

УДК 621.65.052

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ

Т. В. Коренькова, В. Г. Ковальчук

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: viktoria_kovalc@mail.ru

Доказана возможность определения параметров насосных комплексов на базе уравнений энергетического баланса составляющих мгновенной мощности. Получена система идентификационных уравнений для идеализированного насосного агрегата, работающего на трубопроводную сеть с противодавлением. Отмечено, что предложенный энергетический подход может быть использован для решения задач идентификации технологических нелинейностей.

Ключевые слова: мгновенная мощность, уравнения энергобаланса, энергетический критерий, идентификация параметров, эквивалентная схема замещения, насосный комплекс.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ НАСОСНИХ КОМПЛЕКСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КРИТЕРІЮ

Т. В. Коренькова, В. Г. Ковальчук

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: viktoria_kovalc@mail.ru

Доведено можливість визначення параметрів насосних комплексів на базі рівнянь енергетичного балансу складових миттєвої потужності. Отримано систему ідентифікаційних рівнянь для ідеалізованого насосного агрегату, який працює на трубопровідну мережу з протитиском. Відмічено, що запропонований енергетичний підхід може бути використаним для вирішення задач ідентифікації технологічних нелінійностей.

Ключові слова: миттєва потужність, рівняння енергобалансу, енергетичний критерій, ідентифікація параметрів, еквівалентна схема заміщення, насосний комплекс.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Насосные комплексы (НК), широко используемые в промышленности и коммунальном секторе, являются сложными электротехнологическими объектами, включающими источник питания, приводной двигатель, турбомеханизм (насос), коммуникационную сеть и потребитель. В настоящее время актуальным вопросом является повышение эффективности функционирования введенных в эксплуатацию насосных установок путем создания систем управления на базе математических моделей, способных правильно отображать сложные физические процессы, имеющие место в гидравлических трактах турбомеханизмов и трубопроводных сетей.

Изменение режимов работы НК, связанное с отключением и включением отдельных трубопроводов или их участков, возникновением гидродинамических процессов, приводит, в свою очередь, к изменению основных параметров насосных агрегатов и трубопроводной сети: напора, производительности, КПД, внутреннего сопротивления насоса и гидросети [1]. Так, наличие утечек в трубопроводной сети, обусловленных несанкционированным подключением к магистрали или изношенностью оборудования, приводит к искажению форм сигналов напора и расхода, снижению коэффициента полезного действия НК; возникновение кавитационных явлений в трубопроводной системе сопровождается появлением автоколебаний напора, увеличением гидродинамического сопротивления трубопровода, ростом потерь мощности в НК.

Таким образом, любое изменение режима функционирования НК приводит к перераспределению мощности на элементах энергетического канала

електротехнологічного комплексу: електричної потужності, підведеної к валу механізму, механічної потужності електродвигача, гідравлічної потужності на виході насоса, в трубопроводній мережі і у споживача [2]. Тому задача ідентифікації параметрів знаходячись в експлуатації НК може бути виконана з використанням енергетичного критерію, базуючогося на аналізі процесів енергоперетворення і оцінці ефективності роботи обладнання.

В останнє час при розв'язанні задач ідентифікації параметрів електричних машин широке поширення отримав метод миттєвої потужності, базуючийся на складанні рівнянь енергобалансу гармонічних складових сигналу потужності [3–6]. Використання методу миттєвої потужності найбільш повно відображає картину процесів енергоперетворення в системах будь-якої фізичної природи, з сигналами довільної форми, оскільки базується на законі збереження енергії. Застосовується до НК сказане стосується до ідентифікації параметрів насосного і трубопроводного обладнання при регулюванні витрати зміною частоти обертання або задвижкою на виході насосної установки, визначенню частоти і амплітуди кавітаційних і турбулентних коливань, гідравлічних опору насосних агрегатів, що проходять ремонт або тривале час знаходячись в експлуатації. Зазначений енергетичний підхід є ефективним методом при ідентифікації технологічних нелінійностей в складі розглянутих електромеханічних систем.

