

УДК 621.65:004.183

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД В ЗАДАЧАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

М.В.Загирняк, чл-кор. НАПН Украины, **В.Г.Ковальчук**, **Т.В.Коренькова***, канд.техн.наук
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,
ул. Первомайская, 20, Кременчуг, 39600, Украина.
E-mail: mzagirn@gmail.com, viktoria_kovalc@mail.ru

Установлено, что гидравлическая мощность при развитии нестационарных гидродинамических процессов в трубопроводной сети характеризуется периодическими установившимися колебаниями на анализируемом интервале времени. Показана возможность представления гидравлической мощности гармоническим рядом, компоненты которого формируются произведением ортогональных гармонических составляющих сигналов напора и расхода. Предложен энергетический метод определения параметров электрогидравлического комплекса на базе уравнений энергобаланса гармонических составляющих мощности между источником гидравлического питания и элементами гидросистемы. Библ. 3, рис. 1.

Ключевые слова: гидравлическая мощность, электрогидравлический комплекс, гармонический анализ.

Регулирование режимов работы электрогидравлического комплекса (ЭГК), включение/выключение насосных агрегатов (НА) или отдельных участков трубопровода, срабатывание запорно-регулирующей арматуры, изменение термодинамических свойств транспортируемой жидкости характеризуются возникновением нестационарных гидродинамических процессов: пульсаций напора, гидравлических ударов, кавитационных явлений и т.п. [1]. Последние, в свою очередь, сопровождаются изменением параметров НА и трубопроводной сети. В случае, когда параметры ЭГК приближаются к пороговым значениям, соответствующим тем или иным нестационарным режимам работы оборудования, в гидросистеме возможно развитие аварийных ситуаций: закупоривание или порыв трубопроводной сети, кавитационный срыв НА и т.д.

Анализ [2] показал, что существующие системы контроля параметров ЭГК базируются на непосредственном измерении электрических и технологических параметров или использовании косвенных способов, когда производится измерение одних показателей с последующим пересчетом на основные технологические параметры. Недостатками таких систем является достаточная дороговизна используемых измерительных средств и, в связи с этим, ограниченное количество измеряемых технологических параметров ЭГК; использование эмпирических зависимостей. В таких условиях целесообразен поиск подходов, позволяющих определить максимально возможное количество параметров действующих ЭГК при минимально необходимом количестве устанавливаемой контрольно-измерительной аппаратуры.

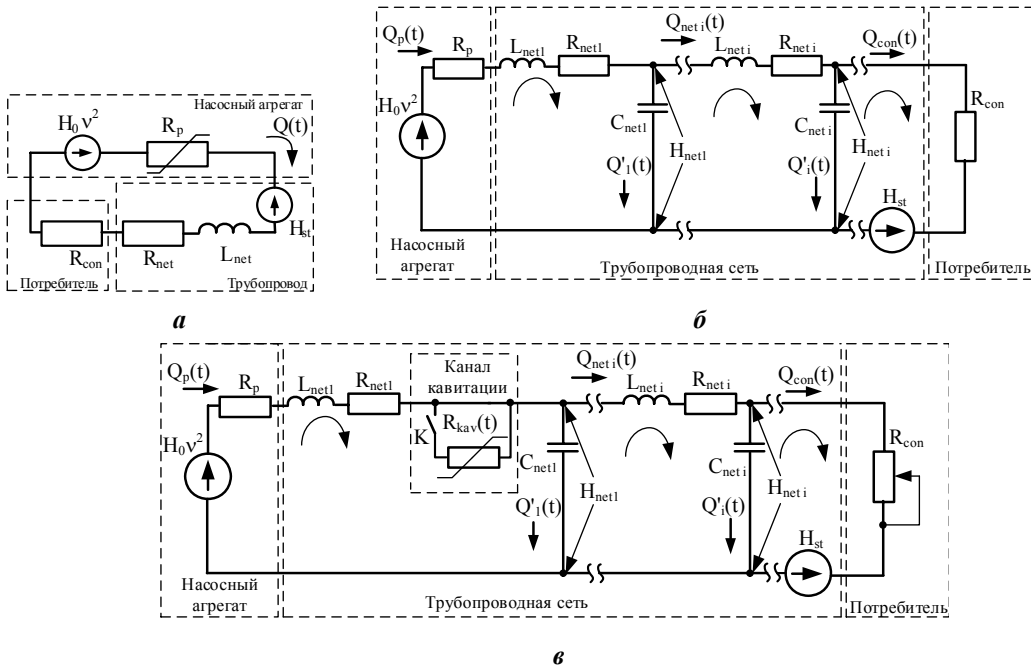
Изменение нагрузочного режима в гидросистеме, обусловленное развитием нестационарных гидродинамических процессов в трубопроводной сети, напрямую связано с энергетическими параметрами работы электрогидравлического оборудования. Так, возникновение кавитационных процессов в гидросети сопровождается периодическим во времени изменением напора и расхода, а также гидравлической мощности, равной произведению этих сигналов. Гармонический анализ мощности ЭГК показал наличие низкочастотных составляющих, обусловленных кавитационными процессами в гидросистеме [3]. Поэтому является оправданным синтез временной функции мощности (электрической, гидравлической) гармоническим рядом, параметры которого рассчитываются на периоде повторяемости сигнала и формируются произведением ортогональных гармонических составляющих сигналов напряжений и токов, напоров и расходов. С учетом сказанного целью работы является определение параметров электрогидравлического комплекса при развитии периодических нестационарных процессов в трубопроводной сети с использованием энергетического метода, базирующегося на составлении уравнений баланса частотных компонент гидравлической мощности между источником и элементами гидросистемы.

