

УДК 621.225

**М. В. ЧЕРКАШЕНКО, Т. С. САЛЫГА, А. Н. ФАТЕЕВ, Н. Н. ФАТЕЕВА, Л. Р. РАДЧЕНКО****ПОЗИЦИОННЫЕ ГИДРОПНЕВМОАГРЕГАТЫ**

Описаны принципы дискретного и дискретно-аналогового управления гидропневмоагрегатов технологического оборудования. Могут быть использованы при разработке регуляторов поворота лопастей направляющего аппарата гидрооборудования турбин, в гидроагрегатах кузнечно-прессового оборудования, в гидропневмоагрегатах металлорежущих станков и промышленных роботов и других объектов автоматизации. Приводят к построению схем, обеспечивающих высокую точность позиционирования, минимальные аппаратные затраты, таким образом имеющих существенные преимущества.

**Ключевые слова:** гидропневмоагрегаты, позиционирование, схема, синтез, минимальность, объекты автоматизации.

**Введение.** Позиционные гидропневмоагрегаты находят широкое использование в объектах автоматизации, таких как гидравлические турбины, пресса, металлорежущие станки, промышленные роботы и др.

Авторы статьи, обобщая современный опыт и используя свои разработки, приводят принципиальные решения синтеза современных систем позиционных гидропневмоагрегатов, работающих в дискретном и дискретно-аналоговом режимах.

Приведенные способы позиционирования целесообразно использовать: при позиционировании гидроагрегата поворота лопаток направляющего аппарата и поворота лопастей гидротурбины; позиционирования гидроагрегатов кузнечно-прессового и металлообрабатывающего оборудования; пневмоагрегатов прессов, используемых в легкой промышленности, промышленных роботов и других комбинированных систем.

**Постановка проблемы.** В настоящее время гидропневмоагрегаты играют важную роль в самых разнообразных отраслях техники. Потребность в устройствах, более дешевых, чем электроприводы и гидроагрегаты, а также необходимость создания взрывобезопасных систем для химических производств и систем не чувствительных к радиации, привели к развитию пневмоагрегатов.

Активному внедрению пневмоагрегатов в промышленность способствует относительная простота конструкции и эксплуатации, большой срок службы, надежность работы в низком диапазоне температур в условиях большой влажности, запыленности и радиации окружающей среды, пожаро- и взрывобезопасность и др. Гидроагрегаты, в свою очередь, позволяют увеличить точность позиционирования исполнительных устройств и получить большие усилия.

К весьма важным показателям эксплуатационных свойств гидропневмоагрегатов относится диапазон регулирования, работоспособность в широком интервале изменения температуры, а также возможность пропорционального управления исполнительными механизмами машин, которая заключается в плавном регулировании положения золотника управляющего распределителя. Для решения этой задачи, в частности, предлагается

использовать пропорциональные распределители, обеспечивающие плавное регулирование расхода независимо от нагрузки.

Применение в гидропневмоагрегатах распределителя с пропорциональным управлением и обратной связью по нагрузке позволяет уменьшить энергетические потери и, как следствие – уменьшить затраты топлива, увеличить срок эксплуатации и ресурс гидроаппаратов, уменьшить габариты и вес гидропневмоагрегата, позволяет плавно регулировать скорость перемещения исполнительных органов.

Поэтому синтез комбинированных электронно-гидравлических, электронно-пневматических, электронно-пневмогидравлических и пневмогидравлических агрегатов является важной задачей для современного машиностроения.

Для управления гидропневмоагрегатами технологического оборудования, в т. ч. гидравлических турбин, станков, прессов, литейных машин, автоматических манипуляторов и др., используются средства позиционирования, построенные на дискретном и дискретно-аналоговом принципах. Это относится как к пневматическим, так и гидравлическим системам управления.

**Результаты исследований.** В данной статье мы опишем способы дискретного и дискретно-аналогового управления гидропневмоагрегатов, а также их использование в системах гидропневмоагрегатов объектов автоматизации.

Для регулирования гидропневмоагрегатов обычно используется дроссельный и объемный способы регулирования скорости движения исполнительных механизмов. Сравнительные показатели данных способов регулирования общеизвестны: низкий КПД у дроссельного регулирования, самый высокий – у объемного регулирования.

Значительным прогрессом стало использование в гидропневмоагрегатах аппаратов с пропорциональным управлением. Подобные системы позволили управлять средствами электроники такими параметрами гидропневмоагрегатов, как давление, расход и направление потока рабочей жидкости. Подобные системы позволяют регулировать расход, изменяя площадь проходного сечения кромки распределителя, пропорционально электрическому сигналу поступающему на магнит.

