

Г. А. Сивякова, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой КГИУ, Темиртау, Казахстан;
Л. Г. Лимонов, канд. техн. наук, главн. специалист ЧАО «Тяжпромавтоматика», Харьков

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСРЕДСТВОМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Введение. Задача резервирования электроприводов возникает при проектировании, внедрении или модернизации электроприводов промышленных механизмов или установок, технологический процесс которых предъявляет повышенные требования к надежности и бесперебойности их функционирования. Примеры таких механизмов можно найти в металлургической, химической, горнодобывающей и других отраслях промышленности, где даже временная потеря работоспособности электропривода отдельного механизма способна привести к большому экономическому ущербу для производства, для экологии или к человеческим жертвам.

Постановка задачи. Одним из наиболее распространенных и эффективных способов повышения надежности электроприводов следует считать резервирование. Способ резервирования и объем резервируемой части промышленного электропривода определяется, в первую очередь, требованиями, предъявляемыми технологическим процессом к допустимому времени возможного простоя оборудования в случае аварийного выхода из строя электропривода, а также требованиями экономичности принимаемых решений. [1, 2]

Как известно, основными составляющими регулируемого электропривода являются электродвигатель, регулирующей источник питания и аппаратура защиты и коммутации. Резервирование приводного электродвигателя в большинстве случаев нецелесообразно и применяется крайне редко по ряду причин: высокая надежность современных электродвигателей, требуемое усложнение конструкции привода, наконец, увеличение стоимости. Поэтому основными объектами резервирования в подавляющем большинстве случаев становятся остальные составные части электропривода. Особое значение приобретает резервирование регулируемых электроприводов с современными источниками питания, оснащенными цифровыми микропроцессорными системами управления. Рассмотрим, как это может быть выполнено для конкретных электроприводов.

Материалы исследования. Основными критериями при оценке эффективности резервируемого электропривода являются время, затрачиваемое на переход от рабочего к резервному варианту работы электропривода, что определяет длительность прерывания технологического процесса, и экономичность, определяемая величиной начальных затрат на оборудование, монтаж, наладку и ввод в действие электропривода.

Электроприводы постоянного тока. На рис. 1 представлены примеры однолинейных схем резервирования однодвигательных электроприводов малой и средней мощности с переключением якорной цепи и цепи обмотки возбуждения.

В первом варианте выполнено резервирование тиристорного преобразователя (рис. 1, а), защитной и коммутационной аппаратуры, а во втором (рис. 1, б) – резервируется только тиристорный преобразователь. Выбор типа коммутирующих устройств (QS2, QS3, QS4), переключающих электродвигатель на резервное питание, имеет большое значение. В первую очередь, это определяется возможным временем, которое по технологическим условиям может быть использовано для перевода электродвигателя на резервную схему питания. При необходимости минимизации этого времени, в качестве коммутирующих устройств необходимо использовать контакторы или другие дистанционно управляемые аппараты, в этом случае переключение производится за минимальное время. Если же время переключения не лимитировано, то переключение может производиться вручную, с использованием обычных переключателей, например, если режим работы резервируемого электропривода – кратковременный.

Следует отметить, что применение управляемых аппаратов для переключения приводит к некоторому снижению надежности электропривода, но такое решение имеет немаловажное преимущество: переключение на резерв производится самим оперативным персоналом промышленной установки, без привлечения работников электрослужбы. Это сокращает время простоя технологического оборудования, но требует некоторого увеличения начальных затрат.

При разработке схемы переключения на резервное питание регулируемого электропривода, в состав которого входят датчики скорости или положения, следует уделить особое внимание вопросу использования этих датчиков (тахогенератор, импульсный датчик скорости, датчик положения) в рабочем и резервном вариантах схемы управления.

