

УДК 621.314

М.Ю. Петушков¹, А.С. Сарваров¹, О.В. Федоров²

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ НЕРЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

¹ Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова

² Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены вопросы перехода от нерегулируемого электропривода с короткозамкнутыми асинхронными двигателями к регулируемому электроприводу. Современный электропривод потребляет 45 % вырабатываемой электроэнергии и представлен асинхронными короткозамкнутыми двигателями мощностью до 40-50 кВт. В основной массе электроприводы в настоящее время являются нерегулируемыми, хотя около 80 % из них требуют регулирования. Из многообразия вариантов решения проблем электропривода выделены и проанализированы два основных направления: модернизация действующих электроприводов и создание новых, например, вентильно-реактивных приводов.

Ключевые слова: асинхронный короткозамкнутый двигатель, надежность, нерегулируемый асинхронный электропривод, трудоемкость, экономия электроэнергии, электромонтаж.

1. Введение

Для металлургической отрасли свойственно применение большого числа двигателей. Парк электрических машин на предприятиях с полным циклом насчитывает десятки тысяч электродвигателей постоянного и переменного тока в диапазоне мощности от единиц до 5000 кВт и выше, применяемые в непрерывной цепи технологических операций:

- добыча и обогащение руды;
- подготовка шихты (агломерация);
- доменное и сталеплавильное производство;
- непрерывное литье заготовок для листового и сортового проката;
- прокатное производство;
- обработка поверхности (оцинкование, лужение, разделка и другие виды отделки);

- глубокая переработка металлопродукции (трубное, волочильное, метизное производство и др.)

II. Количественная оценка парка электрических машин в ПАО «ММК»

Большое количество двигателей задействовано в системе водоснабжения и вентиляции, в кислородном производстве, а также в транспортировке и погрузочно-разгрузочных операциях. Общее состояние парка электрических машин в отрасли можно рассмотреть на примере современного металлургического предприятия. В табл. 1 даны количественные показатели по двигателям в различных группах мощности на примере крупнейшего в России Магнитогорского металлургического комбината (ПАО «ММК») [1]. Общее количество электрических машин по состоянию на март 2015 года составило 103 212 единиц, в том числе 17,3 % – постоянного тока и 82,6 % – переменного тока. Такого же порядка показатели характерны и для других металлургических комбинатов России.

Таблица 1.
Количественная оценка парка электрических машин в ПАО «ММК»

№	Группы мощности, кВт	Распределение электродвигателей по группам мощности (количество)		
		Постоянного тока	Переменного тока	Постоянного + переменного тока
1	до 1,0	544	9162	9706
2	1,1-10,0	6028	48095	54123
3	10,1- 50,0	5812	19249	25061
4	50,1- 100,0	2178	4285	6463
5	100,1 - 250,0	1995	2686	4681
6	250,1 – 500,0	875	812	1687
7	500,1- 1000,0	212	553	765
8	1000,1 – 5000,0	201	394	595
9	свыше 5000	51	80	131
	Общее количество	17896	85316	103212

В период с конца 1990-х гг. и в первом десятилетии нашего века на комбинате были закрыты обжимные станы (слябинг и блюминги), происходила интенсивная замена устаревшего мартеновского производства стали на кислородно-конверторное и электропечное. В целом реконструкция и техническое перевооружение в этой отрасли реализуются в следующих направлениях:

- полная замена морально и физически устаревших производств;

- ввод в эксплуатацию принципиально новых технологических комплексов;
- модернизация отдельных агрегатов и узлов.

Данный процесс характеризуется изменениями в структуре электрооборудования рассматриваемого металлургического предприятия за период 2005-2017 гг. (табл. 2) [2].

