

Российский фонд фундаментальных исследований  
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»  
Казанский физико-технический институт им.Е.К.Завойского –  
ФГБУН ФИЦ КазНЦ РАН  
ФГБУН Институт спектроскопии РАН  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет»  
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова»  
АНО ПНР «Междисциплинарная Академия Науки и Инноватики»  
Российская академия естествознания  
Малое предприятие (бизнес-инкубатор высоких технологий) ООО «ОРОЛ»  
ООО «Научно-производственная компания - Экоблеск»  
ЧУ «Пансионат Яльчик»

МАТЕРИАЛЫ  
ТРИНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ  
«НАУКА И ИННОВАЦИИ-2018»  
ISS «SI-2018»

Материалы тринадцатой международной научной школы-семинара  
«Фундаментальные исследования и инновации:  
нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия»

2 - 8 июля 2018 года

Йошкар-Ола  
2018

УДК 001.895:(53+57+316+61)  
ББК 26.8  
М 341

### Программный комитет

#### Председатель

**И.И. Попов – д.ф.-м.н., профессор, Президент АНО ПНР МАНИ**

#### Сопредседатели:

Иванов Д.В. – член. корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор, проректор по науке ПГТУ.  
В.В. Самарцев – академик РАЕН д.ф.-м.н., профессор, КФТИ КазНЦ РАН  
Козлов В.А. – чл. корр. РАЕ, д.б.н., к.мед.н., профессор ФГБОУ ВО ЧГУ им. И.Н. Ульянова.  
Каримуллин К.Р. – к.ф.-м.н., ученый секретарь

#### Члены программного комитета:

В.С. Абрамов (Украина, Донецк)	С.П. Котова (Россия, Самара)
А.А. Баев (Россия, Йошкар-Ола)	А.Н. Леухин (Россия, Йошкар-Ола)
Ю.В. Банный (Россия, Москва)	С.А. Моисеев (Россия, Казань)
А.У. Баходуров (Таджикистан, Худжанд)	А.В. Наумов (Россия, Москва – Троицк)
Е.А. Виноградов (Россия, Москва-Троицк, чл. корр. РАН)	В.Г. Наводнов (Россия, Йошкар-Ола)
А.Г. Витухновский (Россия, Москва)	Д.В. Николаев (Россия, Москва)
В.В. Воронин (Россия, Москва)	А.А. Роженцов (Россия, Москва-Троицк)
Т.С. Гильмутдинов (Россия, Йошкар-Ола)	Р.Ф. Полищук (Россия, Москва)
В.А. Голенищев-Кутузов (Россия, Казань)	М.Х. Салахов (Россия, Казань, академик АНТ)
А.В. Голенищев-Кутузов (Россия, Казань)	К.М. Салихов (Россия, Казань, академик РАН)
С.В. Еремеев (Россия, Москва)	Н.И. Сушенцов (Россия, Йошкар-Ола)
А.А. Калачев (Россия, Казань)	А.Л. Степанов (Россия, Казань)
Д.И. Камалова (Россия, Казань)	А.И. Фишман (Россия, Казань)
М.М. Каюмов (Таджикистан)	С.В. Чекалин (Россия, Москва-Троицк)
В.О. Компанец (Россия, Москва)	Д.А. Чубич (Россия, Москва)

### Организационный комитет

#### Председатель

**И.И. Попов – д.ф.-м.н., профессор каф. КиПР, ФГБОУ ВО ПГТУ**

#### Сопредседатели:

А.А. Калачев – директор КазФТИ КНЦ РАН  
Д.В. Иванов – проректор по НР и ИД ФГБОУ ВО ПГТУ  
Козлов В.А. – чл. корр. РАЕ, д.б.н., к.мед.н., профессор ФГБОУ ВО ЧГУ, ученый секретарь

#### Члены оргкомитета:

Ю.С. Андрианов (Йошкар-Ола)	О.Л. Курандина (Йошкар-Ола)
А.А. Баев (Йошкар-Ола)	А.М. Маслеников (Йошкар-Ола)
А.У. Баходуров (Туркменистан, Худжанд)	А.В. Мороз (Россия, Йошкар-Ола)
Е.И. Гладышева (Йошкар-Ола)	М.В. Пирогов (Йошкар-Ола)
А.А. Гладышева (Йошкар-Ола)	А.А. Роженцов (Йошкар-Ола)
Е.А. Гладышева (Йошкар-Ола)	В.Т. Сидорова (Йошкар-Ола)
А.Н. Дедов (Йошкар-Ола)	Н.И. Сушенцов (Йошкар-Ола)
К.Р. Каримуллин (Троицк-Москва)	С.А. Туйкин (Москва)
М.М. Каюмов (Таджикистан)	Д.Е. Шашин (Россия, Йошкар-Ола)

