

УДК 537.378.016

UDC 537.378.016

**МЕТОДИКА  
ИЗУЧЕНИЯ КОНТАКТНЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ  
ЭНЕРГИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ  
ИНЖЕНЕРОВ-ЭЛЕКТРИКОВ****METHODS OF STUDYING  
CONTACT CONNECTIONS  
FOR LINKING RENEWABLE SOURCES  
OF ENERGY DURING  
TRAINING ENGINEERS-  
ELECTRICIANS**

**С. С. Нефедов,**  
*ассистент кафедры практической  
подготовки студентов БГАТУ;*

**Т. М. Ткаченко,**  
*кандидат физико.-математических  
наук, доцент, доцент кафедры практи-  
ческой подготовки студентов БГАТУ;*

**В. В. Богданович,**  
*ассистент кафедры  
практической подготовки  
студентов БГАТУ;*

**С. М. Барайшук,**  
*кандидат физико-математических,  
доцент, заведующий кафедрой практи-  
ческой подготовки студентов БГАТУ*

**S. Nefedov,**  
*assistant of the Department of practical  
training of students, BSATU;*

**T. Tkachenko,**  
*associate professor of the Department of  
practical training of students, PhD, Associate  
Professor, BSATU;*

**V. Bohdanovich,**  
*assistant of the Department  
of practical training  
of students, BSATU;*

**S. Baraishuk,**  
*head of the Department  
of practical training of students,  
PhD, Associate Professor, BSATU*

Поступила в редакцию 23.04.18.

Received on 23.04.18.

На кафедре практической подготовки агроэнергетического факультета Белорусского государственного аграрного технического университета разработана методика изучения контактных соединений и, в частности, соединений для монтажа и подключения оборудования возобновляемой энергетики. В процессе выполнения лабораторной работы студенты исследуют величины переходных сопротивлений контактов, выполненных по различным техническим схемам и из различных проводниковых материалов, изучают влияние условий эксплуатации на состояние контактных соединений. Студенты приобретают навыки подбора материалов, выбора способа монтажа контактных соединений, навыки самостоятельного использования электроизмерительного оборудования.

*Ключевые слова:* технический университет, лабораторный практикум, контактное соединение, переходное сопротивление, практико-ориентированное обучение, подготовка инженеров.

The department of practical training of the Agroenergetics faculty of the Belarusian State Agrarian Technical University has developed a methodology for studying contact connections and, in particular, connections for the installation and connection of outdoor renewable energy equipment. In the process of performing the laboratory work, students examine the values of the contact resistances of the contacts made according to various technical schemes and from various materials. Students acquire skills of selection of materials, choice of the method of mounting contact connections, as well as skills of independent use of electrical measuring equipment.

*Keywords:* technical university, laboratory workshop, contact connection, transient resistance, practical training, training of engineers.

**В**ведение. Республика Беларусь относится к числу стран, которые не обладают значительными собственными топливно-энергетическими ресурсами. В последние десятилетия в топливно-энергетическом балансе республики постоянно нарастает использование возобновляемых источников

энергии (гидро-, ветро- и солнечная энергия, биогаз) и местных видов топлива (дрова и древесные отходы, торф) [1–2]. В этой связи в настоящее время активно развивается техническая база возобновляемой энергетики. Такие изменения в структуре энергообеспечения повлекли за собой и корректировку стандартов высшего образования по подготовке

инженеров энергетических специальностей технических вузов. Была изменена структура изучаемых дисциплин. В частности, расширено изучение материалов для возобновляемой энергетики, в том числе материалов для различных видов контактных соединений. В этой связи встал вопрос пересмотра лабораторного практикума дисциплины «Монтаж и обслуживание электроустановок» (МиОЭУ) с целью изучения применимости различных материалов для различных видов электрических контактов оборудования возобновляемой энергетики. Решение данной задачи, в условиях сокращения времени обучения студентов в целом, представляется возможным только при интегрированном изучении монтажных и материаловедческих дисциплин [3].

Поскольку оборудование возобновляемой энергетики чаще всего монтируется вне закрытых помещений, то при освоении дисциплины МиОЭУ важно рассмотреть особенности динамики характеристик различных материалов с точки зрения их коррозионной устойчивости при эксплуатации на открытом воздухе. Особый интерес представляет изучение материалов для контактных соединений – важной составляющей любого электрооборудования. В процессе эксплуатации контакт подвержен воздействию различных факторов (температура, коррозия и т. п.), что обуславливает необходимость использования особых материалов для этих устройств.