З урахуванням сказаного метою даної роботи є обґрунтування можливості застосування енергетичного критерію на базі складових миттєвої потужності для розв'язання задачі ідентифікації параметрів ідеалізованого насосного комплексу, представленого еквівалентною схемою заміщення.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ІСЛІДОВАНЬ. При розв'язанні задачі ідентифікації параметрів НК ефективним є використання принципу електрогідравлічної аналогії [7], що дозволяє основні електричні рівняння перекласти в відповідні гідравлічні співвідношення, на основі яких можна скласти еквівалентну електричну схему заміщення. В найпростішому випадку представимо насосний агрегат в вигляді ідеалізованої гідромашини з постійними конструктивними параметрами, ігноруючи об'ємні, гідравлічні і механічні втрати потужності в гідравлічному тракту турбомеханізму.

Розглянемо технологічну схему НК, що включає насосний агрегат (НА), запорно-регулювальну арматуру, трубопровід і споживач (рис. 1,а). При цьому НА, що характеризується гідравлічним джерелом $H_0 v^2(t)$, неперервно працює на трубопроводну мережу з джерелом статичного протидавлення H_{st} . Втрати потужності в системі насос–трубопровід враховуються еквівалентною активно-індуктивною навантаженням: $R_{\Sigma} = R_p + R_n$; $L_{\Sigma} = L_p + L_n$, де R_p – активне гідравлічне опору насоса, в основі якого лежить сила в'язкого тертя між шарами рідини, рідиною і стінками каналу, і що відображає дисипацію енергії в вигляді тепла; R_n – гідродинамічне опору мережі, що залежить від довжини і розміру поперечного перерізу трубопроводу, шорсткості стінок і наявності місцевих опору; L_p, L_n – індуктивне опору насоса і трубопроводу, відповідно, зумовлене силами інерції, протидіючими зміні продуктивності. Еквівалентна схема заміщення ідеалізованого НК наведена на рис. 1,б.

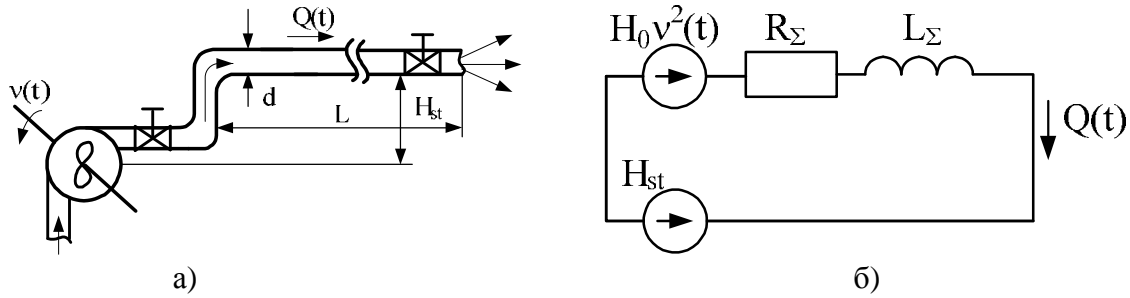


Рисунок 1 – Технологическая схема (а) и эквивалентная схема замещения (б) НК

Принимаем в качестве тестового сигнала, формируемого устройством задания, частоту вращения НА, которая включает постоянную и переменную составляющие:

$$v(t) = v_0 + v_m \cos(\Omega t - \varphi) = v_0 + v_a \cos(\Omega t) + v_b \sin(\Omega t), \quad (1)$$

где v_0 , v_m – амплитуда постоянной и переменной составляющих сигнала частоты вращения, соответственно; v_a , v_b – ортогональные косинусная и синусная составляющие сигнала частоты вращения, соответственно; $\Omega = 2\pi f$ – круговая частота; f – частота изменения входного сигнала; φ – угол сдвига сигнала частоты вращения.

