

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕНТГЕНОГРАФИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

АВТОРЫ:

Л.А. ДАРЬЯН,  
Д.Т.Н.,  
АО «ТЕХНИЧЕСКАЯ  
ИНСПЕКЦИЯ ЕЭС»

Р.М. ОБРАЗЦОВ,  
К.Т.Н.,  
АО «ТЕХНИЧЕСКАЯ  
ИНСПЕКЦИЯ ЕЭС»

**Р**ентгенографический метод неразрушающего контроля применяется во многих отраслях промышленности и признан одним из эффективных методов контроля. С помощью рентгенографии возможно контролировать техническое состояние

внутренних элементов сложного электротехнического оборудования без его разборки. Это обстоятельство позволяет проводить контроль технического состояния не только на заводе-изготовителе, но и на месте установки после монтажа, а также в процессе эксплуатации оборудования.

**Ключевые слова:** технический уровень; рентгенография; высоковольтное оборудование; патентные исследования; изобретательская активность.

## ВВЕДЕНИЕ

За последние 10 лет в технической литературе появилось много публикаций о применении рентгенографического метода контроля технического состояния высоковольтного оборудования (ВВО), элементов линий электропередачи, а также приборов коммерческого учета потребления электроэнергии [1–7]. При этом некоторые зарубежные компании уже применяют рентгенографию при комплексном обследовании подстанционного оборудования, в частности для контроля технического состояния элегазовых выключателей и КРУЭ [5, 8–11]. Следует отметить, что исследователи и специалисты используют источники и приемники рентгеновского излучения различных конструкций. Кроме того, это направление активно развивается за счет патентования специализированных рентгенографических комплексов

и систем, содержащих не только источник и приемник рентгеновского излучения, но и вспомогательные элементы, например устройства позиционирования [12, 13], средства наведения и автоматизированной установки источника и приемника излучения на обследуемую область объекта [14, 15], а также компьютерные программы для обработки рентгенограмм [16–19].

В Российской Федерации в настоящее время тоже ведутся работы в области создания комплекса для рентгенографии ВВО [19, 20]. В связи с этим представляет интерес проведение исследований патентных документов для оценки технического уровня отечественной разработки. Технический уровень определяет степень реализации на исследуемом объекте наиболее прогрессивных технических решений, обеспечивающих достижение его оптимальных пока-

зателей, параметров или характеристик [21].

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящего исследования является оценка достигнутого в мире технического уровня рентгенографических комплексов или систем, которые могут быть применены для контроля технического состояния ВВО, и тенденции их развития.

Поставленная цель достигнута путем исследований патентных документов (т.е. описаний к патентам и заявкам на объекты промышленной собственности), в рамках которых нами решены следующие задачи:

- определена динамика патентования;

