

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СЕЛЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ С УЧЁТОМ ОХРАНЫ ТРУДА И ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЕЙ 6(10) кВ

А.В. Коржов

г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет

RELAY PROTECTION AND AUTOMATION DEVICES SELECTIVITY ASSESSMENT PROCEDURE WITH CONSIDERATION FOR LABOR PROTECTION AND 6(10) kV CABLES INSULATION DURABILITY IMPROVEMENT

A.V. Korzhov

Chelyabinsk, South Ural State University

На примере схем городских кабельных сетей 6(10) кВ с разными токами КЗ, типами применяемых защит определены зоны неселективности и резервирования отходящих КЛ, РП, РТП. Разработан алгоритм поиска повреждений, позволяющий снизить пребывание персонала в электроопасных зонах. Оценён с применением разработанной модели в ANSYS тепловой режим работы изоляции в зависимости от уставок РЗаА.

Ключевые слова: кабель, изоляция, релейная защита, условия труда, тепловой расчёт.

Nonselectivity and reserve areas of outgoing cables, distribution points, and transformer substations are determined in this article, as exemplified by city 6(10) kV cable network schemes with various short-circuit currents. An algorithm of fault finding which reduces personnel residence time in electrically hazardous areas is introduced. Temperature conditions of insulation are assessed using a model designed in ANSYS according to the relay protection and automation setting selection procedure.

Keywords: cable, insulation, relay protection, labour conditions, thermal analysis.

От выбора уставок релейной защиты и автоматики (РЗаА) городских электрических сетей зависят условия ресурсосбережения изоляции силовых кабелей (КЛ) 6(10) кВ и безопасность обслуживающего персонала и населения. Одним из требований [1] к устройствам РЗаА является требование селективной и надёжной работы защиты. При необходимости рекомендуется разрабатывать меры повышения эффективности функционирования РЗаА и учитывать вероятность ошибочных действий обслуживающего персонала. Селективная и надёжная работа защит повышает условия электробезопасности оперативного персонала, так как снижается количество оперативных переключений и пребывание в опасных зонах. Проведённый нами анализ травматизма вблизи кабельных линий (КЛ) 6(10) кВ за прошедшие 12 лет показал, что при оперативных переключениях происходит до 46 % несчастных случаев, связанных с кабельными сетями [2]. На примерах схем, рассматриваемых ниже, видно, что при неселективной рабо-

те защит КЛ количество пребываний людей в опасных зонах увеличивается пропорционально количеству подключённых к КЛ трансформаторных подстанций (ТП).

Анализ работы устройств РЗаА на примере г. Нефтекамска показал, что с ростом нагрузки ухудшаются условия согласования чувствительности защит предыдущего и последующих элементов (например, защит КЛ и ввода силового трансформатора). Задача настройки селективной работы защит питающих элементов является очень актуальной в настоящее время, так как снижает количество отключённых потребителей, время поиска места повреждения и повышается уровень безопасности населения, улучшаются условия ресурсосбережения изоляции КЛ.

Рассмотрим поиск повреждений в городской кабельной сети напряжением 6(10) кВ на примере 2 схем для малого (рис. 1) и большого города (рис. 2). На схемах показаны: один трансформатор (секционный выключатель (СВ) и второй

