

УДК 621.64:621.3:537

Т. В. Коренькова, канд. техн. наук

МЕТОДОЛОГИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Аннотация. Получила развитие теория анализа энергопроцессов в электрогидравлических комплексах на базе метода гармонического анализа временной функции мощности на всех элементах энергетического канала. Установлено, что мерой качества энергетических процессов в системе является среднеквадратичная мощность. Предложены показатели оценки пропускной способности энергетического канала и энергетической управляемости, характеризующие реальное энергетическое состояние электрогидравлического комплекса. Доказано, что наличие переменных составляющих мощности, отражающих энергообменные процессы в системе, приводит к снижению энергетической управляемости объекта. Разработанный метод оценки, анализа и управления энергопроцессами в электрогидравлическом комплексе позволяет определить потери энергии и резерв энергоресурсосбережения.

Ключевые слова: электрогидравлический комплекс, процессы энергопреобразования, энергетический канал, гармонический анализ мощности, среднеквадратичная мощность, энергетическая управляемость

T. Korenkova, PhD.

ENERGY RESOURCE SAVINGS METHODOLOGY IN ELECTRIC HYDRAULIC COMPLEXES

Abstract. Theory was developed in the analysis power processes in electric hydraulic complexes based on the method of harmonic analysis of the time power function on all elements of the energy channel. Found that estimation of the quality of power processes in the system is the mean-square power. Proposed indexes for assessing the capacity of the power channel and power controllability that characterize the real state of the electric hydraulic complex. It is proved that the presence of the variable components of power, reflecting the energy-exchange processes in the system leads to lower power controllability of object. Evaluation methods, analysis and control in electric hydraulic complex allows you to define the energy losses and reserve energy resource saving.

Keywords: electric hydraulic complex, power processes conversion, power channel, harmonic analysis of power, mean-square power, power controllability

Т. В. Коренькова, канд. техн. наук

МЕТОДОЛОГІЯ ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ

Анотація. Отримала розвиток теорія аналізу енергопроцесів в електрогидравлічних комплексах на базі методу гармонійного аналізу тимчасової функції потужності на всіх елементах енергетичного каналу. Встановлено, що мірою якості енергетичних процесів в системі є середньоквадратична потужність. Запропоновані показники оцінки пропускної спроможності енергетичного каналу і енергетичної керованості, що характеризують реальний енергетичний стан електрогидравлічного комплексу. Доведено, що наявність змінних складових потужності, які відображають енергообмінні процеси в системі, призводить до зниження енергетичної керованості об'єкту. Розроблений метод оцінки, аналізу та керування енергопроцесами в електрогидравлічному комплексі дозволяє визначити втрати енергії і резерв енергоресурсозбереження.

Ключові слова: електрогидравлічний комплекс, процеси енергоперетворення, енергетичний канал, гармонійний аналіз потужності, середньоквадратична потужність, енергетична керованість

Введение. Энергия, топливно-энергетические ресурсы, энергоресурсосбережение по-прежнему остаются важнейшими вопросами развития народного хозяйства страны.

Наибольшим потребителем электроэнергии является электропривод (ЭП). По разным оценкам на него приходится от 60 до 70 % объема, вырабатываемого электростанциями страны [1 – 4]. Однако резервы экономии электроэнергии в самом ЭП весьма малы. Гораздо более эффективными оказываются пути энергосбережения в технологических механизмах и установках, где используются возможности автоматизированного ЭП. Сказанное, в первую очередь, относится к широко используемому в промышленности и

энергоемких потребителей электрической энергии, представленных насосами, вентиляторами, компрессорами, нагнетателями. Анализ показал, что на долю ЭП турбомеханизмов приходится около (35 – 40) % электроэнергии, потребляемой от общего числа эксплуатируемых ЭП. Причем половина от этого количества идет на энергопотребление насосных установок и комплексов на базе [1 – 4]. Таким образом, даже небольшое повышение эффективности использования электроприводов турбомеханизмов в энергетическом отношении может дать заметный результат.