#### Председатель локального организационного комитета:

Гладышева Елена Ивановна,  
E-mail: e.glad76@mail.ru, тел. +7 962 588 02 50

#### Заместитель Председателя локального организационного комитета:

**Маслеников Антон Владимирович**  
E-mail: stratum\_@mail.ru, тел. +7 917 713 92 91

М341 Материалы Тринадцатой международной научной школы «Наука и инновации-2018» ISS «SI-2018» / Редакционная коллегия: проф. И. И. Попов; чл.-корр. РАЕ, проф. В. А. Козлов; акад. РАЕН, проф. В. В. Самарцев. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. – 222 с.

**ISBN 978-5-8158-2012-8**

В данный сборник вошли лекционные заметки и статьи приглашенных лекторов по актуальным научным проблемам, сообщения докладчиков по инновационно-ориентированным НИР

[https://old.volgatech.net/news/news-of-the-university/77403/?sphrase\\_id=106257](https://old.volgatech.net/news/news-of-the-university/77403/?sphrase_id=106257)

**ISBN 978-5-8158-2012-8**

© ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Попов И.И. ИТОГИ РАБОТЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ «НАУКА И ИННОВАЦИИ»	5
<b>II НАНООПТИКА, ФОТОНИКА И КОГЕРЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ</b>	
2. Виноградов Е.А., Компанец О.Н. О СПЕКТРАХ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПЛАНАРНЫХ СТРУКТУР	11
3. Самарцев В.В., Камалова Д.И., Митрофанова Т.Г. ЭКСИТОН-ЭХО И ЭКСИТОННАЯ КОГЕРЕНТНОСТЬ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧКАХ	20
4. Абрамов В.С. СВЕРХИЗЛУЧЕНИЕ В АНИЗОТРОПНЫХ МОДЕЛЯХ ФРАКТАЛЬНЫХ КОСМОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	27
5. Аржанов А.И., Каримуллин К.Р., Наумов А.В., Старухин А.С. ФОТОННОЕ ЭХО В ПОЛИМЕРЕ, ДОПИРОВАННОМ МОЛЕКУЛАМИ МЕТАЛЛО-ПОРФИРИНА	40
<b>III ФИЗИКА-МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ-ТЕХНОЛОГИИ-ОБОРУДОВАНИЕ</b>	
6. Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Иванов Д.А., Марданов Г.Д., Семенников А.В. ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ВЫСОКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ	43
7. Никитин Д.А., Беляев Р.В., Попов И.И. ПОЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ZnO, Si(P) И Si(B) ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ НА ФОТОННОМ ЭХЕ	48
8. Никитин Д.А., Мусанов А.Н., Попов И.И. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОННОГО ЭХА НА ТРИОННЫХ СОСТОЯНИЯХ В ТОНКИХ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ	51
9. Никитин Д.А., Попов И.И. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ И ПОСТРОЕНИЕ НА НАВЕДЕННЫХ В НЕЙ НАНОФОТОННЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ИЗМЕРИТЕЛЯ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ	55
10. Орлов А.И., Савельев А.А., Волков С.В. ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ВНЕДРЕНИЯ УСТРОЙСТВ ВЫРАВНИВАНИЯ НАГРУЗКИ	64
11. Сидорова В.Т., Рокина Е.Г. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧЕК ЭФФЕКТИВНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ВОЗДУШНЫХ СЕТЯХ 0,4 КВ	69
12. Сипатдинов А.М., Семикин А.Д., Мороз А.В. МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ИЗНОСА ПОКРЫТИЙ И УСТАНОВКА ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ	73
13. Тришина Е.В., Шашин Д.Е., Сушенцов Н.И. КОНСТРУИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ	76
<b>IV ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ</b>	
14. Полищук Р.Ф. О МЕСТЕ ЧЕЛОВЕКА В КОСМОСЕ	79
<b>V СКРИНИНГОВАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗДОРОВЬЯ</b>	
15. Щелькалина С.П., Николаев Д.В., Китаева Э.Р., Молькова А.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ 20-МИНУТНОЙ ДИНАМИКИ КРОВЕНАПОЛНЕНИЯ ИКРОНОЖНОЙ МЫШЦЫ ШКОЛЬНИКОВ ПОСЛЕ УПРАЖНЕНИЯ «ПОДЪЕМ НА НОСКЕ»	91
16. Щелькалина С.П., Николаев Д.В., Колесников В.А., Туйкин С.А., Старунова О.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ДЛЯ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ И БИОИМПЕДАНСНЫХ РАСЧЕТОВ ЗНАЧЕНИЙ ОСНОВНОГО ОБМЕНА	101

