

## СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В НАСОСНОМ КОМПЛЕКСЕ С УПРАВЛЯЕМЫМ ГИДРОКЛАПАНОМ

*Кравец А.М., ассист., Коренькова Т.В., к.т.н., доц.  
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина  
E-mail: saue@polytech.poltava.ua*

В работе рассмотрен способ снижения динамических нагрузок в гидротранспортном комплексе при внезапном исчезновении напряжения с использованием резервного питания от бесперебойного источника питания или активного гасителя энергии гидропотока. Разработано техническое решение и алгоритмы управления трубопроводной арматурой с регулируемым электроприводом на базе предложенного способа.

**Ключевые слова:** трубопроводная арматура, регулируемый электропривод, бесперебойный источник питания.

**Введение.** Трубопроводная арматура является важнейшим элементом технологического оборудования гидротранспортных комплексов (ГТК) и выполняет защитную, предохранительную и регулировочную функции. Управление арматурой влияет на характер протекания переходных процессов в гидросистеме, как в обычных (регулирование, пусковые режимы и т.п.), так и аварийных режимах. Часто закрытие/открытие задвижек, затворов и т.д. производится без соблюдения требуемого темпа и продолжительности управления, что приводит к возникновению гидравлических ударов в коммуникационной сети; повышенным вибрациям стенок и проточного тракта насосного агрегата, трубопроводной арматуры; значительным колебаниям гидравлического момента на валу насоса (до 30-40% установившегося значения); резкому снижению подачи до нуля на выходе агрегата; броскам давления в трубопроводной магистрали, в 5-7 раз превышающим допустимые значения. Особенно тяжелым является режим внезапного отключения электроэнергии, при котором происходит резкое срабатывание гидроклапана в напорном коллекторе насосной станции (НС), а величина давления в гидросети в 6-10 раз превышает номинальное значение [1, 2]. Такие режимы работы характеризуются низкими значениями КПД насосных агрегатов (НА), большими потерями энергии, приводят к сокращению в 5-6 раз ресурса работы трубопроводной арматуры, насосного оборудования и значительным материальным затратам на ликвидацию последствий аварий. В связи с этим является целесообразным разработка способов и систем управления трубопроводной арматурой, приводящих к снижению динамических нагрузок в насосных комплексах и повышению надежности работы технологического оборудования.

**Анализ предыдущих исследований.** Существующие способы снижения динамических нагрузок в НС с запорно-регулирующей арматурой базируются на:

- увеличении времени закрытия задвижки с соблюдением равномерного темпа управления [3];
- формировании неравномерного темпа закрытия запорно-регулирующей арматуры с уменьшающейся во времени скоростью, что реализуется дискретно в несколько ступеней за счет использования нерегулируемого асинхронного электропривода (ЭП), имеющего несколько частот вращения [4, 5].

К недостаткам этих способов можно отнести: отсутствие возможности управления запорно-регулирующей арматурой при внезапном исчезновении электропитания НС; отсутствие регулируемого ЭП трубопроводной арматуры, позволяющего осуществлять непрерывное изменение скорости и формирование требуемой траектории закрытия арматуры; при управлении арматурой не учитывается нелинейный характер зависимости гидравлического сопротивления  $\xi$  от относительной степени открытия  $\beta$ .

**Цель работы.** Разработка технического решения и алгоритмов управления системой снижения динамических нагрузок в насосных комплексах.

**Материал и результаты исследования.** Предлагаемое в работе техническое решение заключается в снижении динамических нагрузок в гидросистеме в случае внезапного исчезновения напряжения и нахождении такого темпа управления запорно-регулирующей арматурой, при котором напор в трубопроводной сети у арматуры не превысит максимально допустимого значения. На рис. 1 приведена функциональная схема ГТК с устройством, реализующим данный способ и включающим: запорно-регулирующую арматуру ЗА, установленную на выходе центробежного насоса ЦН с приводным асинхронным электродвигателем АД1; преобразователь частоты ПЧ, подключенный к асинхронному приводному двигателю арматуры АД2, вал которого соединен с ее шпинделем через редуктор Р; обводной трубопровод, в котором установлен гидроклапан К, активный гаситель энергии АГЭ гидропотока с электрическим генератором Г на одном валу;

