

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет»

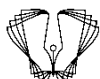
КУЛЬТУРА НАУКА ОБРАЗОВАНИЕ

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Материалы VI Международной научно-практической конференции

г. Нижневартовск, 13–15 февраля 2017 года

Часть II



Издательство
Нижневартовского
государственного
университета
2017

ББК 72я43
К 90

Печатается по постановлению редакционно-издательского совета
Нижевартовского государственного университета

К 90 **Культура, наука, образование: проблемы и перспективы:** материалы VI международной научно-практической конференции (г. Нижневартовск, 13–15 февраля 2017 года) / отв. ред. А.В. Коричко. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2017. Ч. II. Естественные и технические науки. – 237 с.

ISBN 978–5–00047–374–0

Издание адресовано специалистам-практикам, педагогическим работникам, научным сотрудникам, аспирантам и студентам.

ББК 72я43

Изд. лиц. ЛР № 020742. Подписано в печать 21.04.2017
Формат 60×84/8. Бумага для множительных аппаратов
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. листов 29,63
Тираж 300 экз. Заказ 1848

*Отпечатано в Издательстве
Нижевартовского государственного университета
628615, Тюменская область, г. Нижневартовск, ул. Дзержинского, 11
Тел./факс: (3466) 43-75-73, E-mail: izd@nvsu.ru*

ISBN 978–5–00047–374–0

© Издательство НВГУ, 2017

Телегин А.В., Базавлук А.А., Денчик Ю.М., Ширковец А.И. ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ОНЛАЙН-РЕГИСТРАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕТЯХ 6-110 КВ С ОЦЕНКОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОММУТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	167
Тиловов Ю.С., Турдиев Э.Ж., Косимов И.С., Шафоатов З.Ж. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРУТКОВ МАЛОГО ДИАМЕТРА ИЗ МОЛИБДЕНА	171
Тоньшев В.Ф., Гамм Б.З., Князева О.А., Малышева Е.П. САМОЗАПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В МОЩНЫХ УЗЛАХ НАГРУЗКИ.....	173
Умурзакова А.Д. АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С УСТРОЙСТВОМ КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ ВЫХОДНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ	175
Чудинов А.Н., Бубнов А.В., Четверик А.Н. МЕТОД КОСВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОШИБКИ ПО УГЛОВОЙ СКОРОСТИ СИНХРОННО-СИНФАЗНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДСТРОЕЧНОГО ИМПУЛЬСНОГО ОПОРНОГО СИГНАЛА.....	177
Шатило С.П., Круглов И.А., Родионцев Н.Н., Шитиков М.М. ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ АНТИКОРРОЗИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АО «РН- САМОТЛОРНЕФТЕГАЗ»	181
Шатило С.П., Круглов И.А., Родионцев Н.Н., Шитиков М.М. ОСВОЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ВНЕДРЕНИЕ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ТРУБ НЕФТЯНОГО СОРТАМЕНТА С ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТЬЮ И ХЛАДОСТОЙКОСТЬЮ	186
Щекочихин А.В., Щекочихина И.А. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	191
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ПРОГРАММИРОВАНИЕ	
Абдугулова Ж.К., Кишубаева А.Т., Маштаева А.А. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ	196
Гуйда А.Г. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ КОМПРЕССИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ СПЛАЙН-АППРОКСИМАЦИИ.....	198
Жузбаев С.С., Сабитова Д.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН	200
Искандаров А.Р., Слива М.В. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ARDUINO	203
Коренева Н.В. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА	205
Матющенко И.А. СЕТЕВЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ	207
Махутов Б.Н. ПРОЕКТ ВЕБИНАРА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ: ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ МАГИСТЕРСКИХ ОНЛАЙН ЗАНЯТИЙ	210

А.В. Телегин
аспирант

А.А. Базавлук
аспирант

Ю.М. Денчик
кандидат технических наук, докторант
г. Новосибирск, Сибирский государственный университет водного транспорта

А.И. Ширковец
кандидат технических наук
г. Новосибирск, ООО «Болид»

