

На правах рукописи



АЛЕКСЕЕВ Виктор Юрьевич

**ЗАЩИТА ОТ ПОТЕРИ ПИТАНИЯ
НА ПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ
НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ**

Специальность:

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» на кафедре электротехники и электрооборудования предприятий

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Шабанов Виталий Алексеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Хайруллин Ирек Ханифович
кафедра электромеханики ФГБОУ ВПО
«Уфимский государственный авиационный
технический университет»
доктор технических наук, доцент
Баширов Мусса Гумерович
кафедра электрооборудования и автоматики
промышленных предприятий филиала
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет» в
г. Салавате

Ведущее предприятие АНО «Центр энергосбережения республики
Башкортостан», г. Уфа

Защита состоится «23» марта 2012 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д-212.288.02 Уфимского государственного авиационного технического университета по адресу: 450000, г. Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12, актовый зал 1-го корпуса.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета

Автореферат разослан «20» февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент



А.В. Месропян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Магистральные нефтепроводы и нефтепродуктопроводы играют важнейшую роль в экономике нашей страны, так как более 95 % всей добываемой нефти и 70 % нефтепродуктов транспортируется по системе магистральных трубопроводов. Одним из основных звеньев в системе транспорта нефти и нефтепродуктов являются перекачивающие насосные станции (ПНС). Технологическая связь ПНС между собой через трубопровод делает их зависимыми от работы друг друга. При этом отключение и остановка одного из магистральных насосных агрегатов (МНА) на одной из ПНС может привести к нарушению всего технологического процесса перекачки и остановке всех остальных ПНС трубопровода. Одной из причин отказа в работе ПНС является нарушение электроснабжения от одного из внешних источников. Поэтому актуальным является совершенствование методов и средств, направленных на обеспечение бесперебойного технологического процесса перекачки при нарушениях в системе электроснабжения ПНС.

Основными технологическими механизмами на ПНС являются магистральные насосы (МН), в качестве которых используются центробежные насосы. Для электропривода МН на ПНС используются асинхронные электродвигатели (АД) с короткозамкнутым ротором мощностью до 8 МВт и синхронные двигатели (СД) с неявнополюсным ротором (турбодвигатели) мощностью до 14 МВт. Большие единичные мощности и большая общая установленная мощность ЭД на ПНС существенно влияют на характер протекания переходных процессов при нарушениях в системе электроснабжения и предъявляют жесткие требования к защитах от потери питания (ЗПП) и технологической автоматике. Обеспечение согласованной работы ЗПП и технологической автоматики электротехнических комплексов ПНС при нарушениях в системе электроснабжения является одним из важнейших условий бесперебойной работы ПНС.

Вопросам обеспечения бесперебойной работы крупных электромашинных комплексов и узлов нагрузки рассматривались в работах Важнова А.И., Веникова В.Г., Ульянова С.А., Ковача К.П., Гуревича Ю.И., Гамазина С.И., Меньшова Б.Г., Ершова А.С., Сыромятникова И.А., Сивыкобыленко В.Ф. В работах Федосеева А.М., Андреева В.А., Шабада М.А., Слодаржа М.И., Беляева А.В., Шабанова В.А. рассмотрены особенности выполнения ЗПП на промышленных предприятиях с двигательной нагрузкой. Однако имеющаяся на сегодня литература по обеспечению бесперебойной работы и выполнению ЗПП электротехнических комплексов промышленных предприятий не описывает особенности системы электроснабжения ПНС, а также особенности режимов работы нефтепроводов и нефтепродуктопроводов при перекачке по системе «из насоса в насос». Отсутствуют источники, в которых последова-

тельно излагались бы проблемы бесперебойной работы электротехнических комплексов ПНС, методические положения по анализу алгоритмов работы ЗПП и технологической автоматики, а также методические положения по выбору уставок ЗПП на ПНС. Экономический эффект от внедрения ЗПП на ПНС велик, так как даже кратковременные перерывы питания могут привести к нарушению сложного технологического процесса перекачки нефти и нефтепродуктов.

Поэтому разработка устройства защиты от потери питания электротехнических комплексов ПНС является в настоящее время актуальной научной задачей.

Основание для выполнения работы. Диссертационная работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете в рамках тематического плана научно-исследовательских работ (2005–2006 гг.) по заданию ОАО ВНИИСТ (г. Москва) по теме «Экспертиза обеспечения устойчивой работы нефтеперекачивающих насосных станций (НПС) при отключении одного источника внешнего электроснабжения»; проекта «Внедрение рекомендаций по обеспечению устойчивой работы нефтеперекачивающих насосных станций ОАО УСМН (2007–2008 гг.)»; в рамках тематического плана научно-исследовательских работ (2008–2010 гг.) по заданию ОАО УТНП по теме «Обеспечение устойчивой работы линейных производственных диспетчерских станций ОАО УТНП при отключении одного источника внешнего электроснабжения».

Цель работы – разработка устройства защиты от потери питания для электротехнических комплексов ПНС нефти и нефтепродуктов.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие **основные задачи**:

1. Разработка устройства защиты от потери питания с параметрами срабатывания, обеспечивающими требуемое быстродействие в условиях переходных электрохимических процессов в электротехническом комплексе ПНС.
2. Разработка математической модели для расчета и анализа электрохимических процессов при нарушениях электроснабжения ПНС.
3. Разработка имитационной модели комплекса ПНС для визуализации процесса моделирования и исследования выбега МН и работы защиты от потери питания при нарушениях в системе электроснабжения.
4. Разработка методики выбора уставок защиты от потери питания ПНС, учитывающая особенности технологии перекачки нефти и нефтепродуктов.
5. Проведение экспериментальных исследований на действующих ПНС разработанных образцов устройства защиты от потери питания.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использовались теория электрических цепей и электромагнитных переходных процессов, методы линейной алгебры и математического программирования, аналитические и численные методы анализа с использованием ЭВМ. При разработке модели электромашинного комплекса были использованы интегрированные среды «*MathCad*» и «*MatLab*» с пакетом расширений «*Simulink*».

