

воды энергосбережение в виде экономии топлива может превысить 3 % от общих расходов.

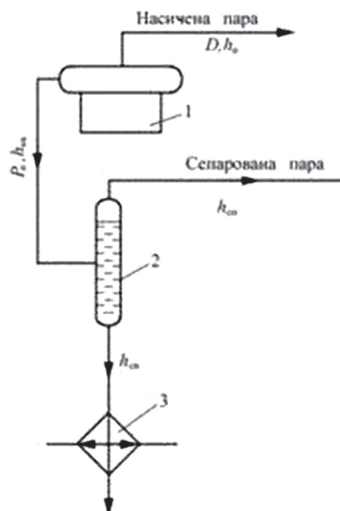


Рис. 1. Схема использования тепловой энергии непрерывной продувки

Среди причин, влияющих на расход топлива в котельных, можно выделить следующие:

- ➔ физическое и моральное изнашивание котельных установок;
- ➔ отсутствие или плохая работа автоматики;
- ➔ несовершенство газогорелочных устройств;
- ➔ несвоевременная наладка теплового режима котлоагрегата;
- ➔ образование отложений на поверхностях нагрева;
- ➔ плохая теплоизоляция;
- ➔ отсутствие приборов учета за расходом энергоносителей;
- ➔ неоптимальная тепловая схема;
- ➔ отсутствие экономайзеров-подогревателей;
- ➔ неплотности газоходов.

Использованы материалы:
<http://www.patriot-nrg.ua> (по материалам ПМКЭУ «PATRIOT»)



ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 62-86.621

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.50616

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Герасимьяк Ростислав Павлович, доктор технических наук, профессор

Кафедра электромеханических систем с компьютерным управлением, Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

E-mail: gerasymiak@gmail.ru

Савич Светлана Павловна, кандидат технических наук, доцент

Кафедра электроснабжения и энергоменеджмента, Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

E-mail: savichsp@gmail.com

Шабовта Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент

Кафедра электроснабжения и энергоменеджмента, Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

E-mail: savichsp@gmail.com

Исходя из требований к электроприводу разнообразных крановых механизмов, даются рекомендации по применению в конкретных случаях того или иного асинхронного электропривода из предлагаемых вариантов. Рассматриваются электропривод традиционный с резисторным управлением, с тиристорным преобразователем напряжения, а также с преобразователем частоты.

Ключевые слова: электропривод, механизм подъема, механизм поворота, резисторное управление, преобразователь напряжения, преобразователь частоты.

Виходячи з вимог до електропривода різноманітних кранових механізмів, даються рекомендації щодо використання у конкретних випадках того чи іншого електропривода змінного струму з варіантів, які пропонуються. Розглядаються електроприводи

традиційні з резисторним керуванням, з тиристорним перетворювачем напруги, а також з перетворювачем частоти.

Ключові слова: електропривод, механізм підйому, механізм обертання, резисторне керування, перетворювач напруги, перетворювач частоти.

1. Введение

В промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве и других отраслях производства Украины широко используются разнообразные краны. От них во многом зависит производительность и качество конкретного технологического процесса. Возможности кранов существенно определяются электроприводом основных крановых механизмов — механизмов подъема и горизонтального перемещения (передвижения или поворота). От свойств и характера электропривода этих механизмов во многом зависит качество работы кранов, их производительность, а также экономичность эксплуатации крановых механизмов.

В настоящее время для кранов возможно использование нескольких различных электроприводов. Так как сейчас для них почти исключительно применяются электроприводы переменного тока, то в дальнейшем речь будет идти именно о таких электроприводах. Они отличаются своими возможностями при реализации статических и динамических характеристик, надежностью, стоимостью и экономичностью в эксплуатации. Таким образом, требуется произвести сопоставление различных электроприводов по определенным критериям.

2. Анализ литературных данных и постановка задачи исследования

До последнего времени на кранах еще широко используется самый простой и дешевый реостатный электропривод с асинхронным двигателем с фазным ротором, когда пусковые и тормозные режимы, регулировка скорости происходят за счет введения резисторов в цепь ротора. Но во многих случаях он не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к современным кранам, работающим в напряженном режиме, кроме того, его использование сопровождается значительными потерями в цепях двигателя с фазным ротором, а потому и повышенным потреблением электроэнергии. Но в условиях энергетического кризиса и в связи с ростом цен на электроэнергию проблема энергосбережения приобретает особую актуальность и имеет большое практическое значение.

