

УДК 681.51:621.311.004.18

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ
ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ*Родькин Д.И., д.т.н., проф.**Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского
39614, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20**E-mail: saue@polytech.poltava.ua*

Виконано аналіз центральних питань енергоресурсозбереження в електромеханічних комплексах. Показано напрями розвитку теорії й практики електроприводних систем. Зроблено висновок про необхідність розширення сфери досліджень теоретичного характеру в теорії електропривода шляхом введення додаткових понять і формалізації процесів енергоперетворення у часовій області без використання традиційних інтегральних оцінок енергетичних процесів. Розширення енергетичного блоку в теорії електропривода дозволить вирішити цілий ряд завдань, що відносяться до енергоресурсозбереження, підвищення економічних показників, технічної досконалості електромеханічних систем. Обґрунтовуються пропозиції по вдосконалюванню основного курсу – теорії електричного привода.

Ключові слова: енергоресурсозбереження, теорія електроприводу, електромеханічні системи.

The analysis of the central questions energy- and resource-saving in electromechanical complexes is executed. The directions of development the theory and practice of the electric drive systems are shown. The conclusion about necessity of expansion sphere researches of theoretical character for the theory of the electric drive is made by introduction additional concepts and formalization of processes transformation the power in temporary area without use of traditional integrated ratings power processes. The expansion the power block in the theory of the electric drive will allow a lot of tasks concerning to energy saving, increase of economic parameters, technical perfection of electromechanical systems. The offers on improvement of the basic rate - theory of an electrical drive are proved.

Key words: energy- and resource-saving, theory of the electric drive, electromechanical systems.

Введение. В разные годы в передовых странах мира начались кампании по радикальному решению вопросов рационального использования энергоресурсов: в Японии и Израиле 8-10 лет тому назад, в США обнародована программа постепенного перехода на биотопливо, использование водородной энергетики в транспортных системах, освоения автомобилей с гибридной трансмиссией и электромобилей; годом позже страны Европейского Союза также заявили о начале энергетической революции, предусматривающей примерно те же цели, что и энергетическая программа в США. Опыт Бразилии по переводу автомобильного транспорта на биоэнергосистемы показал, что даже отдельно взятая страна с развивающейся экономикой, в состоянии подойти к решению одной из задач, стоящей перед человечеством. Китай интенсивно осваивает биоэнергетические технологии для решения энергетических проблем в отдельных небольших производственных и социальных структурах. На биологическое топливное обеспечение ориентированы сотни тысяч установок по переработке в пригодный для использования в качестве топлива газ производственных отходов, отходов жизнедеятельности человека и животных. В последние годы начались интенсивные работы по водородной энергетике, альтернативным видам энергоресурсов и в России –

страны, наиболее богатой залежами топливных энергоресурсов. Причем эти работы ведутся по приоритетным президентским программам. Из сказанного можно сделать один важный вывод: человечество медленно, но окончательно поворачивается к энергетически малозатратному методу хозяйствования. Отхода от этой тенденции ожидать нет никаких оснований [1-3].

Те страны, которые не включались в исследовательские, производственные и образовательные программы по изучению, освоению, широкому использованию новых малоэнергоемких технологий обречены на удовлетворение потребительского спроса в задачах сохранения конкурентоспособности за счет приобретения энергосберегающих технологий в других странах с естественной при этом стагнацией отечественных предприятий, отраслей народного хозяйства.

Сказанное в полной мере относится к нашей стране, которая, будучи еще республикой в составе СССР, была лидером в целом ряде научных и технических разработок, славилась серьезными научными достижениями. Наука за годы независимости страны утратила целый ряд позиций, ставивших Украину в ряд стран с развитым научным потенциалом.

Сейчас, в связи с уменьшением числа серьезных

достижений и результатов, настала необходимость оценки негативных процессов деградации не только фундаментальной, но и прикладной науки, которая, как и в передовых странах, должна стать двигателем технического и технологического прогресса, источником инновационного подъема. Основания для такого разговора появились по целому ряду признаков, характерных, в частности, для научной среды электромехаников.

Цель работы – попытка критически проанализировать позиции, на которых находится прикладная и теоретическая составляющие важной отрасли человеческих знаний – науки об электромеханических системах.

Материалы и результаты исследований. Электромеханические системы за последние 15÷20 лет перешли в новое качественное состояние благодаря неоспоримым достижениям в области преобразовательной техники, вычислительных управляющих устройств, информационных периферийных модулей, их интеграции с традиционными электромеханическими преобразователями. По существу, лишь в последние годы закончилось создание мощной базы электроприводных систем, которые по фактическому наличию функциональных возможностей в состоянии соответствовать их уровню, заложенному в терминологических определениях электропривода как многофункциональной электромеханической системы или комплекса [4-15].

Роль электропривода как основного потребителя электроэнергии растет и неизбежно эта тенденция сохранится в будущем. Эффект от применения регулируемого электропривода не только в высоком коэффициенте полезного действия непосредственно системы привода: несравненно больший эффект носит скрытый характер, входящий в ощутимое увеличение срока эксплуатации, улучшение качества продукции, снижения влияния на техническую и социальную окружающую среду. Понимание этого положения важно, но более важно осознание того, что разобщенность научных исследований в области электромеханики не позволяет создать общих теоретических подходов, которые позволяли бы комплексно решать задачи ресурсосбережения и энергосбережения [2, 16].