датчики напора ДН<sub>1</sub>, ДН<sub>2</sub> и расхода ДР<sub>1</sub>, ДР<sub>2</sub>, установленные в напорном трубопроводе насоса и обводном трубопроводе перед АГЭ соответственно; датчик положения ДП запорного органа трубопроводной арматуры ЗА; датчик сетевого напряжения ДСН; источник бесперебойного питания ИБП; силовой переключатель СП; устройство управления УУ.

Рассмотрим режимы работы такого насосного комплекса.

При внезапном прекращении электроснабжения асинхронных электродвигателей АД1 и АД2, фиксируемом датчиком напряжения, под воздействием статического напора в гидросистеме Н<sub>ст</sub> возникает противоток жидкости, момент наступления которого определяется с помощью датчика расхода ДР<sub>1</sub>. Устройство управления УУ, имеющее собственное автономное питание, формирует сигнал управления U<sub>у1</sub> на силовой

переключатель СП для подключения преобразователя частоты ПЧ к источнику бесперебойного питания ИБП. После этого фиксируются показания Н<sub>1</sub>, Q<sub>обр.1</sub> датчиков напора ДН<sub>1</sub> и расхода ДР<sub>1</sub> соответственно. По значению Q<sub>обр.1</sub> вычисляется величина обратной скорости потока через запорно-регулирующую арматуру ЗА:

$$v_{обр.1} = 4Q_{обр.1} / (\pi d^2). \quad (1)$$

Определяются:

- фаза гидроудара T<sub>ф</sub> = 2L/c;

- повышение давления при прямом гидроударе

$$\Delta N_{пр.} = cv_{обр.1} / g, \quad (2)$$

где в (1)-(2) d, L – диаметр и длина трубопровода соответственно, м; c – скорость распространения ударной волны, м/с.

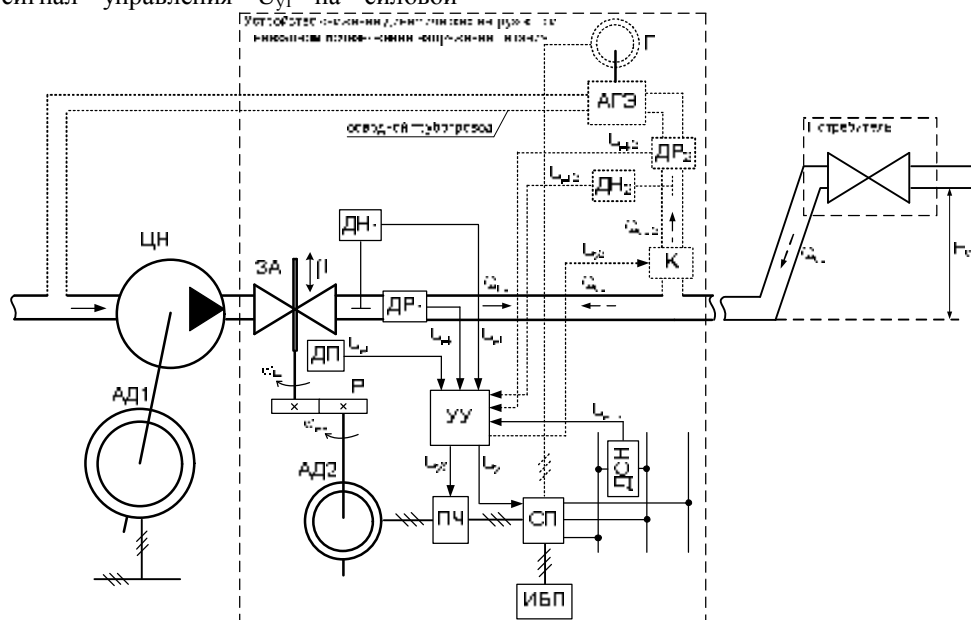


Рисунок 1 – Функциональная схема ГТК с устройством снижения динамических нагрузок на базе управляемой запорно-регулирующей арматуры при внезапном исчезновении напряжения питания НА