Благодаря разработкам ученых и выпуска промышленности современных серийных асинхронных электроприводов в качестве альтернативных для действующих кранов могут использоваться и уже эксплуатируются электроприводы переменного тока с преобразователем напряжения (ПН-АД) [1]

и с преобразователем частоты (ПЧ-АД) [2]. Последний, как известно, характеризуется значительно меньшими потерями в самом двигателе. Эти электроприводы более сложные, чем реостатное регулирование, дороже них, но удовлетворяют почти все требования любых крановых механизмов. В литературе до последнего времени не имеется конкретных рекомендаций по использованию альтернативных электроприводов для кранов. Именно поэтому сегодня существует проблема определения целесообразности использования того или иного электропривода для кранов по совокупности показателей. Таким образом, рассматривая все возможности конкретного альтернативного электропривода, его преимущества и недостатки относительно других электроприводов при работе крановых механизмов в заданных условиях эксплуатации, следует доказать необходимость или нежелательность его использования.

Правильный, полноценный выбор электропривода для конкретного кранового механизма возможен лишь после объективного сопоставления некоторых из них. В дальнейшем будем сопоставлять такие четыре типа асинхронного электропривода:

- ➔ группу электроприводов с реостатным регулированием;
- ➔ электропривод «Преобразователь напряжения — асинхронный двигатель» (ПН-АД);
- ➔ электропривод «Преобразователь частоты — асинхронный двигатель» (ПЧ-АД) с резисторным торможением;
- ➔ электропривод ПЧ-АД с блоком рекуперации.

Несмотря на постоянно расширяющуюся область применения полупроводниковых преобразователей в крановом электроприводе, большинство массовых кранов до настоящего времени оснащены более простыми и дешевыми типовыми электроприводами, формирующими далекие от желаемых механические характеристики [3]. Однако тенденцией современного кранового электропривода является все большее использование для них полупроводниковых преобразователей, не всегда технически и экономически обоснованных [4].

В работах, посвященных крановому асинхронному электроприводе, рассматриваются различные варианты, их свойства и характеристики. Подробно исследуются возможности микропроцессорного управления современными электроприводами [5], целесообразность оптимального управления крановыми механизмами [6]. Детально подается методика расчета расхода электроэнергии при использовании различных полупроводниковых преобразова-

телей [7, 8], а также способы управления ими [6]. Немало публикаций в последнее время посвящено влиянию современных преобразователей на улучшение динамических режимов крановых электро-механических систем [9].

Однако все эти публикации касаются возможностей лишь отдельных сторон электроприводов и их преобразователей. К сожалению, до настоящего времени не рассмотрены все эти возможности с единых позиций, чтобы, используя некоторые интегральные критерии, можно было дать рекомендации по применению электроприводов для крановых механизмов, эксплуатируемых в конкретных рабочих режимах.

3. Цель и задачи исследования

Цель работы — выдача рекомендаций по выбору конкретных электроприводов переменного тока на базе рассмотрения технико-экономических показателей конкретных электроприводов для отдельных крановых механизмов, работающих в специфических режимах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- ➔ сформулировать систему объективных критериев, позволяющих проводить технико-экономическое сопоставление крановых электроприводов переменного тока;
- ➔ предложить конкретные рекомендации по использованию различных типов ЭП;
- ➔ после проведенной оценки по соответствующим критериям дать рекомендации по выбору электропривода переменного тока.

4. Техничко-экономическое сопоставление крановых электроприводов переменного тока

Регулирование координат асинхронного двигателя с помощью резисторов (этот способ регулирования называется часто реостатным) осуществляется введением дополнительных резисторов в цепь ротора асинхронных двигателей [12, 13]. Такое включение дополнительных резисторов применяется как с целью регулирования тока и момента асинхронного двигателя (при пуске, торможении), так и его скорости за счет изменения дополнительных сопротивлений в цепи ротора. Однако диапазон регулирования скорости оказывается небольшой из-за снижения жесткости механических характеристик при включении дополнительных резисторов. Плавность регулирования скорости, которая изменяется только вниз от основной, определяется числом ступеней сопротивления резистора. Капитальные расходы такого электропривода небольшие, поскольку для регулирования обычно используются простые и дешевые ящики металли-

ческих резисторов. В то же время эксплуатационные потери оказываются значительными, так как с увеличением скольжения (когда уменьшается скорость) возрастают потери мощности в роторной цепи, поэтому реализация большого диапазона регулирования скорости приводит к значительным потерям энергии и существенного снижения КПД электропривода.

