

УДК 621.3.016.2:621.311.1

**М. В. Загирняк, Д. И. Родькин, А. П. Черный**, доктора техн. наук,  
**Т. В. Коренькова**, канд. техн. наук

### **НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ МГНОВЕННОЙ МОЩНОСТИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ**

*Аннотация.* Определены структура и направления дальнейшего развития и применения теории мгновенной мощности в электромеханике. Предложена схема исследований по проблеме энергопреобразований. Показаны возможности применения метода мгновенной мощности в задачах идентификации параметров электромеханических систем, энергодиагностики, оценки качества преобразования энергии и энергетической управляемости, в вопросах педагогики.

**М. В. Загирняк, Д. Й. Родькин, О. П. Чорний**, доктора техн. наук,  
**Т. В. Коренькова**, канд. техн. наук

### **НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТЕОРІЇ МИТТЄВОЇ ПОТУЖНОСТІ І ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ В ЗАДАЧАХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ**

*Анотація.* Визначено структуру й напрямки подальшого розвитку й застосування теорії миттєвої потужності в електромеханіці. Запропоновано схему досліджень за проблемою енергоперетворень. Показано можливості застосування методу миттєвої потужності в задачах ідентифікації параметрів електромеханічних систем, енергодіагностики, оцінки якості перетворення енергії й енергетичної керованості, у питаннях педагогіки.

**M. V. Zagirnyak, D. I. Rodkin, O. P. Chorny, ScD,**  
**T. V. Korenkova**, канд. техн. наук

### **DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE THEORY OF INSTANTANEOUS POWER AND ITS APPLICATION TO PROBLEMS OF ELECTRICAL ENGINEERING**

*Abstract.* A structure and directions of further development and application of instantaneous power theory in electromechanics have been determined. The scheme of research on issue of energy transformations has been offered. Possibilities of application of instantaneous power method in the problems of authentication of electromechanics systems parameters, energy diagnostics, estimations of energy transformation quality and power controllability, in the questions of pedagogies have been demonstrated.

**Введение.** В последнее время в связи со складывающейся ситуацией в энергетическом секторе мирового экономического базиса и, прежде всего, в связи с рядом катастроф в энергетическом хозяйстве развивающихся и передовых в техническом отношении стран (на Саяно-Шушенской ГЭС в России, на АЭС Фукусима 1 в Японии и др.) активизировались дискуссии о направлениях развития электроэнергетики и использования электрической энергии в промышленности, сельском хозяйстве и быту. Примечательно, что эти явления постепенно приводят к пересмотру годами сложившихся подходов в оценке показателей энергопроцессов на всех стадиях производства, передачи и использования электрической энергии.

На первый план в указанных вопросах выступает решение проблемы использования альтернативных источников электрической энергии, повышения эффективности электротехнических установок, качества преобразования энергии, совершенствования хозяйственных механизмов между производителями и потребителями электрической энергии. Выполнение огромного спектра мероприятий, необходимых для решения указанных проблем, возможно лишь при создании и развитии промышленной базы для энергоэффективного управления потоками электрической энергии на базе статических устройств и систем, с использованием накопителей энергии с высокими технико-экономическими показателями, новых концептуаль-

ных подходов к оценке энергетических режимов и управления ими.

Реализация указанных мероприятий требует совершенствования математического аппарата, позволяющего осуществлять оценку энергопроцессов и эффективности использования энергии потребителями, каждый из которых, в свою очередь, является преобразователем энергии одного вида в другой; оценку эффективности и влияния процесса преобразования непосредственно на источник и сам преобразователь. Существующая концепция анализа энергопроцессов базируется на показателях качества электроэнергии преимущественно на выходе источника питания. Исходя из этого, строятся многие элементы хозрасчетного механизма между потребителями и поставщиками энергии, причем очевидна необходимость дуального учета взаимоотношений между потребителем и энергосистемой.

Практическое решение этих проблем на существующем теоретическом и аппаратном уровне невозможно, так как оценки энергопроцессов на основе интегральных методов, в силу их специфики, не позволяют получить адекватные результаты.