## ДИНАМИКА ПАТЕНТОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ РЕНТГЕНОГРАФИИ ВВО ПО ГОДАМ ПУБЛИКАЦИИ

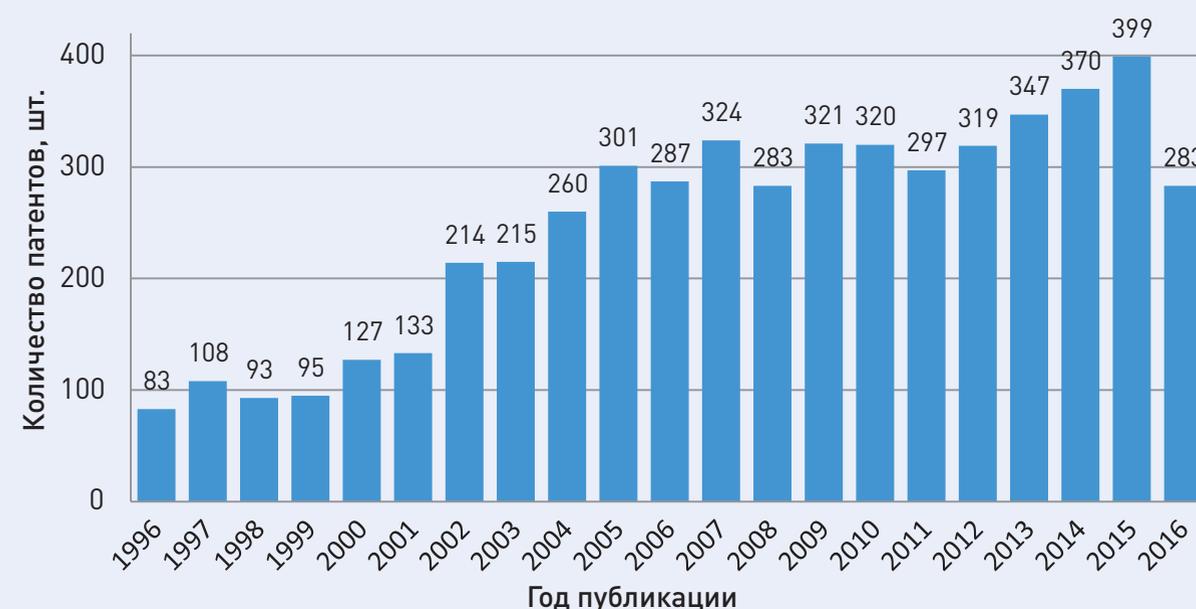


Рис. 1



Рентгенография высоковольтного выключателя на подстанции 110 кВ

## ДИНАМИКА ПАТЕНТОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ РЕНТГЕНОГРАФИИ ВВО ПО СТРАНАМ



Рис. 2

- выявлены страны, в которых наиболее активно патентуются технические решения в области рентгенографии ВВО;
- выполнена оценка технического уровня патентуемых технических решений;
- определены тенденции развития приборно-аналитического обеспечения для рентгенографии ВВО.

тентных документов, зарегистрированных за конкретный промежуток времени.

Патентный поиск выполнен по источникам и приемникам рентгеновского излучения, устройствам для их позиционирования, рентгенографическим комплексам и системам, а также способам реализации рентгенографического метода, которые могут быть применимы для контроля технического состояния ВВО, за 20-летний период (1996–2016 гг.). В процессе поиска, отбора и анализа результатов особое внимание уделено следующим странам: Россия, США, Канада, Великобритания, Германия, Италия, Франция, Швеция, Китай, Япония, Республика Корея. Поиск патентных документов выполнен с использованием базы данных Questel по различным запросам,

относящимся к исследованию и анализу материалов радиационными методами. Отметим, что Questel — это крупнейший в мире патентный фонд, содержащий свыше 60 млн документов 95 стран и международных патентных ведомств [22].

По поисковым запросам было выявлено и в дальнейшем обработано 3830 патентных документов, результаты статистической обработки которых представлены на рис. 1–3.

Как видно из рис. 1, на протяжении 20 лет наблюдалась устойчивая тенденция к росту количества запатентованных технических решений в области рентгенографии ВВО. Из этих данных можно также определить, на каком этапе развития находятся технические решения в области рентгенографии ВВО в конкретное время. Как известно,

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ ПАТЕНТОВАНИЯ

Под динамикой патентования понимается изменение активности изобретательской деятельности в исследуемой области техники, определяемое как количество па-

развитие объектов техники происходит в два этапа [23]:

1. рост количества решений, относящихся к совершенствованию объекта;
2. насыщение (стабилизация) количества решений.

Не принимая во внимание сведения за 2016 г. (год, которым ограничен период патентного поиска), можно сделать вывод, что и сегодня приборно-аналитическое обеспечение рентгенографического контроля технического состояния ВВО находится на первом этапе развития. Из этого следует, что разработки в этой области являются перспективными, и, следовательно, направление

рентгенографии ВВО развивается и востребовано.

