

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.3.019.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ГРУППОВОГО И ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ МЕХАНИЗМОВ МАШИН ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ АЭС

Е.В. Коновалова
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Приведен сравнительный анализ надежности группового и индивидуального подключения электроприводов, используемых в комплексе электрооборудования системы управления машины перегрузочной, и выбор оптимального варианта подключения электроприводов.

Ключевые слова: машина перегрузочная, электропривод, преобразователь частоты.

Перегрузку ядерного топлива реакторов типа ВВЭР осуществляет дистанционно управляемый робот-манипулятор, называемый машиной перегрузочной (МП). Система управления машиной перегрузочной (СУМП) состоит из распределительного устройства электропитания (РУП) и комплектного электропривода (КЭП).

РУП обеспечивает требуемое электропитание различных потребителей МП (приводов, электромагнитов внешних и встроенных в электродвигатели тормозных устройств и сейсмотормозов, датчиков, сигнальных устройств, УВК), КЭП обеспечивает управляемые перемещения основных механизмов МП. КЭП содержит регулируемые бездатчиковые асинхронные электроприводы, построенные на базе преобразователей частоты, и нерегулируемые – на базе реверсивных контакторов. Комплектными регулируемыми элект-

троприводами (КРЭП) оснащены приводы механизмов перемещения моста, тележки, подрыва, захвата тепловыделяющих (ТВС), захвата кластера, телевизионной штанги, поворота рабочей штанги. Нерегулируемыми электроприводами (КНЭП) оснащены механизмы привода фиксатора захвата ТВС и поворота обоймы телештанги [1, 2]. Преобразователи частоты, входящие в состав комплекса электрооборудования (КЭ) машиной перегрузочной для АЭС, обеспечивают электропитанием электродвигатели типа АДА механизмов машины перегрузочной для АЭС.

Существует два вида подключения электроприводов: групповое и индивидуальное. Групповое подключение электроприводов – это подключение через контакторы к одному преобразователю частоты нескольких электродвигателей, при таком

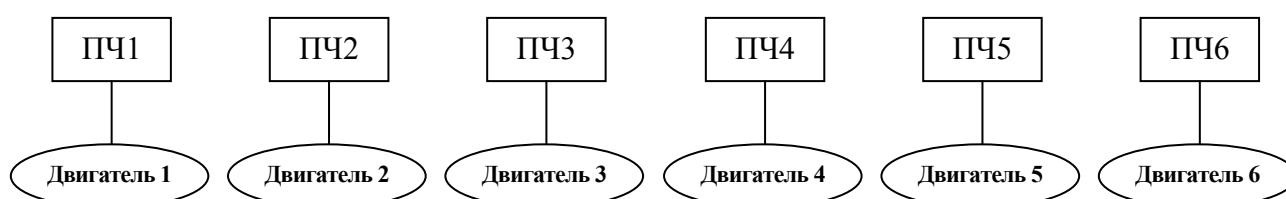


Рис. 1. Схема индивидуального подключения электроприводов

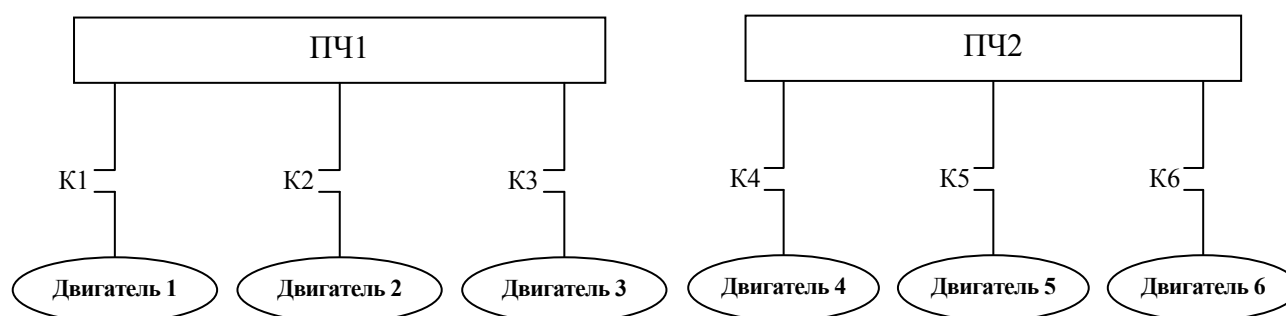


Рис. 2. Схема группового подключения электроприводов

подключении в каждый момент времени в работе находится только один электродвигатель, подключенный к преобразователю частоты. Индивидуальное – подключение каждого электродвигателя к своему преобразователю частоты.

На рис. 1 и 2 приведены схемы индивидуально-го и группового подключения электроприводов.