© М. В. Черкашенко, Т. С. Салыга, А. Н. Фатеев, Н. Н. Фатеева, Л. Р. Радченко, 2015

На рис. 1 дан пример типовой схемы гидроагрегата с клапанами с пропорциональным управлением [1]. Распределитель с пропорциональным управлением управляется электрическим сигналом. Этот сигнал изменяет величину расхода и направление потока рабочей жидкости. Скорость перемещения исполнительного органа изменяется за счет изменения расхода. Второй сигнал управления воздействует на предохранительный клапан с пропорциональным управлением. Этим сигналом можно постоянно настраивать нужное давление. Распределитель с пропорциональным управлением выполняет функцию регулирования расхода и регулирования направления движения рабочей жидкости.

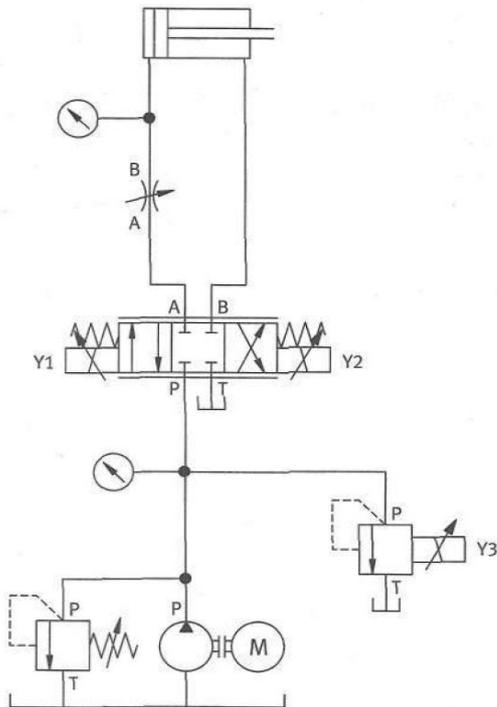


Рис. 1 – Принципиальная схема гидропневмоагрегата подачи с пропорциональными клапанами

Клапаны с пропорциональным управлением управляются электрическими сигналами, поэтому, не прерывая работу объекта, можно: с помощью пропорционального предохранительного клапана использовать более низкий уровень давления в режимах уменьшенной нагрузки (например, остановка подачи), что позволяет экономить энергию; осуществлять плавный старт и торможение каретки подачи с помощью пропорционального распределителя.

Все настройки пропорциональных клапанов осуществляются автоматически, т. е. без вмешательства оператора.

На рис. 2 показано направление движения сигналов в системе с пропорциональным управлением. Сигнал подается на электронный усилитель. Усилитель преобразует ток (входной сигнал) в ток (выходной сигнал). Ток воздействует на пропорциональный электромагнит. Пропорциональный электромагнит перемещает клапан. Исполнительный элемент преобразует энергию жидкости в кинетическую энергию.

Напряжение может иметь бесконечное множество значений, соответственно скорость и усилие исполнительного элемента могут настраиваться в широких пределах.

На рис. 3 показана организация пропорционального управления от микропроцессорного контроллера.

Гидропневмоагрегаты, благодаря своей высокой удельной мощности, имеют небольшой вес и требуют для размещения небольшое пространство. Они обеспечивают быстрое и точное управление перемещениями с большими энергиями и усилиями.

Сочетание преимуществ гидравлических и пневматических устройств в комбинированных пневмогидравлических агрегатах позволяют широко использовать их в различных отраслях хозяйства.

Рассмотрим пример синтеза пневматической системы управления. Структурная организация системы гидропневмоагрегатов и схема позиционирования представлены, как пример, на рис. 4, а–б [2, 3].