На рисунке показаны эквивалентные электрические схемы замещения ЭГК, отображающие работу насоса на трубопроводную сеть, представленную одним участком (*a*), *i*-тым количеством участков (*b*) и с учетом развития кавитационных процессов в трубопроводной сети (*e*), описываемых введением в схему замещения изменяющегося во времени *t* нелинейного сопротивления $R_{kav}(t)$. На рисунке приняты следующие обозначения: $H_0 v^2$ – источник гидравлического питания; $v = \omega_i / \omega_n$ – относительная частота вращения НА; ω_i, ω_n – текущая и номинальная частота вращения двигателя соответственно; H_{st} – источник статического противодавления; $R_p, R_{net i}, R_{con}$ – активные гидравлические сопротивления насоса, *i*-го участка трубопровода и потребителя

соответственно; $L_{net\ i}$, $C_{net\ i}$ – индуктивное и емкостное сопротивления i -го участка трубопровода соответственно; $Q_p(t)$, $Q_{net\ i}(t)$, $Q_{con}(t)$ – расход на выходе насоса, на i -том участке трубопровода и у потребителя соответственно; $Q'_i(t)$ – потери расхода на i -том участке трубопровода.

В общем случае возникновение нелинейных процессов в ЭГК приводит к формированию производительности на выходе НА как периодической функции времени

$$Q_p(t) = Q_0 + \sum_{l=1}^L Q_l \cos(\Omega t - \gamma_l) = Q_0 + \sum_{l=1}^L Q_{la} \cos(\Omega t) + \sum_{l=1}^L Q_{lb} \sin(\Omega t), \quad (1)$$



где l , L – номер и число гармоник сигнала производительности соответственно; Q_0 , Q_l – амплитудные значения постоянной и переменной составляющих сигнала производительности, соответственно; $Q_{la} = Q_l \cos \gamma$,

$Q_{lb} = Q_l \sin \gamma$ – ортогональные косинусная и синусная составляющие сигнала производительности соответственно; Ω – круговая частота сигнала производительности; γ – угол сдвига фазы сигнала производительности от носителя начала координат.

Тогда мощность на выходе источника гидравлического питания

$$p_s(t) = H_0 v^2 Q_p(t) = H_0 v^2 \left(Q_0 + \sum_{l=1}^L Q_{la} \cos(\Omega t) + \sum_{l=1}^L Q_{lb} \sin(\Omega t) \right) = P_{s0} + \sum_{r=1}^R P_{rsa} \cos(\Omega_r t) + \sum_{r=1}^R P_{rsb} \sin(\Omega_r t), \quad (2)$$

где r , R – номер и число гармоник сигнала гидравлической мощности источника соответственно; P_{s0} , P_{rsa} , P_{rsb} – амплитудные значения постоянной и ортогональных косинусной и синусной составляющих сигнала гидравлической мощности источника соответственно; Ω_r – круговая частота сигнала гидравлической мощности источника гидравлического питания.