На защиту выносятся:

1. Устройство двухступенчатой защиты от потери питания для ПНС с синхронными двигателями.
2. Математическая модель позволяющая исследовать взаимосвязанные электромеханические процессы в системе электроснабжения ПНС с СД.
3. Имитационная модель электротехнического комплекса (ЭТК) ПНС для визуализации процесса моделирования и исследования переходных процессов, происходящих в системе электроснабжения при выбеге МНА на ПНС.
4. Методика расчета уставок защиты минимального напряжения (ЗМН) по напряжению и времени.
5. Результаты экспериментальных исследований переходных процессов и защит от потери питания на действующих ПНС при нарушениях в системе электроснабжения.

Научная новизна:

1. Разработано устройство двухступенчатой защиты от потери питания, обеспечивающее бесперебойность работы ПНС с СД (патент РФ на изобретение №2342755).
2. Создана имитационная модель ЭТК ПНС с СД при нарушениях в системе электроснабжения, учитывающая особенности технологического процесса перекачки, адекватность которой подтверждена экспериментально.
3. Разработано новое схемотехническое решение защиты от потери питания, разработанное на основе конструктивной схемы двухступенчатой защиты минимальной частоты (патент РФ на изобретение №24000905).

Практическую значимость имеют:

1. Математическая модель ЭТК ПНС СД существенно упрощает анализ режимов потери питания на ПНС и позволяет проводить исследования работы релейной защиты и автоматики (РЗА).
2. Разработанная методика выбора уставок срабатывания ЗМН по напряжению и времени позволяет производить расчет уставок, с учетом особенностей алгоритмов работы защиты на ПНС.
3. Комплекс разработанных аппаратных и программных средств двухступенчатой защиты от потери питания, установленных на ПНС ОАО «АК «Транснефть».

Достоверность и обоснованность полученных в работе результатов подтверждается корректным использованием математических методов, проверкой теоретических выводов методами математического моделирования и результатами экспериментальных исследований, проведенных на действующих ПНС.

Реализация результатов работы. Результаты исследований, представленные в диссертационной работе, использованы и внедрены на действующих ПНС ОАО УСМН, ОАО УТНП, а также в учебном процессе кафедры электротехники и электрооборудования предприятий УГНТУ по направлению 140604 – «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» УГНТУ.

Апробация работы. Основные положения, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на двенадцати научных конференциях всероссийского и международного уровня:

Всероссийская научная техническая конференция «Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий», Уфа, 2007, 2009, 2011;

II Международная научная техническая конференция «Энергетика и энергоэффективные технологии», Липецк, 2007;

II Всероссийская научно-техническая конференция «Всероссийской НТК. Молодежь и наука. Третье тысячелетие», Красноярск, 2008;

II Международная выставка-интернет-конференция «Энергообеспечение и безопасность», Орел, 2008;

XV Международная научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов «Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов», Тольятти, 2009;

IV Международная научная конференция студентов, аспирантов, молодых ученых «Научный потенциал студенчества в XXI веке. Естественные и технические науки», Ставрополь, 2010;

Всероссийская конференция с элементами научной школы для молодежи «Научно-исследовательские проблемы в области энергетики и энергоснабжения», Уфа, 2010;

Всероссийский научно-практический семинар «Энергоэффективность и энергобезопасность на предприятиях промышленности и жилищно-коммунального хозяйства», Салават, 2010;

V Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения», Казань, 2010.

Публикации. Список публикаций автора включает 25 научных работ, в том числе 11 статей, из которых восемь опубликованы в изданиях перечня ВАК, двенадцать материалов конференций, два патента РФ на изобретения.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 103 наименования, и

приложений. Общий объем диссертации 129 стр. В работе содержится 38 рисунков, 21 таблица.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены основные положения и результаты, выносимые на защиту, отмечена их новизна и практическая значимость. Приведены сведения о внедрении результатов, апробации работы и публикациях.

В первой главе проведен анализ режимов потери питания, возникающих при возмущениях в системе электроснабжения, и проведен аналитический обзор современных защит от потери питания и пусковых органов автоматического включения резерва на ПНС.

Из анализа научно-технической и патентной литературы сделан вывод о том, что обеспечение безопасности и бесперебойности технологического режима трубопровода при нарушениях в системе электроснабжения во многом определяется согласованной работой ЗПП, автоматического включения резерва (АВР) и технологического АВР. Однако, несмотря на большое количество исследований и публикаций, следует отметить, что применяемые в настоящее время ЗПП на ПНС не обеспечивают требуемое быстродействие.

Установлено, что отсутствует методика выбора уставок срабатывания ЗМН по напряжению и времени, учитывающая особенности технологического режима перекачки и параметры срабатывания технологических защит по давлению.

Отсутствуют математические модели электротехнических комплексов ПНС, позволяющие исследовать процессы выбега МН и поведение ЗПП при нарушениях электроснабжения с учетом особенностей технологии перекачки нефти и нефтепродуктов.

Во второй главе проведены исследования влияния технологического процесса перекачки нефти и нефтепродуктов на работу ЗПП и рассмотрен их учет при выборе уставок срабатывания. Разработана усовершенствованная защита от потери питания для ПНС с СД.

Предложено при расчете значений уставок ЗМН-1 учитывать следующие условия и режимы.

Условие 1. ЗМН-1 не должна действовать на отключение выключателя питающего ввода при близких КЗ на отходящих присоединениях.