В настоящее время в мировой практике существует устойчивая тенденция замены нерегулируемых электроприводов центробежных механизмов на регулируемые системы. Это связано с целым рядом преимуществ: возможностью экономии электроэнергии от 30 до 70 %,

© Коренькова Т.В., 2014

высоким качеством управления в статических и динамических режимах, меньшими нагрузками на оборудование из-за снижения давления в гидросистеме, уменьшением утечек и потерь на транспортирование рабочей среды и др. Таким образом, применение средств автоматизированного ЭП и обеспечение надлежащего технологического режима работы насосных установок позволяет достичь «лавинообразного» эффекта энергоресурсосбережения: непосредственно экономии первичных энергоресурсов и составляющих вторичного эффекта, обусловленных устранением гидравлических ударов, продлением ресурса работы оборудования, экономией воды, тепла и т.п. [2, 4]. В ряде случаев, например в электрогидравлических комплексах (ЭГК) систем коммунального водоснабжения, экономический эффект от сэкономленной воды может в 5 – 6 раз превышать стоимость сэкономленной электроэнергии от применения частотно-регулируемого ЭП.

Аналогичный результат имеет место и при использовании систем автоматического управления насосными установками с регулируемым ЭП, где при поддержании требуемого технологического режима обеспечивается не только прямая экономия электроэнергии, но и снижение потерь мощности транспортируемой среды, увеличение межремонтного срока эксплуатации оборудования за счет меньших динамических нагрузок, сокращения материалоёмкости и укрупнения единичной мощности основных агрегатов при строительстве новой или реконструкции существующей установки, и др. Причем максимальный эффект может быть достигнут в жилищно-коммунальном секторе, где возможно наибольшее энергоресурсосбережение и, соответственно, более быстрая самоокупаемость энергосберегающих систем автоматического управления с использованием регулируемого ЭП [5]. С учетом сказанного рассматриваемая проблема переходит в ранг задач энергоресурсосбережения, предполагающих суммарный эффект не только от энергетических, но и других видов материальных ресурсов.

Цель работы. Разработка метода и технических мероприятий по энергоресурсосбережению в электрогидравлических комплексах.

Материал и результаты исследований. Насосные агрегаты (НА) и технологические комплексы на базе их представляют собой единую сложную систему взаимодействующего электромеханического и гидравлического оборудования (рис. 1) с определенными свойствами и характеристиками технологического механизма, гидротранспортной сети, запорно-регулирующей арматуры.

В процессе функционирования в силовом канале ЭГК возникают разнообразные энергетические режимы, которые количественно характеризуются набором электрических (напряжением, током), энергетических (мощностью, потерями мощности, КПД) и механических параметров (частотой вращения и моментом), а также технологическими показателями (производительностью, давлением). Параметром, характеризующим любой режим ЭГК, является мощность. Энергетические переменные: электрическая $p_{el}(t)$ мощность, механическая $p_{mech}(t)$, гидравлическая $p_h(t)$ дают конкретную характеристику протекающего процесса преобразования энергии и позволяют выполнить оценку эффективности силового канала ЭГК.

Вопрос анализа энергорежимов ЭГК еще более усложняется при: одновременной работе нескольких последовательно или параллельно включенных НА; регулировании выходных технологических параметров ЭГК в соответствии с графиком работы потребителя; наличии накопителей энергии различного рода (приемных резервуаров, аккумулирующих емкостей, наклонных участков трубопровода); сложном характере изменения гидродинамических процессов во времени (турбулентные и кавитационные явления, гидроудары, противоток и утечки жидкости) и т.п.

Для решения задач управления технологическим процессом, повышения качества функционирования ЭГК весьма важным является вопрос оценки энергетической управляемости (ЭУ) системы с учетом многообразных энергетических состояний энергетического канала, неоднаправленности потока энергии, наличия накопителей энергии различного рода и т.п.

