

ISSN 0536-1028

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

5  
2017



**УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ**  
**УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**ВАЛИЕВ Нияз Гадым-оглы**

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**ГОРДЕЕВ Виктор Александрович**

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**ДОНДОВ Дорж**

д-р техн. наук, проф., Монгольский государственный университет науки и технологий,  
г. Улан-Батор, Монголия

**ДРЕБЕНШТЕДТ Карстен**

д-р техн. наук, проф., Фрайбергская горная академия, г. Фрайберг, Германия

**ДУШИН Алексей Владимирович**

д-р экон. наук, доц., Технический университет УГМК, г. Екатеринбург

**ИГНАТЬЕВА Маргарита Николаевна**

д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**КАЛМЫКОВ Вячеслав Николаевич**

д-р техн. наук, проф., Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск

**КАРТОЗИЯ Борис Арнольдович**

д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

**КАШНИКОВ Юрий Александрович**

д-р техн. наук, проф., Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет, г. Пермь

**КОЗИН Владимир Зиновьевич**

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**КОРНИЛКОВ Михаил Викторович — главный редактор**

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**КОСАРЕВ Николай Петрович**

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**КОСОЛАПОВ Александр Иннокентьевич**

д-р техн. наук, проф., Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

**ЛАПИН Эдуард Самуилович**

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**ЛАТЫШЕВ Олег Георгиевич — зам. главного редактора**

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**ЛИТВИНЕНКО Владимир Стефанович**

д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

**МАХНО Дмитрий Евсеевич**

д-р техн. наук, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск

**МОЧАЛОВА Людмила Анатольевна**

д-р экон. наук, доц., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**ПАНКРАТЕНКО Александр Никитович**

д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

**ПЕТРОВ Вадим Леонидович**

д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

**ПИВНЯК Геннадий Григорьевич**

д-р техн. наук, акад. НАН, Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина

**ПУЧКОВ Лев Александрович**

д-р техн. наук, член-корр. РАН, Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС», г. Москва

**СЁМИН Александр Николаевич**

д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**СТРОВСКИЙ Владимир Евгеньевич**

д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**ТОПАЛОВ Станислав Йорданов**

д-р техн. наук, доц., Университет горного дела и геологии Св. Иоанна Рыльского, г. София, Болгария

**ТРЫБАЛЬСКИЙ Казимеж**

д-р техн. наук, проф., Научно-технический университет им. С. Сташца, г. Краков, Польша

**ШЕВЧЕНКО Леонид Андреевич**

д-р техн. наук, проф., Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово

**ЯКОВЛЕВ Виктор Леонтьевич**

д-р техн. наук, член-корр. РАН, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург

# **ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ** **ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ**

*Научно-технический журнал. Издается с 1958 года*

Выходит 8 раз в год

№ 5, 2017

12+

## **СОДЕРЖАНИЕ**

**РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**  
Тырсин А. Н., Азарян А. А. Оптимизация периода эксплуатации высоконагруженной техники на основе анализа средних удельных затрат ..... 4

**ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ. ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ**  
Разовский Ю. В., Рубан М. С. Сверхприбыль недр и других составляющих арктической среды..... 9

### **ДОБЫЧА НЕФТИ И ГАЗА**

Зинатуллина И. П., Зинатуллин М. Х. Тонкодисперсная составляющая в терригенных коллекторах верхнего девона нефтяных месторождений Республики Татарстан..... 18  
Шишлянников Д. И. Исследование силовых и энергетических параметров работы перспективных вентильных двигателей балансирных станков-качалок ..... 25

### **СТРОИТЕЛЬСТВО ШАХТ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Орлов А. О., Смирнов Ю. Г., Гусак С. А. Основные методические принципы обеспечения безопасности строительства подземных комплексов атомных станций малой мощности в условиях российской Арктики..... 31

### **ГЕОМЕХАНИКА**

Балек А. Е., Ефремов Е. Ю. Обоснование геомеханических условий подземной разработки алмазного месторождения «Трубка Удачная» ..... 39  
Харисов Т. Ф. Исследования конвергенции породных стенок ствола в условиях запредельного состояния призабойного массива..... 46

### **МЕХАНИЗАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ. ГОРНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ**

Лукашук О. А., Летнев К. Ю., Комиссаров А. П. Определение режимов работы двигателей главных механизмов одноковшового экскаватора..... 52  
Макаров В. Н., Потапов В. Я., Макаров Н. В., Патракеева И. Ю. Критериальные уравнения аэрационной стратификации в полочных сепараторах ..... 59

### **ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ**

Медведева М. Л., Кузьмин С. В., Кузьмин И. С., Шманев В. Д. Причины возникновения коротких и однофазных замыканий на землю в сетях горных предприятий..... 65

---

## РУДОПОДГОТОВКА И ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Козин В. З., Комлев А. С., Водовозов К. А. Погрешности технологического баланса на обогатительных фабриках .....	74
Рахмееев Р. Н., Войлошников Г. И., Федоров Ю. О., Чикин А. Ю. Результаты испытаний рентгенорадиометрического сепаратора для обогащения алмазосодержащих концентратов .....	80
Волков П. С. Экспериментальное определение изменения относительной погрешности при введении операции обогащения в схему пробоподготовки.....	89

## ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аликулов Ш. Ш. Математическое моделирование фильтрации растворов подземного выщелачивания урана из слабопроницаемых руд.....	95
--	----

## ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРНОГО ДЕЛА

Курлаев Е. А. Уральское серебро.....	102
--------------------------------------	-----

# CONTENTS

## DEVELOPMENT OF MINERAL DEPOSITS AND TECHNOGENOUS FORMATIONS

Tyrsin A. N., Azarian A. A. High load equipment operating period optimization on the basis of the analysis of average unit expences.....	4
--	---

## ECONOMICS, ORGANIZATION AND MANAGEMENT. LEGAL MATTERS OF SUBSOIL USE

Razovskii Iu. V., Ruban M. S. Excess profit of the bowels and other components of the Arctic environment.....	9
---	---

## OIL AND GAS EXTRACTION

Zinatullina I. P., Zinatullin M. Kh. A finely dispersed component in terrigenous reservoirs of the upper Devonian of oil deposits of the Republic of Tatarstan .....	18
Shishliannikov D. I. The study of power and energy parameters of advanced brushless motors balance pumping units work.....	25

## CONSTRUCTION OF SHAFTS AND UNDERGROUND STRUCTURES

Orlov A. O., Smirnov Iu. G., Gusak S. A. Basic methodological principles for ensuring the safe construction of underground complexes of small nuclear power plants in the Russian Arctic.....	31
---	----

## GEOMECHANICS

Balek A. E., Efremov E. Iu. The substantiation of geomechanical conditions of "Udachnaya pipe" diamond deposit underground mining .....	39
Kharisov T. F. Mine shaft rock walls convergence investigations in the conditions of the out-of-limit state of the borehole massif.....	46

## MECHANISATION OF MINING. MINING MACHINES AND COMPLEXES

Lukashuk O. A., Letnev K. Iu., Komissarov A. P. The modes of operation determination of the main mechanisms engines of a power shovel .....	52
Makarov V. N., Potapov V. Ia., Makarov N. V., Patrakeeva I. Iu. Criteria equations of aeration stratification in shelf separators .....	59

## ELECTRIFICATION OF MINING OPERATIONS

Medvedeva M. L., Kuz'min S. V., Kuz'min I. S., Shmanev V. D. Reasons for short circuits and single-phase ground faults in the networks of mining enterprises .....	65
--	----

---

<b>ORE PREPARATION AND MINERAL DRESSING</b>	
<i>Kozin V. Z., Komlev A. S., Vodovozov K. A.</i> Technological balance errors at concentrating mills .....	74
<i>Rakhmeev R. N., Voiloshnikov G. I., Fedorov Iu. O., Chikin A. Iu.</i> Results of the experiments over the X-ray radiometrical separator for diamond-bearing concentrates processing.....	80
<i>Volkov P. S.</i> Experimental determination of relative error change under the introduction of the opeation of concentration into the scheme of sample preparation.....	89
<b>PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES OF MINING</b>	
<i>Alikulov Sh. Sh.</i> Mathematical modeling of uranium underground leaching solutions filtration from ore with low permeability .....	95
<b>HISTORICAL ASPECTS OF MINING</b>	
<i>Kurlaev E. A.</i> Ural silver .....	102

---

ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В «ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ,  
В КОТОРЫХ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
ДИССЕРТАЦИЙ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК,  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК»  
(письмо Минобрнауки РФ от 1 декабря 2015 года № 13-6518)

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

---

УДК 621.316.542.027:622.012

## ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРОТКИХ И ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

МЕДВЕДЕВА М. Л., КУЗЬМИН С. В., КУЗЬМИН И. С., ШМАНЕВ В. Д.

*На современном этапе развития систем электроснабжения горных предприятий основные причины аварийных отключений связаны с возникновением однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). ОЗЗ происходят в 3,88 раза чаще, чем короткие замыкания (КЗ). В статье проанализированы причины возникновения ОЗЗ и КЗ в сетях 6–10 кВ горных предприятий. К основным причинам относятся: коммутационные перенапряжения (КП), перенапряжения в режиме ОЗЗ и естественное старение изоляции. Показано, что за период с 2005 по 2015 г. коммутационные перенапряжения из второстепенных факторов превратились в одну из основных причин ОЗЗ и КЗ. Это связано с ростом доли вакуумных выключателей в общем количестве выключателей, эксплуатируемых на горных предприятиях, и с низкой эффективностью нелинейных ограничителей перенапряжений, с помощью которых ограничивают КП. Доля вакуумных выключателей на горных предприятиях от общего количества выключателей составляет 57–67 % в зависимости от типа горного предприятия. Широкое использование вакуумных выключателей привело к росту ОЗЗ и КЗ в 1,9 и 1,8 раза соответственно. В статье указывается на необходимость эффективного ограничения КП, а для снижения количества групповых отключений необходимо эффективно ограничивать перенапряжения в режиме ОЗЗ. Кроме этого, показано, что на возникновение ОЗЗ в сетях 6–10 кВ карьеров и угольных разрезов оказывает влияние естественное старение изоляции, связанное с технологическими и климатическими факторами.*

**Ключевые слова:** однофазные замыкания на землю; короткие замыкания; коммутационные перенапряжения; естественное старение изоляции; перенапряжения при дуговых однофазных замыканий на землю.

Анализ аварийности в системах электроснабжения 6–10 кВ горных и металлургических предприятий показывает, что на двух- и трехфазные короткие замыкания (КЗ), однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) и обрывы фаз приходится 17, 66 и 14 % отключений электроприемников соответственно [1].