Теория анализа энергопроцессов, отвечающая поставленным задачам, создается нами в настоящее время. Анализ литературных источников показывает, что ранее предпринимались попытки создания аппарата мгновенной мощности без использования интегральных критериев [1, 5, 10]. Однако эти подходы базируются на том, что все операции по оценке показателей энергопроцессов осуществляются во времен-

ной области на основе периодических зависимостей напряжения  $U(t)$ , тока  $I(t)$  и мгновенной мощности  $P(t) = U(t)I(t)$ . Однако, следует учитывать, что в общем виде теория энергопроцессов должна охватывать любые формы сигналов, будучи работоспособной для устройств и систем, где преобразование энергии осуществляется с различными физическими принципами: сигналов с меняющейся частотой и амплитудой; непериодических сигналов, например, в силовой цепи постоянного тока и др.

**Цель работы.** Определение спектра и глубины исследований по проблематике мгновенной мощности, оценка путей использования получаемых результатов в электромеханике.

**Материал и результаты исследования.** Интерес к проблеме преобразования энергии заметно вырос в середине 90-х годов прошлого столетия, когда, в основном, в связи с достижениями в освоении преобразовательных устройств, цифровых систем измерения и управления, появилась возможность анализа мощности во временной области, так же, как и сигналов напряжения и тока.

Указанные сигналы в связи с тем, что они формируются с использованием нелинейных элементов – устройств силовой электроники, – даже в первом приближении недопустимо представлять как сигналы без искажений, т. е. синусоидальными. Какая бы теория ни создавалась, она должна быть работоспособной с несинусоидальными сигналами, с тем или иным спектром гармоник.

Вопросы энергетики, энергоэффективности не могут быть решены лишь сосредоточением сил в одном каком-то направлении в силу целого ряда проблемных вопросов:

сложностью накопившихся проблем во всех сферах деятельности, связанных с потреблением энергии; отсутствием или недостаточным объемом координации в реализации мероприятий;

односторонним или достаточно узким подходом в решении задач энергосбережения.

Более 10 лет назад было сформулировано правило трех «Э», касающееся широкого толкования проблемы энергоэффективности. Положительный результат, его значимость могут быть получены при комплексном решении вопросов [6]:

- энергопотребления;
- энергоиспользования;
- энергоуправления.

Такой подход к решению указанной выше проблемы по существу переводит ее в плоскость энергоресурсосбережения, так как широкое толкование энергоэффективности связано как с непосредственным снижением потребления энергии, так и с эффективным использованием материальных ресурсов (снижением металлоемкости, повышением надежности оборудования и др.).

Дополнительно упомянутое правило указывает на необходимость анализа процессов преобразования энергии во всех звеньях цепи, определяющей структуру питающей сети, электромеханической системы (ЭМС) и производственного механизма. Указываемые

звенья могут иметь разную физическую природу, что определяет соответствующую картину преобразования в каждом из звеньев комплекса; в то же время объективные законы природы и, прежде всего, закон сохранения энергии, определяют единство, преемственность и последовательность протекания процессов преобразования энергии.

Это указывает на необходимость создания общей теоретической базы, показателей и характеристик энергопроцессов независимо от того, в каком из звеньев они протекают. Такой подход позволяет в значительной мере решать разные технические и технологические задачи с соблюдением правила трех «Э» или приближения в той или иной мере к нему.

На современном этапе технического прогресса все шире используются компьютерные системы и технологии, позволяющие, кроме всего прочего, уточнять, упрощать, делать более совершенными методы и технику измерения технических параметров, базировавшихся ранее, преимущественно, на электромеханических устройствах. В полной мере это касается и техники измерения электрических сигналов в электрических цепях, где начинают широко использоваться цифровые измерительные устройства чаще всего с ограниченными функциональными возможностями в силу известных противоречий между качеством продукции и доступности ее потребителю.

По мнению авторов, аппаратом для исследования и оценивания энергетических характеристик устройств и систем с разными видами происходящих физических процессов является метод, базирующийся на анализе временных зависимостей основного показателя энергетической эффективности – мгновенных значений мощности или проще – мгновенной мощности. Этот термин чаще всего ассоциируется с соответствующим показателем в электрических цепях.

Здесь следует подчеркнуть, что в теоретических подходах к оценке параметров и характеристик энергетического режима с использованием аппарата мгновенной мощности в равной степени важно прямое использование временных зависимостей компонент, образующих в форме произведения мгновенную мощность, но, и это самое главное, создаваемый аппарат может и должен быть единым как для разнообразных электрических цепей, так и для других, включая механические, гидромеханические устройства и системы. Получаемые при этом преимущества вполне очевидны.