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ОНЛАЙН-РЕГИСТРАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕТЯХ 6-110 КВ С ОЦЕНКОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОММУТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. В статье представлены ключевые особенности и результаты опытной эксплуатации новой высокочастотной системы регистрации переходных процессов и аварийных событий для распределительных подстанций 6–110 кВ. Система регистрации предназначена для мониторинга и осциллографирования процессов при коммутациях, любых видах однофазных замыканий на землю и коротких замыканий, грозовых повреждениях. Отличительными чертами разработанной системы являются высокая частота дискретизации, а также передача данных в режиме реального времени. Рассмотрены возможные направления развития высокочастотной системы регистрации аварийных событий, включая возможность оценки технического состояния высоковольтных выключателей по результатам анализа осциллограмм аварийных событий.

Ключевые слова: переходные процессы; аварийные события; высокочастотная система регистрации; перенапряжения; частота дискретизации; однофазное замыкание на землю; выключатели.

Введение

Важной задачей в электрических сетях является своевременный анализ аварийных событий. Исследование переходных процессов, происходящих в воздушных и кабельных сетях, позволяет предупредить выход из строя силовых кабелей при выявлении предпробойных состояний кабелей, оценивать реальный уровень перенапряжений и определять временные параметры аварийных событий. Кроме того, на распределительных подстанциях имеется большое количество устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики, защитных аппаратов (ОПН, РС-цепи) и устройств заземления нейтрали, требующих периодического контроля правильности и эффективности их эксплуатации.

В последнее время одной из актуальных задач при модернизации электроэнергетических систем является создание интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью [5; 6]. При этом электрическая сеть из пассивного устройства превращается в активный элемент, параметры и характеристики которого изменяются в реальном времени в зависимости от режимов работы энергосистемы и которые необходимо контролировать. Одной из основных идей интеллектуальных сетей является также и сбор статистических данных по аварийным событиям и отказам.

Для этих целей могут быть использованы специальные системы регистрации переходных процессов и аварийных событий, которые позволяют осуществлять мониторинг переходных процессов в электрических сетях 6–110 кВ. Использование таких систем позволяет повысить надежность электрообеспечения потребителей за счет контроля параметров сети в режиме реального времени (онлайн-мониторинг) и планирование ремонтов по техническому состоянию.

Современные трансформаторы напряжения, используемые для получения первичных сигналов напряжения в электрических сетях 6-110 кВ, обычно не поверяются в эксплуатации, а их частотные характеристики не нормируются. Они имеют малую полосу пропускания по частоте: хотя верхняя граница пропускаемых частот, при которых коэффициент трансформации еще постоянен, у трансформаторов типа НТМИ, НОМ и ЗНОМ не превышает 3...5 кГц [3], она не гарантируется производителем. С другой стороны, расчетно-экспериментальные оценки частотных характеристик защитной обмотки НОМ-6 [2] показывают, что погрешность таких ТН на частоте 2 кГц по напряжению достигает 20%, а по углу минус 30 градусов, что не соответствует требованиям точности измерений высокочастотных сигналов. В то же время, существующие системы регистрации аварийных событий обладают малой частотой дискретизации АЦП. Между тем, частоты реальных переходных процессов, протекающих при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ), коротких замыканиях (КЗ) и грозовых повреждениях, могут достигать от сотен герц до единиц мегагерц [4; 9]. Это означает, что корректная

запись аварийных осциллограмм с помощью стандартных регистраторов в ряде случаев не может быть обеспечена. Возникает необходимость разработки новой цифровой высокочастотной системы регистрации аварийных событий для электрических сетей 6–110 кВ.

Ключевые характеристики систем регистрации переходных процессов

Авторами совместно со специалистами ООО «Болид» был разработан проект систем регистрации переходных процессов для сетей 6–110 кВ. Система регистрации переходных процессов и аварийных событий предназначена для мониторинга и осциллографирования высокочастотных процессов при коммутациях, любых видах однофазных замыканий на землю и коротких замыканий, грозовых повреждениях в электрических сетях 6–110 кВ [8]. Ключевые особенности реализации системы регистрации переходных процессов были рассмотрены авторами в [7; 8]. Структурная схема системы регистрации переходных процессов приведена в [7; 8].