**ФИЗИКА-МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ-ТЕХНОЛОГИИ-ОБОРУДОВАНИЕ****ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ МЕТОД  
РЕГИСТРАЦИИ ВЫСОКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

**А.В. Голенищев-Кутузов, В.А. Голенищев-Кутузов, Д.А. Иванов,  
Г.Д. Марданов, А.В. Семенников**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»,  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51,  
e-mail: samrosebe@gmail.com*

Описан дистанционный бесконтактный метод регистрации электрических полей высокой напряженности промышленной частоты, а также их пространственной ориентации. Метод основан на применении электрооптического эффекта. В качестве датчика использован фотонный кристалл. Метод позволяет повысить точность дистанционного измерения напряженности градиентов электрических полей (до 10 кВ/см) на высоковольтной изоляции.

**Ключевые слова:** дистанционная диагностика, частичные разряды, высоковольтные изоляторы, фотонный кристалл, дефекты изоляции.

A remote non-contact method for recording electric fields of high intensity of the industrial frequency and their spatial orientation is described. The method is based on the use of an electro-optical effect. The sensor is a photonic crystal. The method makes it possible to improve the accuracy of remote measurement of the intensity of electric field gradients (up to 10 kV/cm) on high-voltage insulation.

**Key words:** remote diagnostics, partial discharges, high-voltage insulators, photonic crystal, insulation defects.

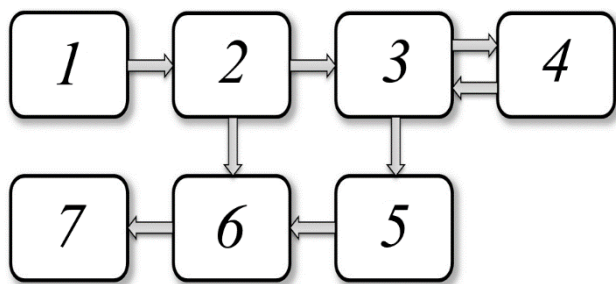
**1. Введение.** В настоящее время в условиях активно развивающейся электроэнергетической отрасли становится все более актуальной проблема регистрации электрических полей промышленной частоты (50-60 Гц), являющихся частью сверхнизкочастотного диапазона радиочастотного спектра, наиболее распространенной как в производственных условиях, так и в быту. На производстве эти поля генерируются таким оборудованием, как линии электропередачи, открытые распределительные устройства, токопроводы, различные высоковольтные аппараты, трансформаторы, высоковольтные вводы, устройства защиты и автоматики, сборные соединительные шины, коммутаторы и т. д. Все эти устройства оказывают сильное негативное влияние не только на электронную технику, но, самое главное, – и на окружающих людей. Воздействие на организм человека может приводить к нарушениям в работе нервной и сердечно-сосудистой систем, к изменениям в составе крови. Степень воздействия в первую очередь зависит от интенсивности и продолжительности излучения. Длительные воздействия приводят к патологиям различных органов. В соответствии с санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами [1,2], предельно допустимый уровень напряженности поля на рабочих местах обслуживающего персонала при воздействии в течение 1 ч за смену – 60 кВ/м.

Начиная с конца XX века, стал постепенно изменяться взгляд на диагностику рабочего состояния высоковольтного оборудования – от стендового контроля с выводом оборудования из эксплуатации к дистанционному контролю оборудования под рабочим напряжением. Однако до сих пор для реального обследования высоковольтных изоляторов предусмотрен только контактный электрический способ измерения параметров частичных разрядов, что закреплено в новых стандартах [3,4]. Согласно мировым данным по использованию дистанционных методов инспекции воздушных линий электропередачи и открытых распределительных устройств подстанций, больше чем 40 % компаний продолжают, в основном, осматривать оборудование визуально. Инфракрасная диагностика и наблюдения приборами ночного видения применяются примерно 15 % предприятий. Только несколько предприятий используют радио и ультразвуковой контроль.

