



Столыпинский  
вестник

Научная статья

Original article

УДК 002.304

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА САМОЗАПУСКА  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД  
ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ  
ЕТАР**

**MODELING OF THE PROCESS OF GROUP SELF-START OF  
ELECTRIC MOTORS FOR OWN NEEDS OF THE TPP IN THE ETAP  
SOFTWARE PACKAGE**

**Кошечева Анна Григорьевна**, Студентка магистратуры 2 курс, кафедра  
Электрические станции, НИУ «МЭИ», Россия, г. Москва

**Тимофеев Александр Андреевич**, Студент магистратуры 2 курс, кафедра  
Электрические станции, НИУ «МЭИ», Россия, г. Москва

**Koshcheeva Anna Grigorievna**, 2nd year Master's student, Department of  
Electrical Stations, NRU "MEI", Russia, Moscow

**Timofeev Aleksander Andreevich**, Master's student 2nd year, Department of  
Electrical Stations, NRU "MEI", Russia, Moscow

**Аннотация:** Целью исследования является расчетный анализ режима группового самозапуска электродвигателей (ЭД) собственных нужд (СН) теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) в программном комплексе (ПК) ЕТАР с учетом работы технологической защит (ТЗ) энергоблока. Задачи исследования:

аналитический обзор научных источников и инструкций по технологической части ТЭЦ, составление перечня механизмов СН ТЭЦ, проведение параметризации электрооборудования СН ТЭЦ. Методы исследования: аналитический обзор научно-информационных источников, инструкций по теме исследования, расчетно-теоретическое исследование в ПК ETAP с применением разработанной модели. Результаты проведенного исследования позволят более точно отстроить уставки релейной защиты (РЗ), установленных на ТЭЦ, а также дать рекомендации для выбора оборудования, чтобы повысить надежность работы СН.

**Summary:** The purpose of the study is a computational analysis of the mode of group self-start of electric motors (EM) for own needs of a thermal power plant (TPP) in the ETAP software package (SP), taking into account the operation of technological protections (TP) of the power unit. Research objectives: analytical review of scientific sources and instructions on the technological part of the TPP, compilation of a list of mechanisms of the TPP, parameterization of the electrical equipment of the TPP. Research methods: analytical review of scientific and information sources, instructions on the subject of the study, computational and theoretical research in the ETAP SP using the developed model. The results of the study will allow to more accurately adjust the settings of the relay protection (RP) of the installed at the TPP, as well as to give recommendations for the selection of equipment to increase the reliability of the own needs.

**Ключевые слова:** Самозапуск, теплоэлектростанция, собственные нужды, надежность, электродвигатели.

**Keywords:** Self-start, thermal power plant, own needs, reliability, electric motors, modeling, ETAP software package.

Для энергоблоков современных ТЭЦ важно решить задачи успешного разворота группы ЭД после перерыва питания и повторной подачи напряжения, а также обеспечить при этом изменение технологических параметров оборудования в допустимых пределах, и тем самым сохранить

энергоблок в работе. Это достигается за счет проведения на работающем энергоблоке трудоемких испытаний, связанных с риском повреждения оборудования и нарушением устойчивости технологического режима работы ТЭЦ, которые позволят выявить недостатки и устранить их. Сложность, трудоемкость испытаний возрастают с ростом единичной мощности энергоблока. Поэтому все большее значение приобретают программные комплексы, которые позволяют производить моделирование группового самозапуска ЭД СН.

Для моделирования группового самозапуска ЭД СН ТЭЦ был произведен анализ технологического оборудования ТЭЦ согласно [1]. Проанализирована работа технологических защит энергоблока 300 МВт [2]. Далее был составлен перечень ответственных и неответственных механизмов СН ТЭЦ. Ответственными механизмами являются механизмы, прекращение работы которых вызывает остановку котлов или турбин, или снижение выработки электрической и тепловой энергии. Неответственными механизмами являются механизмы, непродолжительная остановка которых не вызывает нарушение в режиме работы ТЭЦ [3].

Также был проведен анализ литературы в области схем электроснабжения СН ТЭЦ [4]. Схемы электроснабжения установок СН ТЭЦ должны проектироваться и эксплуатироваться таким образом, чтобы в различных режимах, в том числе и аварийных, обеспечивался определенный уровень надежности работы электростанции. Особенности схем СН моделируемого энергоблока 300 МВт заключается, в том, что питание секций 6 кВ осуществляется от трансформаторов с расщепленной обмоткой мощностью 32 МВА, которые присоединяются к блоку ответвлением без установки выключателя. Для питания секций 0,4 кВ используются три рабочих трансформатора 6/0,4 кВ мощностью 1000 кВА, которые присоединены к шинам 6 кВ собственного блока и одного резервного трансформатора мощностью 1000 кВА, который подключен к шинам другого энергоблока. Мощность резервного трансформатора 6/0,4 кВ равна мощности одного из

рабочих трансформаторов, поэтому он не может обеспечить питание всей нагрузки 0,4 кВ блока. Резервный трансформатор СН 6/0,4 кВ должен обеспечивать одновременный самозапуск ответственных ЭД.