Таблица 2.
Динамика изменений в структуре парка электродвигателей и преобразователей

Вид электро-оборудования	2005	2006	2007	2011	2013	2015	2017
Общее количество электродвигателей	62279	59802	82063	82964	85305	891015	91229
в т.ч. постоянного тока	12130	10913	13802	13804	13953	14063	14137
в т.ч. переменного тока	50140	48896	64261	68180	71352	75052	77092
Общее количество преобразователей	3052	3543	3574	3750	4962	5023	5531
в т.ч. отечественных	2147	2095	2095	2051	1911	1783	1771
в т.ч. импортных	905	1448	1479	1649	3051	3240	3347
в т.ч. постоянного тока	2256	2272	2288	2301	2207	2166	2104
в т.ч. переменного тока	796	1271	1286	1449	2755	2857	3427

На горно-обогатительном производстве (ГОП) ПАО «ММК» прослеживается тенденция увеличения импортных преобразователей (табл. 2). Так, за более чем десятилетний период число отечественных преобразователей сократилось на 17,5 %, а импортных – увеличилось на 270 %. Общая численность преобразователей увеличилась на 82,4 %, что связано с проводимой политикой модернизацией и реструктуризации как технологических процессов, так и электрооборудования. По данным, приведенным в табл. 2, видно, что прирост двигателей переменного тока в период с 2005-2017 гг. составил 26 952 ед., а двигателей постоянного тока – 2006 ед. Практически все вновь вводимые технологические комплексы и агрегаты оснащены электроприводами переменного тока.

Большое количество двигателей задействовано в технологиях горно-обогатительного производства, где в эксплуатации находится широкий

круг различных механизмов. На примере ГОП ПАО «ММК» показана картина (рис. 1), характеризующая масштабность и многообразие электроприводов в этой сфере [3].

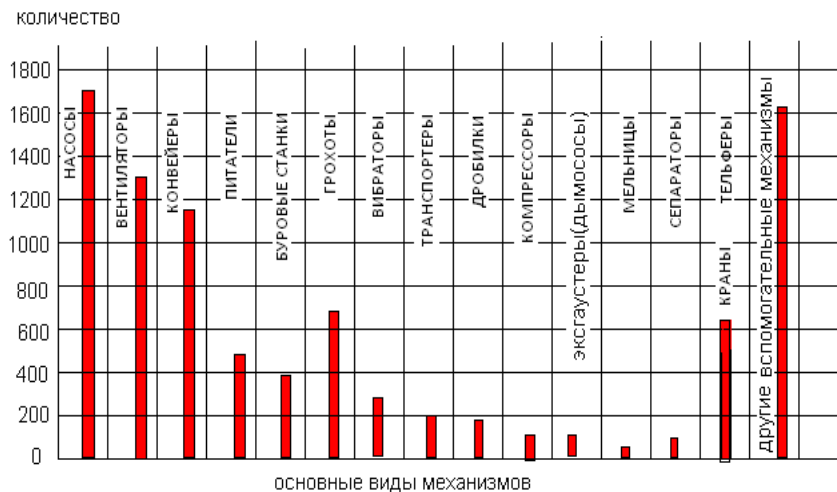


Рис. 1. Распределение асинхронных электроприводов по механизмам ГОП

Самыми массовыми в горнорудном производстве, как и в промышленности в целом, являются насосы и вентиляторы, включая их разновидности (эксгаустеры, дымососы). Доля механизмов подобного типа превышает 30 % от всего оборудования.

Специфичным оборудованием для ГОП ПАО «ММК» являются буровые станки, конвейеры и транспортеры, грохоты и вибраторы, мельницы и дробилки, электроприводы которых реализованы в своем большинстве на базе нерегулируемых короткозамкнутых асинхронных двигателей (АД). В целом, большинство общепромышленных электроприводов (краны, тельферы, конвейеры и рольганги) выполнены на базе нерегулируемого асинхронного привода. Следует отметить, что в настоящее время в этой группе электроприводов достаточно интенсивно идет процесс модернизации. Парк электродвигателей переменного тока в ГОП ПАО «ММК» насчитывает свыше 10 тыс. единиц (рис. 2). Из диаграмм видно, что мощность до 15 кВт имеют свыше 70 % электродвигателей, задействованных в электроприводах конвейеров, питателей, транспортеров, грохотов, вибраторов и во многих вспомогательных механизмах технологического процесса предприятия. Более мощные двигатели применяются в подъемно-транспортных средствах, дробилках и барабанных смесителях, а также в

системе вентиляции, водоснабжения и гидротранспорта. Около 400 электродвигателей переменного тока в подразделениях ГОП являются высоковольтными, а в целом по комбинату их количество составляет около 1,5 тыс. единиц.