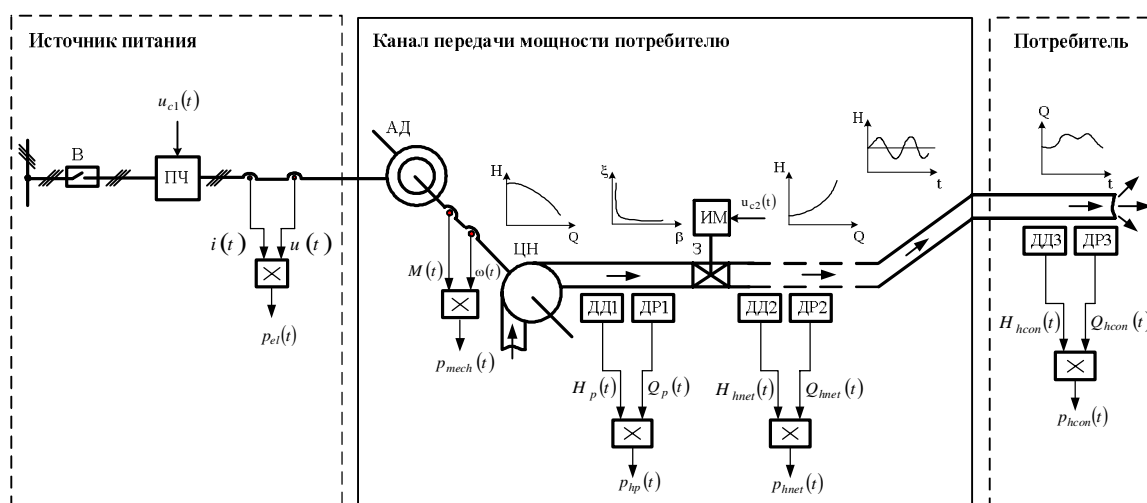


Рис. 1. Структура энергетического канала преобразования мощности в электрогидравлических комплексах

Повышение ЭУ ЭГК – достаточно затратная операция, требующая установки дорогостоящего оборудования (преобразователи, фильтры, защитная аппаратура) и направленная на рациональные режимы энергопотребления, обеспечение надежности и экономичности системы. Снижение ЭУ происходит в результате развития нелинейных процессов в технологическом контуре, наличия накопителей энергии или воздействия элементов с нелинейными характеристиками, что сопровождается определенными условиями перетока энергии во всех элементах ЭГК.

Применительно к ЭГК сказанное имеет место при возникновении различного рода нештатных ситуаций: пульсациях давления в трубопроводной системе, кавитационных процессах, гидравлических ударах и т.п. Так, в трубопроводах насосных установок из-за кавитации могут возникать автоколебания, при которых движение перекачиваемой среды будет нестационарным. Вследствие этого растет переменная составляющая мощности, увеличиваются непроизводительные потери гидравлической мощности, снижается управляемость ЭГК.

В системах ЭП НА преобразование энергии, как правило, осуществляется в одном направлении: энергия, потребляемая со стороны сети, преобразуется в механическую и поступает на вал технологического механизма – насоса. Другие режимы работы двигателей, так называемые тормозные режимы, не используются в практических целях, в частности для управления процессами при внезапном исчезновении напряжения. Между тем, перспектива использования тормозных режимов для управления НА в аварийных периодах заслуживает самого пристального внимания.

Анализ [6, 7] показал, что динамические свойства насоса рассматриваются в основном для насосного режима центробежной машины, который является лишь частью возможных режимов преобразования мощности. Их общая характеристика позволяет сделать вывод о том, что для насосного оборудования характерны режимы, аналогичные электрическим машинам – их обратимость при изменении знака гидравлической мощности. Если такие режимы позволяют осуществлять переход из насосного режима в турбинный и это является предметом анализа специалистов по гидромашинам, то указанные режимы в сочетании со средствами и возможностями регулируемого электропривода практически не исследованы.

С целью повышения управляемости ЭГК необходимо, чтобы система ЭП при аварийных отключениях обладала свойством преобразования гидравлической энергии в электрическую, что позволит управлять величиной и продолжительностью энергетического воздействия. Эти возможности зависят от характеристик насосных агрегатов. ЭП при этом должен обладать свойством активного влияния на энергопроцессы в аварийных ситуациях. В этой связи является перспективным использование обратимых режимов работы гидравлических и электрических машин, которые расширяют регулировочные и защитные возможности ЭГК. Особенно важным этот вопрос является в случае аварийного прекращения подачи электроэнергии к приводу насоса при последовательной или параллельной работе.