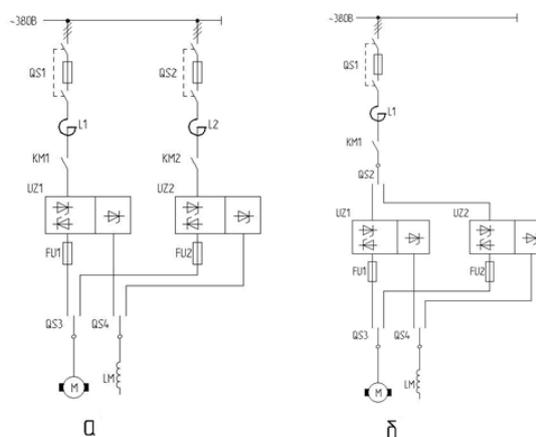


Рис. 1 Резервирование однодвигательного электропривода постоянного тока

Одновигательные тиристорные электроприводы постоянного тока большой мощности, как правило, подключены к сети напряжением 6–10 кВ через индивидуальные понижающие силовые трансформаторы. Соответственно, по аналогии с вышеописанными вариантами, резервирование таких электроприводов может быть выполнено тремя способами: с резервированием только тиристорных преобразователей, с резервированием тиристорных преобразователей, коммутационной и защитной аппаратуры низкого напряжения и с резервированием тиристорных преобразователей, коммутационной и защитной аппаратуры низкого напряжения, а также силового трансформатора и высоковольтного выключателя. Описанные варианты отличаются величиной начальных затрат.

Способы и схемы резервирования двухдвигательного электропривода постоянного тока в определенной степени зависят от кинематической схемы электропривода. Так, при работе электродвигателей на один вал или на общий редуктор, в некоторых случаях возможно применение резервирования путем установки электродвигателей заводом повышенной мощности. Тогда при выходе из строя одного из электродвигателей, второй принимает на себя всю или значительную часть нагрузки, сохраняя полную или частичную производительность механизма. Такое решение используется, например, для двухдвигательных электроприводов механизмов подъема особо ответственных подъемных кранов.

Если же двухдвигательный электропривод выполнен по независимой кинематической схеме, для резервирования может быть использована схема, приведенная на рис. 2. В этой схеме для резервирования используется третий тиристорный преобразователь UZR с комплектом защитной и коммутационной аппаратуры и четыре двухполюсных трехпозиционных коммутатора (QS3, QS4, QS5, QS6).

Возможен вариант схемы, аналогичный схеме резервирования рис.1, б с резервированием только тиристорных преобразователей, но с увеличением количества коммутаторов до шести. Мощность резервного тиристорного преобразователя UZR в схеме рис. 2 выбирается по мощности большего из электродвигателей M1 и M2, если их мощности не равны, в этом случае при подключении одного из электродвигателей к резервному питанию одновременно производится перепараметрирование системы регулирования скорости UZR на параметры подключаемого к UZR электродвигателя.

Схема, аналогичная представленной на рис. 2, может быть использована с различными по объему вариантами резервирования и для двухдвигательного электропривода большой мощности, тиристорные преобразователи которого подключены к сети 6 (10) кВ через силовые трансформаторы. Эти варианты, соответственно, отличаются величиной начальных затрат.

Способы резервирования многодвигательного электропривода постоянного тока зависят от кинематической схемы такого электропривода. Так если, работая на общий вал или общий редуктор, для резервирования электродвигатели приводят во вращение один механизм, применяется метод увеличения суммарной установленной мощности приводных электродвигателей, а резервирование производится путем выведения из работы аварийного электродвигателя с последующим распределением нагрузки между оставшимися в работе электродвигателями.

Такой способ применен, например, при разработке многодвигательных электроприводов механизмов поворота конвертеров и механизмов передвижения роторных экскаваторов большой мощности [3].