В металлургической промышленности наиболее мощными установками являются воздушные, кислородные и азотные турбокомпрессоры, питательные насосы и нагнетатели, которые приводятся во вращение высоковольтными синхронными двигателями. Пуск таких двигателей производится с применением пусковой обмотки типа «беличья клетка», т.е., так же, как и пуск асинхронного электродвигателя при прямом подключении к сети. Диапазон их мощностей находится в пределах от 1 до 20 МВт.



Рис. 2. Диаграммы распределения двигателей по группам мощности в горно-обогатительном производстве

Общеизвестно, что большинство электроприводов переменного тока практически во всех отраслях народного хозяйства России и ближнего зарубежья изначально проектировались как нерегулируемые, в своем большинстве такими они остаются и сегодня. Применение большого числа двигателей малой и средней мощности характерно также и для прокатного производства, где широко применяются различные исполнительные механизмы. В частности, привод механизмов непрерывного широкополосного стана горячей прокатки «2000» осуществляется примерно 2 тыс. двигателями суммарной мощностью 70 000 кВт [3].

Разнообразие и сложность технологических процессов при производстве проката, широкая номенклатура и высокая энерговооруженность прокатных станов, постоянно растущий уровень их автоматизации предъявляют к электроприводу прокатных станов весьма широкий спектр технико-экономических требований. Характерной особенностью главных электроприводов прокатных станов, введенных в прошлом столетии, является применение мощных электрических двигателей постоянного тока индивидуального исполнения. Эти двигатели являются уникальными, поскольку они проектировались для конкретного стана. Электроприводы на их основе были реализованы изначально по системе «генератор-двигатель», затем на отдельных станах применялись «системы управляемый ртутный выпрямитель-двигатель» (УРВ-Д).

Приведенные выше результаты обзора говорят о том, что асинхронный нерегулируемый электропривод все еще является широко распространенным.

III. Анализ проблем в области нерегулируемого асинхронного электропривода

При переходе к регулированию в электроприводах неизбежно возникновение противоречий и ухудшение отдельных показателей, в частности, экономия электроэнергии, как правило, сопровождается ухудшением ее качества, снижаются показатели, характеризующие надежность электропривода. Возникают экологические проблемы, например, повышение шума при работе электропривода. Кроме того, необходима дополнительная подготовка обслуживающего персонала.

Развитие техники во всех областях народного хозяйства ведет к постоянному росту потребности в электроприводах на базе короткозамкнутых асинхронных двигателей, которые в настоящее время остаются самыми дешевыми и надежными. Необходимость создания регулировочных возможностей для таких двигателей обусловлена постоянным совершенствованием технологических процессов, созданием гибких технологий, требованиями экономичности эксплуатации. Высокая экономичность эксплуатации достигается за счет минимизации энергопотребления во всех режимах работы, при обеспечении максимального КПД и надежности работы.

Тенденцию перехода к регулируемому электроприводу можно проследить отдельно по отраслям народного хозяйства. Так, к электроприводу горных машин, применяемых в горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности, предъявляется ряд требований, наиболее важными из которых являются: высокие динамические показатели, экономичность преобразования энергии в различных режимах работы, высокие показатели надежности, торможение с позиционированием. В

этих отраслях промышленности происходит постоянное совершенствование электроприводов, в связи с этим существует большое разнообразие систем автоматизированного привода, различающихся как по типу применяемых двигателей, так и по составу силового оборудования.

Заметна тенденция применения электроприводов с частичным регулированием скорости асинхронных и синхронных двигателей, с импульсным регулированием систем асинхронного вентильного каскада и фазового управления. Наиболее перспективными в настоящее время являются системы с тиристорными преобразователями частоты для короткозамкнутых асинхронных двигателей (ТПЧ-АД). При этом необходимо отметить, что в горнодобывающей отрасли проблемы регулирования короткозамкнутых АД целесообразно решать только применением преобразователей частоты (ПЧ). Существует ряд механизмов, которые не требуют реализации всех показателей качества регулирования системы ПЧ-АД. Необходимо отметить, что хорошие регулировочные возможности частотного регулирования являются достаточно затратными, так как в силовой части присутствуют: мостовой выпрямитель, инвертор с узлами искусственной коммутации вентилей, фильтр. По этой причине нецелесообразно применять частотное регулирование, например, в электроприводах конвейеров, дробилок и т.д.