Возможны возражения о том, что у «них» такого подхода нет и «нам», естественно, не следует так рассматривать проблему... Такой подход неизбежно приведет к тому, что «мы» вынуждены будем повторять с 10÷15 летним опозданием «их» ошибки и растеряем несомненное преимущество нынешнего поколения электромехаников, способных нетрадиционно, с достаточно полным математическим описанием решать научно-технические задачи [2, 8, 16].

Определение места, позиции отечественной научной среды в обсуждаемой области, на наш взгляд, возможно путем сравнения проблемных вопросов в отечественной научной среде с соответствующими

показателями в других странах. Объектом сравнения выбраны широкие научные публикации в России – страны со сравнимыми проблемами выживания, роста, повышения конкурентоспособности любой продукции, включая уровень подготовки специалистов.

Становление хорошо зарекомендовавшей себя школы электроприводчиков в СССР, во многом связано с проводящимися конференциями по автоматизированному электроприводу в разные годы в республиках СССР. Весьма положительным результатом этих конференций были, с одной стороны, труды конференций, а с другой – мощные аналитические материалы по итогам конференций, определявшие пути и направления развития теории и практики электропривода.

С 1991 года конференции начали организовываться научной общественностью независимых государств – бывших республик, входивших в состав СССР.

Несмотря на потери, связанные с разрушением связей, оттоком талантливых и перспективных ученых зарубеж, достаточно прочную инфраструктуру среди электромехаников в полной мере сохранили только Россия и Украина. По естественным причинам наиболее крупные научные и производственные центры, где выполнялись многочисленные научно-исследовательские, конструкторские работы по электроприводу были сосредоточены в Москве, Ленинграде, Харькове, Киеве, Новосибирске, Свердловске и др.

В Украине усилиями крупных ученых-электроприводчиков проф. Клепикова В.Б., Садового А.В., Зеленова А.Б., Чермалыха В.М., Поповича Н.Г. в полной мере удалось сохранить научные связи и среду взаимного общения в форме ежегодной научно-технической конференции «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». Вторым центром плодотворного научного общения стала конференция «Электромеханические системы, методы моделирования и оптимизации», проводимая ежегодно в Кременчугском государственном политехническом университете имени Михаила Остроградского.

Российские позиции в этом отношении менее пострадали от процесса перестройки государственных и экономических основ вновь образовавшихся государств. Всероссийская научно-техническая конференция по электроприводу по существу стала правопреемником Всесоюзной конференции советского периода; сохранились хорошо зарекомендовавшие себя конференции по электроприводу переменного тока (г. Екатеринбург), масштабные конференции, проводимые в городах Томске, Новосибирске и др.

Сказанное позволяет путем анализа материалов конференций ответить на ряд вопросов, характеризующих направления развития научных связей, работ, совершенствования подходов к реализации

образовательного процесса.

За основу взяты материалы конференций [9-15], прошедших в 2007 г. Выводы, полученные в результате анализа, выглядят следующим образом:

– очевидное и хорошо объяснимое расширение географии научных центров обеих стран, где достаточно широко организованы исследования в области автоматизированного электропривода. Это связано, несомненно, с расширением географии кафедр и факультетов, где ведется подготовка специалистов-электроприводчиков;

– условно существующее двустоличье (Москва, Санкт-Петербург в России и Киев, Харьков в Украине) существенно потеряли свои лидирующие позиции в основных позициях формирования научной мысли, уступив место ранее известным и вновь появившимся научным центрам регионального характера [9-15];

– уровень взаимодействия научных школ России и Украины (судя по количеству материалов, опубликованных во взаимно сравнимых сборниках) недопустимо низок. Если учесть, что языковая взаимная доступность научных публикаций в условиях наших стран на порядки выше, чем между нами и учеными других стран мира, то становится очевидной та интеллектуальная пропасть, у которой мы находимся по истечении неполных двадцати лет государственной самостоятельности [9-11];

– научную общественность обеих стран волнуют вопросы проблематики Высшей школы, разных сфер образовательной деятельности (подготовки бакалавров, магистров), переподготовки кадров и др. Существенное внимание уделяется структуре учебных планов при подготовке бакалавров. При этом в Украине, благодаря сравнительно более жесткой регламентации, четко просматриваются компоненты бакалаврской подготовки в плане гуманитарного блока дисциплин, общеинженерной составляющей, аттестационных мероприятий и др. Российский подход носит более широкий формат с явным уклоном в сторону классических подходов, к пониманию насыщенности электроэнергетической, электромеханической, механической компонент учебного плана, подготовке по технике преобразования энергии, построению систем управления. При этом приближение к классическим ценностям по существу снимает проблему «кто же такой бакалавр и где его место». Здесь не просматривается попытка приспособления бакалавра или к технику, или к выпускнику профессионально-технического училища. Обращается внимание на то, что бакалаврат во многом представляет время для выявления интеллектуальных возможностей, склонностей к научному поиску обучающихся [9, 11];

– магистерская подготовка чаще всего иллюстрируется результатами конкретных исследований. Видимости некоего системного общегосударственного подхода в обеих странах нет. Магистерская ра-

бота все более приближается к девальвированной диссертационной работе кандидата технических наук с пониженными требованиями к ее качеству;