Устройством управления производится поиск такого темпа управления арматурой, при котором величина напора в трубопроводе у задвижки Н<sub>1</sub>+ΔN<sub>max</sub> будет меньше максимального допустимого значения напора Н<sub>max доп.</sub> в гидросистеме, где ΔN<sub>max</sub> – максимальное повышение напора при закрытии арматуры с определенными значениями коэффициента интенсивности управления n, времени полного закрытия t<sub>закр.</sub> и скорости течения жидкости в трубопроводе до начала закрытия v<sub>0</sub>.

Известно, что повышение напора при непрямом гидроударе (t<sub>закр.</sub>>T<sub>ф</sub>) в каждой его фазе определяется из выражения [3]:

$$\Delta N_k = 2\Delta h_{тр} \left[ \left( j - (1/\Delta h_{тр}) \sum_{i=1}^{k-1} \Delta N_i + (j\phi_k/\phi_0)^2 \right) \right]$$

$$(j\phi_k/\phi_0) \sqrt{1 + 2 \left( j - (1/\Delta h_{тр}) \sum_{i=1}^{k-1} \Delta N_i + (j\phi_k/\phi_0)^2 \right)}, \quad (3)$$

где c = c<sub>ж</sub>/√(1 + (E<sub>ж</sub>/E<sub>тр</sub>)Ψ) – скорость распространения ударной волны, м/с; E<sub>ж</sub> – модуль объемной упругости жидкости; E<sub>тр</sub> – модуль упругости материалов стенок трубы; c<sub>ж</sub> = √(E<sub>ж</sub>/ρ) – скорость распространения звука в жидкости, м/с; Ψ – коэффициент, учитывающий деформативность стенок трубопровода; ΔN<sub>i</sub> – повышение напора в каждой из фаз до рассматриваемой, м; j = v<sub>0</sub>c/(2gΔh<sub>тр</sub>) – ударный параметр трубопровода; v<sub>0</sub> – начальная скорость течения жидкости в трубопроводе до закрытия арматуры, м/с; Δh<sub>тр</sub> – потери напора на трение по длине трубопровода, м;

$\Phi_{0,k} = 1/\sqrt{\xi_{гр.} + \xi_{ззд.}(\beta)}$  – коэффициенты скорости трубопроводной системы с арматурой до начала закрытия и при текущей относительной степени открытия  $\beta$  задвижки соответственно;  $\xi_{гр.}$  – коэффициент гидравлического сопротивления трубопроводной системы;  $\xi_{ззд.}(\beta)$  – коэффициент гидравлического сопротивления задвижки при текущей относительной степени ее открытия  $\beta = 1 - (t/t_{закр})^{1/n}$ ,  $n \geq 1$ ;  $n$  – коэффициент интенсивности управления арматурой,  $t_{закр.}$  – время полного закрытия арматуры, с.

В работе [6] получены кривые изменения  $\Delta H_k$  во времени для ряда значений параметров  $n$ ,  $t_{закр.}$ ,  $v_0$ . Выбрав максимальные значения  $\Delta H_k$  и приняв  $\Delta h = \Delta H_{k \max} / \Delta H_{пр.}$ ,  $\tau = t_{закр.} / T_{ф.}$ , путем аппроксимации построена многофакторная модель вида:

$$\Delta h(n, \tau, v_0) = a_0(v_0) + a_1(v_0) \cdot n + a_2(v_0) \cdot \tau + a_3(v_0) \cdot n^2 + a_4(v_0) \cdot \tau^2 + a_5(v_0) \cdot n \cdot \tau + a_6(v_0) \cdot n^3 + a_7(v_0) \cdot \tau^3 + a_8(v_0) \cdot n \cdot \tau^2 + a_9(v_0) \cdot n^2 \cdot \tau, \quad (4)$$

где  $a_k(v_0) = b_{0k} + b_{1k}n^2(v_0) + b_{2k}e^{-v_0}$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, 9$  – коэффициенты аппроксимации;  $\Delta h$  – относительное повышение напора;  $\tau$  – относительное время закрытия арматуры, кратное фазе гидроудара  $T_{ф.}$ .