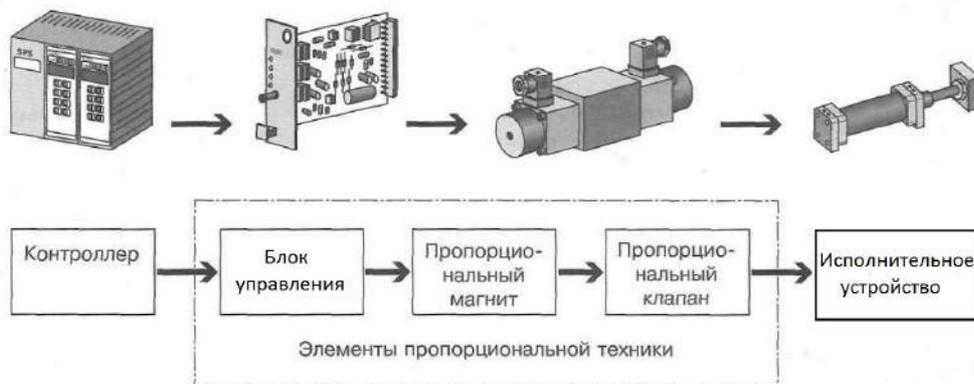


Рис. 2 – Пропорциональное управление гидропневмоагрегатом

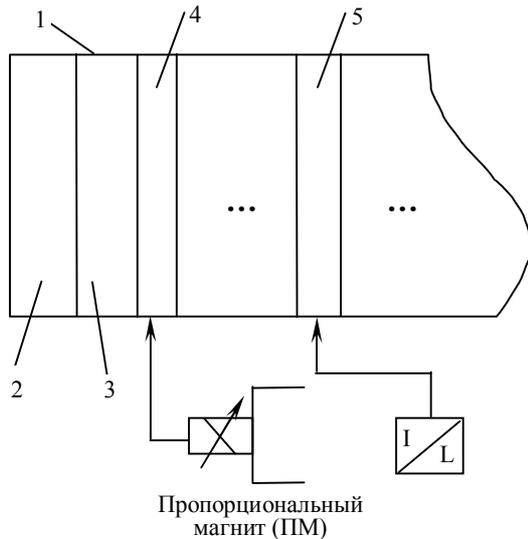


Рис. 3 – Пропорциональное управление гидропневмоагрегатом:

- 1 – каркас; 2 – блок питания; 3 – микропроцессорный модуль; 4 – аналого-цифровой преобразователь; 5 – цифро-аналоговый преобразователь

На рис. 4, а блок совпадений 1 служит для формирования множества  $V$  условий, любое из которых функционально зависит от удлиненных некоторыми сигналами из множества  $Y$  условий из  $E$ .

Блок разделений включений 3 содержит элементы  $V$  и используется при включении одного элемента памяти (ЭП) разными наборами из множества  $U$  для разных программ работы системы.

Блок разделений включений 4 содержит элементы  $V$  и используется в случае нескольких программ работы, которые приводят к появлению различного числа внутренних состояний для каждой программы.

Выходной блок 6 содержит элементы  $V$ , а также пневмо- или гидрораспределители, которые направляют рабочую среду в исполнительные устройства 7. В рассмотренной структуре, в отличие от стандартной позиционной структуры, сигналы от входного блока совпадений 1 или от блока совпадений 2 подаются непосредственно в выходной блок разделений 6, тогда как в стандартной структуре в выходной блок подаются сигналы от блока памяти.

Гидравлический (пневматический) агрегат (рис. 4, б) содержит напорную 1 и сливную 2 линии, цилиндр 3, установленный в нем с образованием рабочих полостей 4 и 5 поршень 6, два управляемых трехлинейных двухпозиционных распределителя 7 и 8, дроссели 9–11 и систему программного управления, включающую управляющее устройство 12, датчик 13 перепада давлений в рабочих полостях 5 и 4, датчик 14 положения штока 15. При этом управляющее устройство 12 подключено к управляющим входам 16, 17 распределителей 7, 8. Кроме того, агрегат снабжен подпружиненными клапанами 18–21,

параллельно подключенными к сливной линии 2 каждого распределителя 7 и 8, их управляющие входы 22–25 связаны с управляющим устройством 12. Каждый из распределителей 7, 8 и клапанов 18–21 со стороны соответствующей пружины 26, 27 и 28–31 снабжены управляющим входом соответственно 32, 33 и 34–37 аварийной остановки, которые подключены к каналу 38. Дроссели 9–11 установлены в линиях 39–41 входа клапанов 18–20, при этом число дросселей 9–11 на один меньше числа клапанов 18–21, а эффективные площади дросселей 9–11 выбираются по формуле

$$f_j = \frac{f_p f_k}{\sqrt{(f_p^2 + f_k^2)(2^{2(n-j)} - 1)}},$$

где  $f_p$  и  $f_k$  – соответственно эффективные площади распределителей и клапанов;  $n$  – число клапанов;  $j = 1, 2, \dots, n-1$  – порядковый номер клапана и соединенного с его входом дросселя.