Условие 2. Напряжение срабатывания ЗМН-1 должно приниматься из условия возврата пусковых реле напряжения при самозапуске электродвигателей после включения секционного выключателя при АВР.

Условие 3. Напряжение срабатывания ЗМН-1 должно быть меньше остаточного напряжения при КЗ в конце зоны действия токовых отсечек вдоль трассовой ВЛ и других присоединений, отходящих от шин 6(10) кВ технологического ЗРУ.

Первые два условия являются характерными для пусковых органов АВР. Их использование для ЗМН-1 обусловлено тем, что ЗМН-1 на ПНС действует на отключение ввода и, практически, выполняет функции пускового органа АВР. Третье условие обусловлено особенностями схемы электропитания ПНС: от шин технологического ЗРУ отходит вдольтрассовая линия длиной несколько десятков километров. Остаточное напряжение на шинах технологического ЗРУ при трехфазном КЗ в конце зоны действия токовой отсечки вдольтрассовой линии следует определять по выражению

$$U_{\text{ост}} = U_{\text{с}} - 1,73 \cdot X_{\text{с.мин}} \cdot I_{\text{то}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{с}}$ – напряжение питающей сети, принимается равным 1,05 номинального напряжения; $X_{\text{с.мин}}$ – сопротивление питающей системы в минимальном режиме, приведенное к шинам 6(10) кВ технологического ЗРУ; $I_{\text{то}}$ – первичный ток срабатывания токовой отсечки.

Выполнен анализ требований к допустимой длительности потери питания МН при КЗ в системе электроснабжения ПНС. Установлено, что выдержка времени ЗМН-1 должна выбираться из условия безопасного для СД отключения КЗ быстродействующими защитами. Показано, что выдержка времени ЗМН-1 на ПНС должна быть не более 0,2 с.

Выполнен анализ требований к времени срабатывания ЗМН-2 с учетом особенностей технологического процесса перекачки. Исходя из анализа режимов нарушения электроснабжения на ПНС установлено, что к выдержке времени ЗМН-2 предъявляются два требования.

Требование 1. С целью снижения времени простоя МН выдержка времени ЗМН-2 должна выбираться как можно меньше и должна удовлетворять требованию сохранения технологического режима:

$$T_{\text{ЗМН-2}} < T_{\text{од}} - T_{\text{сн2}} - T_{\text{та}} - T_{\text{п}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{од}}$ – выдержка времени срабатывания защиты по давлению; $T_{\text{сн2}}$ – время, за которое напряжение на СШ, потерявших питание, снизится до напряжения срабатывания реле напряжения ЗМН-2; $T_{\text{ЗМН-2}}$ – выдержка времени ЗМН-2; $T_{\text{та}}$ – выдержка времени в цепях технологической автоматики, $T_{\text{п}}$ – время разгона ЭД резервного МНА.

Требование 2. Выдержка времени ЗМН-2 должна удовлетворять требованиям селективности. Для этого ЗМН-2 не должна действовать на отключение электродвигателей, потерявших питание, раньше, чем устройство АВР сработает на включение секционного выключателя.

В настоящее время на ПНС применяется несинхронное АВР СВ с ожиданием снижения напряжения. При этом для обеспечения селективности дей-

ствия ЗМН-2 выдержка времени $T_{\text{ЗМН-2}}$ должна быть согласована с временем действия АВР:

$$T_{\text{ЗМН-2}} \geq T_{\text{СН}} + T_{\text{АВР}} + \Delta T, \quad (3)$$

где $T_{\text{СН}}$ – время, за которое напряжение на шинах, потерявших питание, снизится от напряжения срабатывания ЗМН-2 до напряжения срабатывания реле контроля встречного напряжения АВР СВ; $T_{\text{АВР}}$ – уставка времени АВР; ΔT – ступень селективности.

Применяемое в настоящее время на многих ПНС взаимодействие одноступенчатой защиты минимальной частоты (ЗМЧ) двухступенчатой ЗМН и технологического АВР, имеет два недостатка: первым недостатком является отсутствие резервирования защиты ЗМН-2, вторым недостатком является неопределенность времени срабатывания ЗМН-2, особенно при наличии на ПНС СД из-за влияния переходных электрохимических процессов в электротехническом комплексе ПНС.

Этот недостаток обусловлен характером изменения напряжения на шинах подстанции с СД при потере питания (рис. 1), который в свою очередь зависит от эффективности гашения поля СД, от нагрузки на валу и.т.д.

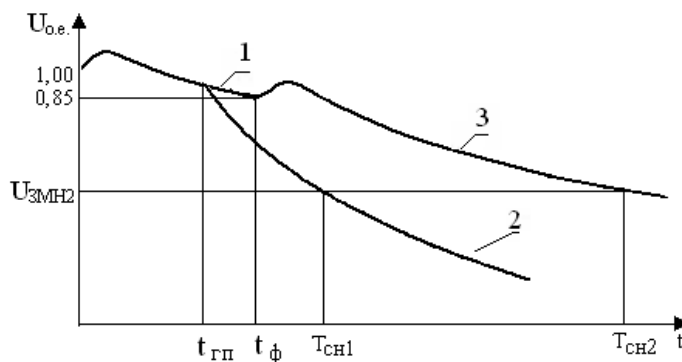


Рисунок 1 – Изменение напряжения на шинах подстанции с СД при потере питания

Как следует из рис. 1 при своевременном включении гашения поля (в момент времени $t_{\text{гп}}$) напряжение на потерявшей питание СШ сравнительно быстро (кривая 2) снижается до напряжения срабатывания (уставки) $U_{\text{ЗМН2}}$ реле напряжения защиты ЗМН-2. При этом пуск ЗМН-2 происходит через время $T_{\text{СН1}}$. В случае отказа гашения поля (кривая 3) напряжение на потерявшей питание СШ снижается медленнее. Более того, при снижении напряжения до $U=(0,85-0,9) U_{\text{НОМ}}$ срабатывает форсировка возбуждения (момент времени $t_{\text{ф}}$), вновь поднимая напряжение, затем оно снова медленно уменьшается (кривая 3), достигая значения $U_{\text{ЗМН2}}$ через время $T_{\text{СН2}}$.