Изменение скоростного режима приводит к формированию производительности на выходе насосного агрегата вида:

$$Q(t) = Q_0 + Q_m \cos(\Omega t - \psi) = Q_0 + Q_a \cos(\Omega t) + Q_b \sin(\Omega t), \quad (2)$$

где Q_0 , Q_a , Q_b – амплитудные значения постоянной и ортогональных косинусной и синусной составляющих сигнала производительности, соответственно; ψ – угол сдвига сигнала производительности.

С учетом [5, 6], определим мгновенную мощность на каждом элементе схемы замещения.

Мгновенная гидравлическая мощность на входе насосного агрегата:

$$\begin{aligned} p_{in}(t) &= H_0 n^2(t) Q(t) = \left(H_0 (n_0 + n_a \cos(\Omega t) + n_b \sin(\Omega t)) \right)^2 (Q_0 + Q_a \cos(\Omega t) + \\ &+ Q_b \sin(\Omega t)) = \left(H_0 Q_0 n_0^2 + H_0 Q_0 n_a^2 / 2 + H_0 Q_0 n_b^2 / 2 + H_0 Q_0 n_a n_a + H_0 Q_0 n_b n_b \right) + \\ &+ \left(2 H_0 Q_0 n_0 n_a + H_0 Q_0 n_a^2 + 3 H_0 Q_0 n_a^2 / 4 + H_0 Q_0 n_b^2 / 4 + H_0 Q_0 n_a n_b / 2 \right) \cos(\Omega t) + \\ &+ \left(H_0 Q_0 n_b^2 + H_0 Q_0 n_b^2 / 4 + 3 H_0 Q_0 n_b^2 / 4 + 2 H_0 Q_0 n_0 n_b + H_0 Q_0 n_a n_b / 2 \right) \sin(\Omega t) + \\ &+ \left(H_0 Q_0 n_a^2 / 2 - H_0 Q_0 n_b^2 / 2 + H_0 Q_0 n_a n_a - H_0 Q_0 n_b n_b \right) \cos(2\Omega t) + \\ &+ \left(H_0 Q_0 n_a n_b + H_0 Q_0 n_b n_a + H_0 Q_0 n_a n_b \right) \sin(2\Omega t) + \\ &+ \left(H_0 Q_0 n_a^2 / 4 - H_0 Q_0 n_b^2 / 4 - H_0 Q_0 n_a n_b / 2 \right) \cos(3\Omega t) + \\ &+ \left(H_0 Q_0 n_b^2 / 4 + H_0 Q_0 n_a n_b / 2 - H_0 Q_0 n_b^2 / 4 \right) \sin(3\Omega t) = \\ &= P_{0in} + P_{1ain} \cos(\Omega t) + P_{1bin} \sin(\Omega t) + P_{2ain} \cos(2\Omega t) + \\ &+ P_{2bin} \sin(2\Omega t) + P_{3ain} \cos(3\Omega t) + P_{3bin} \sin(3\Omega t). \end{aligned} \quad (3)$$

Гидравлическая мощность в трубопроводной сети, расходуемая на преодоление сопротивления:

$$\begin{aligned} p_{st}(t) &= H_{st} (Q_0 + Q_a \cos(\Omega t) + Q_b \sin(\Omega t)) = H_{st} Q_0 + H_{st} Q_a \cos(\Omega t) + H_{st} Q_b \sin(\Omega t) = \\ &= P_{0st} + P_{1ast} \cos(\Omega t) + P_{1bst} \sin(\Omega t). \end{aligned} \quad (4)$$

Мощность на эквивалентном активном сопротивлении насосного комплекса:

$$\begin{aligned}
 p_{R_{\Sigma}}(t) &= R_{\Sigma} Q^3(t) = R_{\Sigma} (Q_0 + Q_a \cos(\Omega t) + Q_b \sin(\Omega t))^3 = \\
 &= (R_{\Sigma} Q_0^3 + 3R_{\Sigma} Q_0 Q_a^2/2 + 3R_{\Sigma} Q_0 Q_b^2/2) + (3R_{\Sigma} Q_0^2 Q_a + 3R_{\Sigma} Q_a^3/4 + \\
 &+ 3R_{\Sigma} Q_a Q_b^2/4) \cos(\Omega t) + (3R_{\Sigma} Q_0^2 Q_b + 3R_{\Sigma} Q_a^2 Q_b/4 + 3R_{\Sigma} Q_b^3/4) \sin(\Omega t) + \\
 &+ (3R_{\Sigma} Q_0 Q_a^2/2 - 3R_{\Sigma} Q_0 Q_b^2/2) \cos(2\Omega t) + (3R_{\Sigma} Q_0 Q_a Q_b) \sin(2\Omega t) + \\
 &+ (R_{\Sigma} Q_a^3/4 - 3R_{\Sigma} Q_a Q_b^2/4) \cos(3\Omega t) + (3R_{\Sigma} Q_a^2 Q_b/4 - R_{\Sigma} Q_b^3/4) \sin(3\Omega t) = \\
 &= P_{0 R_{\Sigma}} + P_{1a R_{\Sigma}} \cos(\Omega t) + P_{1b R_{\Sigma}} \sin(\Omega t) + P_{2a R_{\Sigma}} \cos(2\Omega t) + \\
 &+ P_{2b R_{\Sigma}} \sin(2\Omega t) + P_{3a R_{\Sigma}} \cos(3\Omega t) + P_{3b R_{\Sigma}} \sin(3\Omega t).
 \end{aligned} \tag{5}$$

Мощность на эквивалентной индуктивности насосного комплекса:

$$\begin{aligned}
 p_{L_{\Sigma}}(t) &= L_{\Sigma} (d(Q^2(t))/dt) Q(t) = L_{\Sigma} ((Q_0 + Q_a \cos(\Omega t) + Q_b \sin(\Omega t))^2)' (Q_0 + Q_a \cos(\Omega t) + \\
 &+ Q_b \sin(\Omega t)) = (2Q_0^2 Q_b L_{\Sigma} \Omega + Q_a^2 Q_b L_{\Sigma} \Omega/2 + Q_b^3 L_{\Sigma} \Omega/2) \cos(\Omega t) + \\
 &+ (-2Q_0^2 Q_a L_{\Sigma} \Omega - Q_a^3 L_{\Sigma} \Omega/2 - Q_a Q_b^2 L_{\Sigma} \Omega/2) \sin(\Omega t) + (4Q_0 Q_a Q_b L_{\Sigma} \Omega) \cos(2\Omega t) + \\
 &+ (-2Q_0 Q_a^2 L_{\Sigma} \Omega + 2Q_0 Q_b^2 L_{\Sigma} \Omega) \sin(2\Omega t) + (3Q_a^2 Q_b L_{\Sigma} \Omega/2 - Q_b^3 L_{\Sigma} \Omega/2) \cos(3\Omega t) + \\
 &+ (-Q_a^3 L_{\Sigma} \Omega/2 + 3Q_a Q_b^2 L_{\Sigma} \Omega/2) \sin(3\Omega t) = P_{1a L_{\Sigma}} \cos(\Omega t) + P_{1b L_{\Sigma}} \sin(\Omega t) + \\
 &+ P_{2a L_{\Sigma}} \cos(2\Omega t) + P_{2b L_{\Sigma}} \sin(2\Omega t) + P_{3a L_{\Sigma}} \cos(3\Omega t) + P_{3b L_{\Sigma}} \sin(3\Omega t).
 \end{aligned} \tag{6}$$

Для приведенной выше схемы замещения общее уравнение энергобаланса определяется выражением:

$$p_{in}(t) = p_{st}(t) + p_{R_{\Sigma}}(t) + p_{L_{\Sigma}}(t). \tag{7}$$

Система уравнений энергобаланса для постоянной и гармонических составляющих мгновенной мощности элементов НК имеет вид:

$$\left. \begin{aligned}
 H_0 Q_0 v_0^2 + H_0 Q_0 v_a^2/2 + H_0 Q_0 v_b^2/2 + H_0 Q_a v_0 v_a + H_0 Q_b v_0 v_b &= H_{st} Q_0 + R_{\Sigma} Q_0^3 + \\
 + 3R_{\Sigma} Q_0 Q_a^2/2 + 3R_{\Sigma} Q_0 Q_b^2/2; \\
 2H_0 Q_0 v_0 v_a + H_0 Q_a v_0^2 + 3H_0 Q_a v_a^2/4 + H_0 Q_a v_b^2/4 + H_0 Q_b v_a v_b/2 &= H_{st} Q_a + \\
 + 3R_{\Sigma} Q_0^2 Q_a + 3R_{\Sigma} Q_a^3/4 + 3R_{\Sigma} Q_a Q_b^2/4 + 2Q_0^2 Q_b L_{\Sigma} \Omega + Q_a^2 Q_b L_{\Sigma} \Omega/2 + Q_b^3 L_{\Sigma} \Omega/2; \\
 H_0 Q_b v_0^2 + H_0 Q_b v_a^2/4 + 3H_0 Q_b v_b^2/4 + 2H_0 Q_0 v_0 v_b + H_0 Q_a v_a v_b/2 &= H_{st} Q_b + \\
 + 3R_{\Sigma} Q_0^2 Q_b + 3R_{\Sigma} Q_a^2 Q_b/4 + 3R_{\Sigma} Q_b^3/4 - 2Q_0^2 Q_a L_{\Sigma} \Omega - Q_a^3 L_{\Sigma} \Omega/2 - Q_a Q_b^2 L_{\Sigma} \Omega/2; \\
 H_0 Q_0 v_a^2/2 - H_0 Q_0 v_b^2/2 + H_0 Q_a v_0 v_a - H_0 Q_b v_0 v_b &= 3R_{\Sigma} Q_0 Q_a^2/2 - 3R_{\Sigma} Q_0 Q_b^2/2 + 4Q_0 Q_a Q_b L_{\Sigma} \Omega; \\
 H_0 Q_0 v_a v_b + H_0 Q_b v_0 v_a + H_0 Q_a v_0 v_b &= 3R_{\Sigma} Q_0 Q_a Q_b - 2Q_0 Q_a^2 L_{\Sigma} \Omega + 2Q_0 Q_b^2 L_{\Sigma} \Omega; \\
 H_0 Q_a v_a^2/4 - H_0 Q_a v_b^2/4 - H_0 Q_b v_a v_b/2 &= R_{\Sigma} Q_a^3/4 - 3R_{\Sigma} Q_a Q_b^2/4 + 3Q_a^2 Q_b L_{\Sigma} \Omega/2 - Q_b^3 L_{\Sigma} \Omega/2; \\
 H_0 Q_b v_a^2/4 + H_0 Q_a v_a v_b/2 - H_0 Q_b v_b^2/4 &= 3R_{\Sigma} Q_a^2 Q_b/4 - R_{\Sigma} Q_b^3/4 - Q_a^3 L_{\Sigma} \Omega/2 + 3Q_a Q_b^2 L_{\Sigma} \Omega/2.
 \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

Анализ показал, что число полученных идентификационных уравнений больше числа неизвестных параметров схемы замещения НК, что предоставляет в дальнейшем возможность усложнения схемы замещения путем разделения активных и индуктивных элементов насосного агрегата, трубопровода и потребителя, учета нелинейной зависимости изменения параметров от производительности.

Для входного сигнала изменения частоты вращения насосного агрегата $n(t) = 0,85 + 0,5 \cos(\Omega t - 15^\circ) = 0,85 + 0,483 \cos(\Omega t) + 0,129 \sin(\Omega t)$, площади поперечного сечения $S = 0,126 \text{ м}^2$, максимального значения напора $H_0 = 32 \text{ м}$ производительность описывается выражением $Q(t) = 0,107 + 0,063 \cos(\Omega t - 15^\circ) = 0,107 + 0,061 \cos(\Omega t) +$

