

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

А.С. Карандаев, Г.П. Корнилов, О.И. Карандаева, Ю.Н. Ротанова,
В.В. Ровнейко, Р.Р. Галлямов***

**г. Магнитогорск, Магнитогорский государственный
технический университет»,*

***г. Магнитогорск, ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»*

THE ANALYSIS OF THE THERMAL POWER PLANT EQUIPMENT RELIABILITY WITH THE FREQUENCY CHANGERS INTRODUCTION

A.S. Karandaev, G.P. Kornilov, O.I. Karandaeva, J.N. Rotanova,
V.V. Rovneiko, R.R. Galljamov***

**Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University,*

***Magnitogorsk, Open joint-stock company "Magnitogorsk iron and steel works"*

Представлены характеристики электродвигателей механизмов собственных нужд теплоэлектроцентрали ОАО «ММК» и вариант их разбивки по категориям ответственности. Для комплексной оценки надежности предложен аппарат структурно-логического моделирования. Даны рекомендации по обеспечению надежности электроприводов механизмов собственных нужд при внедрении преобразователей частоты.

Ключевые слова: тепловая электростанция, механизмы собственных нужд, электропривод, преобразователь частоты, надежность.

The characteristics of thermoelectric plant auxiliaries electric motors mechanisms of Open Joint – Stock company «Magnitogorsk iron and steel works» and the variant of their division according to the responsibility categories are described. The structural-logic modeling apparatus is represented for complex assessments of reliability. The recommendations for the reliability supplying of auxiliary electric drives mechanisms with the introduction of frequency changers are given.

Keywords: thermal power plant, mechanisms auxiliaries, electric drive, frequency changer, reliability.

Удельный вес энергетического хозяйства в экономике металлургического завода значителен. Стоимость его основных фондов составляет 10–20 % общей стоимости предприятия. В ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») наиболее мощным производителем электрической энергии является теплоэлектроцентр (ТЭЦ). Наряду с электроэнергией продукцией ТЭЦ является теплота, отпускаемая в виде пара и горячей воды. В настоящее время ТЭЦ производит 330 мегаватт электрической мощности, выдает 540 Гкал/ч тепла, обеспечивая ими подразделения комбината и жилые районы города. В общем объеме вырабатываемых комбинатом собственных энергоресурсов доля ТЭЦ по электроэнергии составляет более половины, а по теплу – 50–60 %.

Надежность работы оборудования тепловой

электростанции определяется надежностью каждого объекта его структуры. Проводимая модернизация оборудования, совершенствующиеся технологии и применение систем автоматического управления технологическими процессами приводят к усложнению систем, а следовательно, к снижению их надежности. Так, повсеместное внедрение преобразователей частоты (ПЧ) при всех своих положительных свойствах отрицательно сказывается на надежности электроприводов модернизируемых агрегатов.

Эта ситуация не противоречит теории надежности, так как ввод в эксплуатацию дополнительного оборудования вносит свой элемент (вероятность отказа) в общий показатель ненадежности. В целом, получаемые положительные качества от модернизации, как правило, превышают отрица-

тельные, если само новое оборудование обладает высокой надежностью и соответствует технологическим требованиям.

Особую проблему создают высоковольтные электроприводы насосов, отключение которых останавливает всю энергоустановку. При внедрении ПЧ основная причина отключений – нарушение электропитания, но имеют место и физические отказы преобразователя. Кроме визуально наблюдаемых причин на надежность работы электростанций влияет множество других, связанных с технической неисправностью отдельных узлов и агрегатов, ошибками операторов, нарушением взаимосвязей технологического процесса и др.

На ТЭЦ ОАО «ММК» установлено 8 энергетических котлоагрегатов типов ТП-170-1 (4 ед.), ТП-10 (2 ед.), ТП-85М (1 ед.), ТП-81 (1 ед.). Для покрытия пиков теплофикационной нагрузки в зимнее время установлены пиковые водогрейные котлы типа ПТВМ-100 и ПТВМ-180. Перечень основных механизмов технологических и собственных нужд, обеспечивающих технологический процесс ТЭЦ, и параметры высоковольтных асинхронных (АД) и синхронных двигателей (СД) представлены в табл. 1. Автоматическое регулирование скорости вращения АД отсутствует. Попытка оснащения ряда электроприводов (ЭП) тиристорными преобразователями корпорации Tg10l оказалась неэффективной в связи с их низкой надежностью.