## ВЫЯВЛЕНИЕ СТРАН, В КОТОРЫХ НАИБОЛЕЕ АКТИВНО ПАТЕНТУЮТСЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ РЕНТГЕНОГРАФИИ ВВО

Распределение патентных документов по странам, в которых они были

опубликованы, представленное на рис. 2 и 3, показывает, что лидирующее положение в области технических решений по рентгенографическому контролю технического состояния ВВО занимает Япония, на втором месте США, а на третьем — Китай. Также выявлено достаточно большое количество европейских (EP) и международных заявок (WO) PCT (Patent Cooperation Treaty), поданных в рамках Договора о патентной кооперации. Наша страна находится примерно в середине перечня стран по активности патентования. Для российских разработчиков это означает, что сейчас существуют благоприятные условия для подачи национальных патентных заявок (т.е. заявок на патенты

## АКТИВНОСТЬ ПАТЕНТОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ РЕНТГЕНОГРАФИИ ВВО ПО СТРАНАМ И ГОДАМ ПУБЛИКАЦИИ

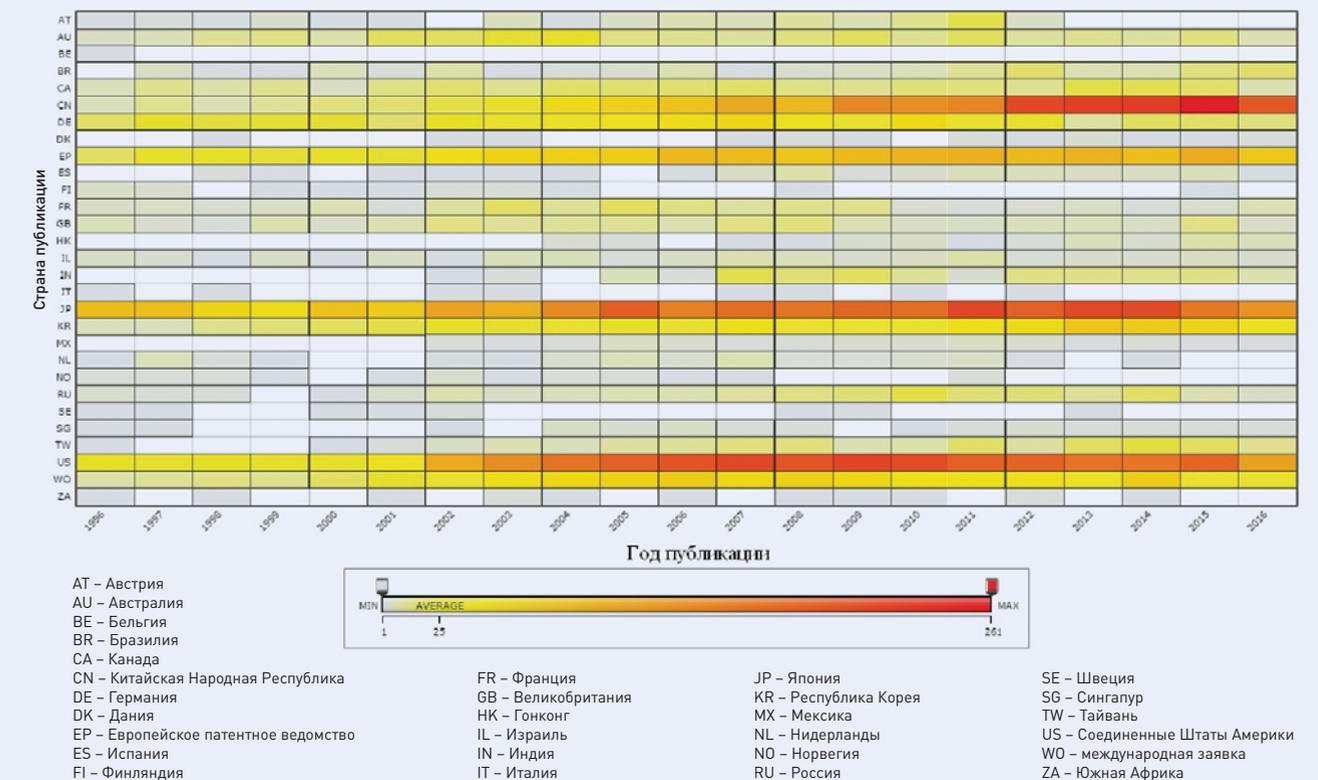


Рис. 3

ДФ), так как технические решения в них могут быть основаны на достижениях стран — лидеров по патентованию в области рентгенографии оборудования. Однако уже запатентованных решений в Российской Федерации пока немного.