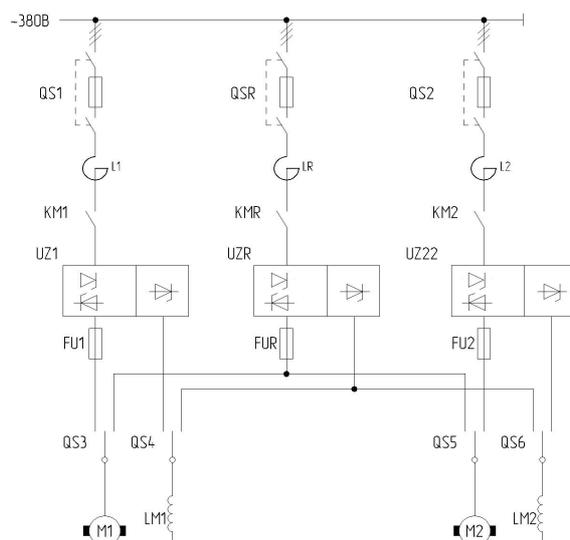


Рис. 2 Резервирование двухдвигательного электропривода постоянного тока

Оригинальные решения вопросов резервирования применены при разработке модернизированных схем управления для электроприводов механизмов перемещения фурм машин подачи кислорода в конвертер [4]. Кроме обычного резервирования двух рабочих электроприводов перемещения фурм здесь используется резервный электрический или пневматический привод перемещения фурм. Он используется для подъема фурмы из горловины конвертера в аварийных ситуациях.

В случаях, когда двигатели многодвигательного электропривода приводят во вращение отдельные механизмы единой технологической установки, для резервирования применяется схема, в которой используется один резервный комплект питания и защиты для всех электроприводов [5, 6]. Такое резервирование, в частности, применено для многодвигательного электропривода главных приводов (клетей и моталок) пятиклетевого стана 1700 бесконечной холодной прокатки, схема которого приведена на рис. 3.

Нужно отметить, что в качестве коммутаторов больших номинальных токов электродвигателей (до 5000 А) в этой схеме использованы специальные шинные накладки с ручным приводом, разработанные НИИ ХЭМЗ, г.Харьков.

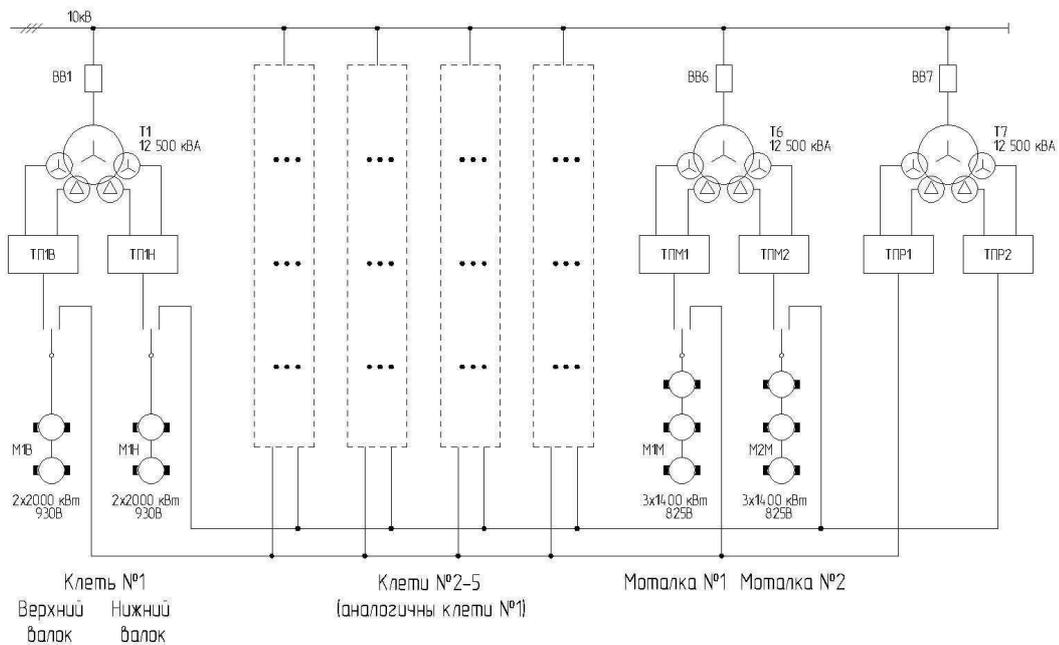


Рис. 3 Резервирование электропривода пятиклетевого стана 1700 бесконечной холодной прокатки

