

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Золотарева Евгения Владимировича «Обоснование структуры и алгоритмов функционирования технических средств управления процессом подавления перенапряжений в трансформаторной подстанции участка шахты», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки).

**1. Общие сведения.** Диссертационная работа Золотарева Евгения Владимировича состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 112 наименований и четырех приложений. Работа изложена на 175 страницах, включая 16 страниц приложений, 57 рисунков и 16 таблиц. Основное содержание диссертации изложено на 131 странице.

**2. Актуальность темы диссертации.** Несмотря на широкое распространение таких источников энергии как нефть, газ и атом, уголь все ещё остается важной составляющей энергетики России, да и других стран Земли. Добыча угля в шахтах в настоящее время немыслима без применения электрической энергии, поэтому бесперебойное электроснабжение шахт является важным фактором как обеспечения безопасности производственного процесса в шахте, так и повышения производительности труда шахтеров. Поэтому к шахтным комплектным трансформаторным подстанциям (КТП) предъявляются повышенные технические требования, в частности, к системе защиты её силового трансформатора от высоких перенапряжений. Эти перенапряжения возникают при включении и выключении трансформатора, однако без периодического повторения этих операций эксплуатация шахтной подстанции практически невозможна.

Несомненной тенденцией развития современных систем защиты от перенапряжений является применение управляемых средств защиты. С одной стороны, это обусловлено появлением новых высоковольтных коммутационных аппаратов (ВКА), а с другой – интенсивным развитием средств автоматизации на основе компьютерных технологий. Последние позволяют реализовать достаточно высокое быстродействие процессов управления, обеспечивая, тем самым интенсивное подавление перенапряжений, возникающих на первичных обмотках силового трансформатора КТП.

В связи с этим тема диссертационной работы Золотарева Евгения Владимировича, посвященная разработке и обоснованию структуры и алгоритмов управления средствами подавления возникающих перенапряжений, а также исследованию процессов включения и выключения трансформатора шахтной подстанции как при отсутствии, так и с наличием управляемых средств подавления перенапряжений, несомненно, является актуальной.

**3. Анализ содержания диссертационной работы.** В первой главе диссертации её автор детально рассматривает устройство участковой

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБЩЕСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Вх. № 16/33  
«15» 10 2011 г.

трансформаторной подстанции серий ТСШВП, ТСВП и КТПВ, широко применяемые в странах СНГ. Основное внимание при их разработке уделялось обеспечению взрывобезопасности, и защит от перенапряжений они не имели. Постоянно возрастающие требования правил безопасности, повышение мощностей шахтного оборудования и его рабочего напряжения до 1140 вольт, а также необходимость включения шахтных подстанций в АСУТП горного предприятия, привели к разработке современных КТП на основе новых технических средств с применением элементов защиты от перенапряжений.

Перенапряжение, возникающее при отключении трансформатора КТП от высоковольтной линии, может сопровождаться возникновением коммутационной дуги, которая приводит к выходу из строя КТП и прерыванию производственного процесса участка. Для предотвращения перенапряжений большой амплитуды в новых КТП применяются неуправляемые ограничители перенапряжений. Однако практическая эксплуатация этих КТП сопровождается повторяющимися случаями возникновения межвитковых пробоев обмоток трансформатора и электрической дуги между витками его обмоток и ярмом магнитопровода.

Автор диссертационной работы Золотарев Е.В. провёл довольно тщательный анализ аварийных случаев на КТП, теоретический анализ процессов коммутации трансформаторов высокого (высшего) напряжения, а также анализ более ранних исследований в области подавления перенапряжений. В результате было установлено, во-первых, что неуправляемые нелинейные ограничители перенапряжений не могут обеспечить надежное функционирование взрывобезопасных КТП с ВКА. Во-вторых, в значительной степени возможность возникновения интенсивной коммутационной дуги обуславливается размещением ВКА внутри взрывозащищенного корпуса КТП. В-третьих, наиболее перспективным методом снижения коммутационных перенапряжений является предварительное шунтирование его обмоток РС-блоками и активными сопротивлениями, но лишь на время коммутационного процесса. Фактически, автором диссертационной работы обоснована необходимость создания управляемой системы защиты шахтных КТП от перенапряжений.