Поэтому для инженеров энергетических специальностей представляется особо актуальной разработка отдельной лабораторной работы по изучению контактных соединений и материалов для их выполнения. В учебную программу дисциплины МиОЭУ сотрудниками кафедры практической подготовки студентов Белорусского государственного аграрного технического университета были внесены соответствующие изменения и разработана отдельная лабораторная работа.

**Методика постановки лабораторной работы.** При подготовке к выполнению лабораторной работы студентам необходимо изучить технические нормативные правовые акты (ТНПА) по контактным электрическим соединениям [4–6], краткая информация из которых приведена в разработанных методических указаниях. Студенты должны уяснить, что контактные соединения в большом количестве входят во все электрические цепи и аппараты и являются их ответственными элементами. От состояния электрических контактов в наибольшей степени зави-

сит безаварийная работа электрооборудования и электропроводки.

В зависимости от области применения контактные соединения подразделяются на 3 класса:

- контактные соединения цепей, сечения проводников которых выбраны по допустимым длительным токовым нагрузкам: силовые электрические цепи, линии электропередачи и т. п.;

- контактные соединения цепей, сечения проводников которых выбраны по стойкости к сквозным токам, потере и отклонению напряжения, механической прочности, защите от перегрузки, а также контактные соединения в цепях заземляющих и защитных проводников из стали;

- контактные соединения цепей с электротехническими устройствами, работа которых связана с выделением большого количества тепла (нагревательные элементы, резисторы и т. п.) [7–10].

По конструктивному исполнению контактные соединения подразделяются на неразборные (сварные, паяные, спрессованные, клепаные, клеевые), разборные (болтовые, винтовые, клиновые), разъемные (включающие вилку и розетку). Отдельную группу составляют контактные электрические соединения, применяемые в коммутационных электрических аппаратах.

Из-за малой площади соприкосновения контактируемых поверхностей в месте контакта возникает значительное электрическое сопротивление. Полное сопротивление контактного соединения включает в себя сопротивление собственно материала контактных элементов и сопротивление в месте их соприкосновения, называемого переходным контактным сопротивлением. Понятно, что сопротивление контакта всегда больше, чем сплошного проводника таких же размеров и формы. Переходное сопротивление зависит от материала контактов, силы прижатия их друг к другу, площади контактной поверхности, ее состояния и температуры. Кроме того, при работе контактов коммутационных аппаратов происходит непрерывное изменение переходного сопротивления из-за механической деформации и износа контактной поверхности, изменения толщины и состава поверхностных пленок, перегрева контактного соединения. Величина переходного сопротивления  $R_{\text{п}}$  определяется по эмпирической формуле [8]:

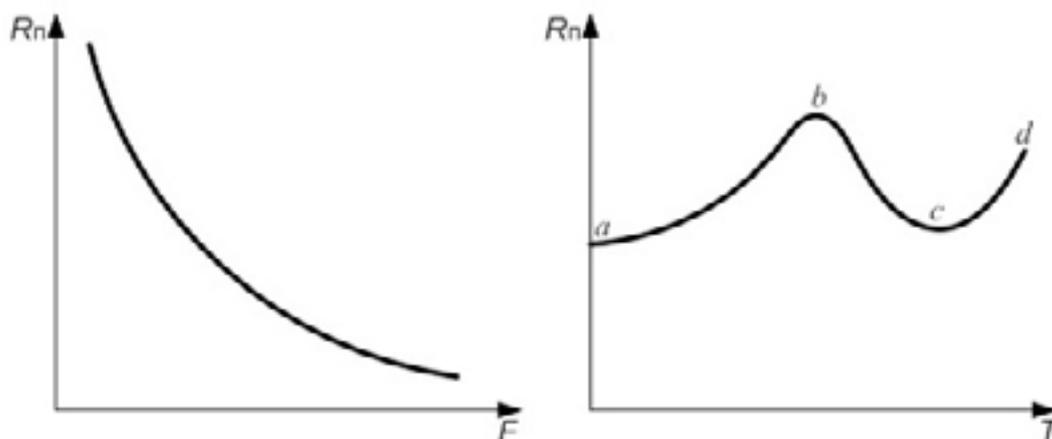


Рисунок 1 – Зависимость переходного сопротивления от силы контактного нажатия (а) и температуры (б)

$$R_{\text{п}} = \frac{\varepsilon}{0,102F^n}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент, который зависит от свойств материалов контактов, а также от способа обработки и чистоты контактной поверхности;  $F$  – сила контактного нажатия, Н;  $n$  – коэффициент, зависящий от числа точек соприкосновения контактных поверхностей (0,5 – для точечного контакта; 0,7 – для линейного контакта; 1 – для поверхностного контакта).