Одним из основных элементов системы регистрации являются температурно-независимые емкостные делители напряжения (ДН), используемые в качестве датчиков фазных напряжений 6–110 кВ. Они поставляются в составе систем регистрации, имеют диапазон рабочих частот от 20 Гц до 500 кГц.

В отличие от большинства выпускаемых сегодня делителей напряжения, делители производства ООО «Болид» рассчитаны на постоянное использование в существующих сетях стандартных напряжений от 6 до 110 кВ и имеют класс точности преобразования первичного сигнала 1,0 (6–35 кВ) или 5,0 (110 кВ) во всем рабочем диапазоне частот. Для точности привязки к абсолютному времени используется GPS-модуль. Ключевые параметры делителей напряжения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Ключевые параметры делителей напряжения 6–110 кВ производства ООО «Болид»

Наименование параметра	Значение		
Номинальное рабочее напряжение, кВ	6, 10	20, 35	110
Номинальный коэффициент деления	5 000	10 000	20 000
Рабочий диапазон частот, кГц	От 0,02 до 500	От 0,02 до 500	От 0,02 до 500
Вес делителя без присоединительных проводов, кг	2,5	3,5	7,5
Климатическое исполнение, категория размещения по ГОСТ 15150	УХЛ 2		
Класс точности во всем диапазоне частот	1,0	1,0	5,0
Номинальная нагрузка не менее	1 МОм		
Рабочий температурный диапазон °С	От –55 до +40		

Анализ результатов опытной эксплуатации высокочастотных систем регистрации аварийных событий

Как было отмечено в [7], в августе 2012 года высокочастотная система регистрации была введена в опытную эксплуатацию на две крупные питающие подстанции «Архэнерго» – филиала ПАО «МРСК Северо-Запада» (г. Архангельск). Одна из подстанций (далее – подстанция «А») эксплуатируется с заземлением нейтрали каждой из двух секций шин 10 кВ через дугогасящие реакторы, другая подстанция (далее – подстанция «Б») эксплуатируется в режиме изолированной нейтрали. Кабельные сети подстанций «А» и «Б» построены на основе кабелей с бумажно-масляной пропитанной изоляцией (БМПИ), находящихся в эксплуатации с 1970–1980-х гг. Суммарная протяженность кабельных сетей для подстанции «А» составляет около 100 км, для подстанции «Б» – около 60 км.

Вторая система регистрации была установлена в сети 10 кВ одной подстанции ПЭС «Гомель-энерго» (г. Гомель, Республика Беларусь) (далее – подстанция «В»). Сеть 10 кВ подстанции «В» эксплуатируется в режиме изолированной нейтрали. Схема электроснабжения сети потребителей достаточно разветвленная. От секций 10 кВ осуществляется электроснабжение ряда трансформаторных и распределительных подстанций г. Гомель, заводов и комбинатов.

За время опытной эксплуатации систем регистрации было зарегистрировано большое количество аварийных событий. Результаты опытной эксплуатации системы регистрации для подстанций «А», «Б» и «В» приведены в таблице 2, где обозначено:

ОЗЗ – количество дуговых ОЗЗ, самоустранившихся либо выявленных и принудительно отключенных с предварительным переводом на резерв;

ОЗЗ – КЗ – количество переходов дуговых ОЗЗ в междуфазные КЗ с аварийным отключением присоединений;

КЗ – количество междуфазных КЗ, без предшествующего ОЗЗ.