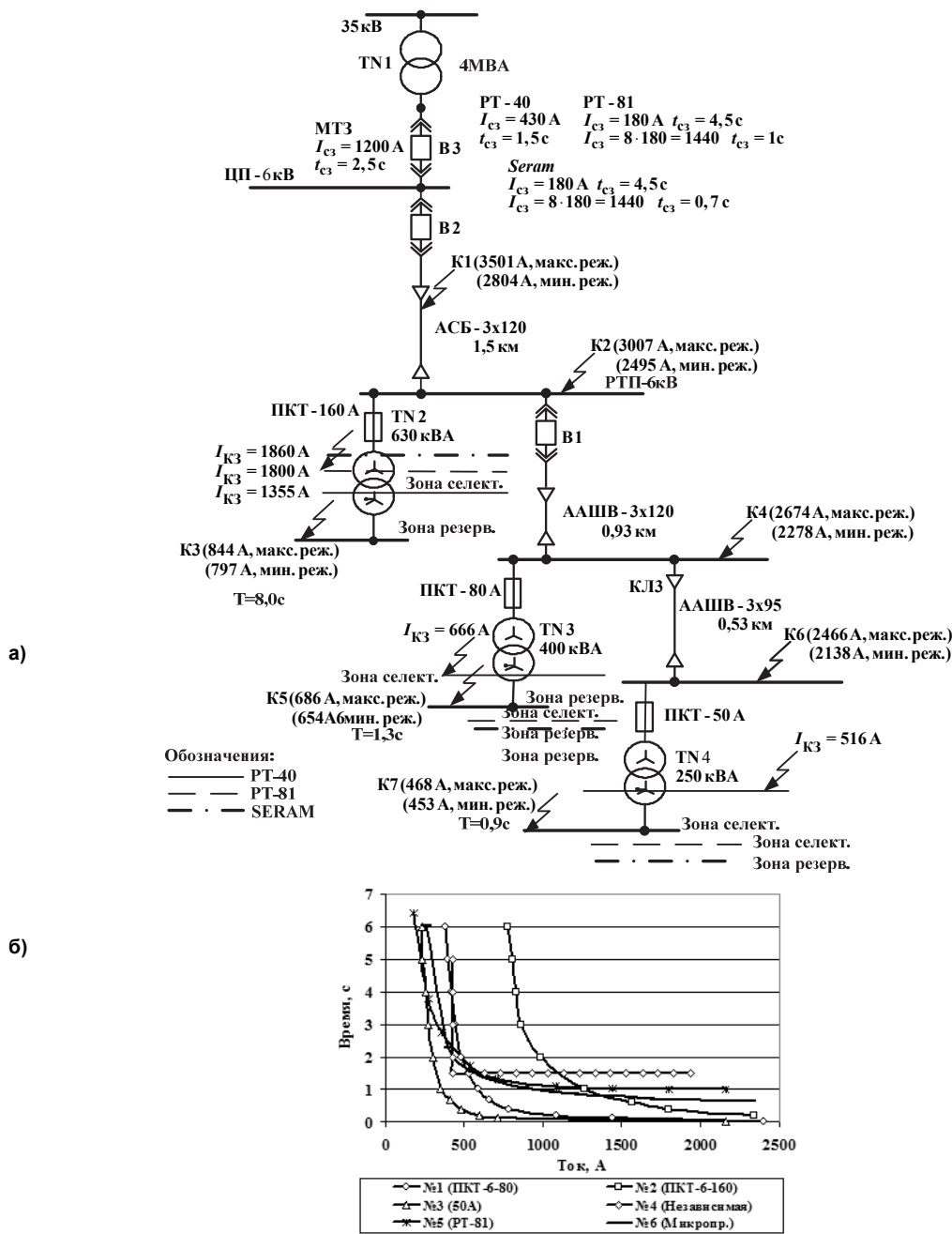


Рис. 1. Схема участка городской кабельной сети (а) и карта селективности (б) (токи приведены к напряжению 6 кВ)

трансформатор на схеме не показаны), токи трёхфазного КЗ в максимальном и минимальном режимах питающей системы, обозначены выключатели, на которые воздействует защита, $I_{сз}$, $t_{сз}$ — соответственно ток и время срабатывания защит, указаны заданные уставки защиты силового трансформатора TN1. Защита ввода 6(10) кВ трансформатора, секционного выключателя (СВ) выполнена на постоянном оперативном токе с реле типа РТ-40; защита КЛ выполняется по схеме неполной звезды на постоянном оперативном токе с реле типа РТ-40, РТ-81, SERAM. На схемах указа-

ны зоны селективности и резервирования защит трансформаторных пунктов защитыми КЛ. Расчёты и карты селективности произведены в соответствии с [3]. На схемах (рис. 1, 2) введены следующие обозначения: горизонтальные линии условно показывают границы зон селективности и резервирования обмоток трансформаторов, ниже каких токов защита КЛ на В2 может работать быстрее, чем сгорят предохранители, что видно на картах селективности. Характеристики защит пересекаются в разных точках для разных реле.