Подключение электродвигателей различных механизмов машины перегрузочной к преобразователям частоты для вариантов группового и индивидуального подключения электроприводов приведено в табл. 1.

Таблица 1

Привод механизма, подключаемый к преобразователю частоты	Подключение электроприводов	
	Групповое	Индивидуальное
Перемещения тележки	ПЧ1	ПЧ1
Перемещения захвата кластера		ПЧ2
Поворота рабочей штанги		ПЧ3
Перемещения захвата ТВС	ПЧ2	ПЧ4
Перемещения моста		ПЧ5
Подрыва		ПЧ6

Групповые и индивидуальные преобразователи частоты (инверторы напряжения) идентичны и выполнены с использованием IGBT-ключевых элементов и выпрямителей в модульном исполнении с номинальным напряжением не менее 1200 В.

В составе преобразователя предусмотрено два микропроцессорных контроллера – рабочий и диагностический, которые имеют одинаковое конструктивное исполнение и различаются функциональным назначением и, соответственно, программным обеспечением.

Контроллер рабочий обеспечивает формирование режимов работы преобразователя и двигателя в соответствии с управляющими сигналами. Контроллер диагностический обеспечивает контроль соответствия реальных режимов работы преобразователя и двигателя управляющим сигналам. В случае несоответствия сформированного режима заданному управляющими сигналами формируется сигнал останова двигателя. Кроме того, диагностический контроллер определяет исправность работы рабочего контроллера по соответствию реализуемых режимов заданным и имеет приоритет по оценке работоспособности рабочего контроллера.

В преобразователь частоты входят: блок управления БУ1, плата драйвера ПДР, плата датчиков

ПДА, силовые ключевые элементы, устройства управления ими, коммутирующая и защитная аппаратура, блок питания для устройств управления.

В качестве силовых ключевых элементов используются IGBT-модули, каждый из которых содержит два IGBT-транзистора, шунтированных обратными диодами.

Для управления транзисторами используются специальные драйверы.

Плата драйверов обеспечивает формирование на изолированных затворах транзисторов двуполярные управляющие сигналы.

Управляющие драйверами сигналы представляют собой ШИМ-сигналы, формируемые блоком БУ1.

В состав блока БУ1 входит процессор специальный ПС196-1, органы управления процессором, средства отображения (индикации), источник питания процессора, а также элементы функциональной защиты преобразователя, выполненные на микросхемах жесткой логики. Процессор специальный ПС196-1 составляет основу блока БУ1. Это функционально законченный микропроцессорный контроллер, предназначенный для встраиваемых применений в системах цифрового управления приводами переменного тока с асинхронными двигателями.

Блок управления БУ1, входящий в состав преобразователя, воспринимает управляющие сигналы от системы управления, определяет заданный режим и вырабатывает сигналы, обеспечивающие формирование заданных токов двигателя и осуществляет необходимую диагностику, защиту и индикацию состояния преобразователя.

Как уже упоминалось ранее, в системе управления машиной перегрузочной используется как групповое подключение электроприводов, так и индивидуальное.

Для сравнения двух вышесказанных вариантов определим вероятность безотказной работы в двух случаях. Под отказом мы понимаем невыполнение функций управления механизмами машины перегрузочной, т. е. отказом считается невозможность управления любым одним электроприводом МП.

При расчете надежности оценка показателей надежности технических средств, отдельных видов оборудования производилась на базе стандартного аппарата математической теории надежности для резервированных восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем.

Оценка надежности технических средств (устройств, блоков, узлов) проводилась λ -методом прогнозирования показателей надежности по структурным схемам, составленным на основании анализа функционирования устройства (блока, уз-

ла) и влияния отказов отдельных элементов на функционирование устройства (блока, узла) в целом с учетом структуры резервирования и восстановления.

При расчетах используется методика, основанная на следующих допущениях:

- для отдельных элементов принят экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы;
- интенсивности отказов отдельных элементов постоянны и не зависят от времени $\lambda(t) = \lambda$ (элементы прошли период приработки и не достигли периода старения);
- отказы отдельных элементов являются независимыми событиями;
- число ремонтных устройств неограниченно;
- восстановление элементов после отказа полное.

На рис. 3 и 4 представлены структурные схемы расчета надежности системы группового и индивидуального подключения электроприводов.

Учитывая, что длительность кампании по перегрузке топлива составляет $T = 720$ ч, примем среднее время работы каждого электропривода примерно $t_i = 150$ ч, (в остальное время электропривод находится в выключенном состоянии), т. е. $\tau_i = T - t_i$.

При этом вероятность безотказной работы преобразователя частоты равна:

$$P_i(T) = e^{-\lambda_p \Sigma t_i + \lambda_0 (\Sigma T - \Sigma t_i)} [3],$$

где $\lambda_p = 51,229 \cdot 10^{-6}$ – интенсивность отказов преобразователя в рабочем состоянии; $\lambda_0 = 49,661 \cdot 10^{-6}$ – интенсивность отказов преобразователя в выключенном состоянии.