**2. Цель исследования.** Таким образом, представляется крайне важной возможность бесконтактного обнаружения источников электрических полей для определения степени их влияния на окружающее пространство [5-9]. Кроме того, регистрация локальных перенапряжений в обмотках трансформаторов, в высоковольтных изоляторах и кабелях может указывать на присутствие дефектов изоляции, которые, в конце концов, становятся причиной повреждений и даже разрушений изоляционных элементов. Именно поэтому необходимо контролировать возникновение локальных перенапряжений в процессе эксплуатации высоковольтной изоляции. А это наиболее удобно осуществлять дистанционно и бесконтактно, так как в этом случае нет необходимости вывода оборудования из эксплуатации. Однако до последнего времени, несмотря на актуальность поставленной задачи, степень разработанности подобных способов контроля крайне мала. И, хотя уже существуют отдельные попытки их создания [10,11], они до сих пор не нашли широкого применения в высоковольтных системах. Недостаточная разработанность дистанционных бесконтактных методов контроля перенапряжений в высоковольтной изоляции побудила нас продолжить исследования в этом направлении. То есть целью наших изысканий стало создание способа бесконтактного дистанционного измерения электрических полей на различных видах высоковольтной изоляции, в котором устранены недостатки предыдущих разработок. Другими словами, необходима разработка комплексного метода и соответствующего ему приборного обеспечения для непрерывной бесконтактной диагностики рабочего состояния на всех этапах эксплуатации высоковольтных изоляторов, начиная с момента включения их в электрическую сеть. Результатом исследований должно стать обеспечение возможности регистрации момента возникновения преддефектного состояния за счет выявления областей с повышенной напряженностью электрического поля и измерения градиентов напряженности электрического поля в этих областях с последующим выделением дефектов.

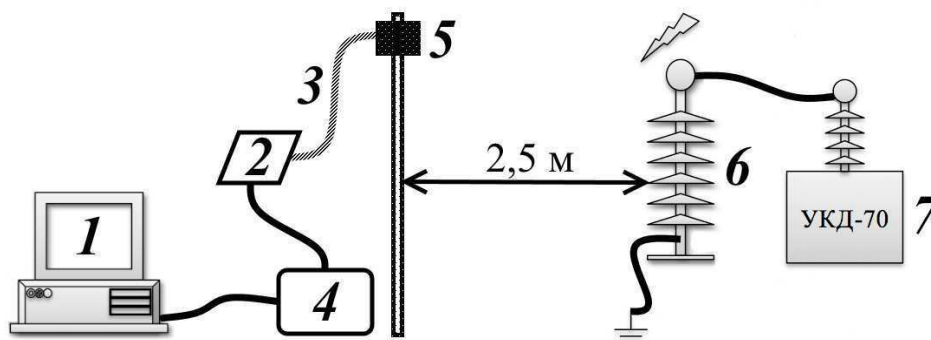
**3. Материалы и методы.** Разработанный нами способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтной изоляции [12] заключается в следующем. По изменению коэффициента отражения лазерного пучка от электрооптического датчика контроля напряженности электрического поля определяются локальные области с повышенной напряженностью этого поля (изменение коэффициента отражения пропорционально напряженности электрического поля). Также с помощью электрооптического датчика производится измерение градиентов электрического поля. Датчик предварительно градуируют в калиброванном переменном электрическом поле.

Блок-схема разработанного устройства бесконтактной дистанционной диагностики высоковольтных изоляторов представлена на рисунке 1. Устройство состоит из последовательно соединенных лазерного излучателя (1), поляризационного дискриминатора (2), волоконного световода (3) [13], фотоприемника (5), узкополосного усилителя и компаратора (6), персонального компьютера (или ноутбука) (7), а также электрооптического датчика (4), соединенного с волоконным световодом (3) и фотоприемником (5). Главный измерительный элемент устройства – электрооптический датчик (4) имеет возможность размещения непосредственно в высоком переменном электрическом поле и выполнен без использования металлических элементов. Волоконный световод также защищен от воздействия электрического поля. Электрооптический датчик (4) представляет собой не что иное, как сегнетоэлектрический кристалл, на поверхности которого сформирована периодическая доменная структура (ПДС). Для повышения чувствительности и разрешающей способности при локализации градиентов напряженности поля используются резонансные свойства ПДС для данной длины волны лазерного излучателя (1) [14]. В ходе экспериментальных измерений для всех диагностируемых высоковольтных изоляторов определяют средние значения напряженности переменных электрических полей, соответствующие рабочему высокому напряжению. Также определяют предельные границы градиентов напряженности электрических полей, при которых еще не происходит электрической пробой или перекрытие изоляторов.