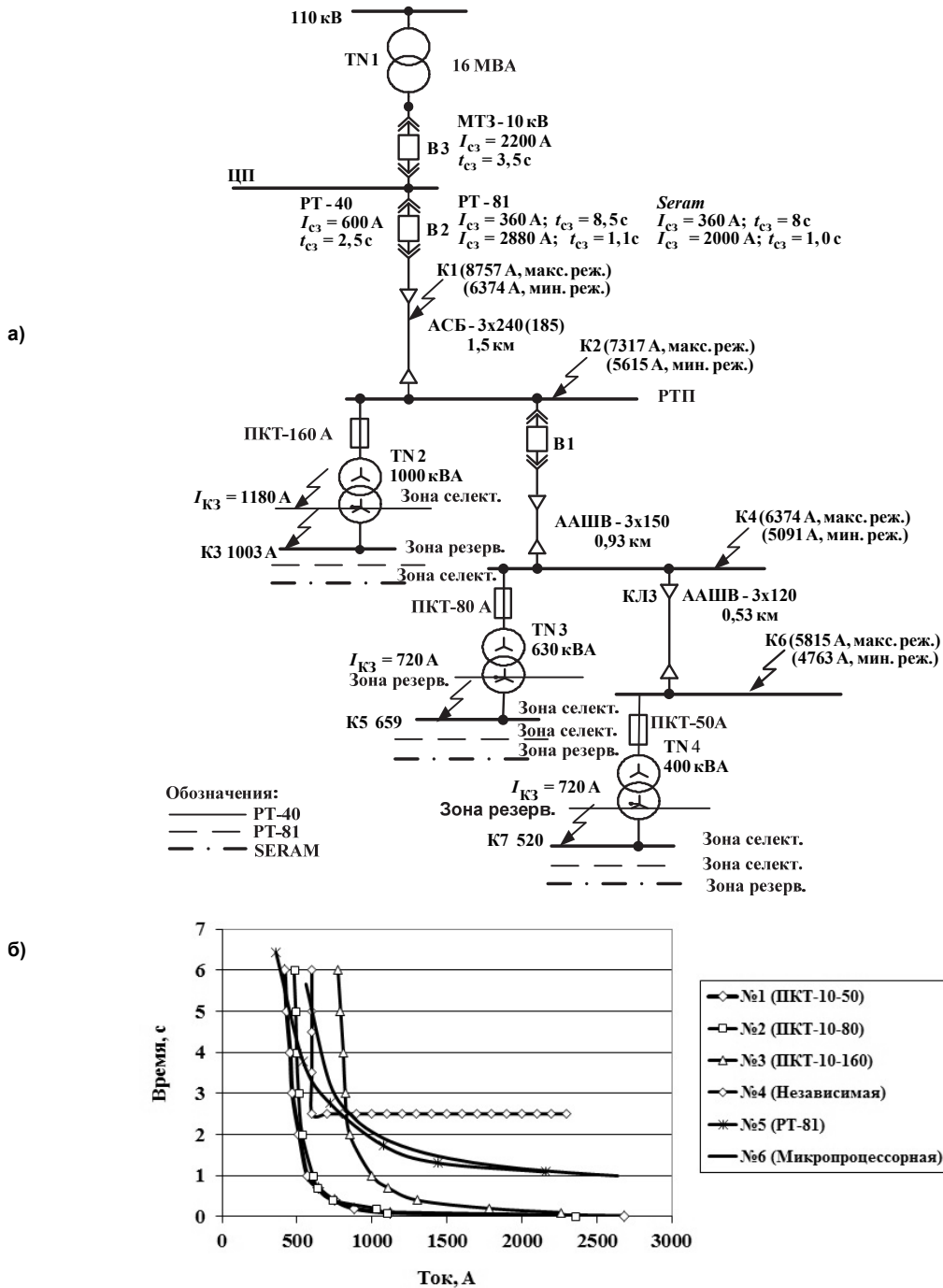


Рис. 2. Схема участка городской кабельной сети (а) и карта селективности (б) (токи приведены к напряжению 10 кВ)

На карте селективности, например, для рис. 2 (б) строятся расчётная ампер-секундная характеристика 1 – плавких предохранителей ПКТ-10-50 (400 кВА), 2 – предохранителей ПКТ-10-80 (630 кВА), 3 – предохранителей ПКТ-10-160 (для защиты трансформатор 1000 кВА), выбранная независимая от тока характеристика 4 срабатывания МТЗ КЛ, времятоковая характеристика 5 для реле РТ-81 и 6 – стандартная обратнoзависимая, реализованная в терминалах SERAM.