Электроприводы переменного тока. Резервирование однодвигательных и двухдвигательных регулируемых электроприводов переменного тока малой и средней мощности, построенных по схеме преобразователь частоты - асинхронный или синхронный с постоянными магнитами двигателя выполняется на принципах и с использованием схемных решений, аналогичных подобным электроприводам постоянного тока (рис.1). Отличие заключается в снижении требуемого количества коммутаторов для переключения на резерв, благодаря отсутствию необходимости переключать обмотку возбуждения.

Выбор коммутирующих аппаратов и объема резервируемого оборудования определяется в каждом случае конкретными условиями. [7,8]

При увеличении мощности однодвигательного электропривода переменного тока целесообразно применять модульные преобразователи частоты с разделением модулей питания и инвертора. Такие возможности предоставляют серийные преобразователи частоты фирм Siemens и ABB.

В схеме с использованием преобразователей частоты модульной конструкции, можно выполнить резервирование в нескольких вариантах:

- резервировать все модули преобразователя частоты, защитную и коммутационную аппаратуру (рис.4а);

- резервировать только модули преобразователя частоты при сохранении одного комплекта защитной и коммутационной аппаратуры;

- резервировать только модуль инвертора при сохранении одного модуля выпрямителя и одного комплекта защитной и коммутационной аппаратуры (рис.4, б).

Различные варианты резервирования электроприводов сталеплавильного и шахтного оборудования рассмотрены в [9, 10].

Применение модульных преобразователей частоты для двухдвигательных электроприводов повышенной мощности позволяет реализовать схемы с индивидуальным или общим звеном постоянного тока. В таких схемах возможно резервирование отдельных модулей, например, только модулей инверторов, учитывая более высокую надежность модуля выпрямителя (рис. 5).

Резервирование многодвигательного электропривода малой и средней мощности, в котором применены преобразователи частоты комплектной конструкции, может быть выполнено путем использования одного резервного преобразователя частоты с возможностью подключения к нему любого из электродвигателей.

Высокие требования по надежности предъявляются к многодвигательным электроприводам механизмов подъемных кранов, обслуживающих сталеплавильные цеха металлургических заводов, надежности этих ответственных машин уделяется особое внимание.

Система питания многодвигательного электропривода такого крана строится, как правило, по схеме с общим звеном постоянного тока и индивидуальными инверторами. Резервирование электроприводов таких кранов выполняется не только путем применения дополнительного резервного электрооборудования, но и за счет выбора элементов двух- и многодвигательных электроприводов отдельных механизмов.

В этом случае при выходе из строя одного из электродвигателей второй обеспечивает работоспособность механизма, а, значит, и всего крана, возможно иногда и с некоторой потерей производительности.