– подготовка кадров высшей квалификации, как тема для публичной дискуссии о результатах анализа аттестационных инстанций в материалах ведущих конференций, отсутствует, что можно квалифицировать, с одной стороны, как молчаливое согласие с ожидаемой реформой квалификационных уровней в связи с переходом на степень доктора философии вместо кандидатских и докторских степеней, существующих ныне. При этом, как оценивают специалисты, ожидаемая реформа, если она будет осуществлена, приведет к последствиям такого же масштаба, как и события 90-х годов прошлого столетия, разрушившие структуру высшего образования в республиках;

– анализ материалов конференций показывает, что одной из тем проблематики высшей школы становится создание современного лабораторного оборудования, которое отвечало бы требованиям современности, высокой информативности, доступности для кафедр электромеханического профиля. Разработки и исследования в этом направлении разделились на создание физического испытательного оборудования, охватывающих образовательный и исследовательский сектор. Лидирующие позиции (как следует из материалов анализа) занимают ученые Украины, которыми практика создания и применения виртуального оборудования доведена до этапа дипломного проектирования [9, 11-15];

– тематическая направленность результатов исследований в процентах (%), при сравнении, выглядит таким образом (в скобках показаны цифры, характерные для российских материалов):

- частотноуправляемый электропривод с асинхронными и синхронными двигателями 40 (28);
- асинхронный электропривод с регуляторами напряжения в цепи статора 12 (8);
- электропривод постоянного тока 15 (8);
- электропривод с вентильными индукторными двигателями 3 (13);
- идентификация параметров элементов электромеханических систем, определение ресурса работоспособности электрооборудования 8 (3);
- устройства и системы управления 3 (5);
- качество электроэнергии 4 (10);
- устройства преобразовательной техники 3 (8);
- проблемы высшей школы 8 (7);
- общетеоретические вопросы, разное 1 (3);
- производственный опыт, реклама 3 (7).

Тематические аспекты анализируемых материалов нуждаются в некоторых пояснениях. Процентный состав материалов каждой из анализируемых сторон принимается за 100% (общее количество опубликованных материалов двух конференций).

Распределение материалов по группам осуществлено в некоторой степени условно, в основном с учетом предмета исследования. Характерные особенности показателей выглядят таким образом.

Большое внимание во всех материалах уделяется частотному приводу, что, естественно, вызвано общемировым интересом к этому виду электропривода, как к основному элементу энергосбережения.

Значительное внимание к приводу постоянного тока в Украине малообъяснимо. Российские ученые, включая наиболее авторитетных ученых и специалистов, открыто высказывают мысль о том, что следует сосредотачивать интерес на более прогрессивных системах электропривода, исключая даже из программ теоретических курсов проблематику привода постоянного тока. При такой постановке очевидна значимость числа публикаций, посвященных вентильно-индукторному электроприводу. Высказывается при этом мысль о том, что регулируемый привод будущего – в основном вентильно-индукторный.

Качество электроэнергии – несомненно важный вопрос для практики. Показательно то, что в отличие от зарубежной практики в Украине и России мало уделяется внимание вопросам создания и применения активных фильтров и накопителей энергии для систем автоматизированных приводов общепромышленного и специального применения.

Интерес к устройствам преобразовательной техники очевиден – это силовая база любой регулируемой электромеханической системы. В России отрасль силовой энергетики сохранилась, чем и объясним большой интерес к разработкам этого рода в стране.

Несмотря на малочисленность публикаций общетеоретического характера, следует отметить, что большинство публикаций – тревога за будущее теории электропривода как предмета, как сферы интеллектуальной деятельности, как механизма, объединяющего электромеханическую систему с технологической машиной в электромеханический комплекс. Обращает внимание вопрос, что, несмотря на значимость электропривода как основного потребителя электроэнергии, исследования энергетики электромеханических систем проводятся без учета открывающихся возможностей как в связи с существенным прогрессом в создании информационно-измерительных систем, так и достижений в разработке теории энергопроцессов в устройствах с полигармоническими напряжениями и токами. Характерно при этом полное отсутствие сведений об исследованиях энергопроцессов во временной области в материалах российских конференций. В украинской периодике – это один из широкообсуждаемых вопросов.

Выполненный анализ не ставит в качестве какой-то перспективной цели объединение усилий при решении тех или иных проблем. Задача состоит в

уяснении вопросов, которые следует решать и по возможности анализировать получаемые результаты.

Сказанное в полной мере относится к объединяющей нас среде. Можно констатировать, что в странах отсутствует работоспособная, имеющая прочную юридическую силу, программа энергоресурсосбережения. Именно по этой причине каждая администрация вносит поправки и дополнения к документам предшественников, что, как правило, дезориентирует своими противоречиями инженерно-технический персонал предприятий. До сих пор задача энергосбережения рассматривается узко и непрактично – ищется решение, позволяющее снизить расход энергопродукта. При этом упускается решение наиболее перспективной части хозяйственной задачи сбережения энергоресурсов, материальных ресурсов, которые, как правило, определяют разные стороны энергоиспользования. Не всегда прямой эффект энергетического плана является преобладающим. Часто попутный вторичный эффект может быть на порядок выше, чем затраты на реализацию того или иного энергосберегающего технического решения.

Анализ документов указывает на отсутствие государственной мотивации к проблематике энергоресурсосбережения (подчеркиваем: не энергосбережения, а энергоресурсосбережения) как части образовательного процесса в высшей школе. В значительной степени это относится к вопросам энергоресурсосбережения в электромеханических системах, которые в силу достаточно известных причин были, есть и будут основными потребителями электрической энергии в промышленном хозяйстве и быту.

