

ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ**Кондрашова Ю.Н., Митюшѐв А.А., Николаев А.А.****МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ***г. Магнитогорск, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»**Аннотация**В данной работе рассмотрено моделирование динамических характеристик нагрузки и выполнен расчет начальных значений токов короткого замыкания с учетом и без учета нагрузки.**Abstract**In this paper, we consider modeling of dynamic characteristics of the load and calculated the initial values of short-circuit currents with and without load.**Ключевые слова: система электроснабжения, высоковольтная нагрузка, динамическая устойчивость, центральная электрическая станция, короткое замыкание**Keywords: power supply system, high-load, dynamic stability, the central power station, a short замыкание*
Klyuchevye words: power supply system, high-load, dynamic stability, the central power station, a short circuit.

При расчете переходных режимов и исследовании динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий [1,2,3,4], имеющих в своем составе собственные электростанции, возникает необходимость математического моделирования нагрузки [5] с целью получения их динамических характеристик, представленных зависимостью активных и реактивных мощностей от напряжения и частоты. В настоящее время известны следующие формы представления динамических характеристик нагрузки. У В.А. Веникова динамическая характеристика представляется в виде функциональной связи какого-либо параметра режима с рядом других параметров и их производных:

$$P = \phi \left(U, f, \frac{dU}{dt}, \frac{df}{dt}, \frac{d^2U}{dt^2}, \frac{d^2f}{dt^2} \right).$$

Динамическая характеристика представлена гиперповерхностью, проходящей в фазовом пространстве. Простейшим случаем является поверхность в пространстве трех измерений:

$$P = \phi \left(U, \frac{dU}{dt} \right) \text{ или } P = \phi \left(s, \frac{ds}{dt} \right).$$

При заданном характере изменения напряжения, скольжения и т.д. во времени динамическая характеристика, может быть приведена на плоскости:

$$P = \phi (U_{t=0}, U_{t=1}, \dots, U_{t=n}) \text{ или } P = \phi (t).$$

Д.И. Азарьев использовал динамические характеристики нагрузки, отражающие зависимости изменение $U = \phi(s, t)$ и $r, x = \phi(s)$ асинхронных двигателей при коротком замыкании. Динамические характеристики нагрузки Д.И. Азарьева зависят от постоянной времени инерции установок, от коэффициента загрузки двигателей и от сопротивления питающей сети. При этом не учитывается характер момента сопротивления на валу двигателей при быстром отключении коротких замыканий.

Рассмотрение зависимостей $P=f(F)$ и $Q=f(F)$ при коротких замыканиях не является актуальным для систем электроснабжения, т.к. изменение частоты за время существования трехфазного короткого замыкания до его отключения невелико, что обусловлено инерционностью элементов системы.

Помимо этого характеристики в таком виде не сочетаются с принятой в настоящей работе организацией вычислительного процесса. Особые затруднения вызывает применение динамических характеристик в указанной форме при корректировке мощностей нагрузок в режиме короткого замыкания с учетом различных значений остаточных напряжений. Для проведения практических расчетов при исследовании динамической устойчивости в сложных системах электроснабжения, состоящих из электрических машин и разнородной комплексной нагрузки, необходимо получить динамические характеристики вида $P=f(U)$ и $Q=f(U)$ [5].

На примере объектов металлургического производства можно выделить следующие характерные группы электроприемников:

- высоковольтная синхронная нагрузка [6,7,8,9];
- высоковольтная асинхронная нагрузка [6,7,8,9];

При исследовании систем электроснабжения промышленных предприятий в режиме коротких замыканий весьма важным является учет подпитки от асинхронной и синхронной двигательной нагрузки при различной удаленности от точки короткого замыкания [10,11]. Крупные двигатели оказывают существенное влияние на динамическую устойчивость, поэтому их учет ведется индивидуальными уравнениями электромагнитных и электромеханических процессов с учетом характера момента на валу.

С помощью разработанного программного комплекса [12], в основе которого лежит модифицированный метод последовательного эквивалентирования [8] были получены следующие результаты на примере собственных нужд центральной электрической станции (ЦЭС) металлургического предприятия. В работе

[5] приведена подробная методика расчета начальных значений токов трехфазных коротких замыканий с учетом и без учета динамических характеристик.

В таблице 1 представлены результаты определения начальных значений токов трехфазного короткого

замыкания и остаточных напряжений с учетом и без учета динамических характеристик на шинах ЦРУ 3 секция.