Использование обратимых свойств НА позволяет:

– обеспечить возможность работы насоса, как с положительной, так и с отрицательной подачей в различных технологических схемах насосных установок;

– осуществить регулирование скорости приводного двигателя в положительном и отрицательном направлениях с возможностью рекуперации энергии при работе двигателя в тормозном (генераторном) режиме (для этого система ЭП НА должна быть укомплектована четырехквadrантным силовым преобразователем, обеспечивающим рекуперацию энергии в сеть при работе гидромашин в турбинном режиме);

– использование тормозных режимов насосных агрегатов позволяет существенно расширить фактический диапазон регулирования производительности и давления насосных станций с минимальным количеством преобразовательного оборудования;

– в системах одиночных НА с нерегулируемым ЭП исключение возможности разгона двигателя при обратном ходе жидкости может быть достигнуто путем использования схем динамического торможения машин переменного тока с возбуждением от источника постоянного тока или в схеме конденсаторного торможения с контролем производной частоты вращения электрической машины.

Режим, который должен установиться после возмущения и последующего переходного процесса, требует для своего осуществления баланса мощности. Природа неуправляемости обусловлена именно энергетическими свойствами системы. Составляя баланс мощностей потоков энергии для силового канала ЭГК, можно учитывать различные уровни и направления энергии, описывая тем самым разнообразие энергетических режимов работы, влияние процессов преобразования энергии на поведение систем управления электромеханическими системами и комплексами. Переменная, во времени составляющая энергетического режима характеризует энергообменный процесс между сетью и потребителем, технологическим механизмом (насосом) и двигателем, снижает энергетическую эффективность процесса преобразования и приводит, соответственно, к снижению энергоуправляемости ЭГК.

В этих условиях является оправданным синтез временной функции мощности (электрической, гидравлической) гармоническим рядом, параметры которого рассчитываются на периоде повторяемости сигнала. Учитывая достаточную инерционность физических процессов, происходящих в ЭГК, является очевидным, что представление мощности в виде суммы гармонических составляющих однозначно описывает энергетические процессы в системе. При этом гармонические составляющие мощности формируются произведением ортогональных гармонических составляющих мгновенных напряжений и токов, напоров и расходов [8 – 10].

Ниже в качестве примера приведена временная функция электрической мощности трехфазной системы, подводимой к статорным обмоткам электрического двигателя:

$$P_{el}(t) = P_{elA}(t) + P_{elB}(t) + P_{elC}(t), \quad (1)$$

где $P_{elA}(t)$, $P_{elB}(t)$, $P_{elC}(t)$ – временные функции мощности фаз А, В и С, соответственно.

При этом мощность фазы j электрического двигателя в частотной области имеет вид:

$$P_{el j}(t) = \sum_{k=1}^K P_{k0j} + \sum_{k=1}^K P_{kaj} \cos(\Omega_k t) + \sum_{k=1}^K P_{kbj} \sin(\Omega_k t), \quad (2)$$

где $\sum_{k=1}^K P_{k0j}$ – суммарная постоянная составляющая мощности; $\sum_{k=1}^K P_{kaj}$ – суммарная косинусная составляющая мощности; $\sum_{k=1}^K P_{kbj}$ – суммарная синусная составляющая мощности; Ω_k – круговая частота k -ой гармоники мощности ($\Omega_k = |\Omega_n \pm \Omega_m|$); K – число гармонических составляющих мощности.

Гидравлическая мощность на выходе НА:

$$P_{hp}(t) = \rho g Q_p(t) H_p(t), \quad (3)$$

где $H_p(t)$, $Q_p(t)$ – сигналы напора и расхода на выходе насоса соответственно; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; ρ – плотность жидкости.

Аналогичным образом определяются гидравлические мощности на участках трубопроводной сети $P_{hnet}(t)$ и непосредственно у потребителя $P_{hcon}(t)$.

Мерой оценки энергопроцессов в ЭГК является среднеквадратичное значение мощности (эффективная мощность):

$$P_{ei} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p_i^2(t) dt}, \quad (4)$$

где $p_i(t)$ – мощность i -го элемента энергопреобразования; T – период разложения сигнала мощности.

Таким образом, предложенный подход позволяет выполнить оценку энергопроцессов в энергетическом канале ЭГК при изменении их в реальном времени с сохранением полной информации об исходных сигналах, формирующих мощность, учитывать проявление специфических свойств электромеханического оборудования, появление дополнительных переменных составляющих мощности, загружающих энергетический канал системы.