Потери мощности на активном сопротивлении насоса

$$\Delta p_p(t) = R_p Q_p^3(t) = R_p \left(Q_0 + \sum_{l=1}^L Q_{la} \cos(\Omega t) + \sum_{l=1}^L Q_{lb} \sin(\Omega t) \right)^3 = P_{Rp0} + \sum_{r=1}^R P_{Rp_a} \cos(\Omega_r t) + \sum_{r=1}^R P_{Rp_b} \sin(\Omega_r t). \quad (3)$$

Аналогичным образом могут быть представлены потери мощности на:

– активном сопротивлении i -го участка трубопровода $\Delta p_{R_{net\ i}}(t) = R_{net\ i} Q_{net\ i}^3(t); \quad (4)$

– индуктивном сопротивлении i -го участка трубопровода $\Delta p_{L_{net\ i}}(t) = L_{net\ i} Q_{net\ i}(t) d(Q_{net\ i}(t))/dt; \quad (5)$

– емкостном сопротивлении i -го участка трубопровода $\Delta p_{C_{net\ i}}(t) = Q_{net\ i}(t)/C_{net\ i} \int_0^T Q_{net\ i}(t) dt; \quad (6)$

– преодоление противодавления в гидросети $\Delta p_{st}(t) = H_{st} Q_{con}(t); \quad (7)$

– кавитацию $\Delta p_{kav}(t) = R_{kav}(t) Q_{net\ i}^2(t). \quad (8)$

Гидравлическая мощность у потребителя (в конечной точке трубопроводной сети)

$$p_{con}(t) = R_{con} Q_{con}^3(t). \quad (9)$$

Тогда общее уравнение энергобаланса ЭГК имеет вид

$$p_s(t) = \Delta p_p(t) + \sum_{i=1}^I \Delta p_{net\ i}(t) + \Delta p_{kav}(t) + \Delta p_{st}(t) + p_{con}(t), \quad (10)$$

где $\sum_{i=1}^I \Delta p_{net\ i}(t) = \Delta p_{R_{net\ i}}(t) + \Delta p_{L_{net\ i}}(t) + \Delta p_{C_{net\ i}}(t)$ – суммарные потери мощности на i -тых участках трубопровода.

Гармонический анализ составляющих мощности, входящих в (10), позволил перейти к уравнениям энергобаланса для отдельных компонент гидравлической мощности между источником и элементами ЭГК

$$\left. \begin{aligned} P_{s0} &= \Delta P_{st0} + \Delta P_{R_{\Sigma}0} + \Delta P_{Lneti0} + \Delta P_{kav0} + \Delta P_{Cneti0} + P_{con0}; \\ P_{s1a} &= \Delta P_{st1a} + \Delta P_{R_{\Sigma}1a} + \Delta P_{Lneti1a} + \Delta P_{kav1a} + \Delta P_{Cneti1a} + P_{con1a}; \\ P_{s1b} &= \Delta P_{st1b} + \Delta P_{R_{\Sigma}1b} + \Delta P_{Lneti1b} + \Delta P_{kav1b} + \Delta P_{Cneti1b} + P_{con1b}; \\ &\dots\dots\dots \\ P_{rsa} &= \Delta P_{rst a} + \Delta P_{rR_{\Sigma} a} + \Delta P_{rLnet i a} + \Delta P_{rkav a} + \Delta P_{rCnet i a} + P_{rcon a}; \\ P_{rsb} &= \Delta P_{rst b} + \Delta P_{rR_{\Sigma} b} + \Delta P_{rLnet i b} + \Delta P_{rkav b} + \Delta P_{rCnet i b} + P_{rcon b}; \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где индексу «0» соответствуют постоянные составляющие мощности, индексам «a», «b» – косинусные и синусные компоненты соответственно; $\Delta P_{R_{\Sigma}}$, $\Delta P_{Lnet i}$, $\Delta P_{Cnet i}$ – амплитудные значения потерь гидравлической мощности на суммарном активном сопротивлении $R_{\Sigma} = R_p + \sum_{i=1}^I R_{net i}$, на индуктивном и емкостном сопротивлениях i -го участка гидросети, соответственно; ΔP_{st} , ΔP_{kav} – амплитудные значения потерь гидравлической мощности, расходуемой на преодоление статического противодействия, и вызванные кавитационными автоколебаниями соответственно; P_{con} – амплитудное значение гидравлической мощности у потребителя.