Именно поэтому регулирование скорости этим способом осуществляется в небольшом диапазоне или при кратковременной работе на пониженных скоростях. Такие режимы характерны для многих кранов, поэтому этот способ и нашел для них широкое применение. Но такие простые крановые электроприводы имеют существенный недостаток — повышенное количество включений приводных двигателей и коммутационной аппаратуры, следствием чего является уменьшение срока службы электрооборудования, снижение точности остановки механизмов и интенсификация работы операторов.

Такие неблагоприятные особенности работы характерны для всех крановых асинхронных электроприводов с реостатным регулированием. Однако вследствие простоты и относительно небольшой стоимости эти электроприводы до настоящего времени еще распространены в тех крановых установках, которые не предъявляют жестких требований к своим механическим характеристикам и динамическим режимам.

В асинхронном электроприводе в качестве управляемого устройства возможно использовать преобразователь напряжения (ПН), который позволяет относительно просто реализовать различные режимы управления. Асинхронный электропривод с ПН независимо от функций, которые им выполняются, именуется в дальнейшем электроприводом «Преобразователь напряжения — асинхронный двигатель» (ПН-АД). Для регулирования напряжения на статоре АД чаще всего используются тиристорные преобразователи напряжения (ТПН), которые в настоящее время выпускаются серийно.

На **рис. 1** приведена схема силовой части электропривода ТПН-АД, где в цепь статора включены встречно-параллельно пять пар тиристоров.

В общем случае при этом используется асинхронный двигатель с фазным ротором, в который включаются резисторы для пуска и при работе с малыми скоростями. Последние необходимы для вынесения потерь скольжения за пределы двигателя.

Чтобы получить жесткие регулировочные механические характеристики, желательно с изменением нагрузки на валу двигателя автоматически регулировать напряжение, подводимое к АД. Для этого необходимо использовать замкнутую систему с отрицательной обратной связью по скорости [11].

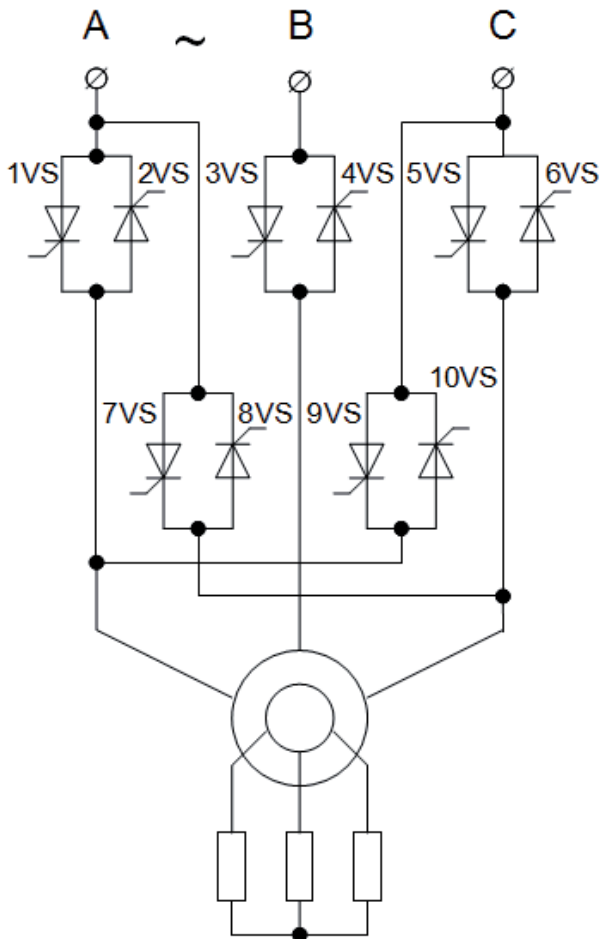


Рис. 1. Принципиальная схема силовой части реверсивного электропривода ТПН-АД

Преимущества использования преобразователей напряжения по сравнению с реостатным электроприводом:

- ➔ плавное регулирование момента (изменением напряжения в разомкнутой системе, которое реализуется углом управления тиристоры 1VS-6VS по рис. 1);

- ➔ обеспечиваются жесткие механические характеристики при использовании отрицательной обратной связи по скорости; они позволяют получить диапазон регулирования скорости 10–20 : 1, т. е. удовлетворяются требования большинства крановых механизмов;

- ➔ плавное регулирование скорости изменением напряжения задания;

- ➔ возможность работы во всех четырех квадрантах, если используется схема в соответствии с рис. 1, т. е. обеспечиваются, кроме режима двигателя, также необходимые тормозные режимы.