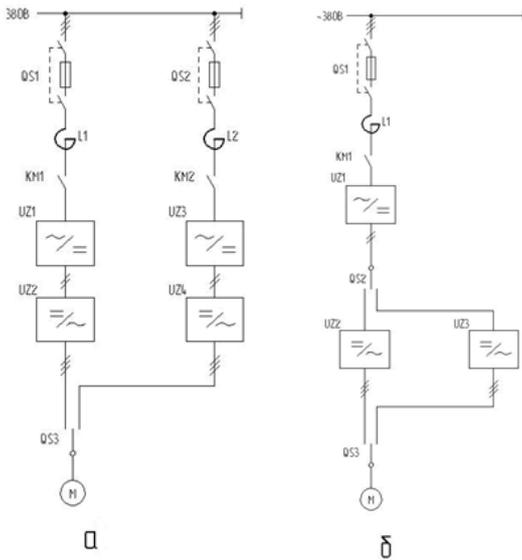


Рис.4 Резервирование однодвигательного электропривода переменного тока

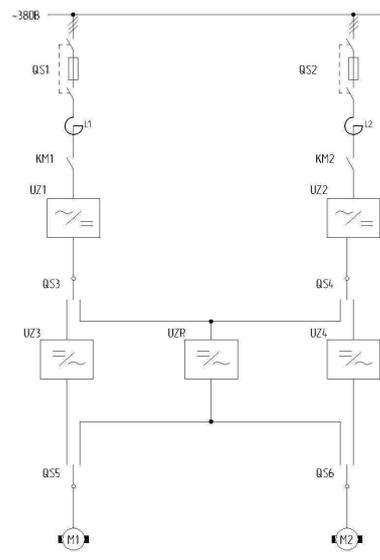


Рис. 5 Резервирование двухдвигательного электропривода переменного тока

Примером может служить решение, принятое при разработке электроприводов скрапозавалочной машины конвертерного цеха, которая оборудована двумя одинаковыми завалочными тележками.

Как видно из однолинейной схемы электроприводов (рис.б) этого крана, электроприводы тележек полностью автономны по питанию, каждая имеет резервируемое общее звено постоянного тока, имеются резервный инвертор для механизмов главного подъема и индивидуальные модули инверторов электродвигателей каждого механизма. При выходе из строя любого из модулей инверторов кран сохраняет работоспособность за счет повышенной мощности электродвигателей.

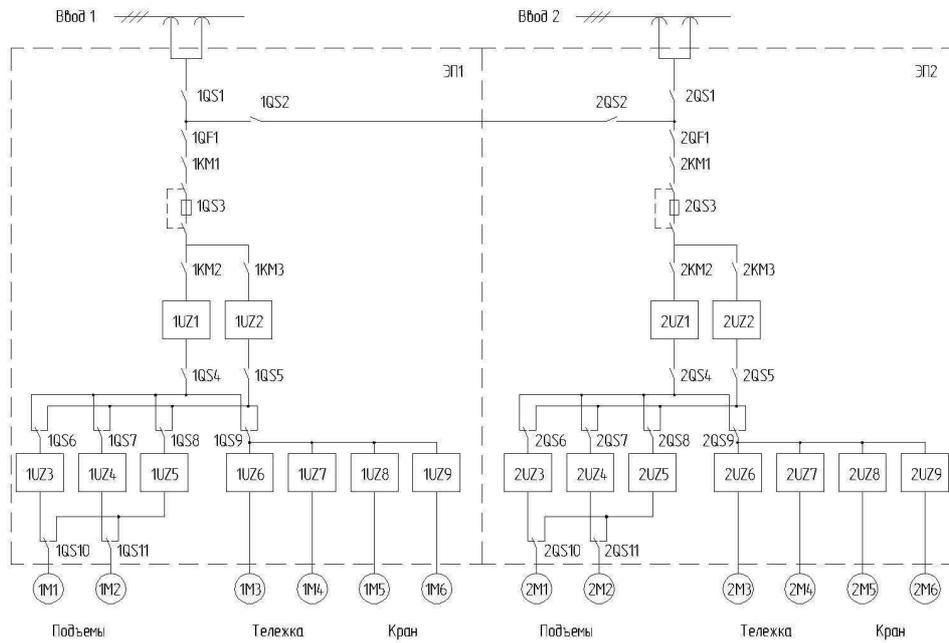


Рис. 6 Однолинейная схема электроприводов скрапозавалочной машины

Если же речь идет о резервировании многодвигательного электропривода большой мощности, выполненного на базе модульных преобразователей частоты, то можно применить различные варианты схемных решений, которые отличаются объемом резервируемого электрооборудования и стоимостью резервирующего.

Другим примером [11, 12] является электропривод литейного крана грузоподъемностью 275/70/16т (введен в эксплуатацию в электросталеплавильном цехе металлургического завода в 2014г.). Однолинейная схема электроприводов такого литейного крана приведена на рис. 7. В этой схеме резервированы модули звена постоянного тока, а электродвигатели питаются от индивидуальных модулей инверторов.