Коэффициент  $\varepsilon$  зависит от физических свойств материалов контактов, удельного электрического сопротивления, механической прочности, способности материалов контактов к окислению, теплопроводности.

Зависимость переходного сопротивления электрического контакта от силы контактного нажатия  $F$  и температуры  $T$  представлена на рисунке 1.

Переходное контактное сопротивление падает с ростом силы нажатия, так как от силы зависит реальная площадь соприкосновения материалов в месте контакта. Однако давление в контакте целесообразно увеличивать только до некоторой величины, потому что при малых значениях давления переходное сопротивление уменьшается быстро, а при больших – почти не изменяется. В результате давление должно быть достаточно большим для того, чтобы обеспечить малое переходное сопротивление, но не должно вызывать пластических деформаций в металле контактов, что может привести к их разрушению. Величина переходного контактного сопротивления также зависит от температуры. При протекании тока контакт нагревается, но с ростом температуры увеличение переходного сопротивления идет

медленнее, чем увеличение удельного сопротивления материала контакта, так как при нагреве снижается твердость материала и его временное сопротивление смятию, что, как известно, уменьшает переходное сопротивление.

Нагрев контакта способствует ускорению окисления контактных поверхностей (рисунок 1), а окисные пленки большинства металлов не проводят электрический ток и резко повышают переходное сопротивление. На участке  $a - b$  видно, как растет переходное сопротивление вследствие роста окисной пленки. На участке  $b - c$  сопротивление падает вследствие нарушения прочности материала и его размягчения, что приводит к увеличению площади соприкосновения. На участке  $c - d$  сопротивление вновь начинает расти вследствие резкого увеличения удельного сопротивления материала. Этот рост будет продолжаться до полного расплавления материала.

Исходя из вышеизложенного определение переходного сопротивления при обслуживании электрических сетей и электрооборудования позволяет с высокой степенью достоверности оценить техническое состояние контактных электрических соединений. В свою очередь, диагностика состояния контактных соединений позволяет снизить вероятность возникновения аварийных режимов работы электрической цепи и выход из строя электрооборудования.

Требования к электрическим контактным соединениям, методика испытаний, а также допустимые значения переходного сопротивления приведены в [4–6].

В соответствии с [6], переходное электрическое сопротивление измеряют на участке, равном условной длине контактного соеди-

нения. Полученное значение сравнивают с контрольным значением, которое измеряют на участке той длины, но без контактного соединения. Для случаев, не указанных в [6], точки измерения устанавливают на расстоянии 2–10 мм от контактного стыка по ходу прохождения тока.

Измерение ведут с помощью щупов в виде острых игл, разрушающих оксидную пленку. При измерении сопротивления многопроволочных жил проводов и кабелей их предварительно впрессовывают гильзами или накладывают бандаж из трех-четырех витков медной луженой проволоки диаметром 0,4–1,5 мм.

Переходное сопротивление электрических контактных соединений измеряют при температуре окружающей среды 20 °С, в иных случаях сопротивление приводят к расчетной температуре.

Определение переходного сопротивления контактных соединений электрооборудования, как правило, производится при его техническом обслуживании и ремонте [4]. Допустимые значения сопротивления контактов электрических аппаратов устанавливаются заводом-изготовителем. Контактные соединения считают выдержавшими испытания, если среднее значение переходного сопротивления выборки соответствует требованиям [6]. Переходное сопротивление контактных соединений следует измерять методом вольтметра-амперметра на постоянном токе, микроомметром или двойным мостом.

В разработанной лабораторной работе измерение переходного сопротивления осу-

ществляется с помощью цифрового измерителя (микроомметра) MMR-620.

Измеритель предназначен для измерения малых активных сопротивлений в диапазоне от 1 мкОм до 1999 Ом током до 10 А. На рисунке 2 показано расположение разъемов и клавиш на передней панели измерителя.