Для снижения аварийности в системах электроснабжения 6–10 кВ горных предприятий необходимо в первую очередь определить основные причины возникновения КЗ и ОЗЗ, так как на долю указанных факторов приходится наибольшее количество аварийных отключений.

Исследования показывают, что в основе возникновения КЗ и ОЗЗ лежат следующие основные причины: старение изоляции кабельных линий и электрооборудования; термическое разрушение изоляции из-за длительных перегрузок; воздействие внутренних перенапряжений, как правило, коммутационных или

---

Медведева Марина Леонидовна – директор. 620075, г. Екатеринбург, ул. Кузнецкая, 92, ООО «Экспертный центр». E-mail: medvedeva@exctr.ru

Кузьмин Сергей Васильевич – кандидат технических наук, директор. 620025, г. Красноярск, ул. Вавилова, 72, оф. 10, ООО «НПП «Рутас». E-mail: rutas2004@list.ru

Кузьмин Илья Сергеевич – инженер-проектировщик. 620025, г. Красноярск, ул. Вавилова, 72, оф. 10, ООО «НПП «Рутас».

Шманев Вадим Дмитриевич – инженер-проектировщик. 620025, г. Красноярск, ул. Вавилова, 72, оф. 10, ООО «НПП «Рутас».

возникающих в режиме ОЗЗ; внешние перенапряжения, обусловленные разрядами атмосферного электричества; механические воздействия на кабельно-воздушные линии и электрооборудование[2–4].

Для определения влияния технологических и климатических факторов на возникновение КЗ и ОЗЗ в сетях 6–10 кВ рассматривались три основные группы горных предприятий: карьеры и угольные разрезы; шахты и рудники, обогатительные фабрики и горноперерабатывающие комбинаты. Проанализировано около 40 135 аварийных отключений в системах электроснабжения 6–10 кВ горных предприятий, расположенных в Сибири, на Урале, в Республике Беларусь и Республике Казахстан за период с 1995 по 2015 г. На долю КЗ и ОЗЗ пришлось 5868 и 27 128 аварийных отключений соответственно. Остальные отключения связаны с неустановленными причинами и обрывами фаз в сетях 6–10 кВ.

В табл. 1 и 2 показано количественное распределение КЗ и ОЗЗ, возникающих в системах электроснабжения 6–10 кВ рассматриваемых предприятий в зависимости от причин КЗ или ОЗЗ.

Таблица I

**Распределение КЗ, возникающих в системах электроснабжения 6–10 кВ, в зависимости от причин КЗ**

Основные причины КЗ	1995–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2015
Старение изоляции	245 / 147 / 43	269 / 147 / 47	192 / 117 / 35	250 / 86 / 72
Перегрузка ОЗЗ	53 / 29 / 14 172 / 93 / 16	71 / 23 / 15 214 / 117 / 26	101 / 44 / 13 302 / 150 / 28	95 / 52 / 23 405 / 176 / 100
Коммутационные перенапряжения	47 / 16 / 3	103 / 46 / 12	222 / 112 / 19	214 / 100 / 44
Внешние перенапряжения	79 / 6 / 3	79 / 4 / 4	111 / 5 / 3	107 / 5 / 5
Механическое воздействие	26 / 16 / 2	24 / 30 / 3	50 / 37 / 2	71 / 33 / 3
Неустановленные причины	40 / 13 / 4	32 / 11 / 5	30 / 15 / 7	48 / 23 / 6
<i>Всего</i>	662 / 320 / 85	792 / 378 / 112	1008 / 486 / 107	1190 / 475 / 253

Карьеры, разрезы / шахты, рудники / горноперерабатывающие предприятия

На рис. 1 и 2 приведена динамика процентных соотношений основных причин КЗ и ОЗЗ за каждый пятилетний период с 1995 по 2015 г.

Анализ данных, представленных в табл. 1, 2 и на рис. 1, 2, показывает, что за период с 1995 по 2005 г. основными причинами КЗ и ОЗЗ явились старение изоляции и перенапряжения в режиме ОЗЗ, а в период с 2006 по 2015 г. к указанным причинам добавились и коммутационные перенапряжения. В распределительных сетях горных предприятий произошло от 61 до 79 % КЗ и ОЗЗ.

С 2006 по 2015 г. в среднем происходит уменьшение доли фактора, связанного с естественным старением изоляции, в образовании КЗ и ОЗЗ в системах электроснабжения 6–10 кВ карьеров и угольных разрезов, шахт и рудников, горноперерабатывающих предприятий в 1,78; 2,02; 1,52 и 1,55; 1,6; 1,44 раза соответственно. Доля коммутационных перенапряжений в образовании КЗ и ОЗЗ в системах электроснабжения предприятий возрастает в среднем в 4; 2,59; 2,5 и 2,8; 3,3; 3,15 раза соответственно.

За указанный период наблюдается среднее увеличение доли перенапряжений при возникновении ОЗЗ, КЗ и при образовании многоместных повреждений изоляции кабельных линий и электрооборудования в режиме ОЗЗ в 1,2; 1,15; 1,55 и 1,13; 1,4; 1,53 раза соответственно для систем электроснабжения 6–10 кВ рассматриваемых предприятий.