В работах [3, 4] показано, что при использовании теорий, базирующихся на интегральных критериях, закон сохранения энергии соблюдается в среднем на периоде периодического сигнала, но может не сохраняться внутри этого интервала, причем ошибки могут быть как положительными, так и отрицательными, в зависимости от времени (точки внутри периода повторения анализируемых сигналов).

Сделанные выводы, а также результаты, которые могут быть получены в дальнейшем, справедливы лишь для периодических сигналов или применимы всегда, где используется математический аппарат мгновенной мощности вне зависимости от средств

для математической интерпретации (аппроксимации) электрических сигналов.

Возникает вопрос, создает ли аппарат мгновенной мощности предпосылки для создания общей методологической базы для оценки процессов преобразования энергии при любых формах электрических сигналов и в любых цепях (цепях постоянного тока, нелинейных цепях), можно ли использовать получаемые результаты для исследования энергопроцессов в иных средах и системах, в частности, в механических, гидравлических системах, а также в комплексах, включающих конструктивные или технологические сочетания перечисленных систем, и др. Затрагиваемый здесь вопрос важен в том плане, что при едином математическом аппарате описания картины энергопреобразований появляется возможность управления технологическими комплексами в статических и динамических режимах.

Важным является вопрос о создании аппарата для исследования энергетических режимов сложных электрических цепей и систем, идентификации параметров на основании анализа реальных сигналов в цепях преобразования энергии.

Ответ на поставленные вопросы, по существу, позволит существенно углубить понимание природы энергопреобразований, комментировать результаты энергопреобразований в важные проблемы управления электротехническими и электромеханическими системами с позиций формальной логики процессов преобразования энергии.

*Математический аппарат мгновенной мощности.* Представим мгновенные значения сигналов напряжения и тока, состоящими из ряда гармонических [8]:

$$U(t) = \sum_{n=0}^N U_{na} \cos(n\Omega t - \varphi_n) = \sum_{n=0}^N I_{na} \cos(n\Omega t) + \sum_{n=0}^N I_{nb} \sin(n\Omega t); \quad (1)$$

$$I(t) = \sum_{m=0}^M I_{ma} \cos(m\Omega t - \psi_m) = \sum_{m=0}^M I_{ma} \cos(m\Omega t) + \sum_{m=0}^M I_{mb} \sin(m\Omega t), \quad (2)$$

где  $n, m$  – номера гармоник напряжения и тока, соответственно;  $N, M$  – число составляющих напряжения и тока;  $\varphi, \psi$  – фазовые углы.

Таким образом, мгновенная мощность состоит из суммы трех составляющих – постоянной активной мощности, а также знакопеременных активной и реактивной мощностей (косинусных и синусных):

$$P(t) = U(t)I(t) = \sum_{n=1}^N U_{na} \cos(n\Omega t - \varphi_n) \times \sum_{m=1}^M I_{ma} \cos(m\Omega t - \psi_m) = P_{0\Sigma} + \sum_{k=1}^K P_{ka} \cos(k\Omega t) + \sum_{k=1}^K P_{kb} \sin(k\Omega t), \quad (3)$$

где  $P_{0\Sigma}$  – суммарная постоянная составляющая мгновенной мощности;  $P_{ka}$  – косинусная составляющая мгновенной мощности;  $P_{kb}$  – синусная составляющая

мгновенной мощности;  $k$  – номер гармоники мощности ( $k = |m \pm n|$ );  $K$  – число составляющих мощности.

Дальнейший анализ выражения (3) показал, что мгновенная мощность включает в себя сумму следующих групп составляющих. Первая группа определяется перемножением одночастотных ( $m = n$ ) компонент напряжения и тока и образует постоянную и каноническую составляющие мощности. Вторая группа составляющих определяется произведением разночастотных ( $m \neq n$ ) компонент напряжения и тока и представляет собой неканонические составляющие мощности.

Тогда сигнал мгновенной мощности

$$P(t) = P_0 + P_{ka_c}(t) + P_{ka_s}(t) + P_{kb_c}(t) + P_{kb_s}(t), \quad (4)$$

где  $P_0$  – постоянная составляющая мгновенной мощности;  $P_{ka_c}(t)$  – косинусная составляющая мгновенной мощности канонического порядка;  $P_{ka_s}(t)$  – косинусная составляющая мгновенной мощности неканонического порядка;  $P_{kb_c}(t)$  – синусная составляющая мгновенной мощности канонического порядка;  $P_{kb_s}(t)$  – синусная составляющая мгновенной мощности неканонического порядка.