Наиболее ответственными механизмами собственных нужд являются питательные насосы, циркуляционные насосы (ЦН), дутьевые вентиляторы, дымососы, конденсатные насосы. Ко второй степени ответственности относятся сетевые насосы зимние и летние, к наименее ответственным

относят шаровые мельницы и молотковые дробилки. Остановка одного или двух ЦН приводит к остановке генератора, остановка всех ЦН приводит к остановке электростанции. По аналогии с генераторами в случае остановки питательного насоса останавливается котел (по технологическому процессу котел, турбина и генератор – три взаимосвязанных звена одной неразрывной тепло-электрической цепи). Поэтому ответственность этих двух типов насосов равнозначна. Что касается дутьевых вентиляторов и дымососов, то при остановке последних высокое давление газов может привести к их концентрации и широкому распространению, а в последующем к выхлопам и локальным взрывам с угрозой для жизни людей.

С учетом сказанного в табл. 2 представлен вариант разбивки электроприводов собственных и производственных нужд ТЭЦ по категориям ответственности, исходя из масштаба нарушения питания котельного и турбинного участков, а также тепловодоснабжения, требований безостановочной работы и допустимого времени, отводимого на восстановление нормального режима работы оборудования.

Известно, что перевод нерегулируемых ЭП вспомогательных механизмов электрических и тепловых станций на частотное управление обеспечивает ресурсосбережение, улучшение характера протекания переходных процессов, снижение затрат на обслуживание, позволяет отказаться от применения обратных клапанов, заслонок и т.п. [1]. К числу преимуществ ЭП, управляемых от преобразователей частоты, относят и их высокую надежность. Многие производители декларируют среднюю наработку на отказ ПЧ от 40 до 100 тыс.

Параметры электродвигателей агрегатов собственных нужд ТЭЦ

Таблица 1

Наименование агрегата	Количество, шт.	Диапазон мощностей, кВт	Номинальное напряжение, кВ	Кол-во оборотов, об/мин
Электродвигатели машинного участка				
Циркуляционные насосы (АД)	8	1000–1250	3	500
Питательные электронасосы	7	2000	3	3000
Питательные электронасосы (СД)	3	4000	10	3000
Сетевые насосы (зимние и летние) (АД)	6	400	6	2970
Сетевые насосы (зимние и летние) (АД)	9	200–350– 630–1600	3	1470–2960
Конденсатные насосы (АД)	8	100–220	3	980–1475
Насосы сырой воды (АД)	5	160	3	1475
Котельный участок				
Дутьевые вентиляторы (АД) 1А-8Б	16	165–630	3	585–993
Дымососы (АД) 1А-8Б	16	320–800	3	585–743
Мельничные вентиляторы (АД) 1А-8Б	16	300–630	3	1480–1490
Мельницы (АД) 1А-8Б	16	370–630	3	740
Топливоно-транспортный участок				
Дробилки	2	200	3	735
Багерные насосы	3	250	3	3000
Эжекционные насосы	3	500–800	3	2975

Категории ответственности электроприводов ТЭЦ из условий безостановочной работы

Категория ответственности	Электропривод	Возможные последствия при отключении одного агрегата	Возможные последствия при отключении всех агрегатов
I категория	Циркуляционные насосы, питательные насосы	Снижение давления воды в коллекторе приводит к срыву вакуума	Остановка всей электростанции
	Дутьевые вентиляторы, дымососы	Остановка котла	Опасность для жизни людей
II категория	Сетевые насосы зимние и летние	Снижение давления в распределительной сети, что приводит к снижению температуры тепла, поступающего в жилые помещения	Остановка теплосети с прекращением подачи теплоносителя городскому населению в зимнее время недопустима
III категория	Шаровые мельницы	В зависимости от времени простоя остановка мельницы приведет к остановке котла	На остановку котлов и турбин не оказывают влияния
	Молотковые дробилки	Не оказывают влияния	

часов и более [2]. Однако эта цифра зачастую завышена и носит рекламный характер, а такой важнейший аспект, как оценка надежности ЭП при внедрении ПЧ чаще всего остается вне зоны внимания организации-потребителя электропривода. Это обусловлено тем, что организации-изготовители ПЧ не заинтересованы в объективной оценке и распространении информации о показателях надежности ЭП, которые при внедрении сложного электронного устройства, безусловно, снижаются. В свою очередь, организации, внедряющие ПЧ, не имеют достоверных статистических данных о количествах отказов ЭП до и после их внедрения. Решение вопроса дополнительно осложняется отсутствием апробированной инженерной методики, позволяющей дать оценку надежности ЭП до и после внедрения ПЧ.