При этом за период с 2006 по 2015 г. по сравнению с периодом с 1995 по 2005 г. численный рост КЗ в системах электроснабжения 6–10 кВ карьеров и угольных разрезов наблюдается в основном из-за коммутационных перенапряжений (КП) и перенапряжений, возникающих в режиме ОЗЗ, в 2,9 и 1,3 раза соответственно. В сравниваемые периоды времени естественное старение изоляции приводит к возникновению КЗ реже в 1,7 раза.

Таблица 2

**Распределение ОЗЗ, возникающих в системах электроснабжения 6–10 кВ, в зависимости от причин ОЗЗ**

Основные причины ОЗЗ	1995–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2015
Старение изоляции	876 / 406 / 133	1307 / 488 / 192	1835 / 540 / 166	1701 / 525 / 63
Перегрузка	131 / 69 / 21	182 / 71 / 25	262 / 75 / 25	243 / 61 / 26
Перенапряжения в режиме ОЗЗ	460 / 145 / 30	944 / 262 / 79	1704 / 484 / 116	2187 / 545 / 170
Коммутационные перенапряжения	197 / 60 / 12	399 / 107 / 58	1442 / 429 / 141	2754 / 606 / 202
Внешние перенапряжения	219 / 9 / 7	327 / 0 / 8	524 / 19 / 5	405 / 20 / 13
Механическое воздействие	241 / 131 / 16	327 / 215 / 33	656 / 260 / 30	567 / 223 / 46
Неустановленные причины	66 / 44 / 14	144 / 48 / 22	131 / 56 / 20	243 / 40 / 33
<i>Всего</i>	2190 / 846 / 233	3630 / 119 / 417	6554 / 1863 / 503	8100 / 2020 / 653

Карьеры, разрезы / шахты, рудники / горнoperерабатывающие предприятия

Численный рост ОЗЗ в системах электроснабжения карьеров и угольных разрезов в основном обусловлен коммутационными перенапряжениями, перенапряжениями в режиме ОЗЗ и естественным старением изоляции (увеличение в 7,04; 2,77 и 1,62 раза соответственно). Однако основополагающим фактором роста количества ОЗЗ являются КП и перенапряжения в режиме ОЗЗ.

Аналогичная тенденция наблюдается в системах электроснабжения 6–10 кВ шахт и рудников: количество КЗ из-за КП и перенапряжений в режиме ОЗЗ возросло в 3,42 и 2,0 раза соответственно. За счет естественного старения изоляции в системах электроснабжения шахт и рудников КЗ стали возникать реже в 1,45 раза.

Численный рост ОЗЗ в системах электроснабжения 6–10 кВ шахт и рудников обусловлен следующими основными факторами: КП, перенапряжениями в режиме ОЗЗ и естественным старением изоляции кабельных линий и электрооборудования. Рост ОЗЗ за период с 2006 по 2015 г. по сравнению с 1995–2005 гг. из-за указанных факторов составил 6,2; 2,53 и 1,19 раза соответственно.

В системах электроснабжения 6–10 кВ горнoperерабатывающих предприятий в сравниваемые периоды времени численный рост КЗ обусловлен не только КП,