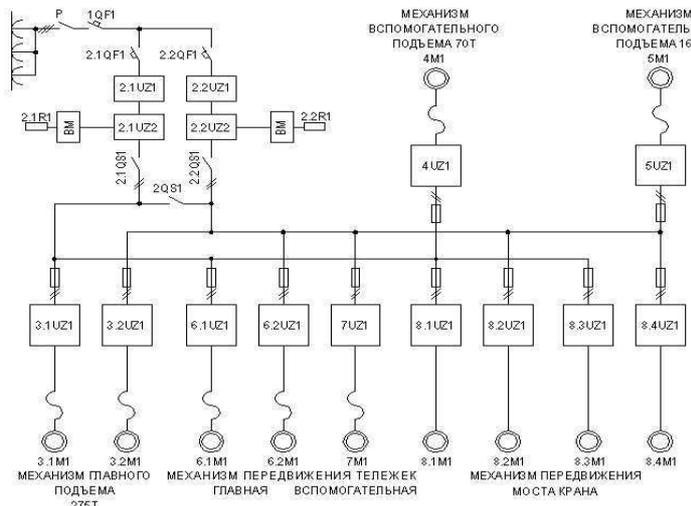


Рис. 7 Однолинейная схема электроприводов литейного крана

Список литературы: 1. Выбор способа резервирования для системы управления электроприводом. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.macro-econom.ru/economics-3588-1.html>, свободный. Загл. с экрана. 25.11.2014 2. Цытович Л.И. Система управления группой асинхронных электроприводов с самодиагностированием и автоматическим резервированием каналов регулирования. // Л. И. Цытович, О. Г. Терешина, М. М. Дудкин // *Электротехника*. – 2006. – №11. – С. 38 – 44. 3. Лимонов Л. Г. Автоматизированный электропривод промышленных механизмов. – Харьков: «Форт», 2009. – 268с. 4. Дубенецкий А.С. Электропривод подъемного механизма фурм сталеплавильного конвертера/ А. С. Дубенецкий, Л. Г. Лимонов, В. П. Моргулис // *Подъемные сооружения. Специальная техника*. – Одесса : ООО «Крантест» – 2013. – № 11(141). – С. 21-23 5. Лимонов Л. Г. Электрооборудование 5-ти клетового стана бесконечной холодной прокатки/ Л. Г. Лимонов, А. Н. Питкин, Е. Д. Форсайт // Тезисы докладов к 4 Весоюзной научно-технической конференции «Автоматизированный электропривод прокатных станов». – Свердловск: – 1990. 6. Шеметова А.А. Разработка методики анализа надежности автоматизированных электроприводов прокатных станов при реконструкции: Диссертация канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2009. – 151 с. 7. Одинокопылов Г. И. Исследование отказоустойчивого электропривода со структурным резервированием / Г.И. Одинокопылов, А.Д. Брагин // Труды XXIV Международной заочной научно-практической конференции «Технические науки — от теории к практике», 7 августа 2013 г. - Новосибирск: СибАК, 2013. — С. 141-145 8. Брылина О. Г. Электропривод автономного объекта с автоматическим диагностированием и резервированием каналов регулирования / О. Г. Брылина, Л. И. Цытович // Наука ЮУрГУ. Секции технических наук: материалы 63-й науч. конф. / Уж.-Урал. гос. ун-т.- Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ. – 2011. – Т. 2.- С. 158 – 160. 9. Кузнецова Л. Н. Конструирование регулируемых электроприводов дымососов сталеплавильного производства/ Л. Н. Кузнецова, Л. Г. Лимонов// «Энергетика. Энергосбережение. Энергоаудит». – Харьков: – 2014. – № 1. – С. 40-46 10. Иванцов В.В. Резервирование преобразователя частоты в электроприводе шахтной подъемной машины. [Электронный ресурс] / — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.erasib.ru/eraton-vr+npch>, свободный. — Загл. с экрана. 19.11.2014 11. Бондаренко С. Н. О повышении надежности электроприводов крановых механизмов/ С. Н. Бондаренко, Л. Г. Лимонов // «Подъемные сооружения. Специальная техника». – Одесса: –2009. – №10. – С.11-12 12. Дубенецкий А. С. Многодвигательная электромеханическая система литейного крана / А. С. Дубенецкий, Л. Г. Лимонов, С. В. Потанов // «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. (Специальный выпуск)», - Харьков: – 2013. – № 36 (1009). – С. 171-174

