

ГІРНИЧА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 621.867.63:621.771.22

Д.В. Устименко, Ю.С. Бондаренко, канд-ты техн. наук

(Украина, Днепр, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В.Лазаряна)

МОДЕРНИЗАЦИЯ РОЛЬГАНГА ПРОКАТНОГО СТАНА В УСЛОВИЯХ ПАО «ЗАПОРОЖСТАЛЬ»

***Анотація.** Проведено аналіз шляху підвищення енергоефективності електроприводу рольганга прокатного стану ПАТ «Запоріжсталь», за рахунок заміни існуючої системи з груповим приводом постійного струму на індивідуальний привод з асинхронними двигунами. Встановлено, що таке рішення сприяє значному підвищенню показників енергоефективності зазначеного обладнання і підприємства в цілому і, як наслідок, розвиває тенденцію щодо зниження собівартості продукції, що випускається.*

***Ключові слова:** рольганг, прокатний стан, Запоріжсталь, груповий привод, індивідуальний привод, енергоефективність.*

***Аннотация.** Проведен анализ пути повышения энергоэффективности электропривода рольганга прокатного станa ПАО «Запорожсталь» за счёт замены существующей системы с групповым приводом постоянного тока на индивидуальный привод с асинхронными двигателями. Установлено, что такое решение способствует значительному повышению показателей энергоэффективности указанного оборудования и предприятия в целом и, как следствие, развивает тенденцию к снижению себестоимости выпускаемой продукции.*

***Ключевые слова:** рольганг, прокатный стан, Запорожсталь, групповой привод, индивидуальный привод, энергоэффективность.*

***Annotation.** The analysis of the way to increase of energy efficiency of trailer's table electric drive via replacement the system based on the common drive on the system based on the individual drive with asynchronous motors done in the article. The analysis showed that such solve provides to considerable increasing of energy efficiency the equipment and, as a result, to increase a trend to decrease a cost of production.*

***Keywords:** trailer table, roll mill, Zaporizhstal, common drive, individual drive, energy efficiency.*

Введение

Электроприводы различных устройств и технологических установок являются наиболее энергоёмкой составляющей системы электроснабжения, потребляя при этом около 60 – 70 % вырабатываемой электроэнергии [1- 3]. С учётом повышения цен на электроэнергию, со стороны производителей продукции, этот факт приводит к повышению требований к технологическим процессам. Это в первую очередь подразумевает повышение их энергоэффективности, как правило за счёт снижения энергопотребления систем электроприводов.

Анализ существующих решений

Анализ существующих решений и мировых тенденций развития промышленности [2 - 6], позволяет выделить следующие методы повышения энергоэффективности рассматриваемых систем:

Рациональный выбор мощности электрооборудования. Проектирование различных устройств и систем, в том числе и систем электроприводов, как правило подразумевает заложение определённого запаса мощности, который зачастую не используется, что приводит лишь к возрастанию доли энергетических затрат на производимую продукцию и делает производство нерентабельным.

Решение вопроса повышения энергоэффективности, в этом случае, подразумевает замену существующего оборудования на оборудование рациональной мощности и применение рациональных коэффициентов запаса при проектировании.

Несмотря на то, что данный способ повышения энергоэффективности является самым простым, он, по мнению авторов, имеет существенный недостаток, который ограничивает его применение, а именно –

необходимость точного учёта всех сопутствующих факторов технологического процесса, параметры которых зачастую являются случайными величинами.

Применение энергоэффективных асинхронных двигателей. Суть данного метода состоит в применении в структуре электроприводов асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, в конструкции которого алюминиевые стержни заменены медными (например, двигатели серии IE3, IE4 компании Siemens) [5].

Согласно работе [5] такие электрические машины характеризуются низким коэффициентом линейного расширения активных материалов, высокой степенью прочности на растяжение и более низкими потерями в обмотках, которые на 15 % ниже, чем у машин ранних серий с алюминиевыми роторами. Указанное снижение уровня потерь позволяет повысить КПД двигателей и соответственно достичь повышения показателей энергоэффективности электроприводов в целом.

Несмотря на широкое использование данного метода ведущими мировыми компаниями ряд специалистов [7] считает относительно его применения, что электропривод, как и ранее, остаётся нерегулируемым и повышение его энергоэффективности будет заметным лишь в тех случаях, когда нагрузка изменяется мало.

Усовершенствование систем механической передачи вращающего момента [5] Для получения необходимых частот вращения или величин вращающего момента в структуре электроприводов часто применяют различные системы передач – зубчатые, ременные, цепные. Их наличие, как известно, приводит к появлению дополнительных моментов сопротивления и, как следствие, к снижению общего КПД привода. Идеальным решением в этом случае является отказ от системы передач, но осуществить его зачастую является невозможным.