**Результаты опытной эксплуатации высокочастотной системы регистрации
в сетях 10 кВ подстанций «А» и «Б» «Архэнерго» – филиала ПАО «МРСК Северо-Запада»
и в сети 10 кВ подстанции «В» ПЭС «Гомельэнерго» (Республика Беларусь)**

Наименование ПС / вид аварийного события	ОЗЗ	ОЗЗ–КЗ	КЗ	Всего событий
«Архэнерго», ПС «А», 110/10 кВ	102 (65,8%)	34 (21,9%)	19 (12,3%)	155 (100%)
«Архэнерго», ПС «Б», 110/10 кВ	44 (62,9%)	20 (28,6%)	6 (8,5%)	70 (100%)
«Гомельэнерго», ПС «В», 110/10 кВ	31 (41,9%)	19 (25,7%)	24 (32,4%)	74 (100%)

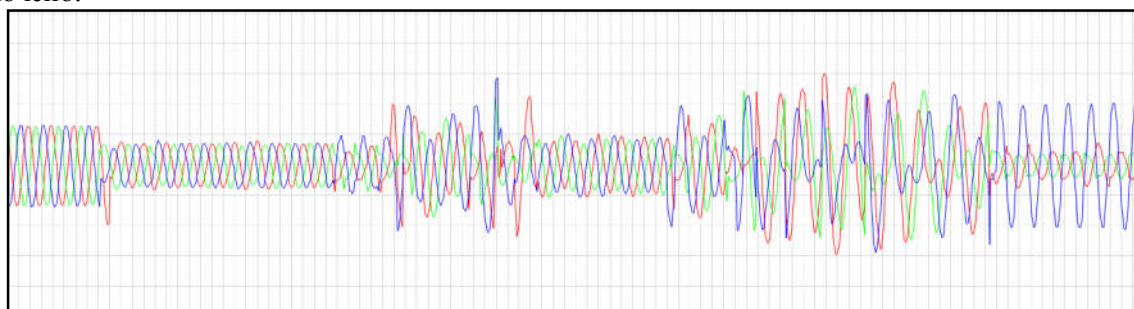
Примечание:

Период анализа данных систем регистрации аварийных событий в Таблице 2:

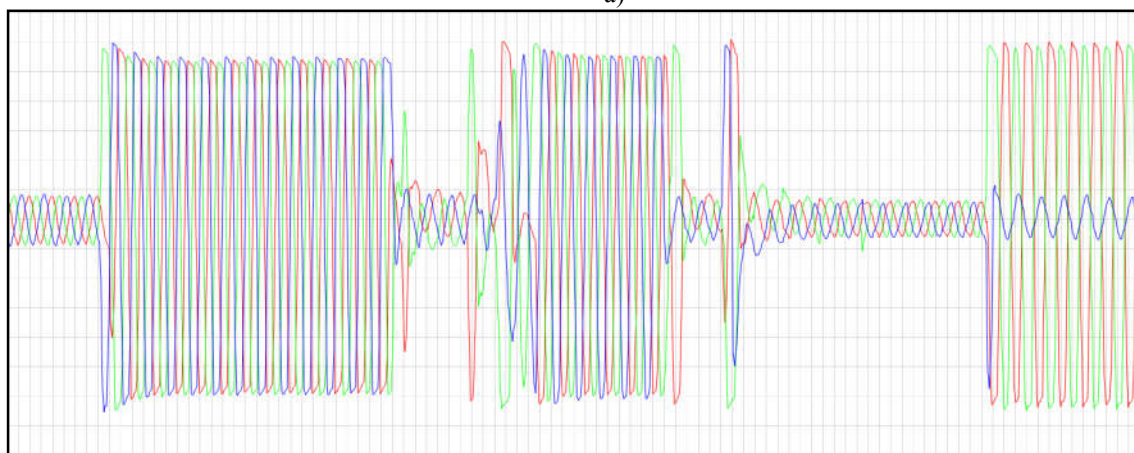
«Архэнерго», ПС «А», ПС «Б» – август 2012 ... декабрь 2014

«Гомельэнерго», ПС «В» – март 2015 ... март 2016

На рисунке 1 представлен пример одного из аварийных событий, записанных с помощью высокочастотной системы регистрации, представляющий собой фрагмент неустойчивого трехфазного короткого замыкания в сети 10 кВ подстанции «А». Продолжительность первого этапа трехфазного КЗ составила 0,26 с. Затем напряжение восстанавливалось 0,1 с с несколькими пробоями и попыткой перехода в двухфазное КЗ, затем произошло еще одно трехфазное КЗ, которое длилось 0,16 с. После его устранения напряжение восстанавливалось в течение 0,05 с, когда произошло еще одно трехфазное КЗ, которое практически тут же перешло в однофазное дуговое замыкание на фазе А. По истечении 0,22с однофазное дуговое замыкание перешло в трехфазное КЗ, которое существовало 0,86с и было отключено.