Bibliographi (transliterated): 1. Vybor sposoba rezervirovaniya dlya sistemi upravleniya elektroprivodom Available at: <http://www.macro-econom.ru/economics-3588-1.html>, free. (accessed 25.11.2014) 2. Tsitovich L.I., Tereshina O.G., Dudkin M.M. Sistema upravleniya gruppy asinkhronnykh elektroprivodov s samodiagnostirovaniem i avtomaticheskim rezervirovaniem kanalov regulirovaniya // *Elektrotehnika*, 2006, №11. PP. 38-44 Print. 3. Limonov L.G. Avtomatizirovannyy elektroprivod promychlennykh mekhanizmov. -Kharkov: "Fort", 2009. – 268p. Print. 4. Dubenetsky A.S., Limonov L.G., Morgulis V.P. Elektroprivod podemnogo mexanizma furm staleplavilnogo konvertera // *Lifting equipment. Special Technique*. - Odessa: "Krantest"- 2013. - № 11 (141). - PP. 21-23. Print. 5. Shemetova A.A. Razrabotka metodiki analiza nadezhnosti avtomatizirovannykh elektroprivodov prokatnykh stanov pri rekonstrukcii: *the dissertation c.t.s./* - Magnitogorsk, 2009. - 151p. Print 6. Odnokopylov G.I., Bragin A.D. Issledovanie otkazoustoychivogo elektroprivoda so strukturnym rezervirovaniem // *Proceedings of the XXIV International extramural scientific-practical conference «Technical sciences - from theory to practice»: a collection of articles based on materials the XXIV International correspondence scientific-practical conference (7 August 2013)*; Novosibirsk: SeebAK, 2013. - PP. 141-145 Print. 7. Brylina O.G., Tsitovich L.I. Elektroprivod avtonomnogo obekta s avtomaticheskim diagnostirovaniem i rezervirovaniem kanalov regulirovaniya // *Science SUSU. Section of Technical Sciences: Proceedings of 63th Scientific. Conf. / Sous-Ural. state University*. - Chelyabinsk: SUSU Publishing Center, 2011.- T. 2.- PP. 158-160. Print. 8. Kuznetsova L.N., Limonov L.G. Konstruirovaniye reguliruemykh elektroprivodov dymososov staleplavilnogo proizvodstva // «*Energetika. Energoberezhenie. Energoaudit*». - Kharkiv: – 2014. – № 1. – PP. 40-46 Print. 9. Ivantsov V.V. Rezervirovaniye preobrazovatelya chastoty v elektroprivode shakhtnoy podemnoy mashiny. Available at: <http://www.erasib.ru/eraton-vr+npch>, free. (accessed 19.11.2014) 10. Bondarenko S.N., Limonov L.G. O povyshenii nadezhnosti elektroprivodov kranovykh mekhanizmov // «*Lifting equipment. Special Technique*» – Odessa: –2009. – №10. – PP.11-12 Print. 11. Dubenetsky A.S., Limonov L.G., Potapov S.V. Mnogodvigatel'naya elektromekhanicheskaya sistema liteynogo kрана // «*Problems of automated electric drive. Theory and practice. (Special Edition)*» - Kharkiv: – 2013. – № 36 (1009). – PP. 171-174 Print.

Поступила(received) 30.06.2015