В этом случае в мировой практике [5] главным направлением повышения КПД является замена существующих систем передач на более эффективные. С точки зрения ременных передач, в частности, это предполагает замену обычных ремней зубчатыми или переход к цепным передачам, КПД которых составляет порядка 98 % [5, 8], а с точки зрения зубчатых – применение мотор-редукторов с переходом от групповых приводов к индивидуальным.

Переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому с возможностью регенерации энергии в сеть. Данный способ повышения энергоэффективности, на сегодняшний день, является основным направлением энергосбережения, принятым во всем мире и дающим наибольший эффект как в части экономии электроэнергии, так и по другим показателям технологического процесса [5, 6].

Основным направлением реализации данного способа является введение в структуру электропривода преобразователей электрической энергии, работающих по системе обратных связей, как правило в замкнутых контурах регулирования, и способных формировать заданные регулирующие воздействия в соответствии с требованиями технологических процессов. Таковыми, как правило, являются преобразователи частоты, что главным образом связано с отказом от применения в системе электропривода двигателей постоянного тока и заменой их на асинхронные двигатели с короткозамкнутым либо фазным ротором [4, 5].

Основной материал и результаты

На сегодняшний день на территории Украины существует множество предприятий, оборудование которых требует своей модернизации. К их числу относится и ПАО «Запорожсталь» в эксплуатации которого, в частности, находится прокатный стан, реализованный с применением группового привода с двигателями постоянного тока. Принимая во внимание всё указанное выше, такая система не является энергоэффективной и требует своей модернизации.

Для решения этого вопроса, в рамках сотрудничества с компанией VIG (<http://vig.dp.ua/>), была предложена замена группового привода на индивидуальный с применением в качестве приводных устройств мотор-редукторов с асинхронными двигателями. Для оценки эффективности такого решения был проведён сравнительный анализ показателей энергоэффективности электропривода до и после модернизации путём выполнения соответствующих расчётов обеих систем. Стоит отметить, что привод рольганга работает в повторно-кратковременном режиме с относительно частыми пусками и остановками, поэтому в качестве руководящего параметра для сравнения были приняты затраты электроэнергии на период пуска. В данном случае расчёт проводился для одной секции рольганга которая включает в себя 10 роликов и в случае с приводом постоянного тока, вращается одним приводным двигателем.

Исходные данные, для выполнения расчёта привода до и после модернизации, приведены в табл. 1, а его кинематические схемы – на рис. 1 и 2 соответственно.

Исходные данные для выполнения расчёта привода рольганга

Параметр	Значение параметра	
	Система до модернизации	Система после модернизации
Номинальный вращающий момент двигателя $M_{дв_ном}$, Нм	1814,5	50,1
Пусковой момент двигателя $M_{дв_пуск}$, Нм	2721,8	105,21
Момент инерции двигателя $J_{дв}$, кг·м ²	5,75	0,028
КПД двигателя $\eta_{дв}$	0,87	0,87
Частота вращения ротора двигателя n , об/мин	500	1500
Масса заготовки (сляба) $m_{гр}$, кг	18000	18000
Масса ролика $m_{рол}$, кг	2380	2380
Диаметр ролика $D_{рол}$, м	0,4	0,4
Диаметр цапфы ролика $d_{цапфы}$, м	0,15	0,15
Линейная скорость вращения роликов v , м/с	1,8	1,8
Суммарный КПД передачи η	0,85	0,85
Коэффициент трения-скольжения μ	0,015	0,015
Коэффициент трения-качения f	0,015	0,015
Передаточное отношение редуктора i	6,03	17