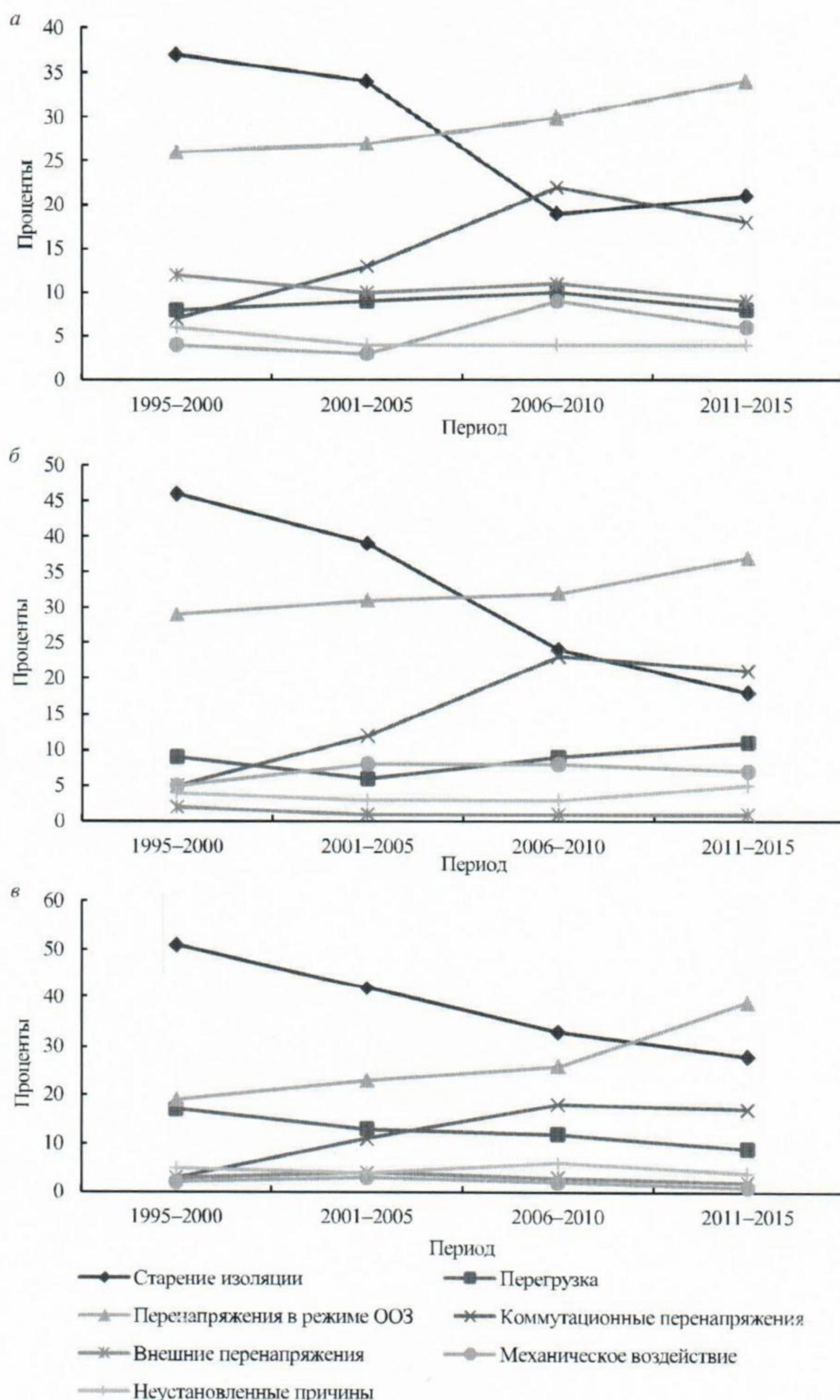


Рис. 1. Динамика процентных соотношений основных причин КЗ в системах электроснабжения 6–10 кВ горных предприятий:  
а – карьеры и угольные разрезы; б – шахты и рудники; в – горноперерабатывающие предприятия

перенапряжениями в режиме ОЗЗ, но и естественным старением изоляции элементов систем электроснабжения и высоковольтных электроприемников – 4,2; 3,05 и 1,19 раза соответственно.

Численный рост ОЗЗ обусловлен в основном КП и перенапряжениями в режиме ОЗЗ соответственно в 4,9 и 2,62 раза, так как из-за естественного старения изоляции количество ОЗЗ в сравниваемые периоды времени увеличилось в 1,01 раза, т. е. практически не изменилось.

Исходя из изложенного, можно утверждать, что на современном этапе развития систем электроснабжения 6–10 кВ рассмотренных промышленных предприятий основными причинами аварийности распределительных сетей и электрооборудования являются коммутационные перенапряжения и перенапряжения, возникающие в режиме ОЗЗ. На указанные причины приходится более 72 % КЗ и 82 % ОЗЗ. Естественное старение изоляции электрооборудования, кабельных и воздушных линий оказывает влияние на возникновение ОЗЗ в системах электроснабжения 6–10 кВ карьеров и угольных разрезов, шахт и рудников. Это в первую очередь связано с перемещением фронта работ и влиянием вибрационных нагрузок. Следует отметить, что ОЗЗ в сетях 6–10 кВ карьеров и угольных разрезов по сравнению с шахтами и рудниками происходят в 1,36 раза чаще. Это доказывает негативное влияние климатических факторов на процесс старения изоляции электрооборудования, кабельных и воздушных линий.

Очевидно, что эффективное ограничение коммутационных перенапряжений и перенапряжений в режиме ОЗЗ позволит значительно снизить аварийность в системах электроснабжения горных предприятий.

Для научно-технического обоснования эффективных методов оценки и средств ограничения указанных перенапряжений необходимо иметь информацию о наиболее повреждаемых электроприемниках и элементах системы электроснабжения.

В табл. 3 приведено распределение КЗ и ОЗЗ по типам электроприемников и основным элементам системы электроснабжения горных предприятий в зависимости от доли вакуумных выключателей в общем количестве выключателей, эксплуатируемых в системах электроснабжения 6–10 кВ.

При анализе распределения КЗ и ОЗЗ временной промежуток был разбит на две части в зависимости от количества вакуумных выключателей, эксплуатируемых в сетях 6–10 кВ. Первая часть охватывала период с 1995 по 2005 г., когда доля вакуумных выключателей от общего числа высоковольтных выключателей, эксплуатируемых на горнодобывающих (карьеры, угольные разрезы, шахты и рудники) и горноперерабатывающих предприятиях составляла 18 и 12 % соответственно. В период с 2006 по 2015 г. происходит интенсивное внедрение вакуумных выключателей на рассматриваемых предприятиях. Доля современных быстродействующих выключателей, эксплуатируемых на горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятиях, в настоящее время составляет 67 и 57 % соответственно. Произошло увеличение доли вакуумных выключателей в общем количестве выключателей на данных предприятиях в 3,7 и 4,8 раза.