**Рис. 1.** Блок-схема устройства: 1 – лазерный излучатель, 2 – поляризационный дискриминатор, 3 – волоконный световод, 4 – электрооптический датчик, 5 – фотоприемник, 6 – узкополосный усилитель и компаратор, 7 – персональный компьютер.

Для сканирования поверхности высоковольтных изоляторов электрооптический датчик (4) размещают на диэлектрической штанге и соединяют через поляризационный дискриминатор (2) и волоконный световод (3) с лазерным излучателем (1), а также с фотоприемником (5). Датчик приближают к изолятору и проводят сканирование поверхности. Оператор при этом находится на безопасном расстоянии от высоковольтного изолятора и касается только диэлектрической штанги. Полученные данные регистрируются с помощью специально разработанного программного обеспечения, которое записывает пространственное положение электрооптического датчика относительно поверхности изолятора и соответствующую данной точке напряженность электрического поля. Также компьютерная программа производит измерение нормальных и тангенциальных компонент градиентов напряженности электрического поля. Далее пространственное распределение повышенных, нормальных и тангенциальных к поверхности градиентов напряженности электрического поля сравнивается с ранее сохраненными эталонными значениями напряженности для полностью исправного высоковольтного изолятора. Общая схема измерений градиентов электрического поля представлена на рисунке 2.



**Рис. 2.** Общая схема измерений градиентов электрического поля: 1 – персональный компьютер, 2 – лазерный излучатель и поляризационный дискриминатор, 3 – волоконный световод, 4 – блок управления, включающий фотоприемник и узкополосный усилитель с компаратором, 5 – электрооптический датчик, размещенный на диэлектрической штанге, 6 – высоковольтный изолятор, 7 – установка для испытания диэлектриков УКД-70.

**4. Результаты исследования и их обсуждение.** Физический принцип работы электрооптического датчика основан на эффекте изменения показателя преломления лазерного пучка, проходящего через периодическую доменную структуру, находящуюся в электрическом поле с напряженностью  $E$ . Этот эффект носит название «линейный электрооптический эффект» или «эффект Погкельса». Условие максимального отражения (или прохождения) лазерной волны с длиной  $\lambda_0$  от ПДС выполняется при равенстве:

$$\lambda_0 = 2nD \text{ (отраж.),} \tag{1}$$

$$\lambda = (2n + 1)D \text{ (прелом.),} \tag{2}$$

где  $n$  – показатель преломления,  $D$  – период ПДС.

Сдвиг резонансной частоты ПДС соответствует изменению резонансной длины волны:

$$\lambda_m = (\lambda_0 - \lambda_E) = n^3 rDE, \tag{3}$$

где  $r$  – электрооптический коэффициент,  $\lambda_E$  – длина волны в приложенном электрическом поле.

Таким образом, максимальный коэффициент отражения  $R$  лазерной волны от ПДС, убывает с увеличением резонансной длины волны.

Изменение коэффициента отражения  $R$  можно представить в виде:

$$\Delta R = (dR/dE)E. \tag{4}$$

Из этого выражения следует:

$$E = \lambda_m(n^3 r D)^{-1}, \tag{5}$$

а значит

$$dR/dE = (dR/d\lambda_m)n^3 r D. \tag{6}$$

Для наглядности на рисунке 3 представлен график зависимости значения коэффициента отражения  $R$  от изменения резонансной длины волны. Если длину волны лазерного излучения  $\lambda_m$  настроить на середину склона спектральной кривой отражения, соответствующей значению  $R_{\max}/2$ , то переменное электрическое поле будет создавать соответствующее изменение коэффициента отражения ( $\Delta R$ ). Использование практически линейного отрезка  $dR/d\lambda_m$  позволяет в линейном масштабе определять значения поля  $E$ .