а)



б)

**Рис. 1. Фрагмент неустойчивого трехфазного короткого замыкания в сети 10 кВ подстанции «А»
(а – фазные напряжения, б – фазные токи)**

Анализ представленных результатов опытной эксплуатации (таблица 2) показывает, что в кабельной сети 10 кВ подстанции «А» с компенсацией емкостных токов количество аварийных событий (155 соб.) существенно больше и их последствия, выражаемые в количестве аварийно отключенных присоединений (53 соб.), тяжелее, чем в сети без компенсации на подстанциях «Б» (70 и 26 соб.

соответственно) и «В» (74 и 43 соб. соответственно). Это свидетельствует о низкой эффективности существующей системы компенсации на подстанции «А» и необходимости оптимизации режима заземления нейтрали. Для подстанций «Б» и «В» необходимо проанализировать основные причины повреждений и обеспечить планомерную работу по модернизации кабельных линий и оптимизации режима заземления нейтрали.

Перспективные пути использования систем регистрации переходных процессов

Среди возможных путей развития высокочастотных систем регистрации можно выделить следующие:

1. Совершенствование метрологических характеристик широкополосных ДН на напряжения 6, 10, 20, 35 кВ и разработка серийных образцов высокочастотных ДН на напряжения 110-220 кВ для применения в системах регистрации для подстанций с различными классами напряжения.
2. Совершенствование технических характеристик измерительных модулей системы регистрации (расширение частотного диапазона, увеличение количества каналов).
3. Разработка методов и средств определения места повреждения (ОМП) в кабельных и воздушных сетях среднего напряжения с неэффективным заземлением нейтрали.
4. Разработка алгоритмов автоматической классификации зарегистрированных событий (в том числе возможно применение машинного обучения).
5. Интеграция системы СПЕКТР и диспетчерских информационных комплексов.

Одним из путей использования данных онлайн-мониторинга, полученных с помощью разработанной системы регистрации аварийных событий с использованием в ее составе делителей напряжения с широкой полосой рабочих частот, является также возможность оценки технического состояния коммутационного оборудования, а именно:

- Производится онлайн-регистрация переходных процессов на шинах подстанции при коммутациях выключателей.
- Оцениваются параметры работы высоковольтных выключателей (величины перенапряжений, скорость изменения пробивного напряжения, синхронность работы модулей коммутационного аппарата в полюсе, количество предварительных пробоев и повторных зажиганий) [1].
- События, записанные системой регистрации, сопоставляются с диспетчерскими данными для идентификации присоединения с конкретным выключателем.

Это позволит своевременно выявлять возможные неисправности коммутационного оборудования и повысить надежность работы электроэнергетических сетей и систем.

Заключение

Ключевыми особенностями разработанной системы регистрации является высокая частота дискретизации при записи аварийных событий, что позволяет с большой степенью точности и высокой достоверностью осциллографировать переходные и установившиеся процессы, а также передача данных об аварийных событиях в режиме реального времени.

Представлена и проанализирована статистическая информация об аварийных событиях в электрических сетях трех действующих подстанций «Архэнерго» – филиала ПАО «МРСК Северо-Запада» и ПЭС «Гомельэнерго». Отмечена недостаточная эффективность системы компенсации на одной из подстанций «Архэнерго».

Намечены пути дальнейшего развития высокочастотных систем регистрации аварийных событий, в том числе с возможностью использования результатов регистрации аварийных событий для оценки технического состояния коммутационного оборудования.