Таким образом, суммарное время простоя технологического агрегата является неопределенным, так как время снижения напряжения может изменяться в интервале $T_{\text{СН1}} - T_{\text{СН2}}$, что может приводить к нарушению технологического процесса перекачки нефти.

Для устранения отмеченных недостатков и ускорения включения резервного МНА в работе предложено устройство ЗМЧ выполнять двухступенчатой (патент РФ на изобретение № 2342755). Для этого в схему ЗМЧ введена вторая ступень защиты - ЗМЧ-2 (рис. 2).

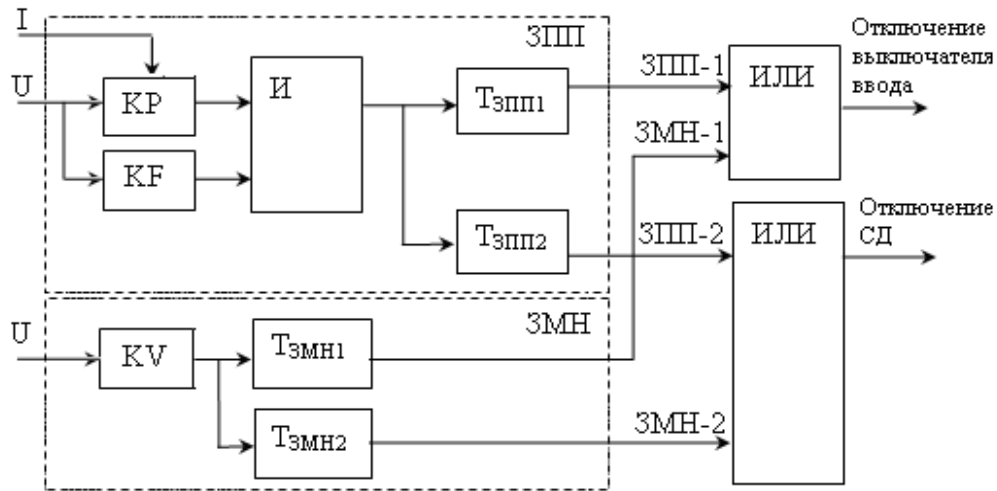


Рисунок 2 – Функциональная схема ЗМЧ и ЗМН:

KF – реле частоты; KP – реле направления мощности; KV – реле напряжения, $T_{3пп1}$ и $T_{3пп2}$ – блоки задания выдержек времени ЗПП, $T_{3мн1}$ и $T_{3мн2}$ – блоки задания выдержек времени ЗМН

Введение дополнительной ступени ЗМЧ-2 позволило ускорить пуск технологического АВР МНА, снизить время простоя МНА на ПНС и повысить бесперебойность технологического режима перекачки при перерывах в системе электроснабжения.

При большой выдержке времени ЗМЧ-2 СД может снизить скорость вращения настолько, что остаточного напряжения будет недостаточно для удержания реле частоты в сработавшем состоянии. Это может привести к отказу ЗМЧ-2. Для исключения этого недостатка в работе предложено новое техническое решение, в котором используется двухступенчатая ЗМЧ с параллельным пуском реле времени ЗМЧ второй ступени от реле частоты и реле напряжения (патент РФ на изобретение № 2400905).

В третьей главе разработана математическая модель позволяющая исследовать взаимосвязанные электромеханические процессы в системе электроснабжения ПНС с СД.

Математическая модель представлена в виде трех подсистем: подсистемы электроснабжения, электромеханической подсистемы и технологической подсистемы (рис. 3).

Математическая модель СД представлена в виде дифференциальных уравнений электромагнитных переходных процессов, полученных на основании уравнений Парка-Горева:

$$T'_d \cdot T''_d \cdot \frac{d^2 E''_q}{dt^2} + (T'_d + T''_d) \cdot \frac{dE''_q}{dt} = -E''_q + (T'_d + T''_d) \cdot \frac{x'_d - x''_d}{x'_d} \cdot \left(\frac{dU_q}{dt} + \frac{x_d - x''_d}{x_d} \cdot U_q + \frac{x''_d}{x_d} \cdot \omega \cdot E_{qN} \cdot (U_f + T_{\sigma 1d} \cdot \frac{dU_f}{dt}) \right). \quad (4)$$

$$T'_{1q} \frac{dE''_d}{dt} + E''_d = \frac{x_q - x''_q}{x_q} \cdot U_d. \quad (5)$$