Гидропневмоагрегат работает следующим образом. В исходном положении управляющие сигналы на входах 16, 17 и 22–25 отсутствуют, рабочие полости 4, 5 перекрыты и поршень 6 со штоком 15 неподвижны. По заложенной в управляющее устройство 12 программе управления на входах 16, 17 и 22–25 появляются сигналы.

При движении поршня 6, например, вправо по рис. 4, б, управляющий сигнал поступает на вход 16 распределителя 7, который, переключаясь, сообщает рабочую полость 4 с напорной линией 1, а также на те управляющие входы 22–25 клапанов 18–21, камеры которых определены управляющим устройством 12 по программе для обеспечения заданного закона движения. Рабочая среда из полости 5 поступает через распределитель 8 и в те из дросселей 9–11, клапаны 18–20 которых переключились по сигналу, поступившему на их управляющие входы 22–24. В процессе перемещения штока 15 основные параметры контролируются датчиками 13, 14, информация от которых поступает на управляющее устройство 12. По заложенному алгоритму и программе управления движением устройство 12 обрабатывает поступившую информацию и выдает управляющие сигналы, переключающие соответствующие клапаны 18–21. При этом происходит изменение конфигурации сливной линии 2, а, следовательно, изменяется также и проводимость линии 2.

Регулируя, таким образом, количество рабочей среды, находящейся в полости 5, в конечном счете, можно управлять параметрами движения агрегата. Для обеспечения удобства регулирования эффективные площади дросселей 9–11 должны быть выбраны таким образом, чтобы для различных комбинаций управляющих сигналов и соответствующих им переключений клапанов 18–21 можно было бы получить наиболее равнодискретное изменение проводимости линии 2. Выбор числа клапанов 18–21 определяется требованиями к точностным характеристикам агрегата. Чем больше число клапанов 18–21, тем более плавно

может регулироваться величина расхода и выше точность гидропневмоагрегата.

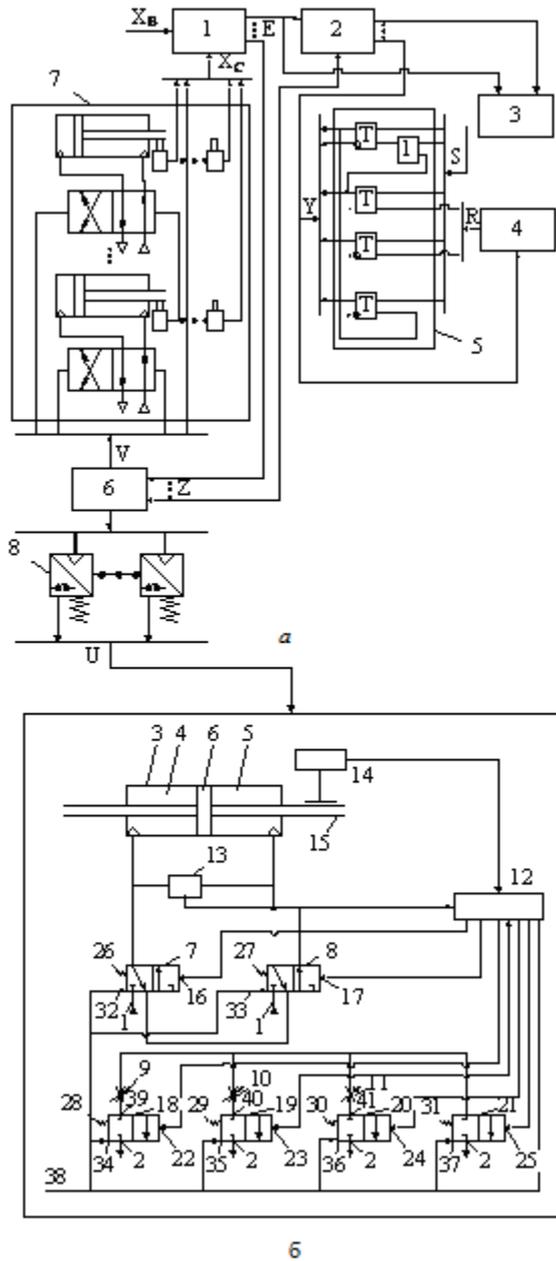


Рис. 4 – Структурная организация гидропневмоагрегатов: а – структурная организация; б – схема позиционирования

Двоичное кодирование управляющих сигналов представляет большое удобство при использовании цифровой вычислительной техники в качестве управляющего устройства 12, поскольку упрощает ее стыковку с управляемыми объектами, исключая необходимость установки цифроаналоговых преобразователей.