Отсутствие законодательных актов в вопросах энергоресурсосбережения, доведенных до высших учебных заведений в условиях дефицита учебного времени, практически сводит на нет попытки «снизу» решать эту задачу основными коллективами, формирующими учебный процесс – выпускающими кафедрами университетов и институтов.

Другая сторона вопроса имеет достаточно оконтурированную гносеологическую сторону, заключающуюся в том, что, несмотря на очевидные перемены в жизни высшей школы, вопросы энергетики, энергетического воздействия в электромеханических системах представляют собой, как следует из анализа повсеместно используемых учебников и пособий, второстепенные, легко доступные разделы, которые можно вынести в разделы для самопроработки [7, 17-25]. Эта тенденция характерна для всего периода, начиная с 20-30 годов прошлого столетия. Причина при этом не в ошибочных предпосылках авторов, а в том, что в базовых представлениях при анализе энергетических воздействий находилась, да и находится до сих пор, теория интегральных оценок, созданная в самом начале прошлого столетия. Эта теория применима для стационарных процессов

с гармоническими сигналами [26-28].

Можно сформулировать тезис о том, что вопросы энергопреобразования в электромеханических системах в статических и динамических режимах являются краеугольными не только в вопросах энергосбережения (это исключительно важно), но, что не менее важно и актуально, - без их основательного изложения недоступно понимание вопросов энергоресурсосбережения. Термин энергоресурсосбережение, как отмечено выше, охватывает, с одной стороны, непосредственный энергосберегающий эффект конкретного мероприятия, а с другой, - попутный, технологический эффект. При этом важным является вопрос уяснения того, из каких составляющих формируется энергетическая составляющая эффекта. Такие составляющие по известным причинам могут быть положительными или отрицательными [29].

Электрический привод - основное средство, обеспечивающее энергосберегающий эффект при реализации конкретных технологических режимов. В силу того, что электропривод представляет собой совокупность технических устройств, обеспечивающих преобразование одного вида энергии в другой (электрической энергии в механическую и т.п.), то энергосберегающие режимы должны реализовываться на всех этапах преобразования энергии, т.е. как в преобразовательных устройствах, так и в электрических машинах и производственном механизме. Это указывает на то, что анализ энергетических режимов необходимо осуществлять с учетом реальных статических, динамических и энергетических характеристик, как непосредственно системы привода, так и технологического механизма. Это в какой-то мере противоречит тому понятию, что электропривод - это совокупность устройств и систем (исключая технологический механизм).

Анализ литературных источников, связанных с теоретическими вопросами электропривода [4, 7, 18-25], опубликованных за последние десятилетия в СССР, Украине, России, и зарубежом показывает, что до настоящего времени отсутствует теоретическая база энергоресурсосбережения в электроприводе. Наиболее близки к решению этой задачи работы профессора Ильинского Н.Ф., где решены вопросы оценки показателей режимов работы электроприводов разнообразных технологических установок в граничных режимах - при скоростях, близких к нулю, при изменении знака момента и др. [1, 7].

Опубликованные в последние годы работы по реальному энергосбережению, как и исходные по теории электропривода, в основном представляют анализ технических средств, которые в той или иной совокупности позволяют получить экономический эффект за счет снижения потребления электрической энергии [1, 2]. Достаточно детально выполнен анализ технико-экономических показателей конкретных технических мероприятий без оценки вто-

ричных и сопутствующих эффектов.

Достаточно четкими характеристиками энергоресурсосбережения являются непосредственно энергопотребление, энергоиспользование и энергоуправление [3].

Энергопотребление - процесс формирования составляющих мощности на входе источника питания при работе системы электропривода. Чаще всего - этот процесс характеризуется зависимостями активной и реактивной составляющей мощности, мощности искажения от скорости и момента двигателя.

Энергоиспользование - использование мощности, потребляемой из сети. Этот показатель характеризует качественную сторону процесса энергопотребления. Он показывает, насколько эффективно использование мощности, идущей на вал рабочей машины. Другой стороной энергоиспользования является явление распределения потерь. Этот показатель важен, так как определяет рабочий режим электродвигателя, его рабочую температуру и надежность.

Энергоуправление - процесс формирования режимов энергопотребления с помощью технических устройств и систем, воздействующих на цепи управления электродвигателей, преобразовательными устройствами, питающими цепи. К энергоуправлению относят управление перераспределением потерь в электрических двигателях, оптимизацию потерь, минимизацию нагрева активных частей электрической машины, снижение уровней потребляемой реактивной мощности и генерирования гармоник тока. При этом следует иметь в виду то, что указанные выше положительные свойства система электропривода приобретает не за счет использования некоторых определенных технических средств, а за счет использования регулировочных возможностей системы электропривода.

Рассмотрим простейший пример использования частотно-регулируемого электропривода: механизма с вентиляторным моментом [16, 19].

Положительными аспектами энергетической стороны технического решения являются:

- снижение энергозатрат при регулировании производительности или давления;
- исключение пусковых токов при запуске механизма;
- снижение потребления реактивной мощности при использовании инвертора напряжения с неуправляемым выпрямителем на входе.

Отрицательными аспектами будут:

- некоторое снижение коэффициента полезного действия двигателя и всего электротехнического комплекса;
- повышенный износ изоляции двигателя и кабельной продукции из-за высокочастотных составляющих питающего напряжения.