Как видно из рассмотренной схемы, в данной системе электроснабжения невозможно обеспе-

чить во всех случаях условие селективности и резервирование защит, табл. 1.

Из табл. 1 видно, что реле РТ-81 и SERAM, имеющие обратнoзависимую характеристику, лучше чем РТ-40 согласуются с характеристиками предохранителей, защищающих ТП и реле РТ 40 не обеспечивает резервирование защит ТП 250 кВА и ниже.

Поиск повреждения при отключении КЛ производится делением сети на участки в следующей последовательности: осмотр и отключение ТП, РТП, РП, подключённых к данной КЛ, отключение

коммутационных аппаратов на ТП проходного типа, что занимает много времени и повышает степень опасности для оперативного персонала. Селективная и надёжная работа защит повышает условия электробезопасности оперативного персонала, так как снижается количество оперативных переключений, время поиска повреждений и время пребывания в действующих электроустановках в 3 и более раз.

Подобно анализу схемы на рис. 1 проведён расчёт для схемы на рис. 2, результаты сведены в табл. 2.

В городской радиальной кабельной сети 6(10) кВ из-за сравнительно небольшой длины кабельных линий разница токов КЗ в начале и конце линии незначительна. Статистически учитывая, что многофазные КЗ в кабеле не самоустраняются, АПВ на КЛ выводят, при этом попутно добиваются снижения интеграла Джоуля на 50%. Однако при этом проявляется другая проблема: установленные в качестве дополнительных защит (МТЗ основная) токовые отсечки с принятым коэффициентом чувствительности 1, 2 [1] становятся неэффективными при любых типах реле, в том числе и микропроцессорных. Токовые отсечки выводят

из действия, что обуславливает обратный рост термического импульса и, как следствие, необоснованное увеличение требуемого сечения КЛ [4].

Для рассматриваемой схемы на рис. 2: согласно [1, 3] ток уставки селективной токовой отсечки определяется: $I_{\text{ср.ТО}} \geq K_n \cdot I_{\text{КЗmax}}^{(3)}$, где $I_{\text{КЗmax}}^{(3)}$ – ток трёхфазного КЗ в максимальном режиме в конце защищаемой КЛ 2=7317 А (отстройка от ближайшего трансформатора 1000 кВА); K_n – коэффициент надёжности для токовых отсечек без выдержки времени (табл. 3).

В данном случае значения тока срабатывания ТО больше максимального трёхфазного тока КЗ в точках К1, такие токовые отсечки неэффективны и смысла выполнения их нет. Анализ схем городских сетей показывает, что данная ситуация характерна для большинства участков кабельной сети. Указанные факторы приводят к тому, что анализируемая городская кабельная сеть 6(10) кВ в условиях эксплуатации защищается только одной ступенью максимальной токовой защиты (МТЗ) с временем от 1 до 5 с в зависимости от схемы сети, количества ТП, типа подключенной нагрузки (дви-

Таблица 1

Анализ селективности и резервирования защит для схемы рис. 1

Тип применяемых реле в схеме защит КЛ (на В2)	Обеспечение селективности с предохранителями ТП, кВА			Обеспечение резервирования защит ТП, кВА			Количество ТП для осмотра без зон селективности и резервирования	Количество ТП для осмотра с указанием зон селективности и резервирования	Снижение ТП для осмотра при отключении КЛ, %
	Более 630	400	250	Более 630	400	250			
ТП с ТР	Более 630	400	250	Более 630	400	250			
РТ-40	нет (61 % сел-ти)	нет (96% сел-ти)	да	да	да	нет	3	2	33
РТ-81	нет (25 % сел-ти)	да	да	да	да	да	3	1	66
SEPAM	нет (21 % сел-ти)	да	да	да	да	да	3	1	66