В связи с изложенным представляет интерес теоретический расчет, основанный на практических данных и результатах экспертной оценки частоты наступления событий, влияющих на работу объекта. Для комплексной оценки надежности работы электростанций применен аппарат структурно-логического моделирования, теоретической основой которого является общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ) расчета надежности сложных системных объектов и процессов [3]. В ОЛВМ наибольшее распространение получила методика расчета надежности, основанная на представлении структурных моделей надежности и безопасности систем в виде деревьев отказов, которые дают представление о связи между надежностью системы и надежностью ее элементов. Вершины на этом дереве представляют исходные события сценария возможных вариантов возникновения аварийной ситуации. Расчет надежности ведется последовательно, начиная от расчета элементарных узлов структуры к ее все более сложным узлам.

С помощью данного математического аппарата были построены деревья отказов тепловой элек-

тростанции (рис. 1, 2), учитывающие как внутренние факторы (остановы узлов агрегата по различным причинам), так и внешние воздействия (нарушение режимов электроснабжения, вмешательство персонала и др.).

При построении деревьев отказов использовался многолетний опыт эксплуатации электростанций ОАО «ММК», сведения о наработке на отказ оборудования, методы опроса эксплуатирующего персонала и экспертной оценки. Дерево отказов электростанции, изображенное на рис. 1, отображает влияние отказов основных механизмов и внешних возмущений на работоспособность станции в целом. Каждый элемент (ветвь) основного дерева в свою очередь является подсистемой, содержащей свои собственные элементы. На рис. 2, а представлено дерево отказов, характерное для насосов, дымососа и дутьевого вентилятора котла, выполненных по существующей схеме, не оснащенных ПЧ. В случае их исполнения по системе ПЧ-АД дерево отказов принимает вид, представленный на рис. 2, б. Аналогичные деревья отказов получены для остальных механизмов собственных нужд ТЭЦ.

Следует отметить, что большинство достоверных данных об отказах можно получить лишь экспертным путем. Результаты оценки в виде интервалов возникновения отказов оборудования представлены в табл. 3 и 4. В табл. 3 приведены величины средней наработки до отказа каждого элемента, используемого в построенных деревьях отказов для тепловой электростанции без модернизации. Аналогичные данные для электростанции, имеющей на всех основных механизмах собственных нужд частотно-регулируемые электроприводы (ЧРП), представлены в табл. 4.

В результате расчета показателей надежности работы ТЭЦ с использованием построенных деревьев отказов и численных значений (см. табл. 3 и 4)