Полученный результат позволяет выполнить интерпретацию закона сохранения энергии в нескольких формах, учитывающих разную степень соответствия математической формализации анализируемых процессов реальной физической картине энергопреобразования.

Общая, или полная, форма закона сохранения энергии означает, что мгновенная мощность источника в любой точке анализируемого интервала равна сумме мгновенных значений составляющих мощности отдельных компонент, т.е.

$$P(t) = \sum_{i=0}^{i=k} P_i(t). \quad (5)$$

Другими словами, мгновенная мощность объекта равна сумме мгновенных мощностей всех гармоник мощности, полученных в результате умножения мгновенных значений напряжения  $U(t)$  и тока  $I(t)$ .

При этом следует иметь в виду, что количество гармоник мощности определяется гармоническим составом напряжения и тока в результате умножения соответствующих аппроксимирующих рядов. Порядок гармоник мощности зависит от частот гармоник напряжения и тока.

*Баланс составляющих гармоник мгновенной мощности.* Аппарат мгновенной мощности позволяет получить три системы баланса составляющих мгновенной мощности – по постоянной составляющей и двум знакопеременным составляющим на соответствующих гармониках (косинусной и синусной). Использование баланса составляющих мгновенной мощности приводит к появлению значительного числа идентификационных уравнений для определения электромагнитных параметров электрических двигателей и др.

Приведенный выше анализ убедительно подводит к необходимости исключить из практики использование понятия полной мощности в цепях с полигармоническими напряжением и током, что обусловлено грубейшим нарушением закона сохранения энергии [7, 8].

Получаемые ошибки неизбежны в связи с тем, что на комплекс полигармонических сигналов исследователями автоматически перенесены методологические подходы при анализе гармонических сигналов. Это приводит к ошибке принципиального характера: действия над эффективными значениями токов и напряжений, в частности, их произведение (операция определения полной мощности) вынесло из поля зрения необходимые операции с временными сигналами мощности (произведением временных сигналов напряжения и тока).

*Расширение возможностей теоремы Телледжена при исследовании энергопроцессов.* Основными положениями в теории электрических цепей являются законы Ома и Кирхгофа, на основании которых базируются методы анализа и синтеза. Эти законы, каждый по-своему, подтверждают ту или иную сторону всеобщего закона – закона сохранения энергии.

Теорема Телледжена, появившаяся в открытой печати значительно позже, чем принципиальные положения Ома и Кирхгофа, затрагивает, по сути, одну сторону – выполнение закона сохранения энергии между источником и потребителем, т. е. между двумя сферами, где законы Ома и Кирхгофа выполняются в полной мере, без каких бы то ни было дополнительных условий.

Решение указанного комплекса вопросов возможно, если в качестве принципа оценки правильности или неправильности того или иного результата находится подход, базирующийся на основополагающих законах природы. В данном случае можно говорить лишь о законе сохранения энергии, представляемом в форме балансов энергий, мощностей и т. п.

Таким инструментарием, по нашему мнению, является одна из центральных теорем электротехники – теорема Телледжена, представляющая закон сохранения энергии для электрических цепей в самой общей форме, в чем, по существу, и заключается ее фундаментальность. По целому ряду причин теорема достаточно редко используется на практике, в отличие от законов Ома, Кирхгофа и др.

Теорема Телледжена в общей постановке отражает суть закона сохранения энергии в электрических цепях и, как следствие этого, по существу является отправной точкой при исследовании того или иного вопроса: нарушение закона сохранения энергии всегда свидетельствует или о заблуждении, или о стремлении выдать желаемое за действительное. По этой причине оправдана любая прямая или косвенная проверка результатов исследования на корректность в отношении соответствия закону сохранения энергии, что представляет собой прямое использование теоремы Телледжена [8]. В цепях постоянного тока – это баланс мощности источника и мощности потребителя;

в цепях с синусоидальными напряжениями и токами – это баланс активной мощности, а также баланс реактивной мощности. Более сложный случай имеет место в цепях с несинусоидальными напряжениями и токами; заслуживают особого внимания цепи с нелинейными нагрузками и т. п. Приемлемость теоремы Телледжена в таких случаях предпочтительнее принимать в качестве аксиоматической предпосылки; в то же время практическая проверка результатов исследования на соответствие теореме не всегда является простой и очевидной задачей.