Таблица 2

Анализ селективности и резервирования защит для схемы рис. 2

Тип применяемых реле в схеме защит КЛ (на В2)	Обеспечение селективности с предохранителями ТП, кВА			Обеспечение резервирования защит ТП, кВА			Количество ТП для осмотра без зон селективности и резервирования	Количество ТП для осмотра с указанием зон селективности и резервирования	Снижение ТП для осмотра при отключении КЛ, %
	Более 1000	630	400	Более 1000	630	400			
ТП с ТР	Более 1000	630	400	Более 1000	630	400			
РТ-40	нет (86 % сел-ти)	да	да	да	нет (88 % резер.)	нет (88 % резер.)	3	1	66
РТ-81	нет (86 % сел-ти)	да	да	да	да	да	3	1	66
SEPAM	нет (86 % сел-ти)	да	да	да	да	да	3	1	66

Электроэнергетика

гательной или бытовой) и условий согласования с предыдущими электроустановками (РП, ТП, РТП) при любых типах реле. Увеличение времени отключения повреждённого участка ухудшает условия электробезопасности для человека и увеличивает негативное воздействие на изоляцию термических и электродинамических импульсов.

Поэтому ранее нами [4] для рассматриваемой системы электроснабжения с целью решения указанной проблемы предложено вводить неселективную ТО с временем 0,1–0,5 с, с независимой характеристикой при любых типах реле, что может быть реализовано и в микропроцессорных терми-

налах (в качестве одной из ступеней защиты).

Анализ теплового режима работы изоляции, по предложенной нами методике, был проведён с разработкой математической модели в ANSYS. Отдельный результат представлен на рис. 3 на примере трёхжильного кабеля с бумажно-масляной изоляцией сечением жил 240 мм². Снижение времени работы защиты с 4 с до 1 с приводит к снижению нагрева изоляции с 213 до 106 градусов Цельсия, а как известно согласно закону Вант Гоффа–Аррениуса при снижении температуры нагрева изоляции продлевается ресурс силовых кабелей.

Для повышения уровня безопасности для опе-

Таблица 3

Эффективность токовых отсеков

Типы реле	Коэффициент надёжности K_n	Ток уставки селективной ТО, А	Коэффициент чувствительности в месте установки при $I_{КЗ\max}^{(3)} = 8757$ А должен быть более 1,2
Цифровые реле	1,1–1,15	8049–8415	1,09–1,04
РТ–40	1,2–1,3	8780–9512	1,00–0,92
РТ–80	1,5–1,6	10976–11707	0,80–0,75
РТМ	1,4–1,5	10244–10976	0,86–0,80