На передней панели установлены измерительные разъемы 1 и 2 для подсоединения токовых проводов  $I_1$  и  $I_2$  соответственно; измерительные разъемы 3 и 4 для подсоединения проводов напряжения  $U_1$  и  $U_2$  соответственно; разъем 15 интерфейса RS-232; сетевой разъем 11. Клавиатура содержит следующие клавиши: выхода из опций 5; выбора дополнительных функций 6; запуска измерений 7; подтверждения выбранной опции 8; передвижения курсора 9; включения и выключения подсветки дисплея 12; включения и выключения питания 13. С помощью переключателя функций 10 осуществляется выбор измерительного тока. Результат измерения отображается на графическом дисплее 14.

Для проведения измерений прибор укомплектован двухпроводными кабелями и зажимами типа «Крокодил», а также двухконтактными зондами Кельвина, которые рекомендуется использовать для измерения сопротивления участков, покрытых оксидной пленкой. Измерительные провода подключаются по четырехполюсной схеме с одной стороны к разъемам прибора  $I_1$ ,  $U_1$  и  $I_2$ ,  $U_2$ , а с другой – к измеряемому объекту.

Выполнение лабораторной работы начинается с подготовительного этапа. Для повышения эффективности выполнения студен-

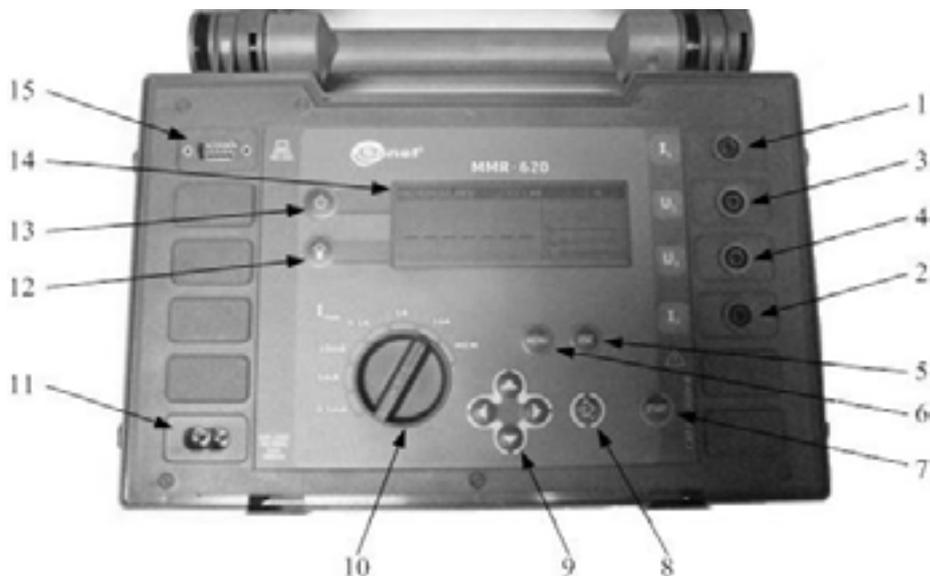


Рисунок 2 – Передняя панель цифрового измерителя сопротивления MMR-620



Рисунок 3 – Оборудование и материалы для выполнения лабораторной работы

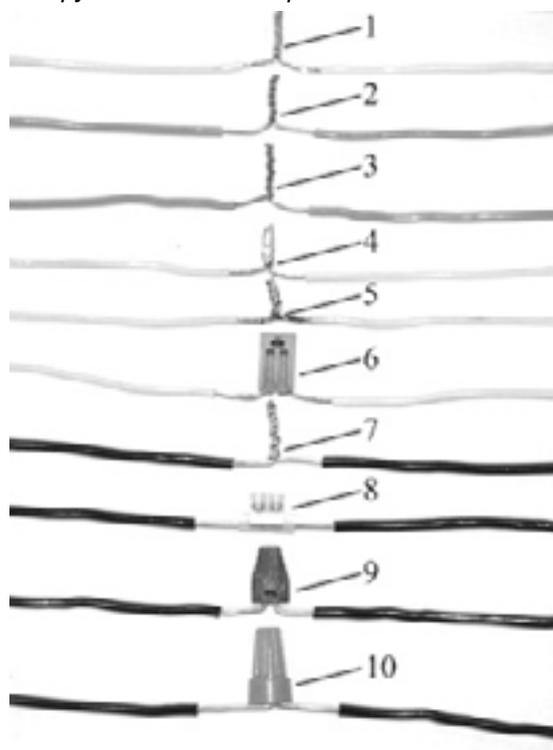


Рисунок 4 – Примеры контактных соединений: 1, 2 – скрутка проводов с многопроволочной и однопроволочной медной жилой соответственно; 3 – скрутка проводов с однопроволочной медной жилой, покрытая оксидной пленкой; 4, 5 – пайка проводов с многопроволочной медной жилой без лужения и с лужением соответственно; 6 – соединение проводов с многопроволочной медной жилой с помощью клеммы соединительной СК-412; 7 – скрутка проводов с алюминиевой жилой; 8, 9, 10 – соединение проводов с алюминиевой жилой с помощью зажима винтового ЗВИ-15, строительного монтажной клеммы СМК 773-302, зажима СИЗ-5 соответственно

ческая группа делится на звенья, каждому из которых преподаватель выдает необходимое оборудование и материалы (рисунок 3): образцы проводов с медной (однопроволочной и многопроволочной) и алюминиевой жилой различного сечения, набор контактных соединений для подключения солнечной панели (находящихся в непосредствен-

ном контакте с атмосферой в течение не менее 1 года), набор инструментов, паяльник, канифоль, припой (ПОС-40), набор соединительных зажимов, клемм и т. п.

Непосредственно при выполнении лабораторной работы каждый студент, используя заготовленные провода, изготавливает по заданию преподавателя различные виды

Таблица – Пример оформления результатов исследований лабораторной работы

№ п/п	Материал и вид контактного соединения	Измеренное значение, мкОм				Допустимое значение $R_{доп}$ , мкОм
