защищено от этих факторов, что требует применения соответствующих материалов и конструктивных решений.

Для минимизации возможных вибраций, смещения и обеспечения точности при измерении акустического сигнала излучающий и принимающий пьезоэлектрические преобразователи должны быть надежно закреплены и ориентированы рабочими поверхностями друг к другу. Также необходимо обеспечить размещение электронного блока устройства на шинах в оптимальном месте для каждой конфигурации контактных соединений и конструкций КРУ. Эти требования были выполнены с помощью регулируемых крепежных элементов, которые позволяют фиксировать устройство непосредственно на поверхности шин разной ширины.

Предложена конструкция УУЭ для измерения параметров ПКЭСШ с выносным датчиком температуры и пьезоэлектрическими преобразователями, соединенными с электронным блоком коаксиальными кабелями. Также предложен вариант размещения устройства акустической эмиссии на примере ячейки шинного моста 6 кВ, расположенного в распределительном устройстве 6 кВ и осуществляющего связь между силовым трансформатором 110/35/6 кВ к секции шин 6 кВ. Конструкция УУЭ и способ его размещения на контролируемом контакте показаны на рисунке 4.



*Рис. 4. Прототип автономного УУЭ для измерения параметров ПКЭСШ*

Выбор места установки обусловлен невозможностью проведения тепловизионного контроля из-за глухой конструкции корпуса шинного

моста и ячеек КРУ. При установке соблюдены требования п. 4.2.54 7-го издания ПУЭ в части обеспечения минимальных расстояний между токоведущими частями, к которым относятся УУЭ, установленные на токоведущих шинах, а также расстояний между токоведущими частями и заземлёнными конструкциями или корпусом ячейки 6 кВ. Нормативное расстояние составило не менее 200 мм.

### Заключение

В ходе работы по оценке возможности разработки автономного УУЭ для измерения и передачи данных, необходимых для определения технического состояния ПКСЭШ, представлен состав основных компонентов ультразвуковых дефектоскопов и определена возможность доработки их структурной схемы для решения задач контроля КРУ до 35 кВ, что показало наличие потенциала для модернизации.

Проведена проверка стабильности амплитуды ультразвукового сигнала, проходящего через контактное соединение под напряжением. Исследования показали, что уровень сигнала остаётся стабильным при наличии напряжения на шинах, исключая возможность ложной индикации дефекта в контролируемом ПКСЭШ.

Предложен способ размещения УУЭ на примере плоскостных контактов шинного моста КРУ 6 кВ ПС 110 кВ, который обеспечивает универсальность, надёжность фиксации устройства и возможность его адаптации к различным конфигурациям контактных соединений, что повышает эффективность контроля технического состояния оборудования.

Дополнительно необходимо отметить, что внедрение устройств акустической эмиссии открывает широкие перспективы для повышения надёжности работы электроустановок. Среди основных преимуществ можно выделить возможность выполнения периодического автоматизированного контроля на предмет наличия дефектов в ПКСЭШ, что является важным для энергообъектов критической инфраструктуры, где любые отклонения в работе должны быть

выявлены и устранены в кратчайшие сроки. Также УУЭ в совокупности с программным обеспечением, позволяющим в автоматическом режиме интерпретировать результаты измерений и обнаруживать дефекты на ранней стадии их развития, снижают риск возникновения аварийных ситуаций.

Снижение эксплуатационных затрат при использовании автоматизированных систем контроля и диагностики сокращает объём работ по ручному периодическому контролю контактов, что способствует уменьшению затрат на обслуживание и повышает эффективность эксплуатации электроустановок.

УУЭ могут быть адаптированы под различные типы электроустановок и условия эксплуатации, что делает их универсальным инструментом для дистанционного контроля под рабочим напряжением ПКСЭШ в различных КРУ.

### Библиографический список

1. Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года. – Текст: электронный // Министерство энергетики Российской Федерации: официальный сайт. – 2023. – URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/6366/67618> (дата обращения: 01.08.2024).
2. Вензелев, Р. В. Диагностика неразмыкаемого поверхностного контактного соединения ультразвуковым сигналом / Р. В. Вензелев, М. П. Баранова. – Текст: непосредственный // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 278-286.
3. Вензелев, Р. В. Применение нейронных сетей и методологии поверхностей отклика для прогноза показателей плоскостного электрического контакта шин / Р. В. Вензелев, А. Н. Роголев, М. П. Баранова. – Текст: непосредственный // Энергия единой сети. – Москва: АО «НТЦ ФСК ЕЭС», 2024. – № 1 (72). – С. 20-29.
4. Вензелев, Р. В. Прогнозирование состояния контактных соединений шин с применением моделей машинного обучения / Р. В. Вензелев,

М. П. Баранова, О. О. Вензелева. – DOI 10.51419/202143302. – Текст: непосредственный // АгроЭкоИнфо: электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 3 (63). – С. 1-13.