*Структура исследований по использованию теории мгновенной мощности.* В последние пятнадцать лет наблюдается существенный рост публикаций по проблеме энергопреобразований в электротехнических системах в связи с возникшими трудностями при их формализации на основе существующей теории с использованием понятий полной мощности, мощности искажения и т. п. В результате, по существу, был создан теоретический базис для формирования общей теории энергопроцессов с использованием и расширением понятия мгновенной мощности. Сформированные ранее представления, как и созданные новые, используются разными исследователями с равным успехом. Некоторое оправдание сложившемуся положению, по-видимому, заключается в том, что теоретические аспекты мгновенной мощности не доведены до необходимых стадий практического использования, существуют определенные сложности в понимании того, почему новый теоретический подход и его применение компенсируют существенную сложность получаемых результатов; наконец, не определены те зоны, где могут использоваться установленные представления и где необходим переход на те результаты, которые непосредственно вытекают из теории мгновенной мощности.

Комплекс работ, затрагивающих проблематику мгновенной мощности, достаточно условно можно разделить на пять направлений (рис. 1):

- общие вопросы теории энергопроцессов;
- вопросы управления энергопроцессами, улучшения гармонического состава напряжения и тока;
- применение теоремы энергопроцессов в идентификационных и иных задачах;
- разработка терминологических понятий, определений, стандартов;
- вопросы измерения параметров электроэнергии, учета, тарификации.

Анализ приведенной схемы существенно упрощает понимание сущности путей, на которых реализуется ряд направлений. Наиболее значимыми являются методы оценки энергопроцессов с целью создания устройств для улучшения качественных показателей энергопроцессов путем использования активных фильтров гармонического тока, т.е. снижения мгновенных значений переменных составляющих мощности. Это направление работ оказалось наиболее плодотворным в связи с тем, что промышленность в целом оказалась готовой к широкому внедрению фильтров и компенсаторов в связи с освоением транзисторных регуляторов напряжения частоты и тока с широт-

но-импульсным управлением выходными параметрами. Техническая база активных фильтров и компенсаторов достаточно близка по своим физическим принципам работы с широко известными преобразователями частоты с инверторами напряжения. Список публикаций, затрагивающих это направление, в настоящее время близок к сотне; в том числе заслуживают

внимания публикации [5, 10]. Первая из них достаточно полно излагает историю развития методов анализа энергетических режимов в цепях переменного тока. Открытость анализа в этом направлении понятна: будучи в числе первых, кто поставил своей целью использовать возможности мгновенной мощности в научной и практической целях, авторы пришли



Рис.1. Схема исследований по проблеме анализа энергопреобразований

к выводу о необходимости переломить сложившиеся методы и представления полнотой и объективностью исследования. Авторы анализируют процессы только в сетях переменного тока, не уделяя внимания проблеме соответствия энергетических режимов источника питания и потребителей.

Оригинальными работами в данном направлении следует считать публикации профессора Жемерова Г.Г. [2], посвященные вопросам повышения энергетических показателей статических преобразователей промышленных приводов. Наряду с созданием теории энергопроцессов в исследовании решена важная техническая задача создания интегрированных с силовой частью преобразователей устройств компенсации гармонических составляющих тока и реактивной мощности на первой гармонике. Востребованность таких исследований несомненна.

Определенное место в комплексе исследований, затрагивающих проблематику мгновенной мощности, по понятным причинам должны занимать исследования по оценке учета энергии, определения перспективных схем финансового взаимодействия между энергетической системой и потребителем. Следует констатировать, однако, что, невзирая на важность вопросов измерения и тарификации для совершенствования хозяйственных механизмов, глубина исследований в данном направлении развита недостаточно. Это можно объяснить, прежде всего, тем, что инерция

в переоценке возможностей существующих и перспективных подходов значительна.

Второе направление работ в плане использования мгновенной мощности реализовано авторами в работах [6-9]. Условно характеризовать их можно так: это работы, посвященные изучению, оцениванию параметров и характеристик потребителей разного рода (в том числе и потребителей с отличной от электроэнергетической направленности природой), устройств и систем с нелинейными характеристиками элементов. В самой общей постановке подобного рода работы связывают с задачами идентификации параметров энергообразования и др. Класс таких задач чрезвычайно широк, если учесть сложность объектов как по структуре их, так и по характеру происходящих в них процессов. Наглядным примером могут служить электротехнические и электромеханические комплексы, включающие элементы электроснабжающей сети, преобразовательные устройства, электрические машины, передаточные механизмы, трансмиссии и непосредственно сам производственный объект.