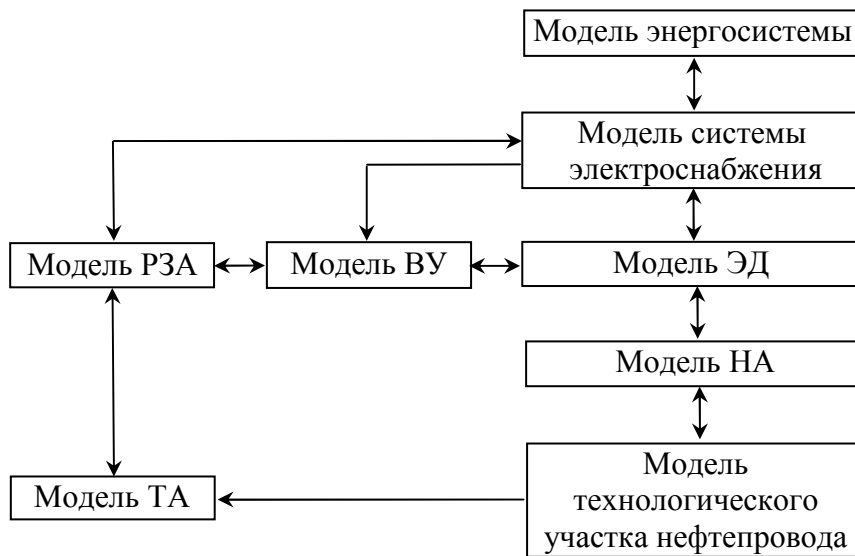


Рисунок 3 – Структурная схема модели ЭТК ПНС

На основе полученной математической модели разработана имитационная модель ЭТК ПНС с СД. Структурная схема имитационной модели ЭТК ПНС с СД реализована в системе математических расчетов MatLab, в пакете Simulink, имеет иерархическую структуру и содержит вложенные модели более низкого уровня (рис.4).

На модели, представленной на рис. 4, были выполнены исследования выбега одиночного СД типа СТД-8000 совместно с магистральным насосом типа НМ-10000-210.

Для анализа изменения ЭДС СД и времени срабатывания ЗМЧ, ЗМН, АВР и технологического АВР были выполнены исследования при различных нагрузках на валу СД МНА и различной эффективности гашения поля СД:

- исследования при срабатывании гашения поля СД (группы 1);
- исследовался без гашения поля СД при отсутствии ЗМЧ-2 (группа 2);
- исследования без гашения поля СД при установке ЗМЧ-2 (группа 3).

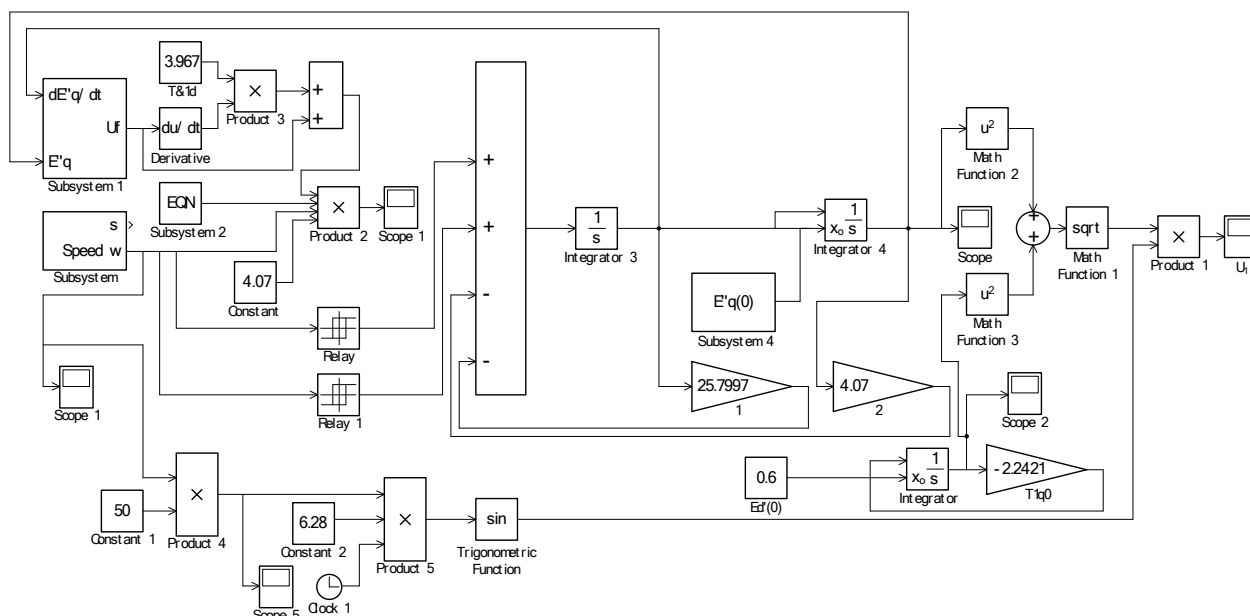


Рисунок 4 – Функциональная схема модели ЭТК ПНС с СД разработанная в системе математических расчетов MatLab, в пакете Simulink

Время срабатывания ЗМН-1,2; ЗМЧ-1,2; АВР и технологического АВР, при разных группах исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Значения времени срабатывания защит и АВР

Вид защит	$0,3 \cdot M_{\text{НОМ}}$	$0,5 \cdot M_{\text{НОМ}}$	$0,7 \cdot M_{\text{НОМ}}$	$0,8 \cdot M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{НОМ}}$
1 группа исследований (с гашением поля СД)					
ЗМЧ-1, с	0,77	0,75	0,68	0,68	0,65
ЗМН-1, с	2,64	1,81	1,66	1,66	1,45
АВР, с	4,60	2,88	2,43	2,41	2,05
2 группа исследований (без гашения поля СД и без ЗМЧ-2)					
ЗМЧ-1, с	1,85	1,60	1,60	1,50	1,45
ЗМН-1, с	8,80	7,16	5,84	5,16	5,08
ЗМН-2, с	14,30	12,66	11,34	10,66	10,6
Технологическое АВР, с	14,80	13,16	11,84	11,16	11,08
3 группа исследований (без гашения поля СД при наличии ЗМЧ-2)					
ЗМЧ-1, с	1,85	1,60	1,60	1,50	1,45
ЗМЧ-2, с	7,35	7,10	7,10	7,00	6,95
Технологическое АВР, с	7,85	7,60	7,60	7,50	7,45

Из табл. 1 следует, что при отказе гашения поля СД время срабатывания ЗМН-2 достигает значений 10,6–14,8 с. При этом время срабатывания технологического АВР увеличивается до 11,08–14,8 с. Это больше времени срабатывания защит по давлению и может привести к отключению МН и к нарушению технологического процесса перекачки.