Не вызывает сомнения, что в основе оптимизации энергетических режимов должен лежать закон сохранения энергии с математической интерпретацией в форме уравнений баланса мощностей источника питания $P_{el}(t)$ и всех элементов $p_i(t)$, входящих в энергетический канал преобразования мощности ЭГК

$$P_{el}(t) = \sum_{i=1}^I p_i(t).$$

Одним из показателей, характеризующих непрерывный процесс энергопреобразования между источником электрической энергии и конечным потребителем гидравлической мощности, является коэффициент пропускной способности энергетического канала ЭГК, определяемый как отношение среднеквадратичных значений мощности на выходе и входе системы:

$$k_{cap} = P_{hcon} / P_{el}, \quad (5)$$

где P_{hcon}, P_{el} – эффективная мощность у потребителя и источника питания ЭГК, соответственно.

Полученное выражение позволяет учесть изменение мощности в энергетическом канале ЭГК как в статических, так и динамических режимах, влияние факторов, снижающих эффективность использования мощности источника питания (сдвиг фазы тока относительно напряжения из-за наличия реактивных элементов), и т.п.

Не менее важным показателем является коэффициент энергетической управляемости ЭГК, позволяющий выполнить сравнительную оценку процессов энергопреобразования в различных режимах работы гидротранспортной системы. При этом задающие воздействия в идеальной (при отсутствии наиболее характерных нелинейностей в ЭГК) и реальной (при возникновении нелинейных гидродинамических процессов) системах должны быть одинаковы по амплитуде постоянной составляющей, а также по амплитуде и частоте переменной составляющей. Тогда коэффициент энергоуправляемости ЭГК имеет вид:

$$k_c = P_{ei} / P_{er}, \quad (6)$$

где P_{ei}, P_{er} – эффективная мощность в идеальной и реальной системах, соответственно.

Следует отметить, что можно оценивать энергоуправляемость как отдельных элементов на базе $P_{ehp}, P_{ehnet}, P_{ehcon}$ в соответствующих режимах работы, так и всей системы в целом, используя для анализа среднеквадратичные значения входной электрической мощности P_{eeli}, P_{eelr} ЭГК.

На рис. 2 приведена обобщенная структура метода оценки процессов энергопреобразования в ЭГК.

При отклонении расчетных показателей энергопроцессов от нормативных дальнейший анализ режимов ЭГК необходимо выполнять с учетом информационных признаков, характерных тем или иным нештатным ситуациям, происходящим в гидросистеме. Так, снижение энергоуправляемости в результате развития кавитации в трубопроводе сопровождается появлением низкочастотных пульсаций в сигнале напора, ростом переменной (синусной) составляющей компоненты гидравлической мощности [11]. В таких условиях повышение энергоуправляемости ЭГК должно быть направлено на обеспечение безкавитационных режимов работы системы путем использования как средств регулируемого ЭП насоса, так и разработанных устройств кавитационной защиты на базе регулируемых клапанов для стравливания воздуха.

С целью повышения энергоэффективности и технологической надежности ЭГК разработаны системы и алгоритмы управления параметрами энергопроцессов электрогидравлического оборудования, которые позволяют решать задачи экономичного регулирования параметров и гидродинамической защиты насосных станций, управления кавитационными процессами в системе, снижения динамических нагрузок в трубопроводной сети, а также вопросы, связанные с идентификацией параметров действующих ЭГК для предупреждения аварийных режимов работы оборудования (рис. 3).