В результате анализа существующих подходов к математическому описанию асинхронной электрической машины [5], для моделирования в ПК ЕТАР в качестве расчётной схемы замещения ЭД принята одноконтурная «Т»-образная схема, представленная на рисунке 1. Для использования математической модели электроустановки необходимо выполнить параметризацию ЭД. Параметризация схемы замещения ЭД производилась на основе методики предложенной в [6].

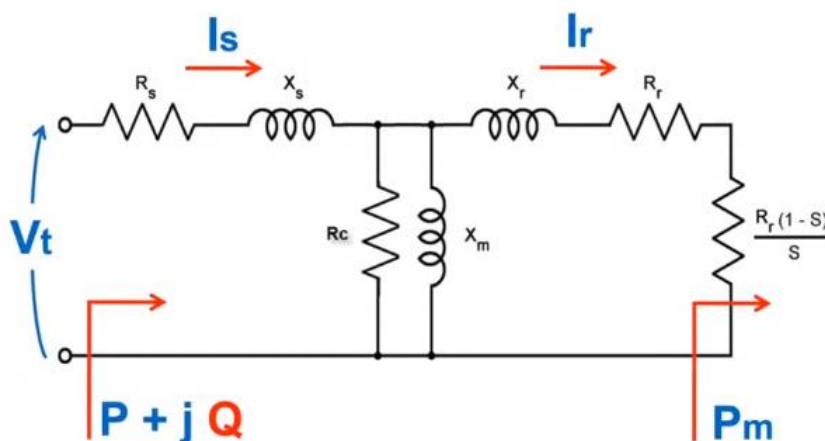


Рисунок 1 – Т-образная схема замещения ЭД

Проверка возможности самозапуска проводилась на действующем энергоблоке 300 МВт ТЭЦ. Рабочее питание секций собственных нужд (1РА, 1РБ) осуществляется от трансформатора собственных нужд (ТСН) типа ТРДНС – 32000/35. Питание резервной магистрали (РМ-1А, РМ-1Б) 6 кВ осуществляется от пускорезервного трансформатора собственных нужд (ПРТСН) типа ТРДЦН – 63000/110, который подключен отпайкой к КВЛ 110 кВ. Для питания секций 0,4 кВ (1НА, 1НВ, 1НБ) используются три рабочих трансформатора (Т-41А, Т-41Б, Т-41В) типа ТСЗС-1000/6, которые присоединены к шинам 6 кВ собственного блока и одного резервного трансформатора типа ТСЗС-1000/6 (Т40-Р1), который подключен к шинам

другого энергоблока. На рисунке 2 приведена схема СН ТЭЦ энергоблока 300 МВт, смоделированная в ПК ЕТАР. Уставки РЗ:

Уставка ЗМН 6 кВ 1 ст. –  $0,5 \text{ с}, 0,7U_{\text{НОМ}}$ .

Уставка ЗМН 6 кВ 2 ст. –  $9 \text{ с}, 0,5U_{\text{НОМ}}$ .

Уставка ЗМН ПЭН. Данный ЗМН установлен на присоединениях с микропроцессорными терминалами РЗ.

Время АВР секции 6 кВ –  $0,85 \text{ с}$ .

Основная защита ЭД – токовая отсечка без выдержки времени.

Защита от перегрузки ЭД – МТЗ. Время срабатывания  $20 \text{ секунд}$ .