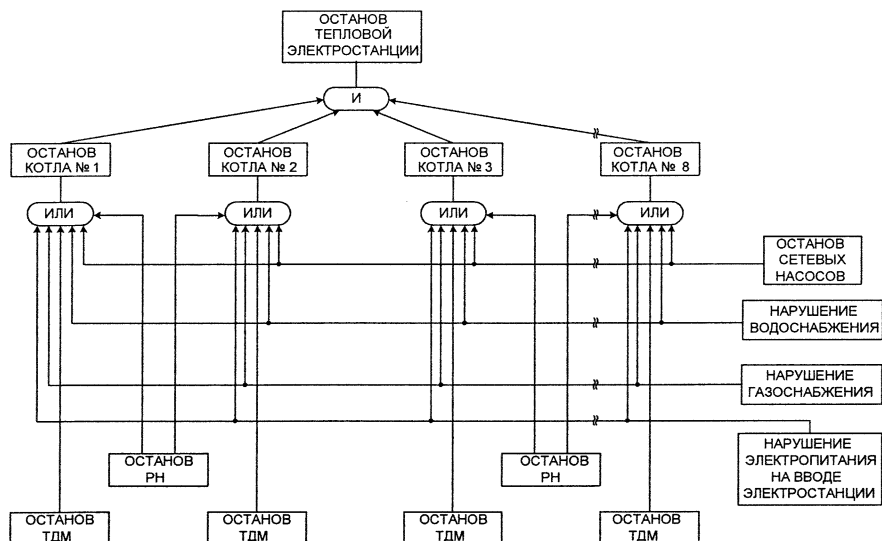
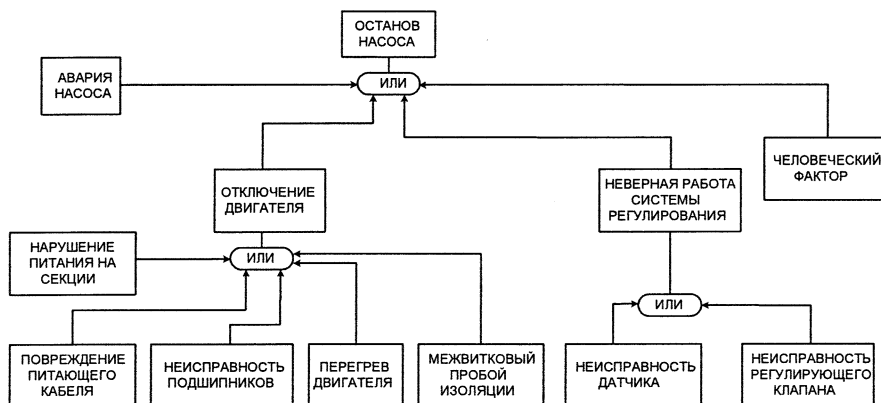
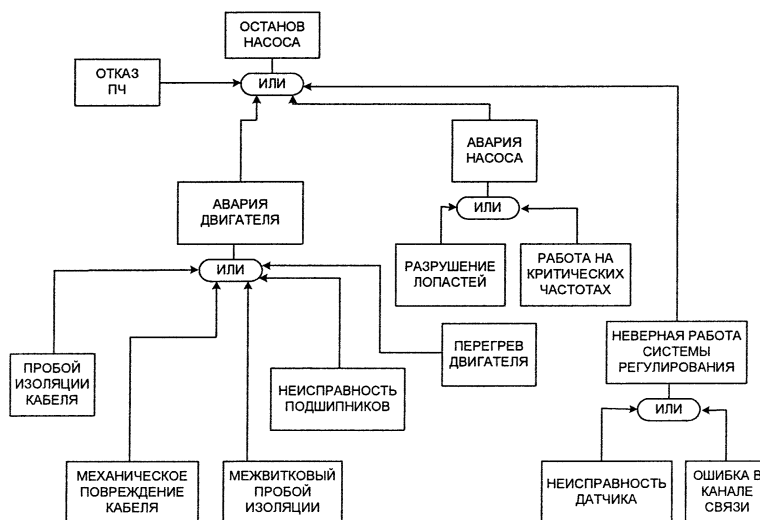


Рис. 1. Общее дерево отказов тепловой электростанции



а)



б)

Рис. 2. Деревья отказов сетевого, рециркуляционного насосов, дымососа и дутьевого вентилятора котла без частотного регулирования (а) и оснащенных частотно-регулируемым электроприводом (б)

Таблица 3

Среднестатистическое время наработки до отказа механизмов тепловой электростанции до реконструкции

Событие		Средний интервал возникновения события (время работы до отказа), лет							
		Условный номер эксперта						Доверит. интервал	Среднее значение
		1	2	3	4	5	6		
1		2	3	4	5	6	7	8	9
Воздействия со стороны поставщиков и потребителей энерговодяных ресурсов									
Нарушение электро- снабжения на вводе теплогосстанции	Потеря питающего напряжения	7	8	10	7	8	6	[7 ; 9]	8
	Перенапряжение в сети электроснабже- ния	11	10	13	11	8	8	[9 ; 12]	11
	Перекас фаз	20	21	24	18	18	20	[19 ; 23]	20
Нарушение водо- снабжения	Отключение водо- снабжения	25	21	23	25	26	27	[22 ; 26]	25
	Разрыв теплосети	65	70	80	50	45	30	[39 ; 71]	58
Нарушение газоснаб- жения	Отключение газо- снабжения	22	23	18	19	20	19	[19 ; 22]	20
	Неисправность регу- лирующего клапана	25	22	23	29	27	26	[23 ; 28]	25
	Снижение давления газа	42	38	42	39	37	40	[38 ; 41]	39
	Качание давления газа	20	21	23	18	17	19	[18 ; 22]	19
Неисправность дутьевых вентиляторов котлов									
Авария насоса		3	6	4	3	6	7	[4 ; 6]	5
Авария двигателя	Нарушение питания на секции	8	6	7	9	4	6	[5 ; 7]	6
	Повреждение питаю- щего кабеля	15	10	12	15	13	12	[11 ; 14]	12
	Межвитковый пробой изоляции	15	16	17	14	14	15	[14 ; 16]	15
	Перегрев двигателя	10	12	14	8	9	11	[10 ; 12]	11
	Неисправность под- шипников	10	17	15	8	7	13	[9 ; 15]	13
Неверная работа системы регулирования	Неисправность датчиков	12	8	10	7	4	8	[5 ; 11]	8
	Неисправность регулятора	6	5	7	8	12	8	[6 ; 11]	8
Человеческий фактор		14	8	6	9	7	9	[7 ; 13]	9
Неисправность дутьевых вентиляторов котлов									
Нарушение электропитания		7	12	7	11	15	9	[8 ; 14]	11
Неисправность электрической схемы		18	14	13	11	15	22	[13 ; 20]	15
Человеческий фактор		14	8	6	9	7	9	[7 ; 13]	9