В заключение этой главы автор формулирует подлежащие решению конкретные задачи диссертационного исследования.

Во **второй главе** для решения поставленных задач, прежде всего, разрабатывается программа и методика экспериментальных исследований электромагнитных процессов на специально созданном стенде «ВКА – трансформатор» шахтной участковой КТП, приводится описание этого стенда и описываются исследования и их результаты. Структура стенда практически полностью повторяет структуру шахтной КТП, включая реальный силовой трансформатор ТНЕВ 5639 мощностью 400 кВА и напряжениями 6/1.05 кВ, нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН), а также дополнительные коммутаторы, РС-блоки, блоки резисторов, ряд измерительных приборов и компьютер. Дополнительные коммутаторы, предназначались для подключения и отключения элементов, шунтирующих обмотки, с целью исследования

эффективности установленных в первой главе методов снижения коммутационных перенапряжений. Значения шунтирующих сопротивлений выбраны диссертантом расчетным путем с учетом температуры окружающей среды, температуры этих сопротивлений и её допустимого превышения (40 °С).

Следует подчеркнуть грамотное построение экспериментального стенда, что позволило детально исследовать и зафиксировать реальные коммутационные процессы, возникающие в шахтных КТП. Диссертантом проведено исследование этих процессов как при отсутствии средств защиты, так и при использовании стандартных нелинейных ОПН и RC-блока; при подключении к обмоткам высокого (высшего) напряжения (ВН) шунтирующих блоков с сопротивлениями  $R_{шВН} = 16,5$  кОм и (или) при подключении к обмоткам низкого напряжения (НН) шунтирующих блоков с сопротивлениями  $R_{шНН} = 46$  Ом.

Обработка большого количества полученных экспериментальных осциллограмм коммутационных процессов проводилась с соблюдением правил статистических исследований с применением критериев Стьюдента и Фишера. Полученные данные позволили диссертанту выявить наиболее благоприятные условия проведения коммутаций в КТП и выбрать наиболее эффективный метод снижения коммутационных перенапряжений.

В частности, он установил, что при использовании элегазового контактора эффективность применения нелинейных ОПН значительно ниже предлагаемого применения шунтирования в виде RC-блока и блока активных сопротивлений; при вакуумном ВКА создается более высокий уровень перенапряжений, чем при элегазовом. Целесообразность шунтирования обмотки ВН трансформатора при его включении, наряду с применением RC-блока не выявлена. По данным проведённых экспериментальных исследований наиболее эффективным методом снижения коммутационных перенапряжений является шунтирование обмотки ВН RC-блоком и шунтирование обмотки НН силового трансформатора активными сопротивлениями. Однако эти подключения необходимо выполнять только на время протекания коммутационных процессов.

В этой же главе, учитывая наличие многочисленных факторов, оказывающих влияние на уровень перенапряжений, диссертант ставит задачу конкретизации предложенного подхода и определения параметров средств снижения коммутационных перенапряжений путем математического и компьютерного моделирования.

В **третьей главе** разрабатывается математическая и компьютерная модель комплекса «ВКА – трансформатор» шахтной КТП. Математическая модель представляет собою электрическую схему одной фазы силового трансформатора не только с учетом индуктивностей, емкостей и активных сопротивлений обеих обмоток трансформатора, но и с учетом ёмкостей этих обмоток относительно друг друга и относительно «земли». Учитываются также индуктивности рассеивания, потери энергии в магнитопроводе и нелинейность его магнитной проницаемости общепринятым способами. Численные значения параметров математической модели взяты равными параметрам соответствующих элементов

экспериментального стенда. Для определения собственной ёмкости обмоток трансформатора диссертантом применён оригинальный метод резонансных частот.