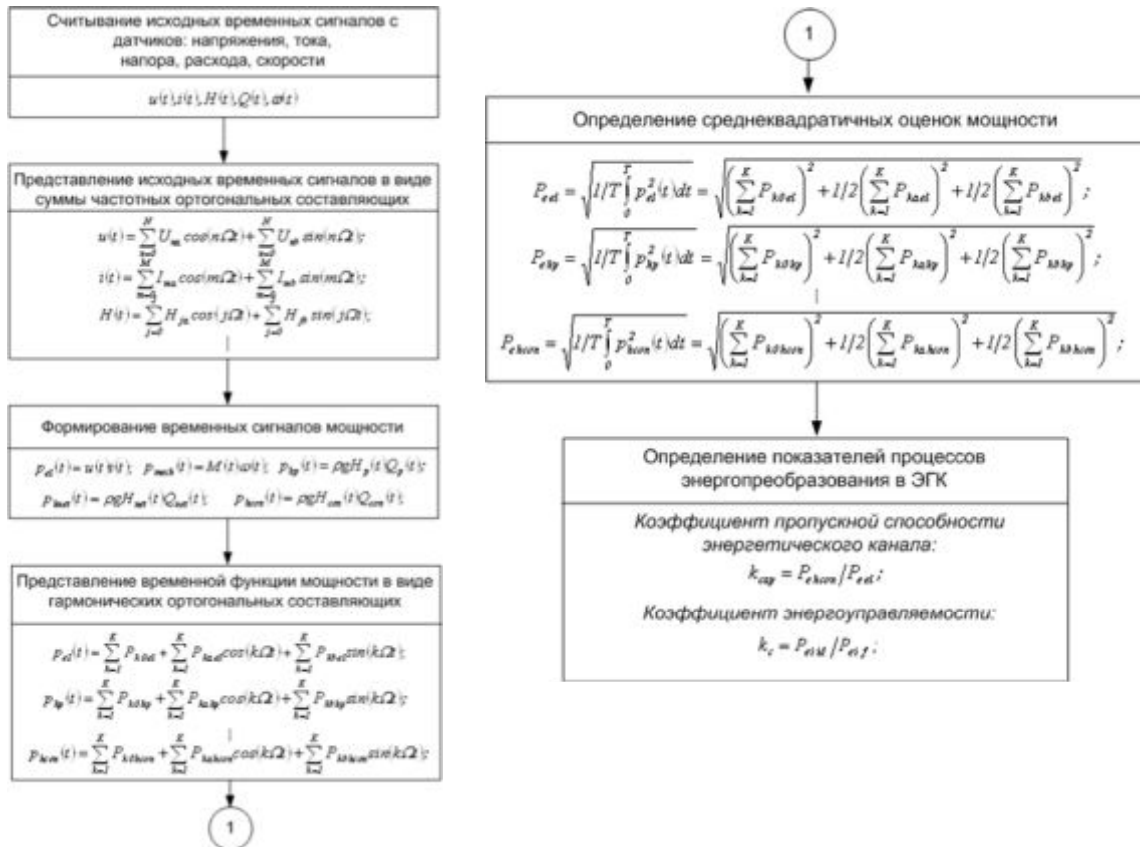


Рис. 2. Структура метода оценки процессов энергопреобразования в электрогидравлических комплексах

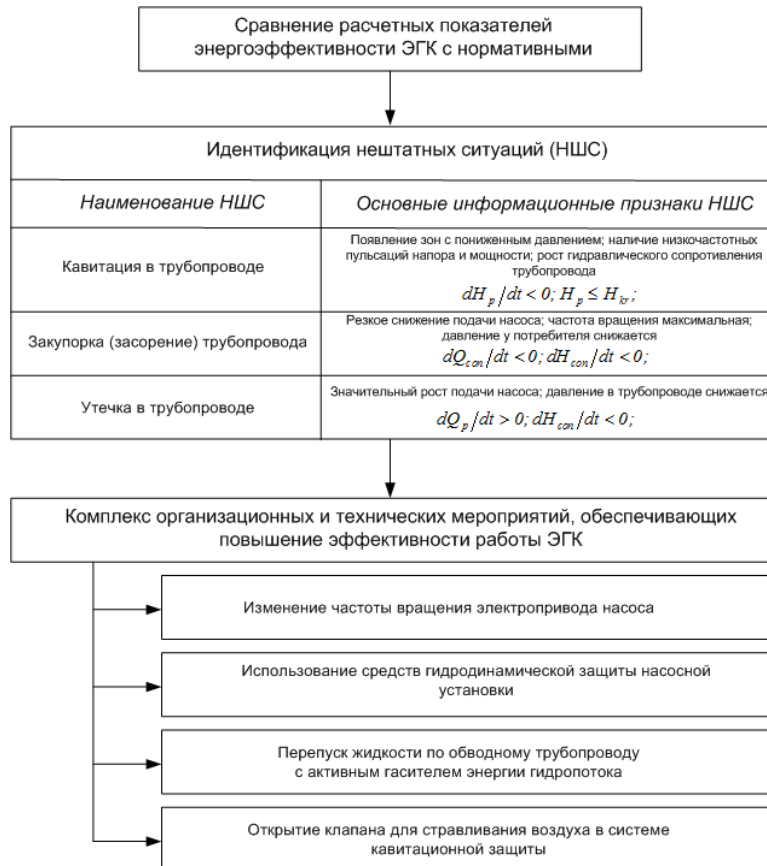


Рис. 3. Обобщенная схема анализа и формирования функций управления параметрами энергопроцессов электрогидравлических комплексах