Таблица 1

Для ЦРУ 3 сек.		РУ-10 кВ, 1 сек.	РУ-10кВ, 2 сек.	ЦРУ 1 сек.	РУ 110 кВ
	Ипо, кА	Uост, кВ	Uост, кВ	Uост, кВ	Uост, кВ
без учета динамических характеристик	47,33	10,37	10,17	3,05	112,12
с учетом динамических характеристик	47	10,37	10,17	3,05	112,13

В таблице 2 представлены результаты определения начальных значений токов трехфазного короткого замыкания и остаточных напряжений с учетом и

без учета динамических характеристик на шинах ЦРУ РУ ТГ5.

Таблица 2

Для РУ ТГ 5		РУ-10 кВ, 1 сек.	РУ-10кВ, 2 сек.	ЦРУ 1 сек.	РУ 110 кВ
	Ипо, кА	Uост, кВ	Uост, кВ	Uост, кВ	Uост, кВ
без учета динамических характеристик	7,45	10,37	10,16	3,05	112,07
с учетом динамических характеристик	7,4	10,37	10,17	3,05	112,1

В таблице 3 представлены результаты определения начальных значений токов трехфазного короткого замыкания и остаточных напряжений с учетом и

без учета динамических характеристик на шинах ЦРУ РУ-ТГ7.

Таблица 3

Для РУ ТГ7		РУ-10 кВ, 1 сек.	РУ-10кВ, 2 сек.	ЦРУ 1 сек.	РУ 110 кВ
	Ипо, кА	Uост, кВ	Uост, кВ	Uост, кВ	Uост, кВ
без учета динамических характеристик	7,35	10,37	10,17	3,05	112,1
с учетом динамических характеристик	7,31	10,37	10,17	3,05	112,1

В таблице № 4 представлены результаты определения начальных значений токов трехфазного ко-

роткого замыкания и остаточных напряжений с учетом и без учета динамических характеристик на шинах ЦЭС РУ-10 кВ, 4 секция.

Таблица 4

Для ЦЭС, 4 сек. 10 кВ		РУ-10 кВ, 1 сек.	РУ-10кВ, 2 сек.	ЦРУ 1 сек.	РУ 110 кВ
	Ипо, кА	Uост, кВ	Uост, кВ	Uост, кВ	Uост, кВ
без учета динамических характеристик	58,26	10,37	10,16	3,05	112,07
с учетом динамических характеристик	57,78	10,37	10,17	3,05	112,08

В таблице 5 представлены результаты определения начальных значений токов трехфазного короткого замыкания и остаточных напряжений с учетом и

без учета динамических характеристик на шинах ЦЭС РУ-10 кВ, 3 секция.

Таблица 5

Для ЦЭС, 3 сек. 10 кВ		РУ-10 кВ, 1 сек.	РУ-10кВ, 2 сек.	ЦРУ 1 сек.	РУ 110 кВ
	Ипо, кА	Uост, кВ	Uост, кВ	Uост, кВ	Uост, кВ
без учета динамических характеристик	50,55	10,42	10,24	3,07	112,56
с учетом динамических характеристик	50,08	10,42	10,24	3,07	112,57

Разработана методика определения начальных значений токов короткого замыкания и остаточных напряжений при параллельной работе. В зависимости от места расположения точки короткого замыкания при определении остаточных напряжений и начальных токов трехфазного короткого замыкания видно, что на шинах центрального распределительного устройства ЦРУ 3 секции значения начальных токов с учетом и без учета динамических характеристик различаются на 0,33 кА; на шинах ЦРУ РУ ТГ5 на 0,05 кА; на шинах ЦРУ РУ ТГ7 на 0,04 кА; на шинах ЦЭС РУ-10 кВ, 4 секции на 0,48 кА; на шинах ЦЭС РУ-10 кВ, 3 секции на 0,47 кА, а остаточные напряжения практически одинаковы. Это обусловлено тем, что динамические характеристики позволяют учитывать режимы работы промышленной нагрузки до её отключения. Весомо значимым является учитывать приведенные режимы, которые определяют надежность работы электрооборудования и предприятия в целом [14,15,16].

Список литературы.