Используя предложенный метод дистанционного бесконтактного измерения напряженности электрического поля, нами была выполнена диагностика состояния группы реальных высоковольтных полимерных изоляторов ЛК70/35. Эксперименты проводились на стенде кафедры «Промышленная электроника и светотехника» Казанского государственного энергетического университета. Состояние изоляторов проверялось путем сканирования электрооптическим датчиком вдоль стержня изолятора на расстоянии 2,5 м.

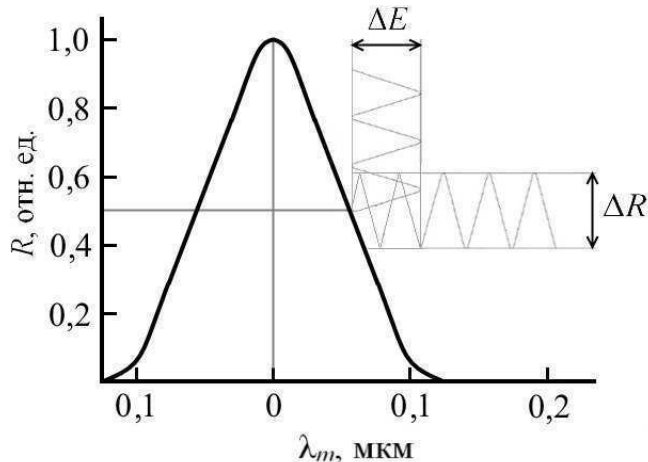


Рис. 3. Зависимость значения коэффициента отражения  $R$  от изменения резонансной длины волны.

В ходе экспериментов были выявлены несколько дефектных изоляторов с поврежденным контактом стержень-электрод, а также ряд изоляторов, находящихся в преддефектном состоянии. На рисунке 4 приведено распределение напряженности электрического поля вдоль образца для дефектного ( $a$ ) и бездефектного ( $b$ ) полимерных изоляторов типа ЛК70/35. Небольшое увеличение  $E$  вблизи оконцевателей обоих образцов можно объяснить

отсутствием специальных экранов для выравнивания поля по всей длине.

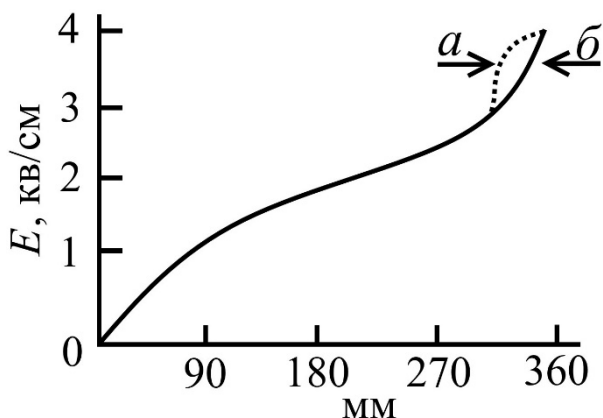


Рис. 4. Распределение напряженности поля между оконцевателями дефектного ( $a$ ) и бездефектного ( $b$ ) изоляторов. Изменение поля на дефекте изображено пунктиром.

**5. Выводы.** Таким образом, можно утверждать, что представленный способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных изоляторов, основанный на использовании фотонного кристалла в качестве электрооптического датчика, позволяет определять момент возникновения преддефектного состояния изоляторов за счет выявления областей с повышенной напряженностью электрического поля. Измерение градиентов напряженности электрического поля в этих областях позволяет определять возможное место образования дефектов в процессе эксплуатации. Полученные в ходе экспериментальных исследований результаты подтверждают возможность промышленной применимости предложенного способа бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных изоляторов.

**Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №18-08-00203.**

### Список литературы

- [1] СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях». М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003.
- [2] ГОСТ 12.1.045–84. Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. М.: Стандартинформ, 2006.
- [3] ГОСТ Р 55191–2012. Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов. М.: Стандартинформ, 2014.
- [4] Международный стандарт ИЕС–1.2010. Методы испытаний высоким напряжением. М.: Стандартинформ, 2010.
- [5] Вершинин Ю.Н. Электронно-тепловые и детонационные процессы при электрическом пробое твердых диэлектриков. Екатеринбург: ИЭФ РАН, 2000. – 260 с.
- [6] Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. Москва: Энергоатомиздат, 1992. – 239 с.
- [7] Багаутдинов И.З., Мисбахов Р.Ш., Лизунов И.Н., Фунт А.Н. // Интеллектуальные энергосистемы (труды IV Международного молодежного форума). – 2016. – Т. 1. – С. 86-89.
- [8] Ушаков В.Я. Изоляция установок высокого напряжения. Москва: Энергоатомиздат, 2008.
- [9] Слуцкер А.И., Поликарпов Ю.И., Гиляров В.Л. // Техническая физика. – 2006. – Т. 76, №12. – С. 52.
- [10] Runde D., Brunken S., Ruter C., Kip D. // Appl. Phys. B. – 2007. – V. 86, №1. – P. 91-95.
- [11] Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Калимуллин Р.И. Фотонные и фотонные кристаллы. Москва: Физматлит, 2010, 158 с.
- [12] Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Марданов Г.Д., Хуснутдинов Р.А. Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных изоляторов // Патент № 2597962.РФ. 2016.
- [13] Васев А.Н., Лизунов И.Н., Ермеев Р.И., Мисбахов Р.Ш. // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов (труды XVI Международной научно-практической конференции). – 2016. – Т. 2. – С. 221-224.
- [14] Golenishchev-Kutuzov A.V., Golenishchev-Kutuzov V.A., Kalimullin R.I., Mardanov G.D., Potarov A.A. // Ferroelectrics. – 2012. – V. 441, №1. – P. 25-29.





Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации и Республики Татарстан, доктор физико-математических наук, профессор  
**ВАДИМ АЛЕКСЕЕВИЧ ГОЛЕНИЩЕВ-КУТУЗОВ**

## ЛАУРЕАТ КОНКУРСА

### «ОРИГИНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ – 2018»

За разработку новой методологии диагностики рабочего состояния высоковольтной изоляции, в основу которой положен дистанционный способ измерения электрических полей вокруг изоляторов.

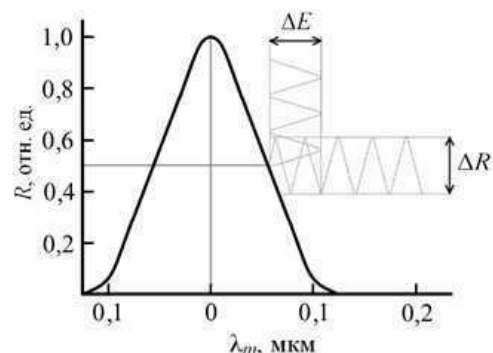
Разработан дистанционный бесконтактный метод и устройство регистрации электрических полей высокой напряженности промышленной частоты, а также их пространственной ориентации. Метод основан на применении электрооптического эффекта. В качестве регистрирующего элемента использован фотонный кристалл (электрооптический датчик на периодической доменной структуре с добротностью  $\geq 10^4$ ), который определяет изменения градиента поля

на дефекте с точностью до 1-3 %. Метод позволяет контролировать состояние высоковольтных изоляторов на линиях электропередачи и в распределительных устройствах и определять появления или усиления электрических разрядов за счет выявления областей с повышенной напряженностью электрического поля. Измерение градиентов напряженности электрического поля в этих областях позволяет определять возможное место образования дефектов в процессе эксплуатации.

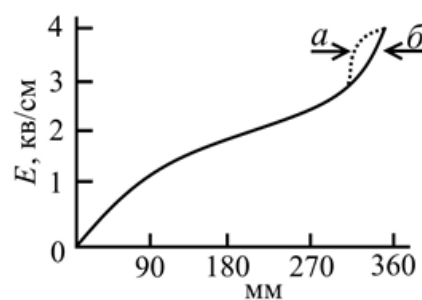
Три этапа диагностики дефектов в высоковольтных изоляторах:

1. Обнаружение локальных областей с повышенными градиентами электрических полей.
2. Измерение и компьютерный анализ характеристик частичных разрядов в различных частотных интервалах.
3. Определение вида и места расположения дефектов, степень их влияния на состояние изолятора.

Применение данной методики позволяет повысить точность дистанционного измерения напряженности градиентов электрических полей (до 10 кВ/см) на высоковольтной изоляции. Полученные в ходе экспериментов результаты подтверждают возможность промышленной применимости предложенной методики.



Зависимость значения коэффициента отражения  $R$  от изменения резонансной длины волны лазерного излучения.



Распределение напряженности поля между оконцевателями дефектного (а) и бездефектного (б) изоляторов. Изменение поля на дефекте изображено пунктиром.