Выводы. Показано, что решение проблемных вопросов энергоресурсосбережения, повышения качества управления электрогидравлическими комплексами должно базироваться на развитии общей теоретической базы энергопроцессов в разнообразных схемных решениях, различных режимах, вне зависимости от периодичности и физической природы изучаемых процессов. В основе указанного подхода должен лежать закон баланса составляющих мощности на источнике энергопитания и на элементах рассматриваемой системы. Отсюда становится очевидным расширение возможностей и направлений современной теории энергопроцессов, углубление понимания закономерностей физических явлений и обобщение подходов к анализу характера процессов энергопреобразования как в электрических сетях, так и в электромеханических системах в целом, включая, технологические механизмы.

Доказано, что переменная составляющая мощности отражает реальную картину энергообменных процессов в системе, обусловленную наличием нелинейных элементов, накопителей энергии и приводит к снижению энергоуправляемости объекта. Предложена математическая оценка энергетической управляемости электромеханической системы, базирующаяся на определении среднеквадратичных оценок мощности в идеальной и реальной системах на базе метода гармонического анализа временной функции мощности.

Создан комплекс математических моделей, описывающий работу электрогидравлических систем с различными методами регулирования технологических параметров, учитывающие кавитационные явления в трубопроводной системе, темп управления запорно-регулирующей арматуры, позволяющие исследовать энергопроцессы в нормальных и аварийных режимах работы оборудования.

Разработаны технические решения и алгоритмы управления повышения энергоуправляемости электрогидравлических комплексов на базе средств регулируемого электропривода насосных агрегатов, устройств гидродинамической защиты, активных гасителей энергии, электромеханических устройств снижения динамических нагрузок в трубопроводных сетях с использованием управляемой запорно-регулирующей арматуры.

Список использованной литературы

1. Закладной А. Н. Энергосбережение средствами промышленного электропривода / А. Н. Закладной, А. В. Праховник, А. И. Соловей. – К. : «ДИЯ», 2001. – 343 с.
2. Клепиков В. Б. О роли электропривода в решении проблемы энергоресурсосбережения в Украине / В. Б. Клепиков, В. Ю. Розов // Вестник НТУ «ХПИ», «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика» – Харьков : НТУ «ХПИ», 2008, № 30. – С. 18-21.
3. Димченко О. В. Житлово-комунальне господарство в реформаційному процесі: аналіз, проектування, управління / О. В. Димченко. – Харків : – 2009. – 340 с.

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

5. Маляренко В. А. Энергосбережения як діючий важіль реформування житлово-комунального господарства / Научно-технический сборник: Коммунальное хозяйство городов, №53, 2003. – С.8-15.

6. Вишневецкий К. П. Переходные процессы в напорных системах водоподдачи / К. П. Вишневецкий. – М. : Агропромиздат, 1986. – 135 с.

7. Фокс Д. А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах / Д. А. Фокс. – М. : Энергоиздат, 1981. – 241 с.

8. Родькин Д. И. Составляющие мгновенной мощности полигармонических сигналов / Д. И. Родькин // *Электротехника*. – 2003. – № 3. – С. 38 – 42.

9. Zagirnyak M.V., and Korenkova T.V., (2010), Power Estimation of Electromechanical Systems Controllability, *Proceedings of XIX International Conference on Electrical Machines, ICEM 2010*, Rome, Italy, Paper RF-009458, *IEEE Catalog Number CFP1090B-CDR*, ISBN 978-1-4244-4175-4, Library of Congress Number 2009901651.

10. Zagirnyak M., Rod'kin D., and Korenkova T. (2011), Enhancement of Instantaneous Power Method in the Problems of Estimation of Electromechanical Complexes Power Controllability, *Przeglad Elektrotechniczny (Electrical Review)*, No. 12b, pp. 208 – 212.