Однако необходимо учитывать, что электроприводы ПН-АД имеют ряд недостатков:

- ➔ используется двигатель с фазным ротором, а обеспечение нужных статических и динамических характеристик часто связано с переключением резисторов в цепи ротора;

- ➔ необходимость работы в замкнутой системе управления;

- ➔ работа с пониженными скоростями характеризуется значительными потерями скольжения и низким коэффициентом полезного действия, потери энергии в цепях двигателя близки к потерям при реостатном регулировании;

- ➔ тиристорные преобразователи искажают напряжение сети, загружая ее высшими гармониками.

Известно, что частотный преобразователь в комплекте с асинхронным короткозамкнутым электродвигателем характеризуется высокими регулировочными и эксплуатационными показателями и позволяет полностью заменить регулируемый электропривод постоянного тока. В настоящее время при выпуске новых кранов он является предпочтительным.

Управление асинхронным двигателем изменением частоты до недавнего времени было серьезной проблемой, хотя теория частотного регулирования разработана еще в тридцатых годах прошлого столетия. Для регулирования частоты вращения различных исполнительных механизмов сейчас используются исключительно статические преобразователи. Последние являются наиболее совершенными устройствами управления асинхронным приводом в настоящее время. Еще недавно развитие частотно-регулируемого электропривода сдерживалось высокой стоимостью преобразователей. Но производство силовых схем с IGBT-транзисторами и разработка высокопроизводительных микропроцессорных систем управления позволило различным фирмам Европы, США, Японии и России создать современные преобразователи частоты доступной стоимости.

Большинство современных преобразователей частоты построено по схеме двойного преобразования, как показано на рис. 2. В ней преобразователь включает неуправляемый выпрямитель В, цепь постоянного тока, фильтр (дроссель L_B и конденсатор C_B), силовой импульсный автономный инвертор напряжения АИН и устройство управления инвертором УИИ.

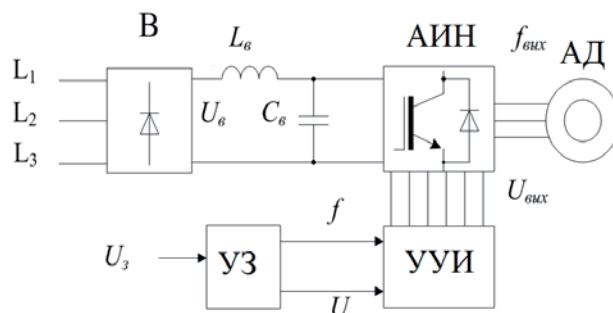


Рис. 2. Функциональная схема современного преобразователя частоты: В — выпрямитель; АИН — автономный инвертор напряжения; АД — асинхронный двигатель; УЗ — устройство задания; УИИ — устройство управления инвертором

Переменное напряжение питающей сети преобразуется после выпрямителя в напряжение постоянного тока U_B . Силовой трехфазный инвертор состоит из шести транзисторных ключей. Каждая обмотка электродвигателя подключается через соответствующий ключ к положительному и отрицательному зажимам цепи постоянного тока. Инвертор осуществляет преобразование выпрямленного напряжения в трехфазное переменное напряжение нужной частоты $f_{\text{вых}}$ и амплитуды $U_{\text{вых}}$, которым питаются обмотки статора электродвигателя. В выходных каскадах инвертора в качестве ключей используются силовые IGBT- транзисторы. Регулировка выходной частоты $f_{\text{вых}}$ и напряжения $U_{\text{вых}}$ осуществляется в инверторе за счет высокочастотной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) благодаря заданию, которое выдает устройство задания УЗ. ШИМ характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя. Таким образом, форма кривой выходного напряжения представляет собой высокочастотную двухполярную последовательность прямоугольных импульсов. Продолжительность этих состояний внутри периода ШИМ модулируется по синусоидальному закону. Чем выше частота коммутации, тем ближе форма тока приближается к синусоиду и тем меньше потери в двигателе.