Ресурсосберегающий эффект этого же мероприятия (попутный экономический эффект) обусловлен

такими составляющими:

- отсутствием ограничения на уровень питающего напряжения в виду того, что запуск осуществляется при изменении частоты, то есть без существенных пусковых токов;
- увеличивается срок службы подшипников в связи со снижением рабочей скорости в технологическом режиме, а также за счет исключения ударных нагрузок прямого пуска;
- растет безаварийность технологического оборудования трубопроводов, задвижек и т.п.;
- создаются принципиальные возможности для реализации систем оптимального управления тепловыми процессами в двигателе, динамическими режимами в кинематических передачах.

Перечисленные задачи можно отнести к задачам ресурсосбережения, формально сопутствующим центральной энергетической задаче. Эффект при реализации «второстепенной задачи» в отдельных случаях может многократно превышать эффект при реализации «главной энергетической задачи».

Анализ поднимаемых вопросов показывает, что основная масса их тем или иным образом связана с дисциплинами и проблемами достаточно далекими непосредственно от теоретических вопросов приводной техники. В силу этого, в соответствующей учебной литературе по теории электропривода, базирующейся на обобщенных линеаризованных представлениях электрических машин, кинематических передач и др. отсутствуют модели, на основании которых могли бы быть выполнены исследования и анализ в полном объеме непосредственных и сопутствующих задач. В учебной литературе, как указывалось, эти задачи представляются на уровне 30-х годов прошлого столетия, когда теория электропривода только зарождалась.

Контраргумент в пользу того, что так называемые сопутствующие вопросы должны решаться на основании «сопутствующих» дисциплин (теоретической механики, преобразовательной техники и т.п.) не выдерживает объективной оценки. Другие (сопутствующие) дисциплины позволяют получить базу для профессионального анализа, в то время как решение конкретной «приводческой» задачи должно решаться в рамках задач и подходов теории электропривода. Совокупность затрагиваемых вопросов с учетом многообразия схем электроприводов кинематических передач, источников питания исключительно разнообразна, и это должно быть аргументом в пользу сохранения сложившихся подходов к рассматриваемой проблеме.

Известно, что на протяжении десятилетий усилия исследователей сосредотачивались на вопросах повышения управляемости технологических механизмов с использованием тех или иных систем электропривода, отличающихся особенностями преобразования энергии, принципами управления и т.п. Электромеханическая система, включающая преоб-

разовательные устройства, передаточные механизмы и производственный механизм, как элемент для системного анализа, не дошла до учебных пособий, и по-прежнему является материалом специальных исследований и диссертационных работ. И то, и другое, как правило, недоступно для целого поколения студентов и магистрантов.

Это объясняется отсутствием единого аппарата, который описывал бы звенья указанной цепи независимо от их физической природы. Этот аппарат должен быть создан и, естественно, он должен соответствовать основополагающему закону – закону сохранения энергии в той или иной форме записи. Естественно, если в условном сечении (в цепи энергопитания) исследователь оперирует такими понятиями как активная мощность, мощность реактивная или искажения, то и в других сечениях (например, производственный механизм), также должны быть аналогичные показатели энергопроцессов. Если же по физической природе выполнить такую эквивалентизацию показателей невозможно, то, очевидно, должна быть создана иная система показателей преобразования энергии, мощности. Отсутствие такого подхода, несомненно, обеднило теорию электропривода как науку, сделало ее уязвимой [30].

В электромеханике мало проблемных вопросов, которым в свое время уделялось бы столько внимания, сколько уделено проблеме оценки энергетических показателей в сетях, в электромеханических преобразователях, в электротехнических и электронных устройствах. С одной стороны, это обусловлено сложностью вопросов исследования электромеханических систем и их многоплановостью, с другой, – не совсем корректными существующими положениями, являющимися основополагающими при анализе. Некорректность обусловлена специфическими особенностями при переходе от мгновенных величин сигналов (напряжения и тока), определяющих мощность, к интегральным оценкам энергетических показателей [26-28, 31]. Некорректность не проявляется при синусоидальных сигналах; при несинусоидальных сигналах создаются предпосылки для некорректного толкования показателей энергопроцессов с использованием известных подходов. Принципиальный поворот к этому вопросу произошел в период появления мощных микропроцессорных систем, способных осуществлять математическую обработку и анализ сложных электротехнических сигналов. По существу, произошло акцентирование внимания на мгновенной мощности – основном сигнале, характеризующем составляющие мощности [26-28, 30-31].

Полученные результаты в той или иной мере позволяют получить принципиально новые показатели при оценке энергопотребления, энергоиспользования и энергоуправления. Основой теоретической базы метода мгновенной мощности является баланс гармонических составляющих мгновенной мощно-

сти источника питания и элементов электромеханической системы или комплекса [32-34]. Достаточно отметить, что в теории электропривода отсутствуют такие понятия как показатели энергопроцессов системы в переходном режиме (все составляющие энергетического режима определяются только в стационарном режиме), отсутствуют передаточные функции электромеханической системы по мощности без упрощающих предположений и др.

Так как энергопроцессы во временной области являются основополагающими в поведении электромеханической системы, то с помощью математического аппарата мгновенной мощности имеется реальная возможность решить многие перспективные вопросы теории и практики электропривода: компенсации составляющих мощности и их учета; идентификации параметров электрических машин; производственных механизмов; реализовать системы управления качеством преобразования энергии, повышения управляемости и др.