		$R_{п1}$	$R_{п2}$	$R_{п3}$	$R_{ср}$	
	<b>Медная жила</b>					
1	Скрутка (многопр.)	1121	1030	1016	1055,7	379
2	Скрутка (однопр.)	723	767	788	759,3	384
3	Скрутка (однопр.) с оксид. пленкой	683000	623000	613000	639667	384
4	Пайка (многопр. без лужения)	432	496	451	459,7	379
5	Пайка (многопр. с лужением)	201	203	203	202,3	379
6	Соед. клемма СК-412	5460	5100	5440	5333,3	379
	<b>Алюминиевая жила</b>					
7	Скрутка	53200	44400	46700	48100	1050
8	Зажим винтовой ЗВИ-15	10050	12800	14290	12380	1050
9	Клемма СМК 773-302	2630	2380	2370	2460	1050
10	Зажим СИЗ-5	10840	12800	14290	8903,3	1050

контактных соединений (рисунок 4), а также контрольный образец провода. При этом снимать изоляцию с провода необходимо с запасом: длина оголенной части должна быть достаточной для выполнения контактного соединения и подключения измерительных зажимов прибора MMR-620.

Студенты, изучая сопротивления контактов, выполненных из различных материалов, одновременно осваивают приемы настройки и работы с измерительным оборудованием на примере измерителя MMR-620. В соответствии с руководством по эксплуатации производится установка параметров режима измерения: тип измеряемого объекта, время измерения, характер протекания тока, режим срабатывания измерения, диапазон измерения, максимальный измерительный ток и т. д. Выполняется измерение переходного сопротивления изготовленных контактных соединений (количество дублей принимается по заданию преподавателя), а также контрольных образцов. Производится обработка результатов эксперимента и оформление протокола исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Волчок, В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Солнечная энергетика: пособие по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» для студентов специальности «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» / В. А. Волчок, В. Н. Комар. – Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2017. – 55 с.

В таблице показан пример оформления результатов лабораторных исследований контактных соединений.

**Заключение.** Предложенная методика изучения контактных соединений, и в частности соединений для монтажа и подключения наружного оборудования возобновляемой энергетики, позволяет студентам глубже изучить особенности применения различных видов контактных соединений и ограничения, налагаемые на них условиями эксплуатации. Студенты приобретают навыки подбора материалов, выбора способов монтажа, навыки самостоятельного использования электроизмерительного оборудования, что особенно важно для будущего инженера-электрика. Проведение такой работы невозможно без предварительного изучения электротехнических материалов и оборудования для возобновляемой энергетики и, на наш взгляд, является необходимым при подготовке инженеров организаций, связанных с эксплуатацией солнечных и ветряных электростанций.