С использованием аппарата мгновенной мощности разработана энергетическая теория идентификации электрических машин, в основу которой заложены положения, расширяющие некоторые, существующие уже, представления в плане трактовки энергопреобразований:

неприменимость понятия полной мощности с сигналами тока и напряжения полной мощности, как несоответствующего закону сохранения энергии;

разработаны принципы построения систем идентификационных уравнений, включающих уравнения баланса гармоник мощности, образованных компонентами напряжения и тока, что позволяет идентифицировать параметры схем замещения электрических машин практически любой сложности;

показана возможность использования энергетического метода для идентификации параметров электрических машин в случае сигналов напряжения и тока произвольной формы, включая машины постоянного тока;

обоснована возможность использования метода мгновенной мощности при идентификации параметров электромеханических комплексов, включающих преобразовательные устройства, электрические машины и производственный механизм.

Заслуживают внимания вопросы использования метода мгновенной мощности с сигналами произвольной формы с разложением их на произвольном промежутке путем получения так называемых псевдополигармонических сигналов, что позволяет идентифицировать параметры электромеханических систем без вспомогательного оборудования – источников полигармонического напряжения.

Метод мгновенной мощности может быть достаточно эффективным при идентификации нелинейностей, входящих в структуру электромеханических и иных преобразователей энергии. При решении широкого класса подобных задач нелинейность заменяется источником ЭДС и линейным элементом, зависящим от характеристик нелинейности; в уравнения энергетического баланса включаются составляющие мощности источника ЭДС и линейного элемента наряду с зависимостями мгновенной мощности других элементов анализируемой схемы замещения конкретного электротехнического изделия. Развитие метода видится в создании расчетных математических продуктов с учетом не только непосредственно нелинейности, но и потерь мощности в этих элементах. При этом следует иметь в виду, что сам механизм образования потерь в общих чертах имеет определенную физическую природу, однако математической формализации процессов преобразования мощности до настоящего времени по существу нет.

Вопрос о выполнении научных работ по оценке показателей качества преобразования энергии в электромеханике, сформулированный в [9], относится к одному из приоритетных направлений ввиду важности возможных полученных результатов для эффективного энергоиспользования. Следует и здесь отметить, что показатели качества электроэнергии и показатели качества преобразования энергии – отнюдь не однозначные понятия и формализующие их оценки. Первый показатель или их совокупность определяют качество продукта, предлагаемого энергосистемой потребителю – электроэнергии, зависящее от характеристик генерирующего устройства и питающей сети, а также воздействия потребителей на общий энергетический процесс.

При этом потребитель может рассматриваться как одиночный, так и групповой.

Качество преобразования энергии – показатель или их совокупность, относящиеся непосредственно к конкретному устройству, характеризующему потребителя или его активную часть, например, электрический двигатель системы электропривода. Указанный показатель или их совокупность определяют показатели процесса преобразования энергии одного вида в другой. На этот процесс, естественно, существенное влияние оказывает система электропитания, но в большей части он зависит от внутренних характеристик двигателя, включая потери в меди, стали, показатели вибропараметров, особенности соединения машины с основанием и технологическим механизмом.

В полной мере показатели качества преобразования энергии могут быть оценены с использованием математического аппарата мгновенной мощности. До настоящего времени, несмотря на открывающиеся возможности использования показателей качества преобразования энергии в решении задач энергосбережения, результаты носят фрагментальный или декларативный характер, что, несомненно, не позволяет их использовать на практике. Таким образом, по-прежнему заслуживает внимания вопрос создания теоретической базы для оценки как показателей качества преобразования энергии, так и влияния их на общий энергоэкономический эффект.

Хорошо известные из теории управления задачи чаще всего решаются на основании формализованных понятий поведения корней характеристических уравнений систем управления разной физической природы. Положительность вещественной части хотя бы одного из корней характеристического уравнения приводит к неустойчивому, расходящемуся переходному процессу. За формализацией переходного режима совершенно исключается энергетическая сторона явления, хотя, безусловно, именно поведение энергопроцессов, их параметров, изменение составляющих мощности и энергии по существу определяет режим работы электрифицированного агрегата. Не умаляя значимости формализованных оценок – это одно из важных достижений теории управления – нет основания оставлять без внимания вопросы энергетической устойчивости систем, независимо от мощности последних. Есть основания считать, что недостаточно обоснованное использование показателей энергопроцессов оставляет вне поля зрения те параметры и характеристики электромеханического и технологического оборудования, которые в соответствующих ситуациях создают предпосылки для предаварийных и аварийных режимов.