+ 0,016 sin(Ωt) , где Ω = 12,56 с⁻¹, f = 2 Гц. Из общей системы идентификационных уравнений (8) могут быть взяты для расчета любые три, которые после преобразований сводятся к виду:

$$\left. \begin{aligned} 3,744 &= 0,107H_{st} + 1,863 \cdot 10^{-3} R_{\Sigma}; \\ 4,576 &= 0,061H_{st} + 2,277 \cdot 10^{-3} R_{\Sigma} + 5 \cdot 10^{-3} L_{\Sigma}; \\ 1,28 &= 0,016H_{st} + 3,34 \cdot 10^{-3} R_{\Sigma} - 0,019L_{\Sigma}. \end{aligned} \right\}$$

В результате решения получим следующие значения параметров схемы замещения НК:
 $H_{st} = 13,315$ м, $R_{\Sigma} = 1,274 \cdot 10^3 \text{ } \hat{e}\tilde{a}/i^4 \tilde{n}$, $L_{\Sigma} = 169,1 \text{ } \hat{e}\tilde{a}/i^4 \tilde{n}$.

Предложенный в работе энергетический подход может быть использован в задачах идентификации параметров более сложных схем замещения НК, учитывающих групповую работу НА с регулируемым и нерегулируемым электроприводом насосов (рис. 2,а – параллельная работа НА; рис. 2,б – последовательная работа НА), кавитационные процессы в трубопроводной сети путем введения дополнительного контура кавитации (рис. 2,в), который включает в себя генератор собственных кавитационных автоколебаний $H_{kav}\mu(t)$, изменяющихся во времени, и R_{kav}, L_{kav} – элементы, учитывающие рост гидродинамического сопротивления трубопровода из-за скопления воздуха в потоке жидкости.

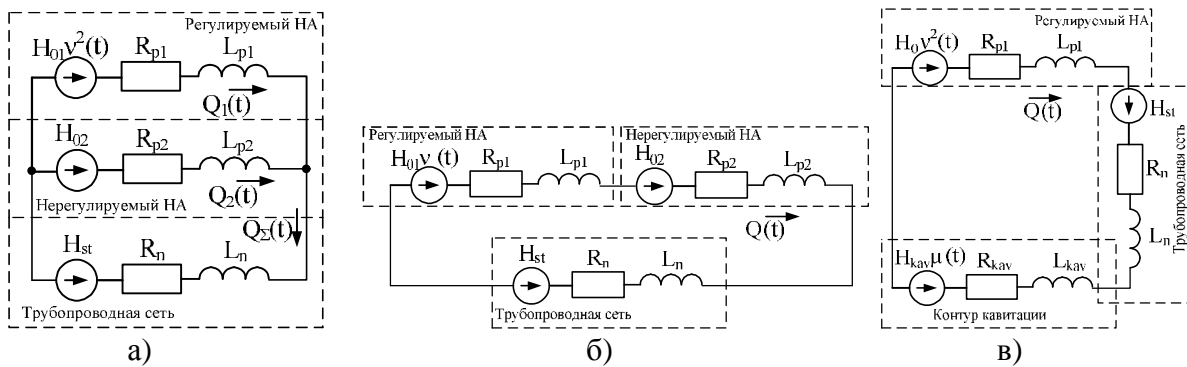


Рисунок 2 – Эквивалентные схемы замещения параллельно (а) и последовательно (б) работающих НА, с учетом кавитации (в)

ВЫВОДЫ. В работе доказана возможность применения энергетического критерия на базе уравнений баланса гармонических составляющих мгновенной мощности на каждом элементе энергопреобразования для решения задач идентификации параметров сложных электротехнологических систем. Предложенный подход представлен соответствующими системами идентификационных уравнений энергобаланса, составленными для эквивалентных схем замещения насосного комплекса, учитывающих работу регулируемого по скорости насосного агрегата на трубопроводную сеть с противодавлением. Получено, что количество идентификационных уравнений больше числа неизвестных параметров схемы замещения, что предоставляет возможность усложнения схем замещения насосных комплексов путем учета технологических нелинейностей, проявляющихся при изменении режимов работы оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишневский К.П. Переходные процессы в напорных системах водоподачи. – М.: Агропромиздат, 1986. – 135 с.