В условиях комплексной механизации добычи, извлечения переработки электроприводы механизмов тесно взаимосвязаны в технологической цепочке. Выход из строя любого звена в этой линии требует либо полного отключения всех звеньев со всеми последствиями, либо перевод их на резервный «малый ход», что позволяет:

- исключить возможность застывания смазки в механизмах;
- облегчить пуск установки на номинальный режим;
- исключить выход механизмов из непрерывного цикла работ;
- уменьшить износ оборудования.

Возможность осуществления режима резервирования в сочетании с возможностью многоступенчатого пуска с помощью тиристорного преобразователя может значительно сократить потери при эксплуатации исполнительных механизмов. Известно, что для многих приводов с асинхронными короткозамкнутыми двигателями в металлообрабатывающей отрасли, например, в металлорежущих станках, часто необходимо иметь, помимо основной рабочей скорости, одну или несколько пониженных скоростей для обработки малых перемещений и точной остановки неподвижных узлов. Требования подобного рода выполняются, как правило, за счет получения так называемой «ползучей» скорости, применения многоскоростных двигателей, а также за счет кратковременных подключений двигателя для отработки заданных малых перемещений, либо созданием «шагового»

режима работы двигателя. Важным направлением развития машиностроения является совершенствование автоматизированных систем электропривода с короткозамкнутым (к.з.) асинхронным двигателем, состоящее в увеличении доли регулируемых приводов, с требуемым диапазоном и качеством регулирования.

В настоящее время ставится задача создания интегрированных с технологическим оборудованием глубоко регулируемых асинхронных электроприводов высокого класса, обладающих не только высокой степенью регулируемости, но и повышенной надежностью и возможностью функционирования без частного профилактического обслуживания. Такая задача выдвигается в ходе совершенствования механизмов точного воспроизведения сложных движений, особенно работающих в условиях «безлюдных» технологий гибких автоматизированных производств и робототехнических комплексов, а также в связи с расширением их функциональных возможностей и повышением требований к качеству отработки назначенных траекторий. Вопросы надежности в данной сфере тесно связаны с простотой силовой части и системы управления. Применение серийно выпускаемых преобразователей частоты не всегда может удовлетворить требованиям «безлюдных» технологий.

Одной из основных проблем, связанных с повышением эффективности сельскохозяйственного производства, является проблема совершенствования сельскохозяйственных машин. Проблема заключается, прежде всего, в разработке и внедрении в сельскохозяйственные механизмы перспективных электромеханических систем на основе короткозамкнутых асинхронных электродвигателей, как наиболее распространенных в данной отрасли: в сельском хозяйстве страны в настоящее время эксплуатируется около 15 млн электродвигателей. В этой отрасли мало используются ресурсы двигателя вследствие отсутствия регулирования, нарушений правил эксплуатации. В частности, выход из строя примерно 35 % парка электродвигателей происходит из-за аварийных режимов эксплуатации, что ежегодно наносит значительный материальный ущерб. Постоянная работа АД в сложных эксплуатационных и аварийных переходных режимах приводит к ускоренному старению изоляции, сокращению срока эксплуатации. Наиболее часто для механизмов сельскохозяйственного производства возникает режим стопорения, в результате заклинивания трущихся частей, попадания посторонних предметов, смерзания смазки и другие причины. Отсутствие регулирования является главной причиной выхода из строя не только двигателя, но и всего механизма. Пуск двигателей многих сельскохозяйственных механизмов часто становится проблематичным, не только вследствие нарушений условий эксплуатации, но и по причине того, что во многих случаях применяются автономные источники питания. Вопрос