Параметры модели  $n$ ,  $\tau$ ,  $v_0$  изменяются в диапазонах  $n = 1 \div n_{\max}$ ,  $\tau = 1 \div \tau_{\max}$ ,  $v_0 = 0,2 \div 5$  м/с соответственно, где  $n_{\max} = 12$ ,  $\tau_{\max} = 10$  – максимальные значения коэффициента интенсивности управления и относительного времени закрытия арматуры соответственно.

На рис. 2 приведены графики изменения относительного повышения напора  $\Delta h$  от относительного времени закрытия  $\tau$  и коэффициента интенсивности управления арматурой  $n$  для диапазона изменения начальной скорости течения рабочей среды  $v_0 = 0,2 \div 5$  м/с. Для максимально допустимого повышения напора в гидросистеме показана зона, в которой находятся значения  $n_{опт.}$  и  $t_{закр. опт.}$ , соответствующие такому темпу управления арматурой, при котором давление в трубопроводе изменяется в допустимых пределах.

С учетом найденных значений  $n_{опт.}$  и  $t_{закр. опт.}$ , устройство управления по сигналам обратных связей с датчиков положения ДП и напора  $\Delta H_1$  формирует сигнал управления  $U_{y3}$  на преобразователь частоты на закрытие задвижки. Выполнение условия  $\beta=0$  соответствует полному

закрытию регулирующей арматуры.

Альтернативным вариантом работы устройства является использование активных гасителей энергии гидротока на базе гидротурбинных агрегатов с асинхронным генератором на одном валу, устанавливаемых в обводном трубопроводе НС. Тогда, при внезапном исчезновении напряжения на НС и возникновении противотока жидкости, устройство управления УУ формирует сигнал  $U_{y2}$  на открытие гидроклапана К. Часть потока по обратному трубопроводу направляется на активный гаситель энергии АГЭ (гидротурбину), который приводит во вращение электрический генератор Г, установленный на одном валу. В начальный момент времени, после открытия гидроклапана, из-за малой величины обратного потока в обводном трубопроводе выходной электрической мощности генератора может оказаться недостаточной для полного закрытия арматуры. Выполняя опрос датчиков напора  $\Delta H_2$  и расхода  $DR_2$ , устройство управления производит определение величины выходной мощности генератора:

$$P_{Г} = \rho g H_2 Q_{обр.} \eta_{АГЭ} \eta_{Г}, \quad (5)$$

где  $H_2$  – напор на АГЭ, м;  $Q_{обр.}$  – расход жидкости в обводном трубопроводе, м<sup>3</sup>/с;  $\eta_{АГЭ}$ ,  $\eta_{Г}$  – коэффициенты полезного действия активного гасителя энергии и генератора соответственно;  $\rho$  – плотность рабочей среды, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

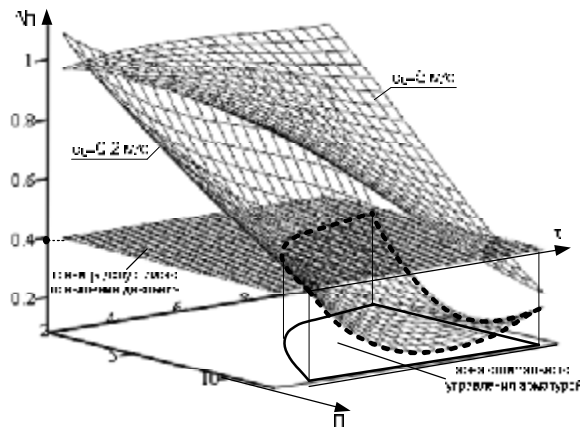


Рисунок 2 – Зона рационального управления трубопроводной арматурой

Генерируемая мощность  $P_{Г}$  сравнивается с величиной установленной мощности преобразователя частоты ПЧ  $P_{пч.}$  и при  $P_{Г} \geq P_{пч.}$  устройство управления формирует сигнал управления  $U_{y1}$  на силовой переключатель СП для подключения выходных зажимов генератора ко входу ПЧ. Далее алгоритм работы устройства такой же, как и в случае использования бесперебойного источника питания, рассмотренного выше.