Сказанное дает основание предполагать определенную важность непосредственной формализации энергопроцессов как условие для построения интеллектуальных систем оценки энергетической и технологической управляемости, в частности, электромеханических систем, представляющих собой совокупность преобразователей энергии разнообразных принципов действия.

Теория мгновенной мощности в силу своих возможностей является базой для целого спектра исследований, вследствие чего затрагивает некоторые положения ряда инженерных дисциплин. Это затрудняет как изучение основ теории, так и практическое использование возможных результатов. Сказанное наталкивает на мысль использования компьютерных технологий для решения ряда задач, связанных с процессом изучения основных положений процессов энергопреобразования. Одна из попыток затрагивает определение коэффициентов рядов, обеспечивающих уравнения баланса всего комплекса гармоник мощности сложной системы. Эта и подобные ей задачи, включая получение идентификационных уравнений, требует больших усилий, что указывает на необходимость и возможность создания программных продуктов класса виртуальных комплексов, с помощью которых могут быть созданы условия для решения конкретных задач, включая комплексную, охватывающую все аспекты теории мгновенной мощности.

Необходимость создания виртуальных обучающих комплексов для изучения особенностей энергопреобразований важна в двух аспектах: материал изучаемого вопроса отсутствует в учебной литературе и будет недоступен в ближайшие годы, во всяком случае, в бумажном виде; программные продукты типа виртуальных комплексов и т.п. снимут в какой-то мере остроту вопроса, позволят осуществлять необходимую доподготовку после стандартного раздела курса. С другой стороны изучение вопроса в сложившихся обстоятельствах без полноценных программных продуктов невозможно, если используются Вейвлет-преобразования, модифицированные ряды Фурье и др.

Понятие мгновенная мощность вошло в обиход в самом начале интенсивных исследований мощности в электрических цепях – в начале прошлого столетия. Сейчас можно говорить о методе мгновенной мощности как о более представительном толковании картины процессов энергопреобразования. Поэтому разрабатываемое направление исследований представляется естественным развитием того, что формировалось на протяжении многих лет целыми поколениями ученых и специалистов разных школ, разных стран и в разное время.

Созданные в предшествующее время стандарты, регламентирующие понятия, определения по теории энергопроцессов, не включали новых, появившихся в последнее время. Уточнение терминологии, определений – естественный процесс, каким по существу является становление метода мгновенной мощности. Здесь авторы не ставят целью узаконивание или отрицание других работ по данной проблеме. Важно другое: определения и термины должны быть общепонятны, логичны и представлять собой естественное развитие теории энергопроцессов. Сказанное не является безусловно однозначным, так как могут быть и другие толкования, устанавливающие достаточность того, что имеется. Такой подход означает, прежде всего, согласие в общем и разночтение в частности, направленное, в конечном итоге, на расширение ра-

мок познания мира, области знаний, их воплощение в практику.

**Выводы.** Общепризнанный мощный научный потенциал позволил ученым и специалистам СССР в восьмидесятые годы вплотную приступить к созданию теории мгновенной мощности, однако, имевшиеся научные и иные барьеры не позволили реализовать это преимущество и оказаться в роли если не аутсайдеров, то «вечно догоняющих». Этот вывод имеет принципиальное значение и в других проблемных вопросах, не затронутых в настоящей статье.

Активное изучение процессов повышения энергетической эффективности как средства создания конкурентоспособных отраслей народного хозяйства оправдано осуществлять с использованием метода мгновенной мощности, для чего необходимо интенсифицировать работы по установлению рациональных областей его использования, ликвидировать отставание в исследованиях подобного рода от ученых передовых стран путем использования созданной базы исследований и разработок в нескольких Вузах страны.

Метод мгновенной мощности, кроме классических решений по повышению качества напряжения с помощью управляемых фильтрокомпенсирующих устройств, активных фильтров и др., представляется плодотворным при решении разного рода идентификационных задач путем использования идентификационных уравнений энергетического баланса для гармоник мощности элементов потребителя и источника питания, а именно: уравнений баланса гармоник мощности канонического и неканонического порядков, полных уравнений баланса мощности.