ограничения пусковых токов и обеспечения достаточного пускового момента для короткозамкнутых АД до настоящего времени остается актуальным. Необходимо отметить, что повышение уровня электрификации быта сельского населения, а также появление потребности в бытовых электроустановках с использованием электропривода вызывает необходимость разработки регулируемого с короткозамкнутым асинхронным электродвигателем малой мощности (до 1 кВт). Для удовлетворения этой потребности в бытовых электроустановках (станок для заточки инструментов, мельница для измельчения зерновых культур и т.д.) используется серия трехфазных асинхронных двигателей. Система управления указанными двигателями в ряде случаев должна обеспечивать получение дополнительных скоростей вращения асинхронного двигателя. Кроме того, необходимо обеспечить получение мягкого пуска и удовлетворительного характера вращения ротора двигателя при питании его от однофазной сети. Особенно это важно для фермерских хозяйств.

Все применяемые системы управления и электроприводы сложной бытовой техники на сегодняшний день не обеспечивают плавного или многоступенчатого регулирования скорости в широком диапазоне. Не обеспечивают они и надежной эксплуатации, не требующей частого обслуживания, хороших экологических показателей, заключающихся в бесшумности работы привода, отсутствии загрязнений, а также возможности объединения каждого бытового прибора в компьютерную систему управления домашним хозяйством. Указанным требованиям в наибольшей степени может удовлетворять привод на основе короткозамкнутого асинхронного электродвигателя с микропроцессорной системой управления.

Необходимо выделить отдельно группу общепроизводственных механизмов, которые присутствуют во всех отраслях производства и жизнеобеспечения. К ним относятся, в первую очередь, насосы, вентиляторы, компрессоры, подъемные тренажеры и т.п. Электропривод этих механизмов выполнен на базе короткозамкнутых АД. Необходимо отдельно оценить требования к уровню автоматизации этой группы электроприводов. Так, насосные станции большинства жилых и производственных зданий оборудованы нерегулируемым электроприводом с короткозамкнутыми асинхронными двигателями 5-15 кВт. Судя по опыту, трехкратная производительность таких станций зачастую избыточна, соответственно невысоки их энергетические показатели. Чтобы исправить это положение, необходимо ввести регулирование частоты вращения асинхронного двигателя с целью изменения производительности насосных станций и улучшение экономичности их работы. Насосы и вентиляторы потребляют не менее 40 % электроэнергии, потребляемой массовым электроприводом, и, по сути, заключают в себе резервы энергосбережения, поскольку в настоящее

время управление производительностью массовых установок, снабженных нерегулируемым асинхронным электроприводом с к.з. двигателем, осуществлялся, как правило, крайне неэффективно.

Ввиду резкого увеличения цен на энергоресурсы, в настоящее время наиболее отчетливо просматривается радикальное средство энергосбережения: регулирование электропривода насосов и вентиляторов. По опыту разработки и эксплуатации насосных станций мощностью 10-30 кВт с частотно управляемым электроприводом, накопленному в МЭИ, экономия энергии составляет 40-50 %, воды – 15-20 %, тепла – до 20 %.

Доказано, что в насосных станциях водопроводных сетей, имеющих более четырех агрегатов, основу которых составляет асинхронный электропривод, не менее двух агрегатов должны быть построены на основе регулируемого электропривода. Наличие регулируемых электроприводов позволяет образовать локальные системы автоматического поддержания давления в водопроводных сетях, тем самым, делая возможной реализацию экономичного потребления электроэнергии вне зависимости от режима водопотребления. Следует отметить, что при современной стоимости электрооборудования замена, к примеру, электропривода с к.з. асинхронным электродвигателем питательного насоса типа ПЭ 580-185-3, установленного в котельных агрегатах большой мощности, на регулируемый окупится через 7-9 лет. Однако, при наблюдающемся росте стоимости энергоносителей и снижении стоимости элементов силовой части электроники, срок окупаемости в ближайшие годы должен уменьшиться. Это, несомненно, приведет к еще большей экономической целесообразности применения регулируемого электропривода в насосных агрегатах.