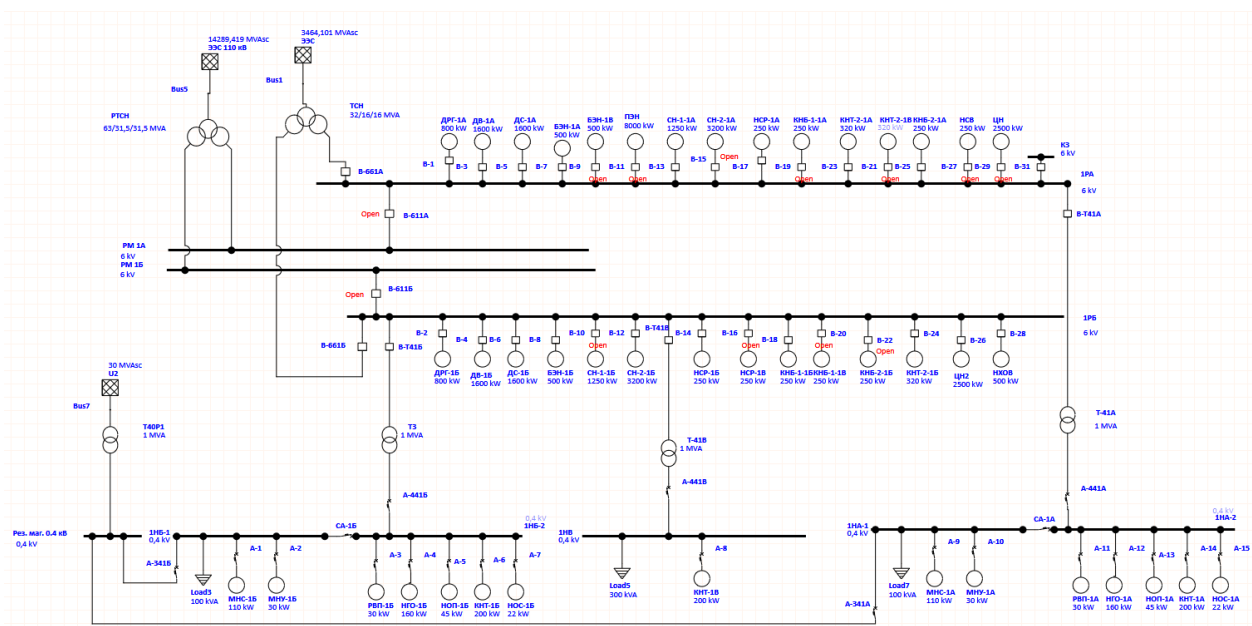


Рисунок 2 – Моделируемая схема СН ТЭЦ энергоблока 300 МВт

Моделирование группового самозапуска проводилось в ПК ЕТАР с использованием алгебраических и упрощенных дифференциальных уравнений для оценки возможности группового самозапуска ЭД СН ТЭЦ. ПК обладает следующими функциями: моделирование статического и динамического пуска ЭД; моделирование момента нагрузки; моделирование момента инерции ЭД, передаточных механизмов, нагрузки; построение графиков скольжения и тока ЭД, напряжения секций, необходимых для анализа успешности группового самозапуска; вывод полученных результатов.

В исследовании моделировался групповой самозапуск после кратковременного глубокого снижения напряжения, вследствие близкого КЗ,

отключаемого действием РЗ и работа автоматического ввода резерва после отключения рабочего источника питания в результате ошибочных действий оперативного персонала или ложного срабатывания РЗ. Также моделировались случаи с разным уровнем нагрузки ПРТСН. Полученные результаты моделирования были верифицированы на основании расчета начального напряжения на секции после кратковременного перерыва питания. Расхождения результатов расчета с результатами математического моделирования не превышают 10%.

Первый расчетный случай. Нагрузка энергоблока 240 МВт. АВР секции 1 РА. Возможные причины: 1) ошибка оперативного персонала; 2) самопроизвольное отключение рабочего ввода секции. Питающий электрический насос отключен (ПЭН), работает питающий турбонасос (ПТН). Нагрузка ТСН составляет 47 %.

Остаточное напряжения, генерируемое ЭД, на секции 1 РА за время бестоковой паузы опускается до 1 кВ, что составляет 17 % от  $U_{ном}$ . Изменение напряжения на секции 1 РБ не зафиксировано. При включении резервного ввода через 0,85 с от ПРТСН значение начального напряжение на секции равно 5,4 кВ (90 % от номинального напряжения).

Разворот ЭД секции 1 РА прошел успешно за 3,5 с. Во время бестоковой паузы срабатывает ЗМН 1 ступени и происходит отключение дымососа рециркуляции газов (ДРГ-1А). При работе насос системы регулирования (НСР-1А) по технологической защите из-за снижения давления в системе регулирования должен включиться НСР-1Б.

Остаточное напряжения, генерируемое ЭД, на секции 1 НА за время бестоковой паузы опускается до 228 В, что составляет 62,5 % от  $U_{ном}$ . Изменение напряжения на секции 1 НБ и 1 НВ не зафиксировано. При включении резервного ввода значение начального напряжение на секции равно 311 В (85 % от номинального напряжения). Разворот ЭД секции 1 НА прошел за 6 с.

Второй расчетный случай. Короткое замыкание (КЗ) на присоединении секции 1 РА. КЗ отключается от действия токовой отсечки. Нагрузка энергоблока 140 МВт. ПЭН находится в работе.

Напряжения на секции 1 РА опускается до 0. Напряжение на секции 1 РБ снижается до 95 % от  $U_{ном}$ . При отключении через 0,1 с присоединения, на котором произошло КЗ значение начального напряжения на секции равно 4,2 кВ (70 % от номинального напряжения). Разворот ЭД секции 1 РА прошел успешно за 3 с.