Как известно, требования к электроприводам механизмов подъемных кранов диктуют необходимость реализации тормозных режимов. Такой режим необходим для механизмов подъема при опускании с установившейся скоростью тяжелых грузов и при торможении механизмов с большой инерционной массой — мостов, поворотной платформы и пр. Известно, что современные преобразователи частоты ведущих мировых и отечественных производителей, построенные на основе применения силовых IGBT-транзисторов с использованием для управления микропроцессорных программируемых устройств, предлагают для реализации этого режима несколько возможных вариантов. Так, можно использовать резисторное торможение, т. е. торможение с рассеиванием генерируемой энергии в двигателе и в дополнительном тормозном резисторе. Кроме того, возможно и рекуперативное торможение, которое особенно выгодно при значительной мощности электропривода.

В современных электроприводах ПЧ-АД резисторное торможение применяется довольно часто. Этот режим торможения предусматривается в серийных преобразователях частоты многих отечественных и зарубежных производителей. Однако по технико-экономическим соображениям довольно часто на кранах желательнее использовать рекуперативное торможение, т. е. торможение с возвратом энергии в питающую сеть. Без дополнительных

технических средств рекуперативное торможение целесообразно применять для такой функциональной схемы ПЧ-АД: управляемый выпрямитель — автономный инвертор тока — асинхронный двигатель (система УВ-АИТ-АД). Однако в настоящее время частотно-регулируемый электропривод по системе УВ-АИТ-АД применяется не часто, в основном в диапазоне очень высоких мощностей (несколько сотен и тысяч киловатт). Основной структурой современных частотно-регулируемых электроприводов является та, которая показана на **рис. 2**. С такой структурой создаются электроприводы в диапазоне мощностей 1–500 кВт.

В схеме **рис. 2** через неуправляемый выпрямитель (НВ) невозможно изменить полярность напряжения в звене постоянного тока. А вследствие неизменных направления тока и полярности напряжения невозможна рекуперация энергии торможения в сеть без дополнительных устройств. Поэтому в данном случае для рекуперации энергии встречно-параллельно НВ подключается ведомый сетью инвертор ВИ (**рис. 3**) — модуль рекуперации — с фиксированным углом управления $160\text{--}165^\circ$, который задается устройством управления УУ.

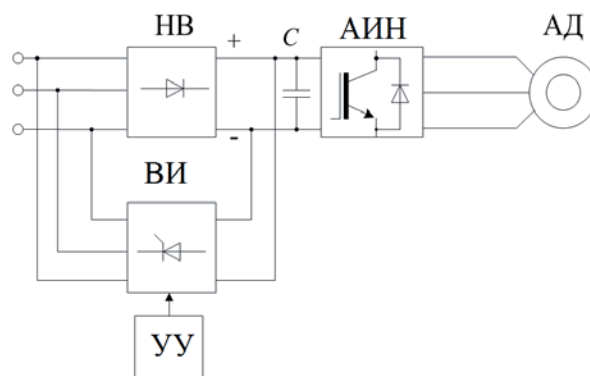


Рис. 3. Функциональная схема электропривода с дополнительным инвертором ВИ для рекуперации энергии: НВ — неуправляемый выпрямитель; АИН — автономный инвертор напряжения; АД — асинхронный двигатель; ВИ — ведомый инвертор; УУ — устройство управления

При торможении двигателя активная мощность передается в звено постоянного тока, а затем с помощью ВИ инвертируется в сеть переменного тока. В процессе рекуперации активной энергии ВИ потребляет реактивную, которая зависит от угла управления тиристоры ВИ, что несколько снижает коэффициент мощности электропривода при торможении. Этот электропривод обеспечивает работу АД во всех четырех квадрантах механических характеристик.

Естественно, что такая реализация рекуперативного торможения АД требует дополнительных капитальных затрат для приобретения модуля рекуперации, стоимость которого соизмерима со стоимостью

преобразователя частоты. Именно поэтому единого мнения о целесообразности рекуперации энергии в крановом электроприводе не существует. Однако, с другой стороны, использование рекуператоров уменьшает годовые эксплуатационные расходы за счет возврата части энергии торможения, и неиспользование такой возможности несколько уменьшает высокие энергетические характеристики электропривода ПЧ-АД. По-видимому, необходимость такого дополнительного модуля рекуперации в каждом конкретном случае должен определяться технико-экономическим расчетом [14]. А в работе [7] приведена удобная программа расчета экономической эффективности применения ПЧ-АД для конкретного кранового механизма. Расчеты показали, что рекуперативное торможение целесообразно применять для крановых электроприводов, работающих преимущественно в переходных режимах (механизмы поворота), или для тех механизмов подъема, которые часто опускают груз, близкий к номинальному значению, с низкими скоростями.