2. Коренькова Т.В., Ковальчук В.Г. Характеристики процессов энергопреобразования в электромеханическом комплексе // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 4/2011 (16). – С. 93–98.

3. Ромашихин Ю.В., Родькин Д.И., Калинов А.П. Энергетический метод идентификации параметров асинхронных двигателей // *Вісник КДПУ*. – Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 3/2007 (44), част. 2. – С. 130–136.

4. Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В. Возможности и эффективность метода энергодиагностики в идентификационных задачах // XIV Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика»: Збірник наукових праць. – Дніпродзержинськ: ДГТУ, 2007. – С. 507–512.

5. Родькин Д.И. Комментарий к теории энергопроцессов с полигармоническими сигналами. Часть 2. Определение и использование показателей энергетических режимов // *Вісник КДПУ*. – Кременчук: КДПУ, 2005. – Вип. 3/2005 (32). – С. 106–115.

6. Zagirnyak M., Rod'kin D., Korenkova T. Enhancement of instantaneous power method in the problems of estimation of electromechanical complexes power controllability // *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical review)*, 2011. – № 12b. – PP. 208–212.

7. Костышин В.С. Моделирование режимов работы центробежных насосов на основе электрогидравлической аналогии: монография. – Ивано-Франковск, 2000. – 163 с.

IDENTIFICATION OF PUMP COMPLEXES PARAMETERS WITH THE USE OF POWER CRITERION

T. Korenkova, V. Kovalchuk

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: viktoria_kovalc@mail.ru

The possibility of determining pump complexes parameters based on energy balance equations of instantaneous power components has been proved. A system of identification equations of an idealized pump unit, working on a pipe network with back pressure has been received. It has been noted that the proposed energy approach could be used for solving technological nonlinearity identification problems.

Key words: instantaneous power, the energy balance equations, the energy criterion, identification of parameters, equivalent circuit, the pump complex.

REFERENCES

1. Vishnevskiy K.P. *Transients in pressurized water supply systems*. – М.: Agropromizdat, 1986. – 135 p. [in Russian]

2. Korenkova T.V., Kovalchuk V.G. Characteristics of the energy conversion process in electromechanical complexes // *Electromechanical and Energy Saving up Systems*. – Kremenchuk: KrNU, 2011. – № 4/2011 (16). – PP. 93–98. [in Russian]

3. Romashihin Yu.V., Rodkin D.I., Kalinov A.P. Energy method of identification of induction motors parameters // *Transaction KSPU*. – Kremenchuk: KSPU, 2007. – Iss. 3/2007 (44). – PP. 130–136. [in Russian]

4. Rodkin D.I., Romashihin Yu.V. Capabilities and efficiency of energydiagnostics method in identifying problems // *XIV International Scientific Conference "Problems of automatic electric drive. Theory and applications": Scientific papers*. – Dniprodzerzhinsk: DNTU, 2007. – PP. 507–512.

5. Rodkin D.I. Comment on the energy processes theory with polyharmonic signals. Part 2. The definition and using of energy mode indicators // *Transaction KSPU*. – Kremenchuk: KSPU, 2005. – Iss. 3/2005 (32). – PP. 106–115. [in Russian]

6. Zagirnyak M., Rod'kin D., Korenkova T. Enhancement of instantaneous power method in the problems of estimation of electromechanical complexes power controllability // *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical review)*, 2011. – № 12b. – PP. 208–212.

7. Kostyshin V.S *Simulation of centrifugal pumps modes based on an electro-hydraulic analogy*: monograph. – Ivano-Frankivsk, 2000. – 163 p. [in Russian]



Коренькова Татяна Валерьевна,
к.т.н., доцент кафедры «Системы автоматического управления и электропривод» КрНУ,
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина,
т. (05366)-3-11-47
E-mail: saue@polytech.poltava.ua



Ковальчук Виктория Григорьевна,
асп. кафедры «Системы автоматического управления и электропривод»
КрНУ,
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина,
Тел. (05366) 3-11-47,
E-mail: viktoria_kovalc@mail.ru

Стаття надійшла 21.01.2013

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Родькіним Д.Й.