Проблема энергообменных процессов в электромеханике. Процессы преобразования энергии в электромеханических системах сложны и многообразны. Одна из составляющих энергетического режима – переменная во времени составляющая, характеризует энергообменный процесс между сетью и потребителем, технологическим механизмом и двигателем и др. Эти процессы наиболее просты в системах одиночного электропривода. Обратный поток энергии характеризует в основном возврат энергии от механизма в питающую энергосистему.

Генерирование энергии в тормозных режимах – одно из основных положительных качеств практических систем электропривода. В то же время, очевидно, что переменная составляющая мощности снижает энергетическую эффективность процесса преобразования. Более экономичным возможен режим, когда из сети потребляется только мощность, равная постоянной составляющей мощности потребителя. Переменная составляющая мощности при этом должна формироваться накопительно-компенсирующим устройством, накапливающим энергию, если механизм тормозится, и возвращающим ее двигателю системы привода при ускорении механизма или увеличении его нагрузки. Хорошо известна теория электропривода с механическими накопителями-маховиками [18, 20]. Здесь укажем перспективу электромеханических или электронных накопителей, которыми преобразуется переменная составляющая мощности двигателя без дополнительного маховика.

В этом заключается возможность реализации электроприводов с накопительно-компенсирующими устройствами. В настоящее время идея электропривода с накопителями-компенсаторами чаще всего ассоциируется с электроприводом автомобилей с гибридной трансмиссией, включающей двигатель внутреннего сгорания,

электрогенератор, тяговые двигатели и накопитель. Более общий вариант электропривода с накопителями-компенсаторами следует отнести к групповому электроприводу технологических комплексов с резко-переменной нагрузкой. Энергообменные процессы могут быть реализованы непосредственно между электроприводами, минуя питающую энергосистему.

Отсюда очевидно, что разработка таких систем сулит значительную экономическую выгоду в связи с тем, что так называемые «толчки» мощности, вызванные технологической нагрузкой отдельных электроприводов, изолируются от сети, чем снижаются потери энергии и негативное влияние на другие потребители.

Следует отметить, что указанные вопросы следует рассматривать как составляющие теории электроприводных систем ближайшего будущего. Достаточным основанием для возможной их практической реализации являются прогресс в силовой электронике, энергонакопительных устройств и систем управления ими.

Качество преобразования энергии в электромеханической системе. В электротехнике важными документами, характеризующими качество электроэнергии являются стандарты на ее качество. В большей степени этот показатель характерен для энергоснабжающих сетей, чем для отдельных потребителей – электроприводов, преобразователей, электрических машин. В реальных условиях работа электромеханических преобразователей может происходить при различных соотношениях показателей качества электроэнергии и качества конструкции электрической машины (несимметрия конструкции, изношенность подшипников, степень насыщения стали и др.).

Показатели качества преобразования энергии – совокупность оценок постоянной и переменной составляющих момента, неравномерности нагревания обмоток, изношенности механических частей, уровней вибрации и др. [28, 30, 34]. Теория оценок показателей качества преобразования до настоящего времени не разработана. По указанной причине важным вопросом является разработка систем управления качеством преобразования при возможных сочетаниях показателей качества электроэнергии и состояния электрофицированного агрегата.

Пуск и трогание в системах электропривода. В теории электропривода понятие динамического режима ассоциируется с одним из наиболее ответственных режимов – разгоном до заданной скорости с конкретной нагрузкой. Режиму разгона предшествует этап трогания двигателя и механизма. Отсутствие рационального решения режима трогания в проектах многих электроприводов с тяжелыми условиями пуска вызывает необходимость произведения нескольких повторных пусков. Чаще всего затруднения с троганием связаны с особенностями формиро-

вания момента в технологическом механизме или в подшипниках. Слабая изученность вопроса, отсутствие универсальных, общих подходов является причиной того, что в промышленности опробовано и используется большое число технических решений, цель которых улучшить, обеспечить приемлемые режимы процесса трогания [29]. Такие системы неоправданно называются пусковыми или облегченного пуска. Задачу оценивания момента при трогании следует решать в теории электропривода с учетом статического коэффициента трения между поверхностями при наличии смазки и без нее, с учетом реологических свойств материалов в технологических механизмах и др. Это обстоятельство позволяет в большинстве случаев задачу облегчения пуска решать в два этапа: обеспечить трогание с помощью простейших устройств электропитания на первом этапе и последующий нормальный пуск по стандартной схеме.

Формализация не четко сформулированных положений. В теории электропривода часто используются понятия, сформулированные многие десятилетия назад в достаточно общей постановке, т.е. не четко. К таким понятиям следует отнести понятие об управляемости электромеханической системы, показателей регулирования скорости и др. [6-7, 17-18, 20]. Нетрудно оценить известное понятие устойчивости системы, если учесть, что оно четко математизировано и приобрело качество одного из самых главных показателей работоспособности замкнутой системы. В таком уровне формализации нуждаются понятия управляемости, показателей регулирования скорости. Теоретического обоснования понятия управляемости до сих пор нет, хотя очевидно, что с его помощью могут быть конкретизированы требования к системе электропривода, преобразовательным устройствам и др. Нерешенность этого вопроса приводит к совершенно неожиданным результатам. Так, фирмы изготовители электрооборудования, подходят к данному вопросу путем расширения объема возможных операций, которые могут быть реализованы с помощью изделия. При этом, как показывает анализ, до 90 % возможностей изделия на практике в конкретном случае не используется: одних операций нет, а другие оказываются излишними. Очевидно, что для правильного решения вопроса управляемости должно быть соблюдено соответствие аналогичных показателей технологического механизма и системы привода к нему. Укажем здесь, что характеристики конкретной системы привода и технологического механизма однозначно характеризуют режим энергопотребления при тестовых управляющих и возмущающих воздействиях. В этой связи показатель управляемости может быть выражен через соответствующие энергетические характеристики электромеханического комплекса.