5. Патент № 2130610 Российская Федерация, МПК G01N 29/10. Цифровой ультразвуковой дефектоскоп «АВГУР» / Бадалян В. Г., Базулин Е. Г., Бычков И. В., Вopilкин А. Х., Каплун С. М., Ломакин А. В., Пентюк М. В., Рубен Е. А., Тихонов Д. С., Штерн А. М.; заявитель Научно-производственный центр «ЭХО+». – № 94013378/28; заявл. 15.04.1994; опубл. 20.05.1999. – 5 с. – Текст: непосредственный.

6. Патент № 2168723 Российская Федерация, МПК G01N 29/04. Ультразвуковой дефектоскоп / Паврос С. К., Топунов А. В., Щукин А. В., Жигалов Н. А., Козлов В. А., Крестовоздвиженский В. В., Маргинов Н. И.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Научно-практическая лаборатория». – № 99103394/28; заявл. 17.02.1999; опубл. 20.12.2000. – 6 с. – Текст: непосредственный.

7. Patent No. 4088029 United States, CPC G01N 29/38. Ultrasonic flaw detector / Yamamoto E., Ohta K.; Assignee Kabushikikaisha Tokyo Keiki. – No. 668966: filed 22.03.1976: public. 09.03.1978. – 10 p. URL: [https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?I1=0&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19780509&CC=US&NR=4088029A&KC=A#](https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?I1=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19780509&CC=US&NR=4088029A&KC=A#) (date of access: 10.08.2024).

### References

1. Prognoz nauchno-tehnologicheskogo razvitiia otraslei toplivno-energeticheskogo kompleksa Rossii na period do 2035 goda // Ministerstvo energetiki Rossiiskoi Federatsii: ofitsialnyi sait. – 2023. URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/6366/67618> (data obrashcheniia: 01.08.2024).

2. Venzelev, R.V. Diagnostika nerazmykaemogo poverkhnostnogo kontaktnogo soedineniia ultrazvukovym signalom / R.V. Venzelev, M.P. Bar-

anova // Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii. – 2023. – T. 16, No. 3. – S. 278-286.

3. Venzelev, R.V. Primenenie neironnykh setei i metodologii poverkhnostei otklika dlia prognoza pokazatelei ploskostnogo elektricheskogo kontakta shin / R.V. Venzelev, A.N. Rogalev, M.P. Baranova // Nauchno-tehnicheskii zhurnal «Energiia edinoi seti». – Moskva: AO «NTTs FSK EES», 2024. – S. 20-29.

4. Venzelev, R.V. Prognozirovaniie sostoiianiia ploskostnykh kontaktnykh soedinenii shin s primeneniem modelei mashinnogo obucheniiia / R.V. Venzelev, M.P. Baranova, O.O. Venzeleva // AgroEkolInfo. – 2024. – No. 3 (63). – DOI 10.51419/202143302.

5. Patent No. 2130610 Rossiiskaia Federatsiia, MPK G01N 29/10. Tsifrovoy ultrazvukovoi defektoskop «AVGUR» / Badalian V.G., Bazulin E.G., Bychkov I.V., Vopilkin A.Kh., Kaplun S.M., Lomakin A.V., Pentiuk M.V., Ruben E.A., Tikhonov D.S., Shtern A.M.; zaiavitel Nauchno-proizvodstvennyi tsentr «EKHO+». – No. 94013378/28: zaiavl. 15.04.1994: opubl. 20.05.1999. – 5 s.

6. Patent No. 2168723 Rossiiskaia Federatsiia, MPK G01N 29/04. Ultrazvukovoi defektoskop / Pavros S.K., Topunov A.V., Shchukin A.V., Zhigalov N.A., Kozlov V.A., Krestovozdvizhenskii V.V., Marginov N.I.; zaiavitel Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennostiu «Nauchno-prakticheskaiia laboratoriiia». – No. 99103394/28: zaiavl. 17.02.1999: opubl. 20.12.2000. – 6 s.

7. Patent No. 4088029 United States, CPC G01N 29/38. Ultrasonic flaw detector / Yamamoto E., Ohta K.; Assignee Kabushikikaisha Tokyo Keiki. – No. 668966: filed 22.03.1976: public. 09.03.1978. – 10 p. URL: [https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?I1=0&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19780509&CC=US&NR=4088029A&KC=A#](https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?I1=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19780509&CC=US&NR=4088029A&KC=A#) (date of access: 10.08.2024).