#### REFERENCES

1. Volchok, V. A. Netraditsionnyye i vozobnovlyayemyye istochniki energii. Solnechnaya energetika: posobiye po distsipline "Netraditsionnyye i vozobnovlyayemyye istochniki energii" dlya studentov spetsialnosti "Tekhnicheskaya ekspluatatsiya energooborudovaniya organizatsiy" / V. A. Volchok, V. N. Komar. – Grodno : GrGU im. Ya. Kupaly, 2017. – 55 s.

2. *Зорина, Т. Г.* Формирование стратегии устойчивого энергетического развития : монография / Т. Г. Зорина. – Минск : Мисанта, 2016. – 332 с.
3. *Шестакова, Л. А.* Междисциплинарная интеграция как методологическая основа современного образовательного процесса / Л. А. Шестакова // Вестник МГУ. Серия 3: Педагогика. Психология. Образовательные ресурсы и технологии. – 2013. – № 1 (2). – С. 47–52.
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей = Правілы тэхнічнай эксплуатацыі электраўстановак спажыўцоў: ТКП 181-2009 (02230). – Введ. 01.09.09. – Минск : Минэнерго, 2009. – 325 с.
5. Соединения контактные электрические. Приемка и методы испытаний : ГОСТ 17441-84. – Взамен ГОСТ 17441-78 ; введ. РБ 17.12.92. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 20 с.
6. Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования : ГОСТ 10434-82. – Взамен ГОСТ 10434-76 ; введ. РБ 17.12.92. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 20 с.
7. *Розанов, Ю. К.* Электрические и электронные аппараты. Учебник для вузов / Под ред. Ю. К. Розанова. – 2-е изд. – М. : Информэлектро, 2001. – 420 с.
8. *Хольм, Р.* Электрические контакты / Р. Хольм; пер. с англ. ; под ред. Брускина Д. Е. – М. : Издательство иностранной литературы, 1961. – 464 с.
9. *Бредихин, А. Н.* Электрические контактные соединения / А. Н. Бредихин, М. В. Хомяков. – М. : Энергия, 1980 – 168 с.
10. *Мышкин, Н. К.* Электрические контакты / Н. К. Мышкин, В. В. Кончиц, М. Браунович. – Долгопрудный : Издательский Дом «Интеллект», 2008. – 560 с.
2. *Zorina, T. G.* Formirovaniye strategii ustoychivogo energeticheskogo razvitiya : monografiya / T. G. Zorina. – Minsk : Misanta, 2016. – 332 s.
3. *Shestakova, L. A.* Mezhdistsiplinarnaya integratsiya kak metodologicheskaya osnova sovremennogo obrazovatel'nogo protsessa / L. A. Shestakova // Vestnik MGU. Seriya 3: Pedagogika. Psikhologiya. Obrazovatelnyye resursy i tekhnologii. – 2013. – № 1 (2). – S. 47–52.
4. Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii elektroustanovok potrebiteley = Pravily tekhnichnay ekspluatatsyi elektraustanovak spazhyutsou: TKP 181 – 2009 (02230). – Vved. 01.09.09. – Minsk : Minskenergo, 2009. – 325 s.
5. Soyedineniya kontaktnyye elektricheskiye. Priyomka i metody ispytaniy : GOST 17441-84. – Vzamen GOST 17441-78 : vved. RB 17.12.92. – Minsk : Belarus. gos. in-t standartizatsii i sertifikatsii, 1992. – 20 s.
6. Soyedineniya kontaktnyye elektricheskiye. Klassifikatsiya. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya : GOST 10434-82. – Vzamen GOST 10434-76 ; vved. RB 17.12.92. – Minsk : Belarus. gos. in-t standartizatsii i sertifikatsii, 1992. – 20 s.
7. *Rozaov, Yu. K.* Elektricheskiye i elektronnyye apparaty. Uchebnik dlya vuzov / Pod red. Yu. K. Rozaova. – 2-ye izd. – M. : Informelektro, 2001. – 420 s.
8. *Kholm, R.* Elektricheskiye kontakty / R. Kholm; per. s angl. : pod red. Bruskina D. E. – M. : Izdatelstvo inostrannoy literatury, 1961. – 464 s.
9. *Bredikhin, A. N.* Elektricheskiye kontaktnyye soyedineniya / A. N. Bredikhin, M. V. Khomyakov. – M. : Energiya, 1980. – 168 s.
10. *Myshkin, N. K.* Elektricheskiye kontakty / N. K. Myshkin, V. V. Konchits, M. Braunovich. – Dolgoprudnyy : Izdatelskiy Dom "Intellect", 2008. – 560 s.