По данным рис. 3 можно выделить следующие максимумы активности патентования во времени по странам:

- США и Япония — с 2002 по 2015 гг.;
- Китай — с 2012 г. по настоящее время;
- Россия — с 2010 по 2014 гг.

## ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКАЯ АКТИВНОСТЬ В СТРАНАХ, НАИБОЛЕЕ АКТИВНО ПАТЕНТУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ РЕНТГЕНОГРАФИИ ВВО

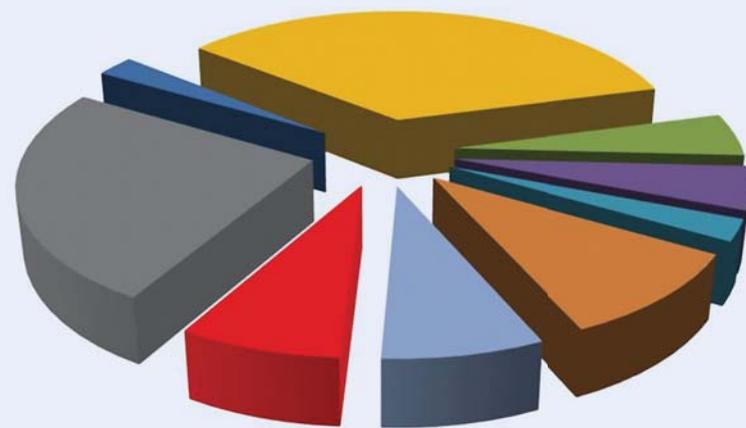


Рис. 4

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПАТЕНТУЕМЫХ РЕШЕНИЙ

Сужение области поиска применительно к первоначальному массиву патентных документов, относящихся к выявлению дефектов рентгеновским методом, позволило нам отобрать релевантные технические решения в области рентгенографии ВВО. Для этого мы применили к изначальному поисковому запросу дополнительный фильтр в виде

набора соответствующих ключевых слов. Основная часть релевантных технических решений приходится на страны — лидеры по изобретательской активности — Китай, США и Японию (рис. 4). Таким образом, для дальнейшего анализа с целью оценки современного технического уровня и определения тенденций развития технических решений для рентгенографии ВВО было выбрано 40 релевантных патентных документов, сгруппированных следующим образом:

- 17 патентов на изобретение;
- 6 патентов на полезную модель;
- 17 заявок на изобретение.

Отобранные патентные документы можно объединить по объекту патентования в четыре группы, которые охватывают как приборную, так и аналитическую составляющие обеспечения рентгенографии ВВО:

1. системы (комплексы) для неразрушающего контроля технического состояния оборудования;
2. источники рентгеновского излучения для неразрушающего контроля технического состояния оборудования;
3. способы выявления внутренних дефектов оборудования;
4. способы обработки рентгенограмм для улучшения визуализации дефектов оборудования.