11. Zagirnyak M., Kovalchuk V., and Korenkova T., 2013, Enhancement of Instantaneous Power Method in the Problems of Estimation of Electromechanical Complexes Power Controllability, *Przeglad Elektrotechniczny (Electrical review)*, No. 12, pp. 286 – 289.

Получено 18.07.2014

References

1. Zakladnoy, A. N., Prahovnik, A.V. and Solovej, A.I. Energoberezhenie sredstvami promyshlennogo elektroprivoda [Energy Saving by Means of Industrial Electric], (2001), *Diya*, Kiev, Ukraine (In Russian).
2. Klepikov V.B., and Rozov V.Ju., O roli elektroprivoda v reshenii problemy energoresurso sberezheniya v Ukraine, [On the Drive Role to Solve the Energy Saving Problem in Ukraine], (2008), *Vestnik NTU "HPI". "Problemy Avtomatizovanogo Elektroprivoda. Teoriya i Praktika"*, No. 30, pp. 18 – 21 (In Russian).
3. Dymchenko O.V. Zhytlovo-komunal'ne gospodarstvo v reformacijnomu procesi: analiz, proektuvannja, upravlinnja [Housing and Communal Services in the Reform Process: Analysis, Design, Management], (2009), Harkiv, Ukraine (In Russian).
4. Leznov B.S. Energozberegenie i regylyryemuy elektroprivod v nasosnuh i vozdyhodyvnuh ystanovkah [Energy Saving and Adjustable Drive for Pump and Blower Installations], (2006), *Energoatomizdat*, Moscow, Russian Federation (In Russian).
5. Maliarenko V.A. Energozberezhennya yak diyuchii vazhil' reformuvannya zhitlovo-komunal'nogo

gospodarstva, [Energy Conservation as Operating Lever Reforming Housing and Communal Services], (2003), *Nauchno-Tekhnicheskiy Sbornik: Kommunal'noe Hoziaystvo Gorodov*, No. 53, pp. 8 –15 (In Russian).

6. Vishnevskiy K.P. Perekhodnye processy v napornyh sistemah vodopodachi [Transient Processes in Water Supply Pressure Head Systems], (1986), *Agropromizdat*, Moscow, Russian Federation (In Russian).

7. Foks D.A. Gidravlicheskiy analiz neustanovivshegosya techeniya v truboprovodah [Hydraulic Analysis of Unsteady flow in Pipelines], (1981), *Energoizdat*, Moscow, Russian Federation (In Russian).

8. Rodkin D.Y. Sostavlyayushchie mgnovennoi moshchnosti poligarmonicheskikh signalov, [Polyharmonic Signals Instantaneous Power Components], (2003), *Elektrotehnika*, Moscow, Russian Federation, Vol. 3, pp. 38 – 42 (In Russian).

9. Zagirnyak M.V., and Korenkova T.V., (2010), Power Estimation of Electromechanical Systems Controllability, *Proceedings of XIX International Conference on Electrical Machines, ICEM 2010*, Rome, Italy, 2010, Paper RF-009458. IEEE Catalog Number CFP1090B-CDR, ISBN 978-1-4244-4175-4, Library of Congress Number 2009901651.

10. Zagirnyak M., Rod'kin D., and Korenkova T., (2011), Enhancement of Instantaneous Power Method in the Problems of Estimation of Electromechanical Complexes Power Controllability, *Przeglad Elektrotechniczny* (Electrical Review), No. 12b, pp. 208 – 212.

11. Zagirnyak M., Kovalchuk V., and Korenkova T. (2013), Enhancement of Instantaneous Power Method in the Problems of Estimation of Electromechanical Complexes Power Controllability, *Przeglad Elektrotechniczny* (Electrical Review), No. 12, pp. 286 – 289.



Коренькова
Татьяна Валериевна, канд. техн.
наук, доц. каф. систем
автоматического управления и
электропривода Кременчугского
нац. ун-та имени Михаила Ост-
роградского.
39600, Кременчуг, ул. Первомай-
ская, 20
м/т (066) 28-66-682.
E-mail: tanya74kor@gmail.com