Фактически, в этой главе представлены две компьютерные модели комплекса «ВКА – трансформатор»: на рис. 3.5 – без средств коммутации RC-блока и блока активных резисторов и на рис. 3.14 – без средств коммутации RC-блока, но со средствами коммутации блока активных резисторов, шунтирующих обмотку НН. Однако в процессе исследований производились коммутации как RC-блока, так и блока активных резисторов.

Исследование созданной математической модели комплекса «ВКА – трансформатор» осуществлялось с применением компьютерной программной среды LT-Space IV, которая автоматически формирует модель трехфазного комплекса. Достоверность компьютерной модели подтверждается хорошим визуальным совпадением полученных на ней переходных процессов с полученными, при экспериментальных исследованиях. В результате проведенных исследований была подтверждена высокая эффективность метода предварительного шунтирования обмоток НН силового трансформатора активными сопротивлениями с одновременным подключением RC-блока к обмоткам ВН. Однако для практической реализации данного метода подавления перенапряжений, необходимо обеспечивать соответствующую синхронизацию процессов коммутации средств защиты с процессом коммутации ВКА.

**Четвертая глава** диссертации посвящена технической реализации системы автоматического ограничения перенапряжений (САОП) в комплексе «ВКА – трансформатор» шахтной КТП. Разработка системы проведена применительно к КТП перспективной серии ТВПШ, в которой будет использоваться силовой трехфазный трансформатор мощностью 1000 кВА с вакуумным или элегазовым ВКА. Для управления данной КТП используется микропроцессорный блок защит и управления, который в соответствии с результатами диссертационной работы Золотарева Е.В., имеет три независимых функционально разделённых канала управления, а также три группы защит силовых цепей: высоковольтная, низковольтная и резервная. С учетом полученных результатов проведенных исследований диссертантом разработан алгоритм функционирования САОП, который обеспечивает необходимую синхронизацию времени управляемой коммутации средств ограничения перенапряжения с коммутацией ВКА. Существенной особенностью разработанного алгоритма является обеспечение подключения RC-блока к обмоткам ВН трансформатора в момент времени, когда напряжение фазы проходит через нуль. Предложено, это подключение осуществлять с применением вакуумных герконов типа МКА-40142. Практически, диссертантом разработана не только структура, алгоритм функционирования, но и электрическая схема САОП, которая принята к реализации на предприятии «Донецкий энергозавод» при проектировании и производстве шахтных КТП перспективных серий.

**На защиту выносятся** следующие научные результаты:

- необходимым и достаточным средством ограничения коммутационных

перенапряжений в комплексе «ВКА-трансформатор» шахтной участковой КТП являются активные и активно-реактивные цепи шунтирования обмоток трансформатора, подключаемые в соответствии с алгоритмом управляемой коммутации.

- в комплексе «ВКА-трансформатор» шахтной участковой КТП определение структуры, параметров и алгоритмов функционирования технических средств ограничения коммутационных перенапряжений может быть осуществлено лишь при условии учета электродинамических свойств трансформатора, обусловленных его обмотками и элементами корпуса подстанции.

- ограничительная функция устройства подавления коммутационных перенапряжений в комплексе «ВКА-трансформатор» шахтной участковой КТП может быть реализована лишь при условии синхронизации процесса коммутации активных и активно-реактивных элементов шунтирования обмоток трансформатора с состоянием силовых коммутационных устройств подстанции и адаптации к функциональным параметрам средств её управления и защиты.

### **3. Новизна полученных результатов заключается:**

- в разработке оригинальной математической модели коммутационного процесса в комплексе «ВКА-трансформатор» шахтной участковой КТП, которая учитывает электродинамические свойства трансформатора при коммутации его обмоток и влияние на процесс коммутации активных и активно-реактивных цепей, шунтирующих его обмотки;

- в разработке нового подхода к построению системы автоматического ограничения перенапряжений в комплексе «ВКА-трансформатор» шахтной участковой КТП, отличающегося использованием управляемой коммутации активных и активно-реактивных цепей, шунтирующих обмотки НН и ВН трансформатора, а также строгой синхронизацией моментов коммутации шунтирующих цепей с временем коммутации силовых цепей трансформатора;

- в разработке новой оригинальной электрической схемы САОП, которая позволяет исключить воздействие коммутационных перенапряжений на изоляцию обмоток силового трансформатора комплекса «ВКА-трансформатор» шахтной участковой КТП.