Исходя из назначения исследуемых нами технических решений, для контроля технического состояния широкого перечня ВВО в эксплуатации они должны быть эргономичными, мобильными и соответствовать определенным техническим требованиям, связанным со спецификой их эксплуатации на электроэнергетических объектах. Для обеспечения возможности выполнения рентгенографии различных видов ВВО на месте его установки и минимизации при этом продолжительности проведения об-

следования рентгеновский аппарат должен генерировать излучение с проникающей способностью, определяемой конструкцией обследуемого оборудования и применяемыми для его изготовления материалами. Экспертная оценка показала, что, например, для маломасляных выключателей марки ВМТ-110 проникающая способность рентгеновского излучения должна составлять не менее 40 мм в Fe-эквиваленте. Это требование обеспечивается, как правило, аппаратами постоянного действия с высоким анодным напряжением на рентгеновской трубке (более 300 кВ). Учитывая, что завершаться рентгенографическое обследование ВВО должно формированием заключения о его техническом состоянии, техническое решение должно содержать в том числе и средства визуализации дефекта и (или) внутренней структуры оборудования с возможностью обработки рентгенограммы в цифровом формате. На основании задач, которые должны решаться рентгенографией ВВО, нами предложен перечень показателей технического уровня, на соответствие которым следует провести анализ релевантных патентных документов.

Ключевыми показателями технического уровня являются:

- возможность выявления дефектов оборудования;
- возможность рентгенографического контроля технического состояния маслonaполненного ВВО;
- мобильность рентгенографической системы (комплекса);
- наличие системы позиционирования в составе рентгенографической системы (комплекса);
- возможность обработки рентгенограммы в цифровом формате для улучшения визуализации дефекта и (или) внутренней структуры оборудования;
- рентгеновский аппарат по-

стоянного действия в составе рентгенографической системы (комплекса).

Сорок релевантных патентных документов распределены нами по содержащимся в них показателям технического уровня объекта техники, перечень которых представлен выше. Результаты такого распределения, показанные на рис. 5, свидетельствуют о том, что существуют технические решения, которые удовлетворяют всем установленным нами показателям технического уровня. Однако это не означает, что хотя бы одно техническое решение удовлетворяет сразу всем показателям.

Например, в соответствии с данными на диаграмме (см. рис. 5) в 5 из 40 запатентованных технических решений применяется рентгеновский аппарат постоянного действия, а в 18 технических решениях есть возможность обработки рентгенограммы в цифровом формате для улучшения визуализации дефекта и (или) внутренней структуры оборудования.

Детальный анализ релевантных патентных документов не позволил выявить ни одного технического решения, удовлетворяющего одновременно всем установленным нами показателям технического уровня. При этом только два технических решения из 40 удовлетворяют максимально четырем показателям технического уровня из шести. Из этого анализа следует, что в настоящее время является актуальным создание мобильных технических решений по рентгенографическому контролю, позволяющих обследовать более широкий перечень ВВО в условиях электрических станций и подстанций. При этом следует отметить, что особое внимание необходимо обратить также на разработку средств и методов повышения информативности рентгеновских

### ИНФОРМАЦИЯ

**Рентгеноструктурный анализ** (рентгенодифракционный анализ) — один из дифракционных методов исследования структуры вещества. В основе метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей на трехмерной кристаллической решетке. Явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллах открыл Лауэ, теоретическое обоснование явлению дали Вульф и Брэгг (условие Вульфа — Брэгга). Метод позволяет определять атомную структуру вещества, включающую в себя пространственную группу элементарной ячейки, ее размеры и форму, а также определить группу симметрии кристалла. Рентгеноструктурный анализ является самым распространенным методом определения структуры вещества.

снимков (выявление большего числа видов дефектов оборудования), например за счет обработки рентгенограмм в цифровом формате.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ПРИБОРНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕНТГЕНОГРАФИИ ВВО

На основе подсчета количества технических решений (см. рис. 5), удовлетворяющих установленным нами показателям технического

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЛЕВАНТНЫХ ПАТЕНТНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ



Рис. 5

уровня, можно провести ранжирование патентных документов по их значимости. Очевидно, что чем чаще улучшение какого-либо показателя технического уровня являлось предметом патентования, тем большую значимость этот показатель имеет для практического применения того или иного изделия. Анализ данных на рис. 5 показывает, что к показателям технического уровня, которым наиболее часто удовлетворяют анализируемые технические решения, относятся «выявление дефектов оборудования (неоднородностей в структуре)» (18 патентных документов из 40) и «возможность обработки рентгенограмм в цифровом формате» (25 патентных документов из 40). При этом таким показателям технического уровня рентгенографической системы (комплекса), как «пригодность для рентгенографического контроля маслонаполненного ВВО» и «применение рентгеновского аппарата постоянного действия», удовлет-