На рис. 3 приведен алгоритм работы устройства управления для случаев, когда в качестве резервного

источника питания ЭП запорно-регулирующей арматуры используется дополнительное устройство бесперебойного питания (сплошные линии) или активный гаситель энергии гидропотока с электрическим генератором на одном валу (пунктирные линии).

Устройство бесперебойного питания может быть реализовано, например, на базе серийно выпускаемых промышленностью бесперебойных источников питания в широком диапазоне мощностей (от 100 Вт до 1 МВт) и характеризующихся высокими значениями КПД (93-95%), широким интервалом времени поддержания номинальной мощности (от 2,5 мин. до 3 ч.) при удельной

стоимости 200-250 у.е./кВт. В качестве активных гасителей энергии гидропотока могут выступать серийно выпускаемые гидротурбинные агрегаты малой мощности (50-300 кВт) с удельной стоимостью 300-350 у.е./кВт.

**Выводы.** Предложенный способ снижения динамических нагрузок в ГТК позволит исключить недопустимые повышения давления в трубопроводе, эффективно использовать энергию гидропотока, продлить срок службы технологического оборудования, повысить надежность и эффективность функционирования насосного комплекса в аварийных режимах работы.

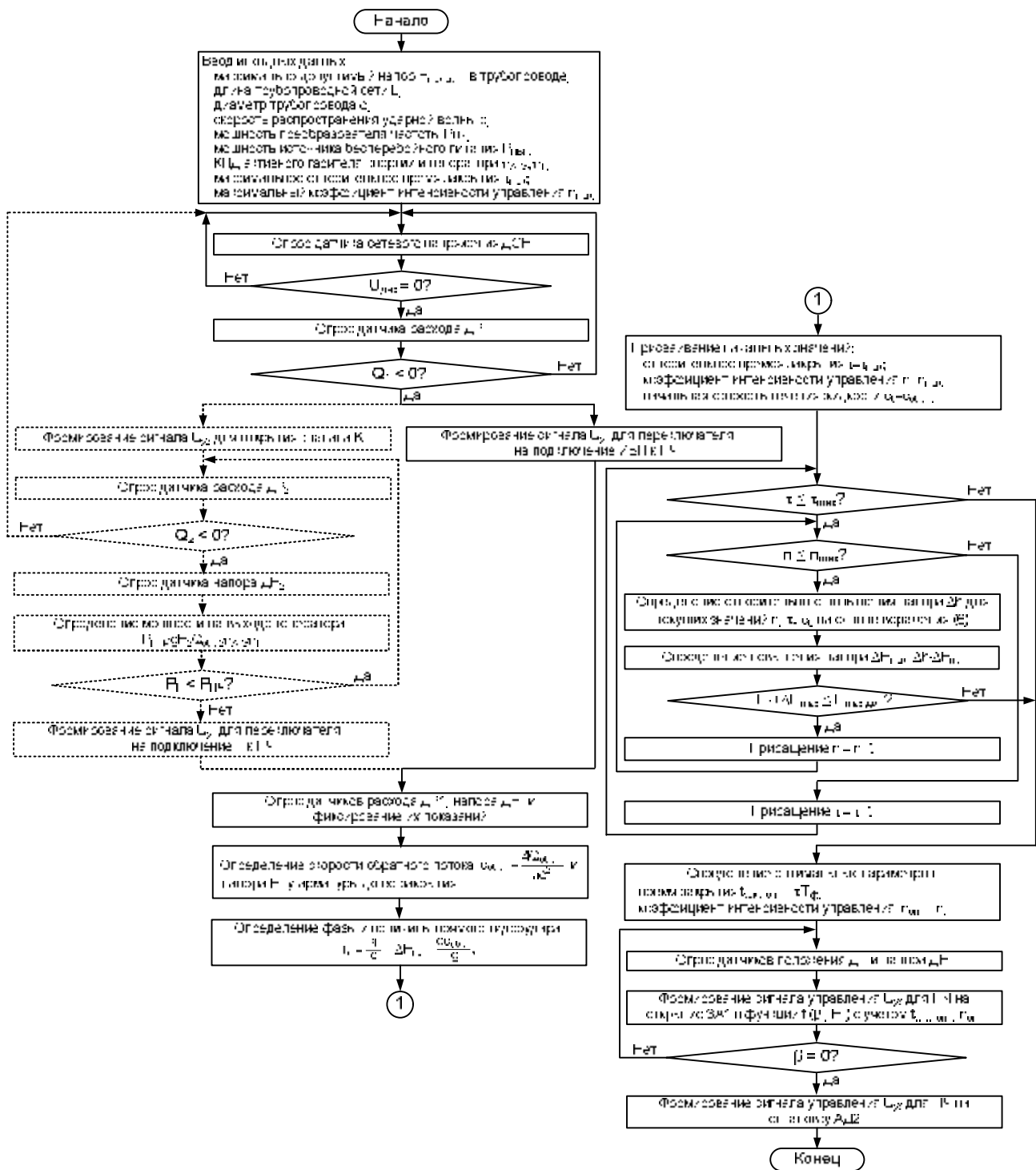


Рисунок 3 – Алгоритм работы устройства управления при внезапном исчезновении напряжения в ГТК

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коренькова Т. В. О задаче управления динамическими нагрузками в гидротранспортных комплексах при аварийных режимах / Т. В. Коренькова, А. М. Кравец // Вісник Кременчуцького державного

політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 3(39). – Кременчук: КДПУ, 2006. – С. 23-27.

2. Кравец А. М.. Анализ методов определения параметров гидроудара в насосных станциях / А. М. Кравец, Т. В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 3(50). – Ч. 1. – Кременчук: КДПУ, 2008. – С. 103-107.

3. Большаков В. А. Справочник по гидравлике / В. А. Большаков. – К.: Вища школа, 1977. – 280 с.