Анализ аварийных отключений показывает, что использование современных выключателей в сетях 6–10 кВ приводит к росту однофазных замыканий на землю и КЗ. Например, на горнодобывающих предприятиях увеличение доли вакуумных выключателей в 3,7 раза привело к тому, что число ОЗЗ возросло в 2,4 раза, а число КЗ увеличилось в 1,5 раза. Увеличение количества быстродействующих выключателей на горноперерабатывающих предприятиях в 4,8 раза соответственно привело к тому, что число однофазных замыканий на землю возросло в 1,9 раза, а КЗ – в 1,8 раза. Это связано с тем, что вакуумные выключатели инициируют возникновение более высоких уровней КП по сравнению с масляными и электромагнитными

Таблица 3

## Распределение ОЗЗ и КЗ по типам электроприемников и элементам системы электроснабжения

Элемент системы электроснабжения или тип электро- приемника	Причина повреждения	Удельный вес, %			
		ОЗЗ		КЗ	
		1995–2005	2006–2015	1995–2005	2006–2015
Распределитель- ная подстанция	Пробой изоляторов	0,2 / 3,8 / 2,4	0,1 / 4,3 / 0,5	0,3 / 2,5 / 1,1	0,2 / 2,2 / 0,8
	Пробой изоляции разделки кабеля	1,8 / 11,5 / 9,8	0,6 / 12,8 / 6,3	1,6 / 8,6 / 10,3	2,5 / 7,7 / 9,2
	Перекрытия ввода выключателя	0,7 / 0,5 / 0,8	0,2 / 0,6 / 0,6	0,14 / 0,8 / 2,7	0,3 / 0,4 / 2,6
	Пробой изоляции трансформаторов тока	0,3 / 0,2 / 0,2	0,1 / 0,3 / 0	0 / 0,1 / 0,3	0 / 0,1 / 0,2
	<i>Всего</i>	3 / 16 / 13,2	1 / 18 / 7,4	2 / 12 / 14,5	3 / 10,4 / 12,8
Воздушная ЛЭП	Пробой изоляторов	2,2 / – / –	0,4 / – / –	0,3 / – / –	0,2 / – / –
	Схлестывание проводов	6,7 / – / –	4,3 / – / –	10,3 / – / –	9,8 / – / –
	Обрыв проводов	3,7 / – / –	2,2 / – / –	0,2 / – / –	0,4 / – / –
	Механическое воздействие	3,4 / – / –	1,1 / – / –	1,2 / – / –	1,6 / – / –
	<i>Всего</i>	16 / – / –	8 / – / –	13 / – / –	12 / – / –
Приключатель- ный пункт	Пробой изоляторов	1,1 / – / –	0,4 / – / –	1,2 / – / –	1,4 / – / –
	Пробой изоляции разделки кабеля	4,1 / – / –	1,1 / – / –	6,6 / – / –	8,2 / – / –
	Перекрытия ввода выключателя	1,6 / – / –	0,3 / – / –	1,2 / – / –	2,1 / – / –
	Пробой изоляции трансформаторов тока	0,2 / – / –	0,2 / – / –	0 / – / –	0 / – / –
	<i>Всего</i>	7 / – / –	7 / – / –	9	11,7 / – / –
Кабельная ЛЭП	Пробой изоляции кабеля	13,7 / 11 / 39	2,8 / 6,2 / 6,5	10,4 / 14,1 / 31,9	4,4 / 12,3 / 12
	Пробой изоляции кабельной муфты	27,6 / 44 / 9,3	3,3 / 20 / 2,7	37,3 / 51,6 / 28,8	12,8 / 26,6 / 13,8
	Пробой изоляции разделки кабеля и электроприемника	6,2 / 5 / 4,8	18,1 / 16,4 / 15,2	8,7 / 6,8 / 7,9	20,2 / 27,3 / 26,1
	Обрыв кабеля	2,4 / 4 / 2,6	2,6 / 2,8 / 0,5	3,2 / 1,2 / 2,0	1,1 / 1,2 / 1,5
	Механическое воздействие	6,1 / 9 / 11,3	2,2 / 7,6 / 3,0	5,4 / 7,3 / 4,6	2,0 / 3,1 / 2,8
	<i>Всего</i>	56 / 73 / 67	29 / 53 / 27,9	65 / 81 / 75,2	39,5 / 70,5 / 56,2
Трансформатор	Пробой изоляции обмоток	6 / 3 / 5,8	14,2 / 7 / 14,3	3 / 4 / 4,8	8 / 12,3 / 14,2
Электродвигатель	Пробой изоляции обмоток	12 / 8 / 14	40,8 / 22 / 50,4	8 / 3 / 5,5	25,8 / 6,8 / 16,7