В приводах вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения, эксплуатируемых в угольной, химической, газовой, нефтеперерабатывающей и в других отраслях промышленности со взрывоопасными условиями производства, используются асинхронные электродвигатели типа ВАСО, технико-экономические показатели которых при современном энергетическом кризисе свидетельствуют о недостаточной экономичности этих двигателей. Для улучшения энергетических параметров вентиляторов является целесообразным внедрение безредукторного привода на основе к.з. асинхронного двигателя, работающего на пониженных скоростях. Необходимость введения регулирования привода вентиляторных установок отчетливо видно на примере охлаждения тяговых электродвигателей, выпрямителей, трансформаторного оборудования на электровозах переменного тока. В настоящее время для выполнения этой функции используется нерегулируемый асинхронный электропривод, расходы на работу которого составляют около 15 % от общей потребляемой локомотивом энергии. Поскольку нагрузка и, следовательно, нагрев меняются от нагрузки на локо-

мотив, применение регулируемого привода вентилятора является весьма перспективным. В электроприводах подъемно-транспортных машин широко применяются асинхронные двигатели (механизмы башенных кранов, транспортеров, тельферов, лифтов и т.д.) Если еще 10-15 лет назад до 90 % грузов при переработке не требовало регулирования скорости, то в настоящее время около четверти всех грузов, перерабатываемых в машиностроении, а применительно к строительству – около 80 % всех грузов, требуют глубокого регулирования скорости электропривода, обеспечения удобства управления, плавности движения.

Из приведенных примеров однозначно следует устойчивая тенденция, характерная для сегодняшнего состояния народного хозяйства страны: электропривод с короткозамкнутым асинхронным электродвигателем, особенно в своем массовом применении, нуждается в различной степени регулировочных свойствах. Это, прежде всего, связано с обеспечением энергосберегающих режимов работы механизмов при изменении технологических нагрузок на них, с созданием нескольких рабочих скоростей, обеспечением условий пуска и стопорения, а также с согласованием работы комплексов механизмов. По требованиям и уровню автоматизации массовые асинхронные электроприводы можно условно разделить на четыре группы.

Первая группа – электроприводы, нуждающиеся в постоянном регулирующем воздействии. Это, прежде всего, электроприводы вентиляторов, насосов, дозаторов и других механизмов, производительностью которых необходимо управлять в функции поддержания заданных параметров, или реализации определенных законов их изменения. Как правило, такие электроприводы требуют глубокого регулирования частоты вращения с заданной точностью и потому требуют реализации в замкнутых системах автоматического регулирования. Наилучшим вариантом для таких электроприводов является применение систем ПЧ-АД.

Вторая группа – электроприводы механизмов, требующих циклического управляющего воздействия, связанного с заправкой, позиционированием рабочих органов, перемещением запорной арматуры и другие вспомогательные операции. Управляющие воздействия при этом имеют дискретный характер. Смысл управления заключается в переходе от основной скорости на пониженные скорости вращения и наоборот. Для таких электроприводов достаточно применить более простые силовые структуры, по сравнению с ПЧ-АД.

Третья группа – электроприводы, которые в технологической цепи производственных процессов могут по разным причинам работать достаточно длительно с малой нагрузкой, или даже на холостом ходу. Для таких электроприводов стоит задача минимизации энергопотребления с перево-

дом на пониженные частоты вращения. Для реализации таких режимов, так же, как и в предыдущем случае, целесообразно применять самые простые силовые структуры.

Четвертая группа – электроприводы, для которых главной проблемой становится пуск АД в условиях ограниченной мощности источника питания. Для таких электроприводов стоит задача максимального ограничения пускового тока при формировании требуемого пускового момента. В практике асинхронного электропривода с короткозамкнутым ротором наилучшим образом пуск реализуется для систем ПЧ-АД, но сложность силовой структуры преобразователя частоты ограничивает их применение в качестве пусковых устройств.