воряют всего соответственно 5 и 6 патентных документов из 40. Таким образом, на основании полученных результатов исследования можно сделать вывод о необходимости использования имеющихся работ в области выявления дефектов оборудования и обработки рентгенограмм в цифровом формате для разработки и патентования технических решений для рентгенографии маслонаполненного ВВО с использованием рентгеновских аппаратов постоянного действия.

Интересно отметить, что проводимые в настоящее время в России работы по рентгенографии направлены на создание специализированного рентгенографического комплекса, который способен обеспечить контроль технического состояния внутренних элементов высоковольтного маслонаполненного оборудования на месте его установки без слива масла, демонстрация и разбора [20]. Созданный рентгенографический комплекс,

кроме источника и приемника излучения, содержит специализированную систему их позиционирования и лазерный указатель облучаемой области ВВО, а также программное обеспечение для обработки рентгенографических изображений в цифровом формате и контроля размеров внутренних элементов ВВО. Система позиционирования сконструирована таким образом, что источник и приемник излучения могут поворачиваться, например, вокруг полюса высоковольтного маломасляного выключателя на заданный угол для изменения ракурса рентгенографической съемки, а также вертикально перемещаться по направляющим вдоль полюса на заданную высоту. Технический уровень разрабатываемого комплекса соответствует мировым тенденциям развития приборно-аналитического обеспечения для рентгенографии ВВО. При этом приведенные в статье [20] результаты опытно-промышленной эксплуатации рентгенографическо-

го комплекса подтвердили соответствующий мировым тенденциям технический уровень и патентоспособность предложенного российскими разработчиками решения.

## ВЫВОДЫ

1. На основании проведенных патентных исследований, показавших положительную динамику патентования в области рентгенографии высоковольтного оборудования, можно заключить, что направление рентгенографии ВВО в настоящее время является востребованным и развивающимся.
2. Сопоставление активности стран, в которых патентуются технические решения в области рентгенографии ВВО, позволяет констатировать, что лидирующее положение занимают США, Япония и Китай. В Российской Федерации сейчас существуют благоприятные условия для создания отечественных конкурентоспособных продуктов.
3. Наиболее актуальным на сегодняшний день является направление разработки мобильных рентгенографических комплексов или систем, позволяющих обследовать широкую номенклатуру высоковольтного, в том числе маслонаполненного, оборудования на месте его эксплуатации.
4. Технический уровень разрабатываемого в России специализированного рентгенографического комплекса соответствует мировым тенденциям развития приборно-аналитического обеспечения для рентгенографии ВВО. В состав комплекса входит источник рентгеновского излучения постоянного действия и приемник, специализированное устройство позиционирования, устройство указания облучаемой области ВВО, а также компью-