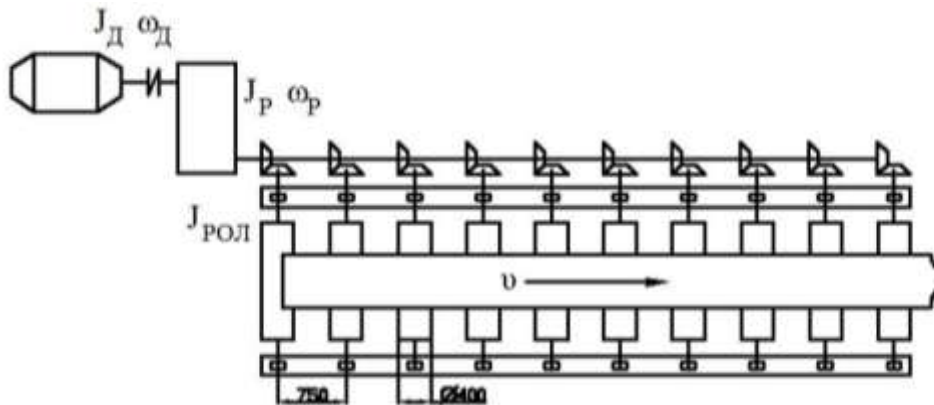


Рис.1. Кинематическая схема привода рольганга до модернизации

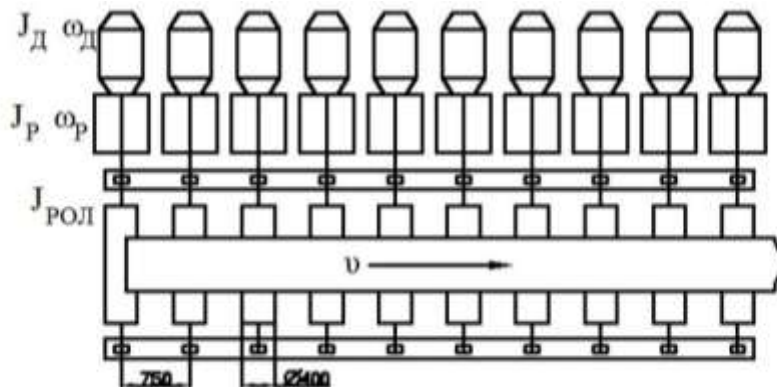


Рис. 2. Кинематическая схема привода рольганга после модернизации

Принимая во внимание, что рольганг прокатного стана является типовым производственным механизмом, его расчёт для обеих кинематических схем осуществлялся согласно стандартной методике [9, 10]. При этом были учтены особенности работы обеих схем, обобщённая характеристика которых приведена ниже.

Так, в общем случае для привода рольганга статический момент сопротивления состоит из момента трения в подшипниках $M_{тр}$ и момента буксования $M_{бук}$, каждый из которых согласно работе [9], определяется как:

$$M_{\text{ТР}} = g \cdot (m_{\text{ТР}} + n_{\text{рол}} \cdot m_{\text{рол}}) \cdot \mu \frac{d_{\text{цапфы}} + f}{2}; \quad (1)$$

$$M_{\text{БУК}} = \frac{m_{\text{ТР}}}{2} \cdot g \cdot \mu_{\text{Б}} \cdot \frac{D_{\text{рол}}}{2}. \quad (2)$$

Данные выражения являются справедливыми при условии, что масса всего сляба равномерно распределена по всей секции рольганга, а приводной двигатель вращает все ролики одновременно. С учётом замены привода суммарный вес сляба как и ранее равномерно распределяется между роликами, но теперь каждый двигатель вращает только один ролик. С учётом этого указанные моменты для случая индивидуального привода:

$$M_{\text{ТР}} = g \cdot \left(\frac{m_{\text{ТР}}}{n_{\text{рол}}} + m_{\text{рол}} \right) \cdot \mu \frac{d_{\text{цапфы}} + f}{2}; \quad (3)$$

$$M_{\text{БУК}} = \frac{m_{\text{ТР}}}{n_{\text{рол}}} \cdot g \cdot \mu_{\text{Б}} \cdot \frac{D_{\text{рол}}}{2}. \quad (4)$$

В отличие от двигателя постоянного тока пусковой момент асинхронного двигателя при пуске может изменяться от значения пускового до максимального. С учётом этого при определении времени пуска в качестве пускового момента был использован средний пусковой момент:

$$M_{\text{ПУСК_СР}} = \frac{M_{\text{ДВ_МАКС}} + M_{\text{ДВ_ПУСК}}}{2}, \quad (5)$$

При определении затрат электроэнергии на один период пуска также было учтено, что цикл работы привода по перемещению сляба включает в себя два режима, при которых энергопотребление будет различным – разгон и равномерное движение. При этом учитывалось, что в отличие от группового привода, где ролики отключаются посекционно, когда сляб покинет всю секцию, в индивидуальном приводе каждый ролик отключается при прохождении через него сляба. Это значит, что время работы приводов при разгоне на всех роликах будет одинаковым, а время равномерного движения будет зависеть от удалённости данного конкретного ролика от начала рольганга. Таким образом, для системы индивидуального привода расчёт энергопотребления в период равномерного движения был проведён для каждого ролика отдельно.