Для выдачи конкретных рекомендаций по использованию альтернативных электроприводов следует провести сопоставление их по различным технико-экономическим показателям. Такие главные показатели приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные данные альтернативных электроприводов

№ п/п	Показатели	Реостатное регулирование	ПН-АД	ПЧ-АД
1	Механические характеристики электропривода механизмов подъема	3	2	1
2	Характеристики переходных процессов крановых механизмов горизонтального перемещения	3	2	1
3	Ограничение колебаний крановых ЭМС	3	2	1
4	Количество потребляемой электроэнергии	2	3	1
5	Искажение питающей сети (высшие гармонические)	1	3	2
6	Надежность электропривода	1	3	2
7	Стоимость электропривода	1	2	3

В ней приведены семь таких показателей. Качественную оценку практически по всем показателям

интересующих нас электроприводов можно сделать на основании изложенных выше материалов и литературных источников. Однако количественную сравнительную оценку, особенно потребляемой из сети электроэнергии при работе в заданном режиме конкретного кранового механизма, допустимо делать, лишь выполнив определенные расчеты.

В соответствующих клетках этой таблицы цифрами 1, 2, 3 обозначено место того или иного электропривода по данному показателю: лучшему значению соответствует цифра 1, худшему — 3.

Ниже даны пояснения по каждому показателю применительно к крановым электроприводам.

1. Механические характеристики электропривода механизма подъема — это жесткие характеристики в заданном диапазоне скоростей. Их можно получить, используя как электропривод ПЧ-АД, так и ПН-АД; в последнем случае — благодаря обратной связи по скорости [11, 13]. Однако скорость выше номинальной при пониженной нагрузке можно получить только в первом случае, когда частота преобразователя становится больше частоты сети, а напряжение остается номинальным, то есть осуществляется регулирование с постоянной мощностью. Этого электропривод ПН-АД обеспечить не может, потому по этому показателю электропривод ПЧ-АД является наилучшим.

2. Характеристики переходных процессов для механизмов горизонтального перемещения — это характеристики, которые для интенсификации переходных режимов поддерживают при пуске и торможении постоянный момент [11]. Такие экскаваторные характеристики могут быть получены, если используются электроприводы ПЧ-АД и ПН-АД, в первом случае определенным образом изменяя частоту и напряжение, во втором — только напряжение, поэтому выполнить ее сложнее. Однако, используя электропривод ПН-АД, нужно одновременно менять сопротивление резисторов в роторе, используя 2–3 степени. Именно поэтому лучшим также является электропривод ПЧ-АД.

3. Ограничение колебаний крановых электро-механических систем, включающих электропривод, передаточные податливые устройства (валы, канаты, стрелы) и рабочий орган (подъемное устройство, поворотную платформу и т. д.). Принципиально использовать гибкую обратную связь по моменту упругости [3, 9] можно как с электроприводом ПЧ-АД, так и с электроприводом ПН-АД. Однако при этом в электроприводе ПН-АД следует также изменять ступени резисторов в роторе. Таким образом и по этому показателю электропривод ПЧ-АД является наилучшим. Конечно, по всем этим трем показателям электропривод с реостатным регулированием является худшим, потому что он не может реализовать ни одного из этих требований.

4. Потребляемая электроэнергия. Как было показано в [7, 14], наименьшие затраты электро-

энергии требует электропривод ПЧ-АД, особенно когда он используется с рекуператором, самые большие — электропривод ПН-АД. То же самое справедливо и для ПЧ-АД без рекуператора, если время работы с пониженными скоростями не менее 15–20 % от всего времени цикла.

5. Искажение сети (высшие гармонические). Лучшим по этому показателю безусловно является электропривод с реостатным регулированием. Электроприводы ПЧ-АД и ПН-АД по этому показателю входят в допустимые нормативы. Но электропривод ПЧ-АД благодаря подбору фильтров может обеспечить минимальные высшие гармонические тока и напряжения, поэтому электропривод ПН-АД по этому показателю является наихудшим [15, 16].