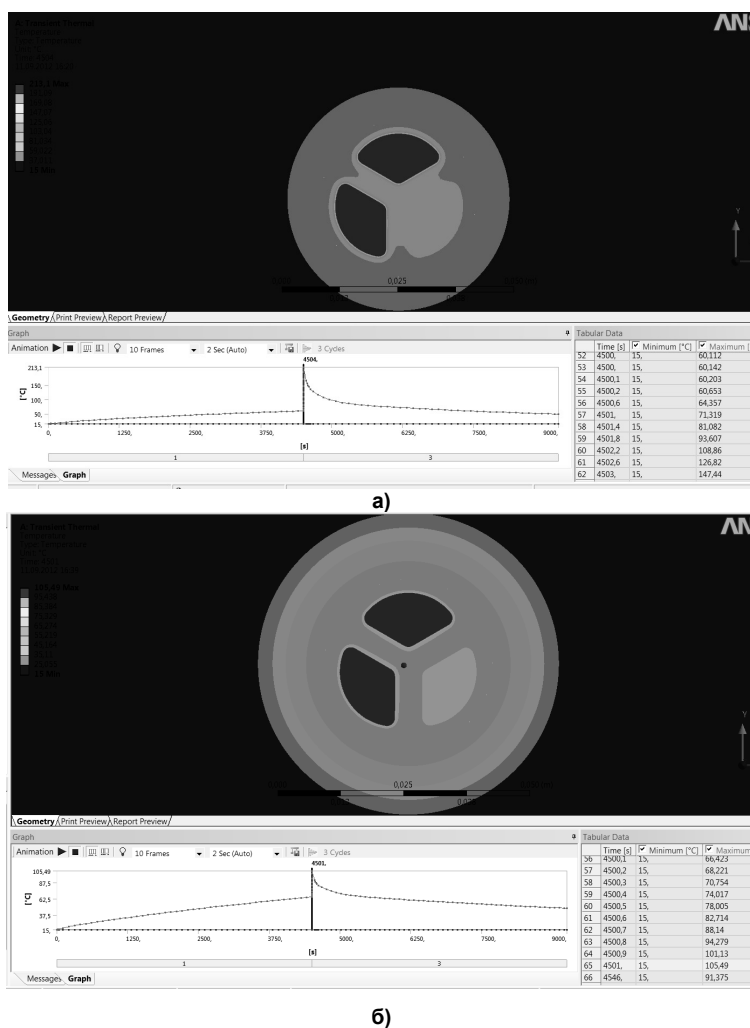


Рис. 3. Математическая модель в ANSYS теплового режима работы кабеля с учётом уставок устройств РЗА: а) время отключения двухфазного КЗ 4 с; б) время отключения двухфазного КЗ 1 с

ративного, ремонтного персонала предлагаем следующий алгоритм поиска повреждений.

1. Составляются режимные карты кабельных линий, на которых указываются зоны резервирования и селективности защит КЛ.

2. Составляется очередность осмотра и отключения ТП, РТП при поиске повреждения с учётом:

– возможности неселективной работы защит КЛ при КЗ в трансформаторах, подключенных к данной КЛ;

– возможности резервирования защит ТП, РТП защитами КЛ;

– категории и важности питаемых потребителей.

Данный порядок позволит осматривать в последнюю очередь ТП, РТП, которые не резервируются защитой КЛ с необходимым коэффициентом чувствительности при КЗ на шинах низшего напряжения трансформаторов. Это позволит снизить количество ненужных осмотров и переключений, время поиска повреждения в кабельной сети.

Выводы

1. Степень селективности и резервирования защит в сети 10 кВ выше, чем в сети 6 кВ. При использовании предложенной нами методики выбора уставок РЗА улучшаются условия ресурсосбережения изоляции КЛ 6(10) кВ и повышаются условия электробезопасности при поиске повреждений в кабельной сети 10 кВ.

2. Рекомендуется на режимных картах участков кабельной сети указывать зоны селективности и резервирования защит КЛ, РТП, определять порядок очередности осмотра, отключений, включений КЛ, ТП, РТП с учётом неселективной работы и резервирования защит.

3. Моделирование тепловых расчётов предложено проводить в современных программных продуктах (например, ANSYS), учитывая реальные режимы работы КЛ и уставки РЗА.

Литература

1. *Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. Вып. 7.* – Новосибирск: Сиб. ун-в. изд-во, 2007.

2. Коржов, А.В. *Методы и модели оценки состояния изоляции и электробезопасности кабельных линий 6(10) кВ городских электрических сетей: монография / А.В. Коржов, А.И. Сидоров // Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 252 с.*

3. Шабад, М.А. *Расчёты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М.А. Шабад. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ПЭИПК: ООО «Политехника-сервис», 2003.*

4. Коржов, А.В. *Выбор уставок релейной защиты и автоматики в кабельных сетях 6–10 кВ с учётом теплового режима в изоляции / А.В. Коржов, А.И. Сидоров, О.В. Коржова // Промышленная энергетика. – 2009. – № 6. – С. 46–53.*

Поступила в редакцию 11.04.2012 г.

Коржов Антон Вениаминович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические станции, сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – электромагнитные процессы в кабельных сетях, оценка остаточного ресурса изоляции силовых кабелей. Контактный телефон: 8-(351) 267-92-46.

Korzhev Anton Veniaminovich, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of «Electric Power Stations, Networks and Systems» Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: electromagnetic processes in cable networks, estimation of remaining life of power cable insulation. Contact telephone number: 8-(351) 267-92-46.