Результаты расчёта энергопотребления обеими системами за период пуска приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные результаты расчёта энергопотребления привода рольганга за период пуска до и после модернизации

Энергопотребление привода рольганга, Вт·ч	До модернизации	После модернизации	
При разгоне	43,575	33,959	
При равномерном движении	98,386	Ролик 1	0,238
		Ролик 2	1,285
		Ролик 3	2,332
		Ролик 4	3,379
		Ролик 5	4,426
		Ролик 6	5,573
		Ролик 7	6,52
		Ролик 8	7,567
		Ролик 9	8,614
		Ролик 10	9,661
Суммарное за период пуска	141,961	83,456	

Выводы

Как видно из полученных результатов, применение индивидуального привода с асинхронными двигателями позволяет значительно сократить энергопотребление при одном цикле запуска (за один цикл перемещения сляба), что в свою очередь способствует повышению показателей энергоэффективности предприятия в целом и, как следствие, снижению себестоимости выпускаемой продукции.

Список использованных источников

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов – М.: Академия, 2007. – 576 с.
2. Energy-efficient drives. Answers for industry. – [Siemens AG, 2009]. – 15 p.
3. Energy efficiency: Using drives to control motors can lead to big savings [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://new.abb.com/drives/energy-efficiency>
4. Mirchevski S. Energy efficiency in electric drives/ S. Mirchevski // Electronics. – 2013. – vol.16, no.1 – p.46-49
5. Waide P. Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems: working paper / P. Waide, Brunner C. – Paris: International Energy Agency, 2011. – 130 p.
6. Hanitsch R. Energy efficiency electric motors/ R. Mirchevski // World Climate & Energy Event: conference, January 6-11, 2002. – RIO, 2002
7. Козярук А. Е. Методы и средства повышения энергоэффективности машин и технологий с асинхронными электроприводами / А. Е. Козярук, Б. Ю. Васильев. // Вестник ЮУрГУ. Сер. Энергетика – 2015. – №1. – С. 47 – 53.
8. Курсовое проектирование деталей машин / [С.А. Чернавский и др.]. –М.: Машиностроение, 1988. — 416 с.
9. Расчёты грузоподъемных и транспортирующих машин / Ф.К. Иванченко, В.С. Бондарев, Н.П. Колесник, В.Я. Барабанов. – К.: Высш. шк., 1978. – 576 с.
10. Абсадыков Б.Н. Расчёт мощности приводов роликов нового отводящего рольганга / Б.Н. Абсадыков // Вестник КазАТК. – 2008. – №5(54). – С. 64–71.

UDC: 621.3.078.4: 621.512

A.V. Bobrov, D.V. Tsyplenkov, Cand Tech. Sci.

(Ukraine, Dnipro, State Higher Educational Institution “National Mining University”).

**OPTIMUM POWER PARAMETERS OF OPERATION
OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS WITH A RECIPROCATING COMPRESSOR**

Анотація. В роботі визначені вимоги при формуванні математичної моделі, що дозволяє визначити оптимальний режим роботи системи виробництва і розподілу стислого повітря, що складається з наступних елементів "електрична мережа - привід - компресор - пневмомережа". Розглянуто питання про обмеження кількості пусків, яке вводиться для створення режиму роботи привода згідно його паспортним даним і умова щодо забезпечення пневмоприймачів стислим повітрям. У моделі використовуються такі припущення: напруга живлення асинхронного двигуна незмінна, значення ККД при коефіцієнті завантаження більшому 0,3 - 0,4 залишається практично незмінним, вплив температур всмоктування повітря на споживану потужність покладається несуттєвим.

Ключові слова: електропривод, регулювання, компресор, електромеханічна система.

Аннотация. В работе определены требования при формировании математической модели, позволяющей определять оптимальный режим работы системы производства и распределения сжатого воздуха, состоящей из следующих элементов "электрическая сеть – привод – компрессор – пневмосеть". Рассмотрен вопрос об ограничении количества пусков, которое вводится для создания режима работы привода согласно его паспортным данным и условие по обеспечению пневмоприемников сжатым воздухом. В модели используются следующие допущения: напряжения питания асинхронного двигателя неизменно, значение КПД при коэффициенте загрузки больше 0,3 – 0,4 остается практически неизменным, влияние температур всасывания воздуха на потребляемую мощность полагается несущественным.

Ключевые слова: электропривод, регулирование, компрессор, электромеханическая система.

Abstract. The requirements for the formation of a mathematical model allowing to determine the optimum operating mode of the compressed air production and distribution system consisting of the following elements "electric network - drive - compressor - pneumatic network" are defined in the work. The issue of limitation of the number of starts is considered, which is introduced to create the operating mode of the drive in accordance