получены следующие значения средней наработки до отказа:

– без ЧРП на основных механизмах собствен-
ных нужд:

с котлами типов ТП: $T_{\text{ср ТП без ЧРП}} = 0,4$ года;

с котлами типа ПТВМ: $T_{\text{ср ПТВМ без ЧРП}} = 0,61$ года.

– с ЧРП на основных механизмах собственных
нужд:

с котлами типа типов ТП: $T_{\text{ср ТП с ЧРП}} = 0,12$ года;

с котлами типа ПТВМ: $T_{\text{ср ПТВМ с ЧРП}} = 0,15$ года.

Как видно из результатов расчетов, общая на-
дежность тепловой электростанции при оснаще-
нии ЧРП уменьшается в 3–4 раза.

В переводе полученных результатов в количе-
ство остановов электростанции в год получаем:

$N_{\text{ср. ТП без ЧРП}} = 1 / T_{\text{ср без ЧРП}} = 2,5$ отказа/год;

$N_{\text{ср. ПТВМ без ЧРП}} = 1 / T_{\text{ср без ЧРП}} = 1,6$ отказа/год;

$N_{\text{ср. ТП, ПТ с ЧРП}} = 1 / T_{\text{ср с ЧРП}} = 8,3$ отказа/год;

$N_{\text{ср. ПТВМ с ЧРП}} = 1 / T_{\text{ср с ЧРП}} = 6,7$ отказа/год.

Полученные результаты носят вероятностный
характер, а следовательно, являются оценочными.
Тем не менее они являются сопоставимыми с ре-
альной информацией об остановах агрегатов ТЭЦ.

Выполненный анализ подтверждает вывод, что
при увеличении числа элементов исследуемой сис-
темы ее общая надежность неминуемо снижается.
То есть даже при установке ЧРП, которые удовле-

Таблица 4
Среднестатистическое время наработки до отказа механизмов собственных нужд при наличии ЧРП,
не удовлетворяющих техническим требованиям

Событие		Средний интервал возникновения события (время работы до отказа), лет							
		Условный номер эксперта						Доверит. интервал	Среднее значение
		1	2	3	4	5	6		
1		2	3	4	5	6	7	8	9
Неисправность дутьевых вентиляторов котлов									
Авария насоса	Разрушение лопастей насоса	20	22	17	21	33	30	[20 ; 30]	24
	Из-за работы на критических частотах	18	14	13	11	15	22	[13 ; 20]	15
Авария двигателя	Пробой изоляции питающего кабеля	11	15	10	12	15	13	[11 ; 14]	12
	Механическое повреждение питающего кабеля	15	18	21	28	16	21	[17 ; 26]	20
	Межвитковый пробой изоляции двигателя	13	15	16	17	14	14	[14 ; 16]	15
	Перегрев двигателя	11	10	12	14	8	9	[10 ; 12]	11
	Неисправность подшипников	14	10	17	15	8	7	[9 ; 15]	12
Неверная работа системы регулирования	Неисправность датчиков	5	12	8	10	7	4	[5 ; 11]	8
	Ошибка в канале связи	8	6	5	7	8	12	[6 ; 11]	8
Отказ ПЧ		(подсистема)							
Человеческий фактор		14	8	6	9	7	9	[7 ; 13]	9
Отказ ПЧ									
Воздействия окружающей среды (влажность, температура окружающего воздуха)		4	3	6	8	3	5	[4 ; 7]	5
Нарушение электроснабжения на секции ПЧ		7	12	7	11	15	9	[8 ; 14]	11
Неисправности в ПЧ (силовая электроника, система управления)		5	7	4	4	3	6	[4 ; 6]	5
Неисправность системы охлаждения ПЧ		3	6	6	8	6	9	[4 ; 8]	6
Несанкционированное вмешательство персонала		4	3	5	4	2	4	[3 ; 4]	4