Традиционные способы регулирования частоты вращения АД общеизвестны [4]. Это, прежде всего, параметрические способы регулирования, такие, как реостатное регулирование изменением реактивных сопротивлений, изменением числа пар полюсов, регулирование импульсным изменением параметров. Наилучшие регулировочные свойства, как уже отмечалось ранее, дает частотное регулирование и применение тиристорных преобразователей напряжения (ТПН). Для маломощных асинхронных двигателей применяется регулирование частоты вращения нарушением симметрии подводимого напряжения. Отмеченные способы регулирования относятся к короткозамкнутым двигателям. Для АД с фазным ротором регулировочные возможности значительно расширяются. Здесь дополнительно следует отметить систему асинхронно-вентильного каскада (АВК), регулирование при двойном питании и др. возможности. Реостатное регулирование, применительно к короткозамкнутому АД, заключается в изменении активного сопротивления в цепи статора. Оно характеризуется низким КПД, снижением критического момента и неустойчивой работой. Регулировочные возможности при этом плохие, поэтому реостатное регулирование не имеет перспектив.

Регулирование с помощью реактивных сопротивлений сопряжено со снижением коэффициента мощности, и по своим характеристикам аналогично реостатному. Преимущество заключается в возможности применения плавно регулируемых индуктивных сопротивлений – реакторов с регулируемым подмагничиванием. Обычно реакторы применяются в цепи статора для улучшения условий пуска высоковольтных двигателей. Других перспектив по сравнению с реостатным регулированием данный способ не имеет.

Регулирование изменением числа пар полюсов обладает такими достоинствами, как постоянство мощности, неизменность жесткости механических характеристик, переход на пониженную скорость связан с работой в режиме рекуперативного торможения, высокая экономичность и

простота реализации. Массовое применение этого способа невозможно, так как необходимы специальные многоскоростные двигатели. Количество ступеней скорости таких двигателей ограничивается главным образом двумя, реже тремя и более ступенями. В настоящее время многоскоростные двигатели применяются в электроприводах станков, конвейеров, элеваторов, толкателей, питателей и других механизмах.

IV. Заключение

Вопросам теории и опыта применения тиристорных преобразователей напряжения для короткозамкнутых АД уделялось большое внимание в течение последних двух-трех десятилетий [1, 3, 5, 6]. Регулирование скорости импульсным способом заключается в периодическом кратковременном включении и отключении двигателя с помощью тиристорных переключателей. Этот способ получил свое развитие с широким применением ТПН.

Особенно успешно в этом направлении велись работы в Московском энергетическом институте, Уральском государственном техническом университете, Одесском политехническом институте, ЦНИИ «Электроприбор». Оценивая перспективы дальнейшего развития этого направления, следует проанализировать его преимущества и недостатки. Главное достоинство – простота реализации силовой части ТПН, выполняющий не только функции простого бесконтактного пускателя или коммутатора, но и простого маловентильного управляемого преобразователя напряжения и в некоторых случаях – частоты. На кафедре АЭП МЭИ проводится систематический обзор направлений разработок по повышению энергетической эффективности асинхронных электроприводов. В таком обзоре выделена группа публикаций, в которых с целью повышения энергетической эффективности применены тиристорные преобразователи напряжения (ТПН без регулирования скорости), где экономия электроэнергии определяется автоматическим поддержанием оптимального напряжения, соответствующего данной нагрузке. Однако, следует принять во внимание, что в этой системе наблюдаются неустойчивые режимы, характеризующиеся значительными автоколебаниями момента и скорости. Наиболее часто такой режим возникает при отсутствии нагрузки, например, в режиме технологического холостого хода.

Учет разнообразия электроприводов и преобразователей в пределах конкретного предприятия позволяет целенаправленно его уменьшать, что упрощает электроремонтную базу организации и сокращает трудоемкость электроремонтных работ (внутрипроизводственные резервы).