Введение разработанной ступени защиты от потери питания ЗМЧ-2 ускоряет пуск технологического АВР до 6,95 с, что позволяет снизить время

срабатывания технологического АВР до значения 7,85 с, не превышающего выдержку времени защит трубопровода по давлению.

Таким образом, ЗМЧ-2 ускоряет пуск технологического АВР и позволяет сократить время простоя технологических агрегатов на ПНС и тем самым повышает устойчивость технологического режима перекачки при нарушениях электроснабжения от одного из внешних источников.

В четвертой главе рассмотрены вопросы практической реализации разработанной ЗМЧ-2, проведена экспериментальная проверка работы ЗПП, состоящей из ЗМН и разработанной ЗМЧ, на действующих ПНС.

Для проведения практических исследований были разработаны и изготовлены экспериментальные образцы двухступенчатой ЗМЧ.

В настоящее время в эксплуатации на действующих ПНС находятся 12 комплектов ЗМЧ-2, срок эксплуатации которых составляет до 4-х лет.

Для комплексного анализа работы ЗМЧ, ЗМН, АВР и технологического АВР было проведено пять групп экспериментов.

Наибольший интерес представляет исследование работы ЗМЧ-2 при отказе гашения поля СД, которое проводилось на действующей НПС «Улу-Теляк» н/п УБКУА Черкасского НУ ОАО УСМН. На рис. 5 представлены осциллограммы переходных процессов.

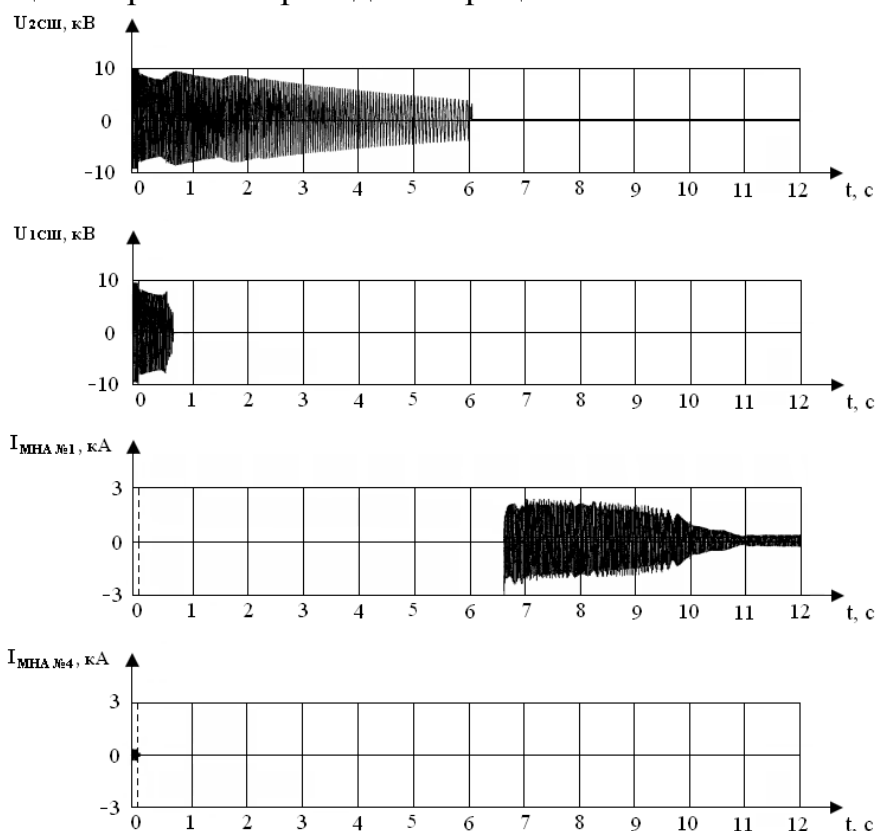


Рисунок 5 – Осциллограммы переходных процессов на НПС «Улу-Теляк» при исследованиях работы ЗМЧ-2

Из осциллограмм рис. 5 следует, что отключение ЭД МНА №4 произошло в результате работы ЗМЧ-2 через 6,4 с после потери питания.

В случае отсутствия ЗМЧ-2 отключение ЭД МНА №4 произошло от ЗМН-2 через 6 с после срабатывания пускового органа ЗМН по напряжению. Так как напряжение при выбеге МНА №1 снизилось до напряжения срабатывания ЗМН-2 через 5,5 с после потери питания, то отключение ЭД МНА №4 произошло бы только через 11,5 с после потери питания. Включение резервного МНА №1 произошло бы через 14,8 с. При такой длительности простоя МН может произойти отключение ПНС технологической защитой.

Таким образом, внедрение ЗМЧ-2 на ПНС «Улу-Теляк» позволило сократить время простоя МНА №1 н/п УБКУА на 5 с.

Проведенные эксперименты подтвердили, что в случае установки ЗМЧ-2 отказ гашения поля СД не нарушает бесперебойность технологического режима перекачки при нарушении электроснабжения.

Расхождение между экспериментальными данными и результатами, полученными на имитационной модели, не превышает 10 %.

В приложении приведены структурные схемы subsystem имитационной модели ЭТК ПНС с СД, осциллограммы изменения напряжения при выбеге СД, полученные на имитационной модели и при экспериментах.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработано и защищено патентом РФ на изобретение (№ 2342755) устройство двухступенчатой защиты от потери питания, позволяющее ускорить пуск технологического АВР, что в свою очередь повышает бесперебойность технологического режима перекачки нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам.