Решение системы (11) позволяет определить требуемые параметры схемы замещения ЭГК, сравнить их с критическими значениями, соответствующими тем или иным предаварийным режимам работы оборудования.

Предложенный подход может быть использован для определения параметров ЭГК, технологические схемы которых учитывают групповую работу насосных агрегатов с регулируемым и нерегулируемым электроприводом насосов, кавитационные процессы как в турбомеханизмах, так и на участках трубопроводной сети, технологические нелинейности, проявляющиеся при срабатывании запорно-регулирующей арматуры и т.п.

1. *Вишневикий К.П.* Переходные процессы в напорных системах водоподачи. – М.: Агропромиздат, 1986. – 135 с.
2. *Лезнов Б.С.* Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
3. *Zagirnyak M., Rodkin D., Korenkova T.* Estimation of energy conversion processes in an electromechanical complex with the use of instantaneous power method // 16-th International power electronics and motion control conference and exposition, PEMC, Antalya, Turkey. – 2014. – Pp. 319–326.

УДК 621.65:004.183

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕТОД У ЗАДАЧАХ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

М.В.Загірняк, докт.техн.наук, **В.Г.Ковальчук**, **Т.В.Коренькова**, канд.техн.наук

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,

вул. Першотравнева, 20, Кременчук, 39600, Україна. E-mail: mzagirn@gmail.com, viktoria_kovalc@mail.ru

Встановлено, що гідрравлічна потужність при розвитку періодичних нелінійних гідродинамічних процесів в трубопроводній мережі характеризується періодичними усталеними коливаннями на аналізованому інтервалі часу. Показано можливість представлення гідрравлічної потужності гармонічним рядом, компоненти якого формуються добутком ортогональних гармонічних складових сигналів напору і витрати. Показано можливість визначення параметрів електрогідрравлічного комплексу на базі рівнянь енергобалансу гармонічних складових потужності між джерелом гідрравлічного живлення та елементами гідросистеми. Бібл. 3, рис. 1.

Ключові слова: гідрравлічна потужність, електрогідрравлічний комплекс, гармонічний аналіз.

POWER METHOD OF THE TASKS OF DETERMINING ELECTROHYDRAULIC COMPLEX PARAMETERS

M.V.Zagirnyak, V.G.Kovalchuk, T.V.Korenkova

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University

str. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: mzagirn@gmail.com, viktoria_kovalc@mail.ru

It was found that the hydraulic power at development of periodic nonlinear hydrodynamic processes in pipeline network is characterized by periodic steady oscillations in the analyzed interval of time. The possibility represented hydraulic power by a harmonic series which components are formed the product of orthogonal harmonic components of the head and flow signal was shown. Proposed power method of determining the electrohydraulic complex parameters on the basis of the energy balance equations of the power harmonic components between the power supply and hydraulic components of the hydraulic system. References 3, figure 1.

Keywords: hydraulic power, electrohydraulic complex, harmonic analysis.

1. *Vishnevskiy K.P.* Transients in pressurized water supply systems. – Moskva: Agropromizdat, 1986 – 135 p. (Rus)
2. *Leznov B.S.* Energy saving and regulated drive in the pump and blower units – Moskva: Agropromizdat, 2006. – 360 p. (Rus)
3. *Zagirnyak M., Rodkin D., Korenkova T.* Estimation of energy conversion processes in an electromechanical complex with the use of instantaneous power method // 16-th International power electronics and motion control conference and exposition, PEMC, Antalya, Turkey. – 2014. – Pp. 319–326.

Надійшла 25.01.2016
Остаточний варіант 23.03.2016