Остаточное напряжения на секции 1 НА опускается до 220 В, что составляет 55% от  $U_{ном}$ . Напряжение на секции 1 НБ и 1 НВ снижается до 90 % от  $U_{ном}$ . При отключении КЗ через 0,1 с начального напряжения на секции равно 328 В (82 % от номинального напряжения). Разворот ЭД секции 1 НА прошел за 4 с.

Третий расчетный случай: КЗ на присоединении секции 1 РА – 6 кВ (ТСН 6/0,4 кВ). КЗ отключается от действия максимальной токовой защиты. Нагрузка энергоблока составляет 140 МВт. ПЭН находится в работе. Нагрузка ТСН составляет 72 % от номинальной мощности трансформатора.

Напряжения на секции 1 РА опускается до 0. Изменение напряжения на секции 1 РБ зафиксировано на 5 %. При отключении присоединения, на котором произошло КЗ, значение начального напряжения на секции 1РА равно 3,9 кВ (65 % от уровня номинального напряжения). Во время КЗ срабатывает ЗМН 1 ступени и происходит отключение ряда неответственных механизмов СН. Однако полный разворот ЭД на секции 1 РА так и не происходит. Через 9 секунд от действия ЗМН 2 ступени происходит отключение ответственных ЭД, в том числе и ПЭН. В итоге энергоблок отключается через 9 секунд по ТЗ «Отключение всех питательных насосов».

Выводы.

1) Проведено расчетно-теоретическое исследование группового самозапуска ЭД СН ТЭЦ в ПК ЕТАР с применением разработанной модели.



2) Выявлены критерии неуспешного группового самозапуска ЭД энергоблока 300 МВт.

3) В результате проведенного исследования было выявлено, что разворот двигателей после ликвидации внешних КЗ с выдержкой времени 0,5 с не всегда будет обеспечен, а также успешный групповой самозапуск не всегда возможен, даже при достаточном значении восстанавливающегося напряжения (0,65 от  $U_{\text{НОМ}}$ ).

4) Результаты проведенного исследования расчетов позволят более точно отстроить уставки РЗ, установленных на ТЭЦ, дать рекомендации для выбора оборудования, чтобы повысить надежность работы СН.

### Литература.

1. Основы современной энергетики: Учебник для вузов. В двух частях // Под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Издательство МЭИ, 2003
2. Тепловые электрические станции: учебник для вузов. / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др.; под ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Цанева. — 3-е изд., стереот. — М. : Издательский дом МЭИ, 2009. — 466 с.
3. Георгиади В.Х. Поведение энергоблоков ТЭС при перерывах электроснабжения собственных нужд. Ч.1. – М. : Энергопрогресс, 2003. – 80 с.
4. Курбангалиев, У.К. Самозапуск двигателей собственных нужд электростанций– М. : Энергопрогресс, 2001 . – 64 с.
5. Копылов, И.П. Электрические машины: учебник для вузов / И.П. Копылов – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
6. Maljkovic, Z. The impact of the induction motor on short-circuit current/ Z. Maljkovic, M. Cettolo M., M. Pavlica // IEEE Industry Applications Magazine, Volume: 7, Issue: 4, Jul/Aug 2001, p. 11-17.



### References

1. Fundamentals of modern energy: Textbook for universities. In two parts // Under the general editorship of Corr. RAS E.V. Ametistova. – 2<sup>nd</sup> ed., revised. And additional – M: MPEI Publishing House, 2003
2. Thermal power stations: a textbook for universities. / V.D. Burov, E.V. Dorokhov, D.P. Elizarov and others; ed. V.M. Lavygina, A.S. Sedlova, S.V. Tsanev. – 3<sup>rd</sup> ed., stereo. – М.: MPEI Publishing House, 2009. – 466 p.
3. Georgiadi V.Kh. Behavior of power units of thermal power plants during interruptions in the power supply of their own needs. Part 1. – М.: Energoprogress, 2003. – 80 p.
4. Kurbangaliev, U.K. Self-starting of engines for auxiliary needs of power plants – М.: Energoprogress, 2001. – 64 p.
5. Kopylov, I.P. Electric machines: textbook for universities / I.P., Kopylov – М.: Energoatomizdat, 1986. – 360 p.
6. Maljkovic Z., Cettolo M., Pavlica M. The impact of the induction motor on short-circuit current // IEEE Industry Applications Magazine, Volume: 7, Issue: 4, Jul/Aug 2001, p. 11-17.

© Кошечева А.Г., Тимофеев А.А. 2022 Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №3/2022.

**Для цитирования:** Кошечева А.Г., Тимофеев А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЕТАР // Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №3/2022.