творяют всем предъявляемым к ним требованиям, общая вероятность отказа станции будет выше вероятности отказа станции с нерегулируемыми механизмами. Задача в данном случае состоит в том, чтобы свести эту разницу к минимуму, повысить надежность преобразователя частоты в существующих условиях работы на тепловой электростанции, а также снизить его влияние на другие элементы системы [4]. Сделать это можно путем установки на механизмы собственных нужд только тех ЧРП, которые своими характеристиками и набором имеющихся функций удовлетворяют требованиям, специально разработанным для каждого типа механизмов. В качестве основного мероприятия по обеспечению надежности авторами [4] рекомендовано производителям силовой преобразовательной техники совершенствовать автоматический самозапуск ЧРП. В качестве технического решения предлагается вариант исполнения силовой схемы преобразователей со сдвоенным звеном постоянного тока

и возможностью электропитания выпрямителей от двух вводов.

Однако для ЭП механизмов собственных нужд ТЭЦ применение таких преобразователей является дорогостоящим решением в связи с большим количеством установленных высоковольтных асинхронных электродвигателей. В качестве оптимального решения следует рассматривать вариант группового подключения инверторов к секции шин постоянного тока, питаемых от основного выпрямителя, с возможностью перевода на резервный, подключенный к отдельной секции системы электроснабжения ТЭЦ. Подобные схемы питания применяются на ряде современных технологических агрегатов ОАО «ММК», оснащенных асинхронными ЭП с частотным регулированием, в частности на агрегатах непрерывного горячего цинкования и полимерных покрытий, а также на сортовых станах горячей прокатки.

Литература

1. Опыт и перспективы модернизации электроприводов в системах жизнеобеспечения города / Н.Ф. Ильинский, А.Н. Ремезов, А.В. Сорокин и др. // *Электричество*. – 2007. – № 7. – С. 28–34.

2. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов,

В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Academia, 2004.

3. Острейковский, В.А. Теория надежности: учеб. для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.

4. Ремезов, А.Н. Технические требования к регулируемым электроприводам в жилищно-коммунальном хозяйстве / А.Н. Ремезов, А.В. Сорокин, Ю.А. Крылов // *Промышленная энергетика*. – 2007. – № 7. – С. 13–17.

Поступила в редакцию 12.05.2009 г.

Карандаев Александр Сергеевич. Д.т.н., профессор, зав. кафедрой электротехники и электротехнических систем ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет» им. Г.И. Носова. Тел.: 8-(3519) 29-84-34.

Karandaev Alexander Sergeevich. Dr.Sci.Tech., professor, superintendent faculty electrical engineers and electrotechnical systems of Magnitogorsk state technical university, Magnitogorsk. Phone: 8-(3519) 29-84-34.

Корнилов Геннадий Петрович. Кандидат техн. наук, доцент кафедры электротехники и электротехнических систем ГОУ ВПО «МГТУ».

Kornilov Gennadiji Petrovich. Cand. Tech. Sci., the associate professor of electrical technology and electrotechnical systems department of Magnitogorsk state technical university.

Карандаева Ольга Ивановна. Доцент кафедры электротехники и электротехнических систем ГОУ ВПО «МГТУ».

Karandaeva Olga Ivanovna. The associate professor of faculty electrical engineers and electrotechnical systems of Magnitogorsk state technical university, Magnitogorsk. Area of scientific interests – reliability of the electric equipment.

Ротанова Юлия Николаевна. Кандидат техн. наук, старший преподаватель кафедры электроснабжения промышленных предприятий ГОУ ВПО «МГТУ».

Rotanova Julia Nikolaevna. Cand. Tech. Sci., senior teacher of the industrial plants electric energy supply department of MSTU.

Ровнейко Виктор Васильевич. Начальник Теплоэлектроцентрали ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»).

Rovneiko Victor Vasiljevich. The chief of the thermoelectric plant of Open joint-stock company “Magnitogorsk iron and steel works”.

Галлямов Раис Рафаилович. Заместитель главного инженера по электрооборудованию Теплоэлектроцентрали ОАО «ММК».

Galljamov Rais Rafailovich. The first deputy chief engineer of the thermoelectric plant electrical equipment of Open joint-stock company “Magnitogorsk iron and steel works”.