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

5. Фокс Д. А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах / Д. А. Фокс.

– М: Энергоиздат, 1981. – 248 с.

6. Кравец А. М. Особенности динамических режимов в гидротранспортных системах с управляемой трубопроводной арматурой / А. М. Кравец.,

Т. В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 3(44). – Ч. 1. – Кременчук: КДПУ, 2007. – С. 162-167.

## СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В НАСОСНОМУ КОМПЛЕКСІ З КЕРОВАНИМ ГІДРОКЛАПАНОМ

*Кравець О.М., асист., Коренькова Т.В., к.т.н., доц.  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна  
E-mail: saue@polytech.poltava.ua*

У роботі розглянуто спосіб зниження динамічних навантажень у гідротранспортному комплексі при раптовому зникненні напруги з використанням резервного живлення від безперебійного джерела живлення або активного гасника енергії гідропотоку. Розроблено технічне рішення й алгоритми керування трубопровідною арматурою з регульованим електроприводом на базі запропонованого способу.

**Ключові слова:** трубопровідна арматура, регульований електропривод, безперебійне джерело живлення.

## THE WAY OF DECREASE IN DYNAMIC LOADINGS IN THE PUMP COMPLEX WITH CONTROLLED VALVE

*Kravets O., assist, Korenkova T., Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.  
Kremenchuk Mykhaylo Ostrohradskyi National University  
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine  
E-mail: saue@polytech.poltava.ua*

In work the way of decrease in dynamic loadings in a hydrotransport complex is considered at sudden disappearance of voltage with use of a reserve food from the uninterrupted power supply or the active converter of energy of a hydrostream. The technical decision and algorithms of management by pipeline armature with the adjustable electric drive on the basis of the offered way is developed.

**Key words:** pipeline armature, adjustable electric drive, uninterrupted power supply.