6. Надежность электропривода. Расчеты показали, что худшим по этому показателю является электропривод ПН-АД, лучшим — электропривод с реостатным регулированием, так как он является самым простым, имеет наименьшее количество элементов. Однако в том случае, когда для получения низких скоростей оператор осуществляет многократное включение и отключение двигателя, то есть пытается реализовать несвойственное электроприводу с реостатным регулированием качество, надежность его из-за большого числа включений контактной аппаратуры заметно снижается и может стать ниже надежности электропривода ПЧ-АД.

7. Стоимость электропривода. Конечно, электропривод с реостатным регулированием, который имеет наименьшее количество элементов, самый дешевый, в то время как электропривод ПЧ-АД является сложным, содержит наибольшее количество дорогих элементов, поэтому он является самым дорогим.

6. Выводы

Сформулированы следующие критерии для оценки разных типов асинхронного ЭП переменного тока: механические характеристики электропривода механизмов подъема, характеристики переходных процессов крановых механизмов горизонтального перемещения, ограничение колебаний крановых ЭМС, количество потребляемой электроэнергии, искажение питающей сети, надежность электропривода и стоимость электропривода.

Объективный анализ по комплексу показателей (табл. 1) позволяет правильно и в полной мере осуществить выбор ЭП для конкретного кранового механизма.

Электропривод ПЧ-АД обеспечивает высокие регулировочные свойства и лучшие технико-экономические показатели, в том числе при меньшем расходе электрической энергии (табл. 1).

По другим трем показателям первым остается самый простой и дешевый вариант — реостатное регулирование.

Электропривод ПН-АД по большинству показателей занимает промежуточное положение, а по энергетике, показателями надежности и высшими гармоническими является наихудшим. Поэтому такой электропривод не может быть рекомендован для широко распространенных типов кранов. Он может использоваться только в одиночных случаях, как временное, когда необходимо провести переоборудование электропривода крана для улучшения его технических возможностей, но заказчик не в состоянии реализовать ПЧ-АД из-за его высокой стоимости. В этом случае остаются двигатель с фазным ротором и резисторы, которые использовались при реостатном регулировании, дополнительно включаются тиристоры и вводится обратная связь по скорости. Таким образом переоборудованный кран с электроприводом ПН-АД может работать некоторое время.

Самый простой, надежный и дешевый, реостатный электропривод целесообразно использовать для кранов с низкими номинальными скоростями, которые работают в легком режиме (число включений в час 20–50), когда нет специальных требований к статическим и динамическим характеристикам, а работа выполняется главным образом с номинальными скоростями. Это мостовые или козловые краны в ремонтных цехах, которые в среднем в течение года работают 100–150 часов, краны, выполняющие вспомогательные работы в технологических цехах и т. п.

Электропривод ПЧ-АД, который является лучшим по техническим и энергетическим показателям, может использоваться для кранов, работающих в среднем и тяжелом режимах (с числами включений до 300–500 в час), имея значительные номинальные скорости (0,8–1,2 м/с), часто требующих работу с пониженными скоростями. Особенно тщательно необходимо подходить к выбору возможности рекуперации для этого электропривода; в последнем случае он оказывается значительно дороже, но при некоторых условиях (если механизм работает значительную часть цикла с пониженными скоростями или в переходных режимах) его срок окупаемости может быть не очень значительным. В то же время, если относительное время работы с пониженными скоростями невелико (только 5–10 %), электропривод ПЧ-АД без рекуперации может потреблять больше энергии, чем реостатный. Всякий раз желательно проводить сравнение потребляемой энергии при использовании этого электропривода для крановых механизмов с заданным конкретным циклом работы с помощью рекомендуемой в работе [7] программы. К таким кранам, когда велика вероятность использования электропривода ПЧ-АД (с функцией рекуперации или без нее), можно отнести перегрузочные порталные краны, башенные строительные краны, мостовые и козловые монтажные, судостроительные и судоремонтные краны.