Расчёты проводились таким образом, что система была разбита на ряд функциональных блоков. Функциональные блоки в свою очередь разбивались на более мелкие устройства и т. д. Данное разбиение проводилось до элементов.

Значения интенсивности отказов отдельных блоков преобразователя в рабочем и в выключенном состоянии приведены в табл. 2.

Таблица 2

Блок	λ_p	λ_0
Блок БУ1	46,94E-06	46,94E-06
Плата драйвера ПДР	0,307E-06	0,15E-06
Плата датчиков ПДА	1,93E-06	1,3E-06
Элементы, входящие в ПЧ	2,237E-06	1,271E-06
Контакты для подключения электроприводов	1E-09	1E-09

В результате расчетов получено:

$$\lambda_p = \Sigma \lambda_{pi} = 51,229 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч;}$$

$$\lambda_0 = \Sigma \lambda_{oi} = 49,661 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Расчет вероятности безотказной работы системы с групповым и индивидуальным подключением электроприводов показывает:

– для группового подключения электроприводов

$$P1(T) = e^{-(\lambda_p \delta t_i + \lambda_0 (2T - \delta t_i))},$$

$$P1(T) = e^{-(51,229 \times 0,000001 \times 6 \times 150 + 49,661 \times 0,000001 (2 \times 720 - 6 \times 150))} = 0,930,$$

– для индивидуального подключения электроприводов

$$P2(T) = e^{-(\lambda_p \delta t_i + \lambda_0 (6T - \delta t_i))},$$

$$P2(T) = e^{-(51,229 \times 0,000001 \cdot 6 \cdot 150 + 49,661 \cdot 0,000001 (6 \cdot 720 - 6 \cdot 150))} = 0,807.$$



Рис. 3. Структурная схема расчета надежности системы индивидуального подключения электроприводов

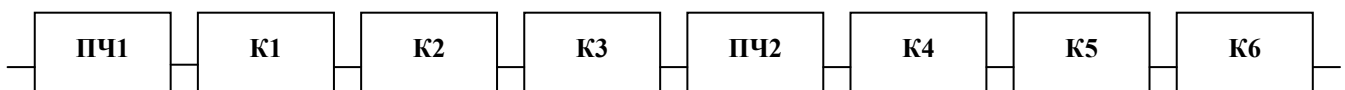


Рис. 4. Структурная схема расчета надежности системы группового подключения электроприводов

Основным показателем надежности КЭ СУМП, заданным в ТЗ, является наработка на отказ, равная отношению заданного времени работы $T_3 = 720$ ч к математическому ожиданию числа отказов за это время работы $Md(T_3)$:

$$T_0(T_3) = T_3 / Md(T_3).$$

Система управления рассматривается как восстанавливаемая система, при отказе отдельных элементов которой осуществляется замена неисправных элементов на исправные из состава ЗИП (время восстановления $t = 1$ ч).

Математическое ожидание числа отказов КЭ СУМП в этом случае определится по формулам:
– для групповой схемы

$$Md(T_3) = 2(1 - \sqrt{P_1(T_3)})^2;$$

– для индивидуальной схемы

$$Md(T_3) = 6(1 - \sqrt[3]{P_2(T_3)})^2.$$

При этом расчетные значения наработки на отказ КЭ равны:

– при групповом подключении

$$T_0(T_3) = 720 / 2(0,031)^2 = 360\,000 \text{ ч};$$

– при индивидуальном подключении

$$T_0(T_3) = 720 / 6(0,025)^2 = 180\,000 \text{ ч}.$$

Результаты сравнения показателей надежности схем управления с индивидуальным и групповым подключением электроприводов показывает преимущество схем с групповым подключением.

С глубокой памятью к Илье Абрамовичу Кролю, руководителю и учителю по теории надежности, была написана автором эта статья.

Литература

1. Системы управления перегрузочными машинами АЭС с реакторами ВВЭР-1000 / Ю. Портной // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. – М.: НПП ВНИИЭМ, 2001. – Т.100. – С. 225 – 235.
2. Новое поколение комплекса электрооборудования для перегрузочных машин АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 / Г. Жемчугов, А. Казачков, Ю. Портной [и др.] // вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. – М.: НПП ВНИИЭМ, 2004. – Т.101. – С. 200 – 219.
3. Козлов Б. Справочник по расчету надежности / Б. Козлов, И. Ушаков. – М.: Советское радио, 1975. – 472 с.

Поступила в редакцию 24.06.2009

Елена Викторовна Коновалова, науч. сотрудник, т. 623-47-89, e-mail: vniiem@orc.ru.