В целом полученные Золотаревым Е.В. научные и практические результаты являются существенным развитием теории управляемой коммутации в комплексе «ВКА-трансформатор» шахтной участковой КТП. Их применение обеспечит существенное повышение надежности снабжения электроэнергией шахтное технологическое оборудование, повышение производительности и безопасности производственного процесса добычи угля в шахтах.

**4. Обоснованность корректности решения и достоверности научных результатов, выводов и рекомендаций.** Корректность решения научных задач и достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе Золотарева Е.В., обеспечивается корректным применением методологических принципов современной теории электромагнитных процессов в электрических сетях энергоснабжения

производственных процессов. Обоснованным использованием методов анализа электрических активно-реактивных цепей, методов физического моделирования на экспериментальном оборудовании, а также методов структурного и численного моделирования на ПЭВМ. Обоснованность научных результатов и выводов подтверждается также близостью результатов теоретических исследований и результатов моделирования как на физическом экспериментальном оборудовании, так и на ПЭВМ.

**5. Значимость для практики.** Практическая значимость диссертационной работы Золотарева Е.В. определяется тем, что обоснована целесообразность и эффективность практического применения управляемой коммутации технических средств ограничения коммутационных перенапряжений в комплексе «ВКА-трансформатор» шахтной участковой КТП. С целью реализации этого подхода обоснована новая структура и алгоритмы функционирования технических средств ограничения коммутационных перенапряжений и разработана электрическая схема практической реализации системы автоматического ограничения перенапряжения, которая принята к внедрению на предприятии «Донецкий энергозавод» при проектировании и производстве шахтных КТП перспективных серий.

Результаты диссертации Золотарева Е.В. также использовались в ГУ НИИВЭ, г. Донецк при выполнении научно-исследовательских работ. В приложении к диссертационной работе имеются соответствующие акты.

**6. Публикации.** По теме диссертации её автором опубликовано 10 работ, в том числе 5 статей в научных изданиях, рекомендованных МОН ДНР, 3 статьи в материалах научных конференций и 2 статьи в других изданиях.

**7. Оценка содержания и оформления диссертации.** Диссертационная работа Золотарева Е.В. написана технически грамотным языком. Корректное изложение научного материала, наглядная иллюстрация получаемых результатов и их авторская интерпретация позволяют объективно оценить содержание, результаты, научную и практическую значимость проведенного исследования. Оформление диссертационной работы соответствует установленным требованиям.

Все основные научные и практические результаты в достаточно полном объеме опубликованы автором в печатных изданиях, рекомендованных МОН ДНР, и апробированы на международной научно-практической, научной и научно-технической конференциях.

Работа соответствует **паспорту специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»** (по отраслям) (технические науки) и её **области исследований**, так как отражает вопросы методологии, научные основы и методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами и производствами, а также вопросы технической подготовки производств в плане структурных, схемных решений, алгоритмического обеспечения и интеллектуализации решений прикладных задач при построении АСУ широкого назначения.

Автореферат диссертации Золотарева Е.В. полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

## 8. Замечания по работе:

1. Вызывает недоумение фраза на стр. 12 диссертационной работы и на стр. 5 автореферата «... при условии учета электродинамических свойств трансформатора и воздействия на процесс реактивных параметров, образуемых его обмотками и элементами корпуса подстанции». Совершенно неясно, что такое «процесс реактивных параметров»?