Карьеры, разрезы / шахты, рудники / горноперерабатывающие предприятия

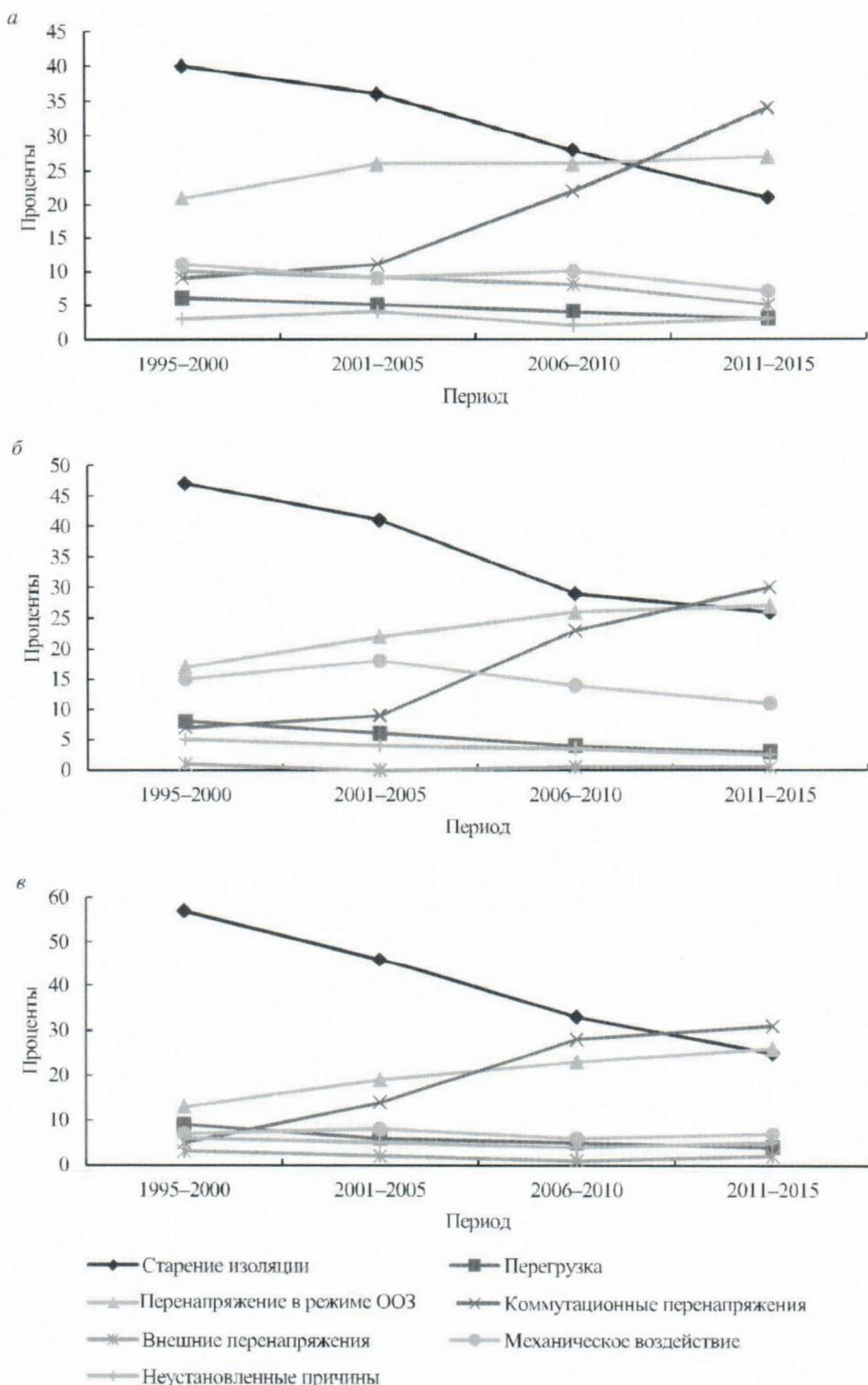


Рис. 2. Динамика процентных соотношений основных причин ОЗЗ в системах электроснабжения 6–10 кВ горных предприятий:  
а – карьеры и угольные разрезы; б – шахты и рудники; в – горноперерабатывающие предприятия

выключателями. Величина КП может превышать номинальное напряжение сети в 3,5–6,5 раз [2]. Подобные перенапряжения представляют серьезную опасность для изоляции электродвигателей и трансформаторов (табл. 3).

Данные табл. 3 показывают, что в период с 1995 по 2005 г. ОЗЗ и КЗ возникали в основном в кабельных линиях напряжением 6–10 кВ. В период с 2006 по 2015 г. серьезно возрастает количество ОЗЗ и КЗ из-за пробоев изоляции обмоток электродвигателей, трансформаторов и разделок кабелей на вводах электродвигателей и трансформаторов. Удельный вес ОЗЗ и КЗ, связанных с пробоями изоляции обмоток электродвигателей, трансформаторов и разделок кабелей, эксплуатируемых на горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятиях, в указанный период возрос в 3,06 и 2,82; 2,8 и 2,6 раза соответственно.

Это еще раз указывает на высокие уровни перенапряжений, инициируемых вакуумными выключателями при коммутации электродвигателей и трансформаторов, и на недостаточную эффективность существующих средств ограничения КП, в роли которых в основном выступают нелинейные ограничители перенапряжений.

Итак, в настоящее время основными причинами возникновения ОЗЗ и КЗ являются коммутационные перенапряжения и перенапряжения в режиме ОЗЗ. Естественное старение изоляции, связанное с технологическими и климатическими факторами, оказывает влияние на возникновение ОЗЗ в сетях 6–10 кВ карьеров и угольных разрезов.

Наиболее повреждаемыми элементами систем электроснабжения и электро-приемников являются разделки кабелей, трансформаторы и электродвигатели, а широкое внедрение вакуумных выключателей, доля которых от общего числа высоковольтных выключателей достигает или превышает 60 %, привело к росту ОЗЗ на горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятиях соответственно в 2,4 и 1,5 раза, а количество КЗ практически возросло в 2 раза.