Проблема изменения характеристик системы.

Анализ показывает, что существующий подход к оценке работоспособности электрифицированного агрегата, по существу, имеет два уровня: работоспособен или неработоспособен (выведен из эксплуатации в результате аварийного отключения защитными устройствами или выведен из работы по признакам (временный интервал для ремонта или в результате обнаружения развивающихся предаварийных процессов)). Изменения в поведении агрегата накапливаются в процессе работы, т.е. в результате преобразования энергии в контролируемом интервале времени. Изменения характеристик, как правило, длительный процесс, связанный с износом подшипников, старением изоляции, электротехнической стали и др. Контроль состояния электромеханической системы по энергетическим параметрам – реальный путь оценивания работоспособности комплекса [30-31, 33].

Проблема экстремальных энергетических воздействий. Не менее значимы, а в отдельных случаях – более, экстремальные энергетические воздействия, связанные с изменением работы оборудования: при пуске электродвигателей, их отключении от сети при оперативных действиях, а также в результате аварийных отключений. Прямой пуск двигателей представляет собой воздействие, приводящее к динамическим нагрузкам в электромеханическом комплексе, в местах крепления двигателя к фундаменту, в кинематических передачах. Уровни этих перегрузок существенным образом зависят от параметров сети и электрического двигателя, особенностей работы коммутационной аппаратуры; тепловые воздействия на конструкцию двигателя зависят как от его параметров, так и от нагрузки. Анализ энергетических режимов при пуске позволяет идентифицировать как параметры двигателя, так и параметры нагрузки.

Отключение электрических машин с помощью коммутационной аппаратуры электромеханического типа связано с перенапряжениями, возникающими в результате разряда энергии магнитного поля. Часть ее гасится на изоляции, вызывая быстрый ее износ и разрушение. Параметры переходного процесса зависят как от параметров двигателя, так и характеристик коммутационного аппарата, при этом: чем качественнее аппарат, тем больше уровень перенапряжений. Здесь, как и ранее, очевидна важность знания точных параметров схемы замещения двигателя. Повышение уровня интеллекта системы контроля параметров электродвигателей других механизмов посредством анализа энергопроцессов – возможный путь решения проблемы.

Проблема управления аварийными процессами в электромеханических комплексах. Аварийное отключение как явление связано с возможными тяжелыми последствиями. В этой связи следует отметить, что в традиционных курсах не поднимается вообще вопрос анализа аварийных режимов в раз-

ных звеньях электромеханической системы. Перенос этого вопроса в разряд специальных в конечном итоге означает некачественность анализа. То обстоятельство, что аварийный режим всегда связан с изменением энергетического состояния электромагнитных компонент электрооборудования, вращающихся частей двигателя и технологического оборудования. В этой связи важен анализ энергопроцессов при аварии с одной стороны, а с другой, – оправдана постановка вопроса об управлении аварийной ситуацией в электромеханическом комплексе. Очевидно, что такая возможность появляется при аварийных отключениях, связанных с последствиями в технологических цепях при исправном электромеханическом преобразователе. Аварийные отключения, вызванные определенными ситуациями в системе электропитания, как известно, также могут быть включены в класс тех, когда существует возможность управления остановом агрегата при наличии накопительно-компенсирующих возможностей.

Проблема непрерывной и периодической идентификации электромеханических систем. Выполненный анализ, во всех аспектах ставящейся проблемы, указывает, что ни одна из задач энергетического характера не может быть решена без решения сопутствующей задачи идентификации параметров преобразователя энергии.

Идентификационная задача энергетическим методом с использованием уравнений баланса составляющих мгновенной мощности может быть отнесена к классу корректно решенных, проверенных экспериментально и готовых к использованию на практике [33-34]. Это позволяет исключить ее из числа проблемных, но готовой к использованию при комплексном анализе энергопроцессов в электромеханических системах.

Выводы. Термин энергосбережение в электромеханических системах существенно уже, чем термин энергоресурсосбережение в виду того, что последний охватывает практически все стороны мероприятия по повышению эффективности: непосредственно энергетический эффект, эффект от повышения долговечности функционирования электрооборудования и технологического механизма, снижения экологического воздействия и др. Показатели энергоресурсосбережения должны определяться с учетом характеристик преобразования энергии во всех звеньях электромеханического комплекса. Отдельные показатели комплексной оценки энергоресурсосберегающего мероприятия могут быть отрицательными, вследствие чего задача поиска лучшего решения может носить оптимизационный характер.

Развитие теории электропривода в последние годы характеризовалось снижением сферы исследований в связи с углублением анализа процессов в электрических машинах - с одной стороны, и введением в исследовательский процесс теории электропривода задач управления электромеханическими

системами – с другой. Задачи энергетического характера в теории электропривода до настоящего времени остаются второстепенными в силу того, что при анализе используются традиционные (интегральные) методы анализа энергопроцессов. Результаты исследований энергопроцессов с использованием метода мгновенной мощности позволяют существенно усилить позиции теории электропривода как прикладной науки, основной задачей которой была и должна быть задача повышения экономической эффективности, технического совершенства электромеханических систем.