В основе формализации задач идентификационно-го характера достаточно эффективен подход с использованием аппарата Фурье. Представляют перспективу другие методы аппроксимации зависимостей напряжения и тока (модифицированные гармонические ряды, Вейвлет-преобразование), причем исследования в этом направлении следует считать заслуживающими особого внимания.

Приоритетными задачами при анализе процессов преобразования энергии (в том числе и не электрической энергии) следует считать:

формализацию процессов с целью получения однозначных, общепринятых результатов при определении качества преобразования энергии, прежде всего, потребителей (электрических машин, технологического оборудования);

установление связей и закономерностей процессов преобразования энергии в сложных системах (включая электромеханические и иные) с их устойчивостью и управляемостью;

установление закономерностей преобразования энергии в системах с нелинейностями с учетом известного явления генерирования гармоник тока нелинейными элементами, построение по полученным уравнениям энергетических математических моделей.

Список использованной литературы

1. Бычков Л. В. Использование мгновенной мощности для анализа энергетических процессов в электрических цепях / Л. В. Бычков // Изв. Вузов. Электромеханика. – 1973. – № 12. – С. 87-93.

2. Жемеров Г. Г. Мгновенные и средние активные и реактивные мощности в линейных цепях с синусоидальными напряжениями / Г. Г. Жемеров, Д. В. Тугай // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – № 43. – С. 153-160.

3. Зиновьев Г. С. Прямые методы расчета энергетических показателей вентильных преобразователей / Г. С. Зиновьев. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1990. – 220 с.

4. Маевский О. А. Энергетические показатели вентильных преобразователей / О. А. Маевский. – М.: Энергия, 1975. – 320 с.

5. Мощность переменного тока: / А. Ф. Крогерис, К. К. Рашевиц, Э. П. Трейманис, Я. К. Шинка. – Рига: Физ.-энерг. ин-т Латв. АН, 1993. – 294 с.

6. Родькин Д. И. Актуальные вопросы теории и практики энергоресурсосберегающих электромеханических систем / Д. И. Родькин // Вісн. КДПУ ім. М. Остроградського. – Вип. 3/2008(50). – Ч.1. – С. 8-17.

7. Родькин Д. И. Декомпозиция составляющих мощности полигармонических сигналов / Д.И. Родькин // Электротехника. – 2003. – № 6. – С. 34-37.

8. Родькин Д. И. О несоответствии некоторых положений теории энергопроцессов теореме Телледжена / Д. И. Родькин // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2010. – № 28.

9. Родькин Д. И. О необходимости разделения понятий качества потребления и преобразования энергии / Д. И. Родькин // Вісн. Кременчугського держ. політехн. ун-ту: наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2003. – Вип.2(19). – Т.1. – С.143-148.

10. Akagi H. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning / H. Akagi, E.H. Watanabe, M. Aredes. – New York: Wiley, 2007. – 379 p.



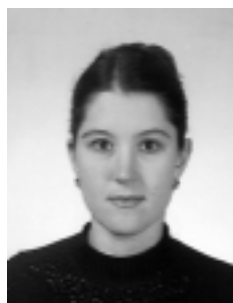
Загирняк Михаил Васильевич,  
д.т.н., член-корр.Нац. акад.  
педагогич. наук Украины,  
ректор Кременчугск. нац. ун-  
та им. М. Остроградского,  
Кременчуг,  
ул. Первомайская, 20.  
тел. (05366)-36219  
факс. (05366)-36000  
E-mail: mzagirn@kdu.edu.ua



Родькин Дмитрий Иосифович,  
д.т.н., зав. каф. «Системы ав-  
томатического управления и  
электропривод» Кременчугск.  
нац. ун-та им. М. Остроград-  
ского,  
тел. (05366)-31147



Черный Алексей Петрович,  
д.т.н., директор ин-та элек-  
тромеханики, энергосбереже-  
ния и систем управления  
Кременчугск. нац. ун-та им.  
М. Остроградского,  
Тел. (05366)-24586  
E-mail: apch@kdu.edu.ua



Коренькова  
Татьяна Валериевна,  
к.т.н., доцент каф. САУЭ  
Кременчугск. нац. ун-та им.  
М. Остроградского.  
тел. (05366)-31147  
E-mail: scenter@kdu.edu.ua

Получено 19.07.2011