© Петушков М.Ю., 2019

© Сарваров А.С., 2019

© Федоров О.В., 2019

Библиографический список

- [1] Кочетков В.Д., Козырев С.К. Состояние и тенденции развития автоматизированного электропривода в XXI веке // Труды IV Межд. (XV Всерос.) конф. по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития» (АЭП-2004), Сентябрь 14-17, 2004, Магнитогорск, Россия. Часть 1. С. 5-8.
- [2] Сарваров А.С., Анисимов Д.М., Усатый Д.Ю., Петушков М.Ю., Вечеркин М.В. Анализ состояния электроприводов агрегатов ГОП ОАО «ММК» и пути модернизации // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. № 3 (35). С. 8-11.
- [3] Анисимов Д.М., Славгородский В.Б., Сарваров А.С., Петушков М.Ю. Методологические аспекты модернизации металлургических электроприводов // Труды межд. конф. «Электроэнергетика и автоматизация в металлургии и машиностроении: Международная конференция», Октябрь 22-24, 2008, Магнитогорск, Россия. С. 100-112.
- [4] Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: Высшая школа, 1977. – 391 с.
- [5] Шевырев Ю.В., Федоров О.В., Сарваров А.С. Современный технологический уклад и его ресурсное обеспечение // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 3. С. 82-90.
- [6] Татарских Б.Я., Федоров О.В. Организационно-экономические проблемы повышения инновационного потенциала машиностроительного комплекса России // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2016. № 3 (137). С. 16-22.

M.Y. Petushkov¹, A.S. Sarvarov¹, O.V. Fedorov²

**WAYS TO SOLVE PROBLEMS IN FIELD
OF UNREGULATED ASYNCHRONOUS ELECTRIC
DRIVE IN METALLURGICAL INDUSTRY**

¹ Magnitogorsk State Technical University n.a. G.I. Nosov,
Magnitogorsk, Russia

² Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article considers aspects of the transition from an unregulated electric drive with squirrel-cage induction motors to an adjustable one. In recent years, special attention has been paid to the problems of modern electric drive, which consumes 45% of the generated electricity, and is represented by asynchronous squirrel-cage motors with a capacity of up to 40-50 kW. The bulk of electric drives are currently unregulated, although about 80% of them require regulation. From the variety of options for solving the problems of the electric drive, two main areas should be distin-

guished: the modernization of existing electric drives and the creation of new, for example, valve reluctance drives.

Keywords: asynchronous squirrel cage motor, electrical repair, energy saving, labor intensity, reliability, unregulated asynchronous electric drive.

References

- [1] V.D. Kochetkov and S.K. Kozyrev, «Sostoyaniye i tendentsii razvitiya avtomatizirovannogo elektro-privoda v XXI veke (Status and development trends of an automated electric drive in the 21st century)», in proc. *IV Int. (XV All-Russian) conf. «Avtomatizirovannyi elektroprivod v XXI veke: puti razvitiya» (Automated electric drive in the 21st Century: Development paths)*, Sept. 14-17, 2004, Magnitogorsk, Russia, part 1, pp. 5-8 (in Russian).
- [2] A.S. Sarvarov, D.M. Anisimov, D.J. Usatyi, M.J. Petushkov and M.V. Vecherkin, «State analysis of electric drives of ore-dressing units of OJSC «MMK» and some ways of their enhancement», *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, no. 3, pp. 8-11, 2011.
- [3] D.M. Anisimov, V.B. Slavgorodskiy, A.S. Sarvarov and M.Y. Petushkov, «Metodologicheskiye aspekty modernizatsii metallurgicheskikh elektroprivodov (Methodological aspects of the modernization of metallurgical electric drives)», in proc. *Elektroenergetika i avtomatizatsiya v metallurgii i mashinostroyenii (Power and automation in metallurgy and mechanical engineering)*, Oct. 22-24, 2008, Magnitogorsk, Russia, pp. 100-112 (in Russian).
- [4] V.P. Bychkov, *Elektroprivod i avtomatizatsiya metallurgicheskogo proizvodstva (Electric drive and automation of metallurgical production.)*. Moscow: Vysshaya shkola, 1977 (in Russian).
- [5] Yu.V. Shevyrev, O.V. Fedorov and A.S. Sarvarov, «Technology state-of-the-art and supply of resources», *Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, vol. 3, pp. 82-90, 2018.
- [6] B.Ya. Tatarskikh and O.V. Fedorov, «Organizational and economic problems of innovative capacity machine-building complex improvement in Russia», *Vestnik of Samara State University of Economics*, vol. 3, no. 137, pp. 16-22, 2016.