2. По результатам исследований, проведенных на экспериментальном стенде (рис. 2.2, стр. 63 диссертационной работы), во второй главе диссертации автор делает вывод (стр. 63): «Эффективная работа используемых средств защиты при включении ненагруженного трансформатора не выявлена». Однако, вопрос о том, как этот факт может повлиять на разработку системы ограничения коммутационных перенапряжений, не обсуждается.

3. Компьютерная модель переходных процессов в силовом трансформаторе Siemens ТНЕВ 5693, представленная на рис. 3.5 (стр. 96) диссертационной работы, не содержит средств коммутации как шунтирующих РС-блоков, так и сопротивлений  $R_{шнн}$ . Однако, описывая процесс моделирования с применением этой модели (стр. 97 – 106), автор полагает, что эти элементы либо отключены, либо подключены, оставляя в стороне вопрос о возможности этих операций.

4. В работе не обоснована возможность определения моментов прохождения фазных напряжений через нуль, по напряжениям вторичных обмоток трансформатора TV3 (см. рис. 4.11, стр. 137 диссертации и рис. 9 автореферата). В принципе это возможно, но только, если этот трансформатор работает в режиме холостого хода.

5. В предложенной САОП подключение РС-блоков, шунтирующих обмотку ВН трансформатора, осуществляется при фазных напряжениях равных нулю, в то время как коммутация ВКА осуществляется при фазных напряжениях не равных нулю. Однако в диссертации отсутствует объяснение этого очевидного парадокса.

6. Целью проведенных в диссертационной работе исследований является повышение безаварийной эксплуатации комплекса «ВКА-трансформатор» шахтной участковой КТП. Предложенная система САОП, несомненно, обеспечивает достижение этой цели. Однако количественная оценка степени повышения безаварийного функционирования КТП в работе отсутствует.

7. В текстах и автореферата, и диссертационной работы имеется небольшое число стилистических недостатков. Например, на стр. 21 диссертации используется аббревиатура КП, а её расшифровка дается лишь на стр. 145; на стр. 110 и 112 диссертации автор пишет: «... мощность шунтирующего резистора не зависит от его номинала при соблюдении условия подключения шунтирующего резистора в момент начала размыкания силовых контактов ВКА»; на стр. 136 диссертации трансформаторы собственных нужд и понижающий обозначены Т2 и Т3, а на стр. 137 и 138, 139 как TV2 и TV3.

Однако приведенные здесь и другие замечания имеют редакционный характер и не снижают, в целом, высокого уровня научной и практической значимости диссертационной работы Золотарева Е.В.

**9. Заключение.** Оценивая работу в целом, отметим следующее:

1. Автор диссертационной работы показал хорошую научную квалификацию, умение грамотно формулировать и решать научные задачи, а также доводить полученные научные результаты до практической реализации.

2. Диссертация Золотарева Е.В. является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи: разработка и обоснование структуры и алгоритмов управления средствами подавления перенапряжений, возникающих в комплексе «ВКА-трансформатор» шахтной участковой КТП, с целью повышения степени её безаварийной эксплуатации. Диссертация обладает теоретической и практической значимостью, внутренним единством, удовлетворяет требованиям п.2.2 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Совета Министров ДНР № 2-13 от 27.02.2015 г., и соответствует п.3 и п.15 паспорта специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки), а её автор Золотарев Евгений Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки).

Официальный оппонент д.т.н., профессор,

профессор кафедры

Систем автоматического управления

Института радиотехнических систем

и управления Южного федерального

университета (ЮФУ)



Анатолий Романович Гайдук

Адрес: пер. Некрасовский, 44, г. Таганрог, Российская Федерация, 347928.

тел.: +7(8634)37-16-34, +7(8634)37-18-83; e-mail: irtsu@sfnu.ru

Я, Гайдук Анатолий Романович, согласен на автоматизированную обработку моих персональных данных.

Доктор технических наук, профессор



А.Р. Гайдук

Подпись проф. Гайдук А.Р. заверяю  
Директор Института радиотехнических систем  
и управления ЮФУ



Антон Сергеевич Болдырев

«12» февраля 2021 г.