

значительно улучшают качество "перемешивания" системы, так как волновые воздействия способны возбуждать в среде довольно сложные движения как дисперсных частиц, так и имеющихся в системе полиэлектролитов. Причем сама жидкость также совершает определенные волновые движения, выражаемые в колебательном поведении частиц жидкости. Инициатором наблюдаемых перемещений являются Релеевские течения, которые представляют собой вихревое движение, действующее вне пограничного слоя системы.

Из полученных данных следует, что лучше всего подвергаются воздействию ультразвуковых колебаний минералы, имеющие монтмориллонитовую глинистую структуры благодаря наличию коагуляционных слабых мостиков. Наблюдаемый процесс ускорения седиментации в период озвучивания системы объясняется образованием более крупных флокул в поле ультразвуковых волн, что обеспечивает степень осветления сточных и оборотных вод горно-обогатительных предприятий более чем на 88 %. В целом данная технология очистки сточных и природных вод позволит получить дополнительные денежные средства для предприятия в районе 10,56% по исследованным месторождениям. При внедрении предложенного метода наблюдается не только серьезная экономическая выгода, но и предполагается.

УДК 622:621.315.925

*Петуров В.И., проф., к.т.н., Непомнящих И.А. студ., каф. ЭС, Читинский государственный университет, г. Чита, Россия*

*Кисембинов С.Т., магистр электроэнергетики Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Для повышения уровня электробезопасности при эксплуатации электроустановок напряжением 6, 10 кВ горнодобывающих предприятий, а также продления срока службы и своевременного устранения повреждений в настоящее время разработано большое количество способов контроля изоляции. Первый подробный обзор и классификация, известных на тот момент способов и средств контроля изоляции, выполнен коллективом кафедры электрификации горных предприятий Московского горного института (МГИ) [1]. За прошедшие годы предложен ряд новых способов, в связи, с чем существующая классификационная структура способов определения параметров сопротивления изоляции в электрических сетях с изолированной нейтралью расширена и дополнена с учетом новейших исследований и разработок [2].

Предлагаемая классификационная структура позволяет, исходя из конкретных условий производства, сформулировать требования, предъявляемые к способу исследования, на основе чего выбирается существующее техническое решение или разрабатывается новое.

Но зачастую большинство способов недостаточно обоснованно и существует лишь в теории. Причиной указанного обстоятельства является невозможность экспериментальной проверки в производственных условиях из-за сложности организационных и технических моментов, особенно в высоковольтных сетях, отсутствия необходимой элементной базы, испытательных приборов, дороговизны оборудования. Указанный комплекс проблем подчас не позволяет в должной мере оценить область применимости способа, диапазоны изменения параметров измерительных схем и установок и погрешность получаемых результатов.

Одним из путей выхода из указанной ситуации, особенно на этапе первоначальной

проработки апробации нового способа является применение методов математического моделирования.

Моделирование осуществляется с целью расчета установившихся и переходных режимов, частотных, временных и других характеристик, анализа чувствительности, устойчивости и т.п. При моделировании формируется и решается система уравнений, описывающая соответствующий режим моделируемого объекта и называемая его математической моделью.

Возможность замены реального объекта его математической моделью дает большие преимущества для исследователя. Вычислительный эксперимент предназначен для изучения и оптимизации сложных многопараметрических процессов, в том числе нелинейных, исследование которых традиционными способами затруднено или невозможно.

Моделирование электрических и электронных схем в настоящее время невозможно представить без использования средств вычислительной техники. Для этой цели существует и разрабатывается множество программных средств таких как, MultiSim, MicroCap, SIMetrix, CircuitMaker, ASIMEC, но, прежде всего это программный комплекс Matlab.

Система компьютерного моделирования MathLab (MATrix LABoratory-матричная лаборатория, фирма MathWorks, Inc) является в настоящее время ведущей в мире средой для моделирования сложных динамических процессов при решении самых разнообразных технических задач. Система MATLAB создана "как язык программирования высокого уровня для технических вычислений" [3, 4].