Разработано и защищено патентом РФ на изобретение (№24000905) новое схемотехническое решение устройства защиты от потери питания, разработанное на основе конструктивной схемы двухступенчатой защиты минимальной частоты (патент РФ на изобретение №2342755), обеспечивающее стабильное срабатывание ЗМЧ при длительном перерыве электроснабжения.

2. Разработана математическая модель позволяющая исследовать взаимосвязанные электромеханические процессы в системе электроснабжения ПНС с СД.

3. На основе полученной математической модели разработана имитационная модель ЭТК ПНС с СД, позволяющая визуализировать переходные процессы, происходящие в системе электроснабжения при выбеге, пуске и самозапуске МН на ПНС, и позволяющая исследовать поведение ЗМЧ, ЗМН, АВР СВ и технологического АВР на ПНС при нарушениях электроснабжения.

В результате проведенных исследований выбега одиночного СД типа СТД-8000 совместно с насосом типа НМ-10000-210, выполненных на имитационной модели, установлено:

- снижение момента сопротивления на валу СД приводит к замедлению выбега и к увеличению времени срабатывания ЗМН и АВР. Так при снижении нагрузки на валу СД от $M_{\text{НОМ}}$ до $0,3M_{\text{НОМ}}$ время, за которое напряжение снижается до напряжения срабатывания АВР ($0,4U_{\text{НОМ}}$), увеличивается от 1,57 с до 4,75 с;

- гашение поля и момент нагрузки на валу СД оказывают наибольшее влияние на время $T_{\text{СН2}}$ - время, за которое остаточное напряжение снизится до напряжения срабатывания ЗМН-2. Причем это время изменяется в интервале от 0,95 с до 2,14 с при гашении поля СД и в интервале от 8,3 с до 4,58 с без гашения поля. Такие значения времени $T_{\text{СН2}}$ могут привести к недопустимому замедлению срабатывания ЗМН-2 и, как следствие, к нарушению технологического процесса перекачки нефти.

- при отказе гашения поля СД время срабатывания ЗМН-2 достигает значения 14,3 с. При этом время срабатывания технологического АВР увеличивается до значения 14,8 с. Это больше времени срабатывания защит по давлению, что, в свою очередь, может привести к отключению МН и к нарушению технологического процесса перекачки.

Также в результате исследований выбега выявлено, что установка ЗМЧ-2 на ПНС ускоряет пуск технологического АВР до 6,95 с, что позволяет снизить время срабатывания технологического АВР до значения 7,85 с, не превышающего выдержку времени защит трубопровода по давлению. Это позволяет сохранить технологический режим перекачки при нарушениях электроснабжения от одного из внешних источников.

4. Разработана методика выбора уставок ЗМН-1 и ЗМН-2 по напряжению и времени. В предложенной методике обоснованы условия выбора уставок срабатывания ЗМН по напряжению и времени, учитывающие назначение ЗМН на ПНС и особенности технологического режима перекачки. Применение разработанной методики выбора уставок позволяет обеспечить селективность и повысить быстродействие ЗМН-1, ЗМЧ-1, ЗМН-2 и ЗМЧ-2.

5. Разработана и реализована в виде экспериментальных образцов и испытана двухступенчатая защита от потери питания типа ЗМЧ. После испытаний разработанные средства РЗА оставлены на действующих ПНС для опытной эксплуатации. В настоящее время в эксплуатации находятся 12 комплектов ЗМЧ-2, срок их эксплуатации составляет от 2-х до 4-х лет.

Путем экспериментальных исследований установлено, что:

- в зависимости от эффективности гашения поля СД время срабатывания ЗМН-2, может иметь разброс от 1,5 с до 23 с, а время срабатывания тех-

нологического АВР от 1,76 с до 27 с, что может привести к нарушению режима перекачки;

- установка разработанной ЗМЧ-2 на НПС «Улу-Теляк» позволила сократить время простоя МНА №4 н/п УБКУА на 5 с (до 9,8 с), что обеспечивает пуск технологического АВР за время, меньшее, чем время срабатывания защит трубопровода по давлению. Это позволяет обеспечить бесперебойность технологического режима перекачки нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам при нарушениях электроснабжения от одного из внешних источников;

- расхождение между экспериментальными данными и результатами, полученными на имитационной модели, не превышает 10 %, что подтверждает достоверность модели и результатов исследований.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Согласование выдержек времени релейной защиты НПС / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев, С.Е.Клименко, Р.З.Юсупов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. Уфа: ИПТЭР, 2007. Вып. 4(70). С. 84–89.

2. Выбор уставок защит минимального напряжения при потере электропитания от внешнего источника / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев // Энергетик. Москва: НТФ «Энергопрогресс», 2008. Вып. 7. С. 37–39.

3. Обеспечение селективности второй ступени защиты минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев // Промышленная энергетика. Москва: НТФ «Энергопрогресс», 2008. Вып. 4. С. 25–27.

4. Сравнительный анализ роли самозапуска и технологического АВР в обеспечении устойчивой работы НПС с синхронными электродвигателями / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев, Т.С.Мустафин, А.Р.Валишин // Нефтегазовое дело. Уфа, 2008. Т.6, №1. С. 143–146.

5. Электротехнические средства снижения волн давления в магистральных нефтепроводах при нарушении электроснабжения / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев, О.В.Кабаргина // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов: научно-технический журнал. Уфа. ИПТЭР, 2010. Вып. 1(79). С. 84–89.

6. Условия срабатывания АВР на нефтеперекачивающих станциях / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев // Энергетик. Москва: НТФ «Энергопрогресс», 2010. Вып. 3. С. 37–39.