Литература

1. Фираго, Б. И. Применение устройств плавного пуска и торможения асинхронных электрических двигателей с к.з. ротором в электроприводах крановых механизмов передвижения [Текст] / Б. И. Фираго, Д. С. Васильев // Электротехнические и компьютерные системы. — 2011. — № 4(80). — С. 30–38.
2. Лукевски, М. Повышение энергосбережения электроприводов переменного тока с преобразователями частоты за счет использования дросселей фирмы ELHAND TRANSFORMATORY [Текст] / М. Лукевски, А. Осетер, А. Хебровски, В. И. Ткачук, Б. Л. Копчак // Проблемы автоматизированного эл. привода. Теория и практика. Вестник НТУ «ХПИ». — 2008. — № 30. — С. 489–492.
3. Герасимьяк, Р. П. Покращення якості електромеханічної системи механізмів з підвищеною інерційністю [Текст] / Р. П. Герасимьяк, С. П. Савич, О. Б. Бабійчук, В. С. Савич // Електротехнічні та комп'ютерні системи. — 2014. — № 14(90). — С. 14–19.
4. Радимов, С. Н. Экспериментальное исследование электромагнитной совместимости кранового электропривода ТПН-АД с сетью [Текст] / С. Н. Радимов, В. Л. Беляев, А. Н. Бесараб, К. А. Аниченко, Я. А. Соколов // Електротехнічні та комп'ютерні системи. — 2013. — № 10(86). — С. 16–21.
5. Козаченко, В. Ф. Серия модульных встраиваемых микропроцессорных систем управления для современного комплектного электропривода [Текст]: сб. матер. / В. Ф. Козаченко // V международная научная конференция. — Санкт-Петербург, 2007. — С. 23–26.
6. Макаревич, Е. В. Разработка оптимального управления движениями башенного крана [Текст] / Е. В. Макаревич, В. Н. Шамардина, Ф. Палис, С. Палис // Електротехнічні та комп'ютерні системи. — 2011. — № 03(79). — С. 170–171.
7. Gerasymiak, R. Computer-aided Design System for Technical and Economical Comparison of Crane Electrical Drives [Text] / R. Gerasymiak, V. Busher, S. Savich, L. Shvets // Computational Problems of Electrical Engineering. — 2012. — Vol. 2. — P. 21–25.
8. Oscar van, V. Energy use, cost and CO2 emissions of electric cars [Text] / V. Oscar, A. Brouwer, T. Kuramochi, M. Brock, A. Faaij // Journal of Power Sources. — 2011. — Vol. 196, Issue 4. — P. 2298–2310. doi: 10.1016/j.jpowsour.2010.09.119
9. Герасимьяк, Р. П. Покращення динамічних режимів кранових електромеханічних систем з асинхронним електроприводом [Текст] / Р. П. Герасимьяк, О. Б. Бабійчук, С. П. Савич // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». — 2012. — № 19. — С. 53–55.
10. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод [Текст] / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. — М.: АСАДЕМА, 2004. — 200 с.
11. Герасимьяк, Р. П. Тиристорный электропривод для кранов [Текст] / Р. П. Герасимьяк. — М.: Энергия, 1978. — 112 с.
12. Яуре, А. Г. Крановый электропривод: Справочник [Текст] / А. Г. Яуре, Е. М. Певзнер. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 344 с.
13. Масандилов, Л. Б. Электропривод подъемных кранов [Текст] / Л. Б. Масандилов. — М.: МЭИ, 1998. — 72 с.
14. Герасимьяк, Р. П. Економічна ефективність використання перетворювачів частоти для кранових механізмів підйому [Текст] / Р. П. Герасимьяк, С. П. Савич, Л. А. Швець // Електротехнічні та комп'ютерні системи. — 2011. — № 03(79). — С. 392–393.
15. Recktenwaldm, A. Aktiver Schwingungsdämpfer für Krane [Text] / A. Recktenwald // Internationale Kranfachtagung — Magerburg. — 2011. — Vol. 19. — P. 142–146.
16. Raubar, E. Anti-Sway System for Ship-to-Shore Cranes [Text] / E. Raubar, D. Vrancic // Journal of Mechanical Engineering. — 2012. — Vol. 58, issue 5. — P. 338–344. doi: 10.5545/sv-jme.2010.127

Abstract. The paper considers several options of AC drive: traditional with the resistor control, with thyristor voltage converter and with frequency converter, the latter with a resistor braking or energy recovery possibility. An overview of the static and dynamic characteristics of each of the electric drives is proposed, based on which recommendations are made for using an asynchronous electric drive from the proposed options in specific cases. Particular attention should be paid to the energy performance, losses in the motor circuits that need to be calculated for each individual crane mechanism.

The proposed recommendations allow the designers of crane mechanisms (lifting, travel, slewing), the personnel operating them, to consciously choose the electric drive for the designed or reequipped actual cranes operating in specific, well-known conditions. Thus, the cranes will be equipped with the asynchronous electric drive, best for the given conditions.

Keywords: electric drive, lifting mechanism, slewing mechanism, resistor control, voltage converter, frequency converter, resistor braking.