Важной особенностью пакета MathLab является наличие специальной подсистемы Simulink, предназначенной для графического построения моделей. Использование программы Simulink по сравнению с большинством других аналогичных программ позволяет моделировать как физические воздействия, так и сами схемные решения с использованием мощных средств моделирования самих приборов, что наиболее эффективно при анализе, как принципиальных электрических схем устройств, так и их схем замещения. Использование указанных средств позволяет значительно упростить процесс создания, корректировки, модификации моделей систем, их анализа и обработки полученных результатов.

Система имеет открытую архитектуру. Концепция открытости построения моделей в системе MathLab предусматривает возможность их развития путем введения новых элементов, блоков и связей.

Наиболее полно функциональные возможности системы проявляются в рамках комплекса "MATLAB + Simulink + пакеты расширения". Число пакетов расширения уже насчитывает несколько десятков. В программном комплексе MATLAB реализован принцип визуально-ориентированного программирования; уравнения состояний, описывающие динамические системы, формируются автоматически; имеются виртуальные средства регистрации и визуализации результатов моделирования, а также инструментальные средства для разработки приложений, включая графический интерфейс пользователя. MATLAB – это интерактивная система, основным ее объектом является массив, для которого не требуется указывать размерность явно. Это позволяет решать многие вычислительные задачи, связанные с векторно-матричными формулировками, существенно сокращая время, которое понадобилось бы для программирования на скалярных языках типа C или FORTRAN. Система MATLAB – это одновременно и операционная среда и язык программирования. Одна из наиболее сильных сторон системы состоит в том, что на языке MATLAB могут быть написаны программы для многократного использования.

Несомненным достоинством системы MathLab является сочетание достоинств универсальности и быстродействия цифрового моделирования с наглядностью и возможностью оперативной визуализации результатов, свойственных моделированию аналоговому.

Выбор способа и системы моделирования был продиктован следующими

соображениями:

– применение современных средств вычислительной техники позволяет резко повысить скорость выполнения математических расчетов и одновременно значительно снизить их трудоемкость, что делает применение вычислительной техники и специализированных программных пакетов незаменимым и фактически обязательным при выполнении сложных математических расчетов;

– программная реализация математических моделей посредством стандартных систем программирования требует значительных усилий и большого количества технической работы, прямо не связанной с выполняемой задачей. В этой связи применение специализированных систем компьютерного моделирования имеет значительное преимущество, так как позволяет не только с меньшими усилиями осуществлять построение компьютерных моделей, но и повышает точность расчетов за счет использования высокоэффективных методов вычислений, изначально заложенных в системы компьютерного моделирования;

Система, однако, не свободна от недостатков и, прежде всего здесь следует отметить недостаточную прозрачность математических методов, используемых для решения задач. Одним из выходов, при необходимости, из указанной ситуации может быть отказ от использования стандартных блоков и моделирование на основе непосредственной реализации систем уравнений, моделирующих объект.

Основной целью и задачей работы является разработка математических моделей устройств контроля параметров сопротивления изоляции электроустановок напряжением 6, 10 кВ относительно земли в системах электроснабжения горнодобывающих предприятий, а также сопоставление и сравнение их между собой, анализ их положительных сторон и недостатков.

В качестве примера нами для последующего анализа была принята принципиальная схема устройства для контроля сопротивления изоляции и защитного отключения в сетях с изолированной нейтралью [5].

Для удобства и большей наглядности при отладке модели на основе принципиальной схемы устройстве была составлена расчетная схема замещения. В схеме не учитываются параметры измерительных трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП).

Далее, следующим этапом исследований является разработка с помощью программы Simulink программного комплекса Matlab расчетной модели, причем необходимые аналитические уравнения связи между токами в ветвях схемы замещения и искомыми параметрами изоляции реализуются путем соответствующих блоков суммирования.