1. Ротанова Ю.Н. Исследование сходимости метода расчета установившихся режимов систем электроснабжения при работе отдельно с энергосистемой/ О.В. Буланова, В.А. Игуменцев, А.В. Малафеев, Ю.Н. Ротанова // Электротехнические системы и комплексы. – 2005. – № 10. – С. 129.
2. Ротанова Ю.Н. Определение асинхронной мощности синхронных генераторов в расчетах электромеханических переходных процессов при несимметричных режимах [Текст] / Буланова, О.В., Малафеев А.В., Николаев Н.А., Ротанова Ю.Н., Панова, Е.А. // Электрика. – 2010. – № 8. – С. 24-26.
3. Буланова, О.В. Управление режимами промышленных электростанций при выходе на отдельную работу/ О.В. Буланова: дис. на соиск. ст. канд. техн.наук: 05.09.03.// МГТУ – Магнитогорск: 2007. – 175 с.
4. Газизова, О.В. Исследование эффективности работы делительной автоматики в системе электроснабжения промышленного предприятия черной металлургии [Текст] / Газизова О.В., Малафеев А.В., Тарасов В.М., Извольский М.А. // Промышленная энергетика. – 2012. – № 10. – С. 12-17.
5. Ротанова, Ю.Н. Повышение устойчивости системы электроснабжения промышленного предприятия с собственными электростанциями при коротких замыканиях / Ю.Н. Ротанова: дис. на соиск. ст. канд. техн.наук: 05.09.03. // МГТУ – Магнитогорск: 2008. – 174 с.
6. Ротанова Ю.Н. Анализ переходных процессов в системах электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями в режимах выхода на отдельную работу после короткого замыкания [Текст] /Заславец Б.И., Игуменцев В.А., Николаев Н.А., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. // Изв. вузов Электромеханика. – 2009. – №1. – С. 60 - 65.
7. Ротанова Ю.Н. Расчет динамических характеристик синхронных и асинхронных двигателей промышленных предприятий с целью анализа устойчивости систем электроснабжения [Текст] / Игуменцев В.А., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2006. – № 2. – С. 71-75.
8. Ротанова Ю.Н. Представление машин переменного тока в расчетах динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями /Б.И. Заславец, В.А. Игуменцев, А.В. Малафеев, О.В. Буланова, Ю.Н. Ротанова. //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2008. – №1 (111). – С. 3-8.
9. Ротанова Ю.Н. Влияние высоковольтных двигателей собственных нужд на надежность системы электроснабжения собственных нужд ТЭЦ ОАО «ММК» [Текст] / Малафеев А.В., Карандаева О.И., Ротанова Ю.Н., Буланова О.В. // Электротехнические системы и комплексы. – 2009. – № 17. – С. 96-104.
10. Буланова О.В. Анализ режимов несимметричных коротких замыканий в сложных системах электроснабжения с собственными электростанциями [Текст] / Малафеев А.В., Буланова О.В., Панова Е.А., Григорьева М.В. // Промышленная энергетика. – 2010. – № 3. – С. 26-31.
11. Ротанова Ю.Н. Исследование динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями при отделении от энергосистемы в результате короткого замыкания [Текст] / А.В. Малафеев, О.В. Буланова, Ю.Н. Ротанова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2008. – № 17 (117). – С. 72-74.
12. Комплекс автоматизированного режимного анализа КАТРАН 6.0 / В.А. Игуменцев, А.В. Малафеев, О.В. Газизова, Ю.Н. Ротанова, Е.А. Панова, Н.А. Николаев, А.В. Кочкина, В.В. Зиновьев. Свидетельство РФ № 2012612069. ОБПБТ – 2012.
13. Карандаев, А.С. Анализ надежности оборудования тепловой электростанции при внедрении преобразователей частоты [Текст] / Карандаев А.С., Корнилов Г.П., Карандаева О.И., Ротанова Ю.Н., Ровнейко В.В., Галлямов Р.Р. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2009. – № 34 (167). – С. 16-22.

14. Ротанова Ю.Н. Методика прогнозирования остаточного ресурса электрооборудования при эксплуатации [Текст] / Одинцов К.Э., Ротанова Ю.Н., Карандаева О.И., Мостовой С.Е., Шиляев П.В. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2010. – № 3-1. – С. 192-198.

15. Храмшин, В.Р. Анализ интенсивности отка-

зов частотно-регулируемых электроприводов районных тепловых станций при нарушениях электроснабжения [Текст] / Храмшин В.Р., Одинцов К.Э., Губайдуллин А.Р., Карандаева О.И., Кондрашова Ю.Н. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2014. – Т. 14. № 2. – С. 68-7