Для снижения роста аварийности в системах электроснабжения 6–10 кВ горных предприятий в первую очередь необходимо использовать эффективные средства ограничения коммутационных перенапряжений и перенапряжений в режиме ОЗЗ, так как данные факторы оказывают наиболее сильное влияние на возникновение КЗ и ОЗЗ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьмин С. В., Зыков И. С., Майнагашев Р. А., Ящук К. П. Анализ аварийности в системе электроснабжения 6–10 кВ горно-металлургических предприятий Сибири // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 3. С. 23–25.
2. Кузьмин С. В., Гаврилова Е. В., Барышников Д. В. Влияние процесса дугогашения в высоковольтных выключателях на величину коммутационных перенапряжений, возникающих в сетях 6...10 кВ горнодобывающих предприятий // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 2. С. 41–44.
3. Серов В. И., Щуцкий В. И., Якудаев Б. М. Методы и средства борьбы с замыканиями на землю в высоковольтных системах горных предприятий. М.: Наука, 1985. 136 с.
4. Дягтерев И. Л., Кадомская К. П., Копылов Р. В. Режимы заземления нейтрали и защиты от перенапряжений электрических сетей врачающимися электрическими машинами // Ограничение перенапряжений в режиме заземления нейтрали сети 6–35 кВ: тр. III Всерос. науч.-техн. конф. / под ред. К. П. Кадомской и др. Новосибирск, 2004. 200 с.

Поступила в редакцию 17 января 2017 года

#### REASONS FOR SHORT CIRCUITS AND SINGLE-PHASE GROUND FAULTS IN THE NETWORKS OF MINING ENTERPRISES

Medvedeva M. L. – Expert center LLC, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: medvedeva@exctr.ru  
Kuz'min S. V., Kuz'min I. S., Shmanev V. D. – Research and Production Enterprise “Rutas” LLC, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: rutas2004@list.ru

At the present stage of mining enterprises power supply development, the main reasons for emergency shutdowns are connected with the emergence of single-phase ground faults (SPGF). SPGF occurs 3.88 times more often than the short circuits (SC). In the article the causes of SPGF and SC in the networks of 6–10 kV of the mining enterprises are analyzed. To the main reasons for emergence of SPGF and SC refer: the switching overstrain (SO), overstrain in SPGF mode, and natural aging of isolation. It has been shown that from 2005 to 2015 switching overstrains transformed from minor factors into the main reasons for SPGF and SC. It is connected with the growth of a share of vacuum switches in the total of the switches used at mining enterprises and low efficiency of nonlinear surge arresters by means of which SO is limited. The share of vacuum switches at mining enterprises changes from 57% to 67% from the total quantity of switches depending on the type of the mining enterprise. Wide use of vacuum switches has led to the growth of SPGF and SC 1.9 and 1.8 times respectively. The article indicates the need of effective restriction of SO, whereas in order to reduce the number of group shutdowns it is necessary to limit overstrain effectively in SPGF mode. Besides it has been indicated that the natural aging of isolation connected with technology and climatic factors influences SPGF in the networks of 6–10 kV in pits and coal mines.

**Key words:** single-phase ground faults; short circuits; switching overstrain; natural aging of isolation; overstrains of arc single-phase ground faults.

#### REFERENCES

1. Kuz'min S. V., Zykov I. S., Mainagashev R. A., Iashchuk K. P. [The analysis of breakdown rate in the power supply of 6–10 kV at the mining enterprises of Siberia]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika – Mining Equipment and Electromechanics*, 2009, no. 3, pp. 23–25. (In Russ.)
2. Kuz'min S. V., Gavrilova E. V., Baryshnikov D. V. [The influence of the process of arc suppression in high-voltage switches on the value of switching overstrains in the networks of 6–10 kV of the mining enterprises]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika – Mining Equipment and Electromechanics*, 2009, no. 2, pp. 41–44. (In Russ.)
3. Serov V. I., Shchutskii V. I., Iakudaev B. M. *Metody i sredstva bor'by s zamykaniiami na zemliu v vysokovol'tnykh sistemakh gornykh predpriiatii* [Methods and means of protection from ground faults in high-voltage networks of the mining enterprises]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 136 p.
4. Diagterevo I. L., Kadomskaya K. P., Kopylov R. V. [The modes of neutral grounding and protection from overstrains of electric networks with rotating electrical machines]. *Ogranichenie perenapriazhenii v rezhime zazemleniya neutrali seti 6–35 kV. Tr. III Vseros. nauch.-tekhn. konf. Pod. red. K. P. Kadomskoi i dr.* [Proc. 3rd All-Russ. Sci. and Pract. Conf. "Overshoot suppression in mode of neutral grounding of the network 6–35 kV". Edited by K. P. Kadomskaya, and others]. Novosibirsk, 2004. 200 p.

---

**Редакция**

Главный редактор М. В. Корнилков

Зам. главного редактора О. Г. Латышев, М. Г. Бабенко

Ответственный секретарь Л. А. Решеткина

Редакторы Л. Г. Соколова, А. А. Зайкова

Перевод И. В. Шайхутдиновой

Компьютерная верстка Ю. Б. Швецовой

---

**Подп. в печать 30.06.2017. Дата выхода в свет 14.08.2017**

**Формат 70 x 108 1/16. Печать офсетная**

**10,0 усл. печ. л., 9,0 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. Заказ 5935**

**Цена свободная**

**Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-57227 от 12.03.2014**

**Редакция «Изв. вузов. Горный журнал»**

**620144, г. Екатеринбург, ГСП, ул. Куйбышева, 30, тел.(факс) (343) 257-65-59**

**E-mail: gornij\_jurnal@ursmu.ru**

**http://mj.ursmu.ru**

**Типография ООО «Издательство УМЦ УПИ»**

**620078, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2**