Литература

1. Перенапряжения при коммутациях вакуумных выключателей / А.А. Базавлук, Л.И. Сарин, Г.Г. Михайловский и др. // ЭнергоЭксперт. 2011. № 2. С. 27–32.
2. Булычев А.В., Ванин В.К. Частотные характеристики трансформаторов напряжения для защиты генераторов // Энергетика. 1987. № 11.
3. Перенапряжения в сетях 6–35 кВ / Ф.А. Гиндуллин, В.Г. Гольдштейн, А.А. Дульзон, Ф.Х. Халилов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 192 с.
4. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия, 1971. 152 с.

5. Методические указания по применению в ОАО «Московская объединенная электросетевая компания» основных технических решений по эксплуатации, реконструкции по новому строительству электросетевых объектов; утв. приказом ОАО «МОЭСК» от 31.12.2014 №1533.

6. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью: офиц. текст. М.: ФСК ЕЭС, 2012. 51 с. URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf

7. Исследование переходных процессов при аварийных событиях в городской электрической сети с использованием высокочастотной системы регистрации / А.В. Телегин, А.И. Ширковец, В.А. Сенченко и др. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 4. С. 369–374.

8. Разработка высокочастотной системы регистрации аварийных событий для электрических сетей 6–110 кВ / А.В. Телегин, А.И. Ширковец, В.А. Сенченко и др. // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции» / сост. С.Г. Головченко. Омск: ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ», 2014. С. 168–173.

9. Oscillography of Transient Processes at Physical Phase-to-ground Fault Modeling in Operational 6–35 kV Networks / A. Shirkovets, A. Vasilyeva, A. Telegin and etc // In electronic Proc. 3rd International Youth Conference of Energetics IYCE, 2011.

УДК 67.017

Ю.С. Тилогов

кандидат технических наук, старший преподаватель

Э.Ж. Турдиев

кандидат педагогических наук, доцент

И.С. Косимов

ассистент

З.Ж. Шафратов

ассистент

г. Карши, Узбекистан, Каршинский государственный университет

МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРУТКОВ МАЛОГО ДИАМЕТРА ИЗ МОЛИБДЕНА

Аннотация. В статье представлены структура материалов, характеристики оборудования и методы исследования для получения прутков малого диаметра из молибдена.

Ключевые слова: молибден; электроннолучевой; ниобий; кристаллизатор; крупнозернистый; дендритный; полуфабрикаты; фольга.

Потребности промышленности в прутках малого диаметра ($\varnothing 2-6$ мм) специального назначения обусловили выбор в качестве материалов для исследования молибден, полученный вакуумной дуговой плавкой и методом рожковой металлургии, а также ниобий электроннолучевой плавки. Порошковый молибден в виде штабика имеет пористую однородную структуру с четко выраженными границами зерен. Поры расположены по границам зерен и составляют больше 10% объема металла.

Слитки молибдена марки МЧВП получены плавкой в вакууме электрической дуги расходоугого электрода в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе печи ЦЭП–217; слитки ниобия получены электроннолучевой плавкой в вакууме в печи $E_{mo}-200$ по существующим на УзКТЖМ технологическим режимам. Макроструктура слитков из молибдена и ниобия характеризуется крупнозернистой, дендритной структурой, зерна вытянуты вдоль оси слитка и достигают в размере 1–10 мм и более [1].

Механические свойства исследуемых материалов приведены ниже (темп. 20°C):

Металл	Свойства	
	δ , МПа	δ , %
МЧ (штабик)	580	
МЧВП (слитки)	655	1 – 2

Исследования проводили на промышленном оборудовании МОЗТМ (г. Москва), УзКТЖМ (г. Чирчик, Узбекистан) и ОХМЗ ГИРЕДМЕТа (г. Подольск), на котором изготавливают прутки малого диаметра по существующим в промышленности (схемы 1М1; 1М2; 2М1; 2М2, 1Н1) и новым исследованным автором схемам (схемы 2М3; 2М4; 2М5; 2М6; 1Н2; 1Н3) (табл.1).

Для первичной обработки порошкового молибдена (штабиков) использовали ротационно-ковочное оборудование (машины типа В-203); для первичной обработки слитков тугоплавких металлов использовали прессовое оборудование (табл. 2).