7. Ускорение включения технологического резерва на нефтеперекачивающих станциях при нарушениях в системе электроснабжения /

В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев // Промышленная энергетика. Москва: НТФ «Энергопрогресс», 2010. Вып. 6. С. 31–35.

8. Недостатки защит минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев, А.Р.Валишин, М.К.Плеханов // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал, 2010. Вып. 2. Уфа. С. 1–5.

Патенты РФ на изобретение

9. Патент РФ на изобретение № 2342755. H02H3/24. Устройство защиты от потери питания / В.Ю.Алексеев, В.А.Шабанов. Опубл. 27.12.2008, БИ № 36.

10. Патент РФ на изобретение № 2400905. H02J9/06. Устройство защиты от потери питания / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев. Опубл. 27.09.2010, БИ № 27.

В других изданиях

11. Анализ схем электроснабжения и релейной защиты НПС / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев, А.А.Сердюк, А.Н.Колобов // Обеспечение промышленной безопасности на взрывоопасных и химически опасных производственных объектах.: сб. тр. Всероссийского открытого конкурса инновационных проектов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов РФ. Уфа, 2007. С. 164–166.

12. Оценка возможности самозапуска синхронных двигателей магистральных насосных агрегатов на нефтеперекачивающих станциях / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев // Энергетика и энергоэффективные технологии.: сб. докладов 2-й ежег. междунар. научно-технической конф., 4–5 октября 2007. Липецк: ЛГТУ, 2007. С. 4–9.

13. Изменение ЭДС при выбеге электродвигателей при потере питания / В.Ю.Алексеев, В.А.Шабанов // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий.: сб. материалов всерос. научно-технической конф. Т. 1., 15–16 ноября 2007. Уфа: УГНТУ, 2007. С. 74–79.

14. Влияние тока возбуждения на устойчивость синхронных двигателей НПС / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев, А.Р.Калимгулов, И.А.Хайртдинов // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий.: сб. материалов всерос. научно-технической конф. Т. 1., 15–16 ноября 2007. Уфа: УГНТУ, 2007. С. 93–98.

15. Анализ допустимости и успешности самозапуска электродвигателей НПС / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев, Т.С.Мустафин, А.Р.Валишин // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий.: сб. материалов всерос. научно-технической конф. Т. 1., 15–16 ноября 2007. Уфа: УГНТУ, 2007. С. 105–111.

16. Особенности схем электроснабжения НПС и их учет при анализе успешности самозапуска ЭД МНА / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев, А.Р.Калимгулов, Р.З.Юсупов // Молодежь и наука. – Третье тысячелетие. сб. материалов всерос. научн. конф. 2-я часть, 15 мая 2008. Красноярск, 2008. С. 11–17.

17. Анализ выбега синхронных электродвигателей НПС на математической модели / В.Ю.Алексеев, В.А.Шабанов // Электромеханика электротехнические комплексы и системы.: межвузовский сб. научн. трудов. Уфа: УГАТУ, 2008. С. 153–158.

18. Динамическая модель асинхронной машины с учетом внешних повреждений / В.Ю.Алексеев, Ю.В.Чиков, Э.Р.Байбурин // Энергообеспечение и безопасность.: сб. материалов 2-й междунар. выставки-Интернет-конф. Орел, 2008. С. 152–157.

19. Анализ выбега синхронных двигателей на нефтеперекачивающих станциях при отказе гашения поля / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев, М.К.Плеханов // Электротехнические комплексы и системы.: межвуз. сб. научн. трудов. Уфа: УГАТУ, 2009. С. 132–136.

20. Два алгоритма взаимодействия ЗПП и АВР на НПС при потере питания от одного из источников / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев, Р.З.Юсупов // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий.: сб. материалов 2-й всерос. научно-технической конф. Т. 1. 19–20 марта 2009. Уфа: УГНТУ, 2009. С. 224–230.

21. Экспериментальные исследования процессов выбега СД на НПС при потере питания / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев, В.Е.Кирбабин // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий.: сб. материалов 2-й всерос. научно-технической конф. Т. 1. 19–20 марта 2009. Уфа: УГНТУ, 2009. С. 244–250.

22. О допустимой кратности тока включения синхронных электродвигателей нефтеперекачивающих станций / В.Ю.Алексеев, Р.З.Юсупов, В.А.Шабанов, В.В.Пашкин // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий.: сб. материалов 2-й всерос. научно-технической конф. Т. 1. 19–20 марта 2009. Уфа: УГНТУ, 2009. С. 257–261.

23. Способы и средства сохранения бесперебойности технологического процесса перекачки нефти по нефтепроводам при нарушениях электроснабжения / В.Ю.Алексеев // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов.: сб. тр. межд. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов. 10–12 ноября 2009. Тольятти: ТГУ, 2009. С. 293–295.

24. О выбега синхронных двигателей на нефтеперекачивающих станциях / В.Ю.Алексеев, М.К.Плеханов, Р.З.Юсупов // Тинчуринские чтения, Т1.: материалы докладов V межд. молодежной науч. конф. 28–29 апреля 2010. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т., 2010. С. 126–127.

25. Выполнение защит минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях / В.А.Шабанов, В.Ю.Алексеев // Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов.: межвуз. сб. научн. тр. Уфа: УГНТУ, 2010. С. 93–98.

Диссертант



В.Ю. Алексеев

АЛЕКСЕЕВ Виктор Юрьевич

ЗАЩИТА ОТ ПОТЕРИ ПИТАНИЯ
НА ПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ
НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

Специальность:

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 16.02.2012 Формат 60×80 1/16
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,0. Уч. – изд. л. 0,9
Тираж 100 экз. Заказ № 580.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа – центр, ул. К. Маркса, 12