Исследование энергетики электроприводных систем во временной области позволяет оценить показатели качества преобразования энергии в электромеханических системах с целью определения теплоэнергетических воздействий – компонент при формировании потерь мощности, неравномерного нагревания обмоток, теплового и электростатического воздействия на изоляцию, вибрационных характеристик, а также экстремальных воздействий при пуске, торможении, аварийном отключении. Упомянутые параметры, в конечном итоге, определяют реальный уровень работоспособности оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильинский Н.Ф., Рожановский Ю.В., Горнов А.О. Энергосбережение в электроприводе. – М.: Высшая школа, 1989. – 126 с.
2. Энергосбережение средствами промышленного электропривода / А.Н. Закладной, А.В. Праховник, А.И. Соловей – К.: ІЕЕ НТУУ „КПІ”, 2001. – 472 с.
3. Родькин Д.И. Энергосбережение – как закономерный этап электрификации народного хозяйства // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КДПУ/ Вып. 1/2000 (8) – Кременчуг: КГПИ, 2000. – С.177-183.
4. Попович М.Г., Лозинський В.Б., Клепиков В.Б. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводе. - К.: Либідь, 2005. - 680 с.
5. Шенфельд Р., Хабигер Э. Автоматизированные электроприводы: Пер. с нем. / Под ред. Ю.А. Борцова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 464 с.
6. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. - М.: Энергия, 1979. - 616 с.
7. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 544 с.
8. Шинкаренко Н.В. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288с.
9. Сборник материалов V международной (XVI Всероссийской) научной конференции: 18-21 сентября 2007г. – Санкт-Петербург, 2007.
10. Электроприводы переменного тока: Труды

международной четырнадцатой научно-технической конференции. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. – 360 с.

11. Збірник наукових праць ДДТУ. Тематичний випуск „Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія й практика”: - Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007. – 607 с.

12. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: наукові праці КДПУ.- Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 3 (44). Частина 1. - 180 с.

13. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: наукові праці КДПУ.- Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 3 (44). Частина 2. - 181 с.

14. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: наукові праці КДПУ.- Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 4 (45). Частина 1. - 179 с.

15. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського: наукові праці КДПУ.- Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 4 (45). Частина 2. - 90 с.

16. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздушных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.

17. Голован А.Т. Основы электропривода. М.: Госэнергоиздат, 1959. – 290 с.

18. Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. - 772 с.

19. Онищенко Г.Б. Электрический привод. Учеб. для вузов – М.: РАСХН. 2003. – 320 с.

20. Зеленов А.Б. Теория электропривода. Часть I: Учеб. пособ. – Алчевск: ДонГТУ, 2005. – 394 с.

21. Зеленов А.Б. Теория электропривода. Часть II: Учеб. пособ. – Алчевск: ДонГТУ, 2005. – 513 с.

22. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.

23. Попович Н.Г. и др. Теория электропривода. - К.: Высш. школа, 1993. – 494 с.

24. Колб А., Колб А.А. Теория электропривода. – Днепропетровск: НГУ, 2006. – 514 с.

25. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. - М.: Энергоатомиздат, 1981. – 576 с.

26. Родькин Д.И. Оценка составляющих мгновенной мощности полигармонических сигналов // Электроинформ. Экоинформ. - Киев, 2003. – Вып. №3. - С. 13-15.

27. Родькин Д.И. Декомпозиция составляющих мощности полигармонических сигналов. // Электротехника, 2003. - Вып. №3. - С. 34-37.

28. Родькин Д.И., Бялобржеский А.В., Ломонос А.И. Показатели энергопроцессов в сети с полигармоническим напряжением и током // Электротехника, 2004. - Вып. №6. - С. 37-42.

29. Родькин Д.И., Черный А.П., Живора В.Ф., Коренькова Т.В., Гладырь А.И. Пусковые системы нерегулируемых приводов в задачах энергоресурсосбережения // Збірник наукових праць „Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика”. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. - Вып. №10. – Т.1. – С.235-243.

30. Родькин Д.И. О необходимости разделения понятий качества потребления и преобразования энергии // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: наукові праці КДПУ.- Кременчук: КДПУ, 2003. – Вип.2(19), Т1. –С.143-148.

31. Родькин Д.И., Кожушок Г.Н. Особенности использования метода энергодиагностики / Збірник наукових праць „Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика”. – Харків: ХПУ, 2002. - Т.2. - С.526-531.

32. Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В. Мгновенная мощность нелинейных элементов электрической цепи // XIV міжнар. наук.-техн. конф. „Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика.” Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – Днепродзержинск: ДГТУ, 2007. – С.501-506.

33. Родькин Д.И., Калинов А.П., Ромашихин Ю.В. Эффективность метода энергодиагностики параметров двигателей переменного тока // Электроприводы переменного тока: Труды международной 14 НТК. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТИ-УПИ, 2007. - С. 273-278.

34. Родькин Д.И., Огарь В.О., Ромашихин Ю.В. О разделении на составляющие потерь в стали электрических машин // XIV міжнар. наук.-техн. конф. „Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика.” Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – Днепродзержинск: ДГТУ, 2007. – С. 495-500.

Стаття надійшла 08.05.2008 р.