терная программа для обработки и исследования рентгенограмм в цифровом формате.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дарьян Л.А., Голубев П.В., Образцов Р.М. и др. Зарубежный опыт применения рентгенографии для контроля технического состояния высоковольтного оборудования // Энергоэксперт. 2017. № 3. С. 62–66.
2. Дунь Вэй. Система рентген-изображения для диагностики прессового соединения проводов AN-1 // Материалы XXIV пленарного заседания общественного Совета специалистов по диагностике силового электрооборудования при ИТЦ «УралЭлектроИнжиниринг» и общественного Совета специалистов по диагностике электрических установок Сибири и Дальнего Востока. 2018. С. 156–164.
3. Shinohara A.H., Santana D.M.F., Oliveira P.P.J.C. Defects Detection in Electrical Insulators and Breaker for High Voltage by Low Cost Computed Radiography Systems // DIR 2007. France.
4. Digital radiography. Verify SF6 circuit breaker reliability while reducing maintenance costs. URL: <http://www.usa.siemens.com/assetservices>. 2012.
5. Radiography is the tool to save time and money on breaker maintenance! URL: [www.abb.us/hvservice](http://www.abb.us/hvservice) (accessed 13.09.2016).
6. Michaelson J. SF6 Breaker & GIS Internal Inspection Using Radiography. URL: [library.e.abb.com](http://library.e.abb.com) (accessed 08.11.2016).
7. Michaelson J., Moglestue A. Seeing through switchgear. URL: <http://www.tdworld.com/sponsored-articles/seeing-through-switchgear>.
8. X-Ray Inspection. On site — save time and money. URL: <http://hvbi.hitachi.us>. 2014 (accessed 11.12.2014).
9. Advanced Non-Intrusive Inspection Services. URL: [GEGridSolutions.com](http://GEGridSolutions.com), Grid-SER-L3-Adv\_non\_intrusive\_inspection-1600-2017\_05-EN, 2017 (accessed 24.07.2018).
10. Verify SF6 circuit breaker reliability while reducing maintenance costs. URL: [www.usa.siemens.com/assetservices](http://www.usa.siemens.com/assetservices) (accessed 22.08.2017).
11. Седойкин Е.В. Современные методы диагностики. Рентгенография // Сборник докладов Совета специалистов по диагностике электрических установок Сибири и Дальнего Востока. Коммунационная аппаратура: производство, эксплуатация, ремонт, диагностирование и продление срока службы. 2017. С. 95–99.
12. X-ray defect detector bracket of GIS (Gas-Insulated metal-enclosed Switchgear) equipment // Патент Китайской Народной Республики № 203572782 U, 30.09.2013.
13. DR and X-ray imaging plate detection bracket for gas-insulated metal-enclosed switchgear (GIS) equipment // Патент Китайской Народной Республики № 203732468 U, 19.12.2013.
14. Häupl R., Schliermann C.-G. Method and system for X-ray diagnosis of an examination object // Патент США № 7441952 B2, 31.05.2006.
15. X-ray transillumination parameter measuring device of power distribution transformer integral coil // Патент Китайской Народной Республики № 204064975 U, 08.08.2014.
16. Sugita Shinji, Masuda Masayuki, Murakami Kiyoshi. X-ray inspection apparatus and x-ray inspection method // Патент Европейского патентного ведомства № 2369329 B9, 28.09.2011.
17. X-ray product quality automatic detection device // Патент Китайской Народной Республики № 105372269 B, 02.03.2016.
18. Matsuno H. X-ray image taking apparatus and operation control program thereof // Патент США № 7130377 B2, 21.04.2005.
19. Володин А.С., Дарьян Л.А., Озеров О.В., Образцов Р.М. Программа для ЭВМ «Программное обеспечение для обработки рентгеновских изображений». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 16.05.2018 № 2018615762.
20. Дарьян Л.А., Голубев П.В., Образцов Р.М., Гончаров П.В., Котоловцев В.В., Гончаров Р.Г. Рентгенографическое обследование высоковольтных выключателей. Опыт-промышленная эксплуатация рентгенографического комплекса // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 1 (52). С. 134–141.
21. Большой юридический словарь / под ред. А.Я. Сухарева. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2006. 858 с.
22. Официальный сайт Федерального института промышленной собственности. URL: [http://www1.fips.ru/about/vptb-otdelenie-vserossiyskaya-patentno-tehnicheskaya-biblioteka/poiskovye-sistemy-i-bazy-dannykh.php?sphrase\\_id=378](http://www1.fips.ru/about/vptb-otdelenie-vserossiyskaya-patentno-tehnicheskaya-biblioteka/poiskovye-sistemy-i-bazy-dannykh.php?sphrase_id=378) (дата обращения 20.03.2019).
23. Романев В.А., Большаков С.В. Методика оценки значимости объектов интеллектуальной собственности. Тольятти: ФГБОУ ВПО Тольяттинский государственный университет, 2011. 22 с.