С помощью расчетной модели можно произвести анализ разработанного устройства, исследовать его работу в различных стационарных и переходных режимах, оценить требуемый по условиям чувствительности и помехоустойчивости диапазон изменения параметров измерительной схемы.

Перспективой развития предлагаемой модели является учет параметров несинусоидальности кривой напряжения сети, нелинейности параметров изоляции, а также свойств измерительных ТТНП, включая разработку мероприятий по компенсации свойственных данным аппаратам ЭДС небаланса.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гладилин, Л.В. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности / Л.В. Гладилин, В.И. Щуцкий, Ю.Г. Бацезев [и др.]. – М.: Недра, 1977. – 327 с.
2. Петуров, В.И. Классификация способов определения параметров сопротивления изоляции в электрических сетях с изолированной нейтралью / В.И. Петуров // Электробезопасность. – 2008. – №1. – С. 20–24.

3. Кондрашов, В.Е. MATLAB как система программирования научно-технических расчетов / В.Е. Кондрашов, С.Б. Королев. – М.: Мир, 2000. – 380 с.
4. Потемкин, В.Г. MATLAB 6: среда проектирования инженерных приложений / В.Г. Потемкин. – М.: Диалог-МИФИ, 2003. – 360 с.
5. А.с.1653060 СССР, МКИ H02H 3/17. Устройство для контроля сопротивления изоляции и защитного отключения в сетях с изолированной нейтралью / Ю.Г. Бацежев, Г.Ф. Горбачев, В.И. Петуров. – Оpubл. 30.05.91, Бюл. № 20. – 4.

УДК 622:621.315.925

*Петуров В.И., к.т.н., проф., Потапенко Д.С., магистрант, каф. ЭС, Читинский государственный университет, г. Чита, Россия*

### **ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ И ЗАЩИТЫ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ШАХТ И РУДНИКОВ**

Одним важнейших факторов, влияющих на безопасность эксплуатации, надежность и безаварийность систем электроснабжения горнодобывающих предприятий, является непрерывный контроль уровня сопротивления изоляции электрической сети относительно земли. В результате обзорного анализа способов и средств контроля изоляции высоковольтных рудничных электрических сетей напряжением, установлено, что в настоящее время

отсутствуют эффективные средства оперативного контроля, при этом находящиеся в эксплуатации устройства контролируют уровень сопротивления изоляции только отключенных от источника питания участков сети, либо осуществляется только периодический контроль [1]. При контроле изоляции используется пониженное оперативное напряжение, что приводит к существенной погрешности измерения, кроме того, существующие средства контроля не позволяют получить исчерпывающую информацию о состоянии изоляции.

Таким образом, создание устройств непрерывного контроля сопротивления изоляции в высоковольтных рудничных электрических сетях напряжением является актуальной задачей.

Для решения этой задачи разработана методика определения диапазонов и устойчивых уровней сопротивления изоляции относительно земли, установление которых позволяет обосновать требования к устройствам контроля и защиты при разработке их функциональных схем [2]. Наиболее важными из этих требований являются:

- обеспечение пофазного контроля высоковольтной изоляции;
- селективный контроль отходящих присоединений, который совместно с пофазным контролем позволит более оперативно выявлять и устранять повреждения;
- ограничение тока утечки путем компенсации ее емкостной составляющей;
- осуществление непрерывной диагностики состояния изоляции, что обеспечит возможность использовать данное устройство в качестве составляющего элемента в общей системе управления электроснабжением объекта и выполняющего функции обработки и передачи информации и управляющих сигналов.

С учетом указанных требований разработано устройство непрерывного контроля сопротивления изоляции относительно земли на основе использования трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП) [3]. Устройство позволяет непосредственно контролировать общее сопротивление изоляции сети относительно земли, а также расчетным путем без каких-либо дополнительных переключений в схеме определять пофазное