При возникновении аварийной ситуации по команде оператора либо устройства 12 управляющий сигнал поступает на управляющие входы 32, 33 и 34–37. Под действием усилия пружин 26, 27 и 28–31 независимо от наличия управляющих сигналов в противоположных им

входах 16, 17 или 22–25, происходит установка распределителей 7, 8 и клапанов 18–21 в исходное положение. При этом осуществляется торможение и последующая остановка поршня 6 со штоком 15. Аналогичным образом работает агрегат при движении поршня 6 влево по рис. 4, б. Однако при этом переключается распределитель 8, а распределитель 7 остается в исходном положении. Таким образом, предлагаемое конструктивное выполнение гидропневмоагрегата позволяет осуществлять цифровое регулирование проводимости сливной линии в ее широком диапазоне и тем самым улучшить динамические характеристики агрегата.

Конструктивное выполнение гидропневмоагрегата позволяет осуществлять цифровое регулирование проводимости сливной линии в ее широком диапазоне и тем самым улучшить динамические характеристики гидропневмоагрегата.

Для примера использования воспользуемся уравнениями, описывающими схему работы автоматического манипулятора [4], построенного с использованием методов [5, 6]:

$$S = x_1; R = x_7; \bar{z}_1 = \bar{y}x_4; z_2 = x_3y; \bar{z}_2 = x_6\bar{y}; z_3 = x_5y.$$

С использованием схемы позиционирования (рис. 4, б) имеем схему пневмоагрегата промышленного робота, представленную на рис. 5.

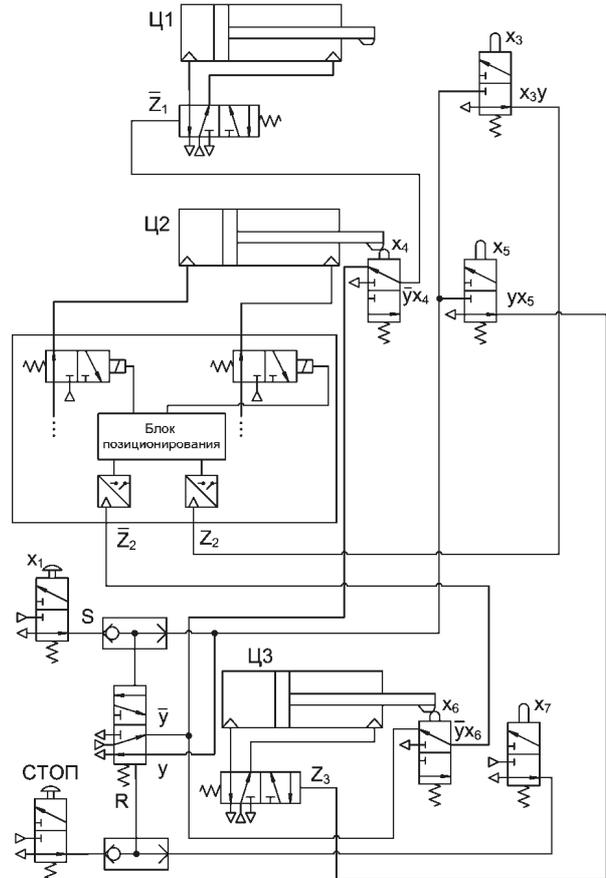


Рис. 5 – Схема пневмоагрегата манипулятора

**Выводы.** Таким образом, для управления гидропневмоагрегатами можно использовать как системы, основанные на пропорциональном управлении,

так и системы, состоящие из нескольких дискретных клапанов с различным условным проходом. Предложенные структура и способы проектирования, построенные на принципах дискретного управления, имеют важные преимущества, так как синтезированные схемы содержат простейшую дискретную гидрорепроаппаратуру. Пропорциональное управление требует использование сложных пропорциональных и следящих гидрорепроаппаратов.

**Список литературы:** 1. Scholz D. Proportional hydraulics. – Festo Didactic KG, D-73734 Esslingen, 1996. – 126 p. 2. Устройство микрокоманд для систем пневмо- и гидроприводов : а.с. 1166064 : СССР, МПК<sup>4</sup>G05B19/40 / М. В. Черкашенко, Ю. И. Келлерман, А. И. Кудрявцев [и др.] (СССР). – № 3632972/24–24 ; заявл. 30.05.83 ; опубл. 07.07.85, Бюл. № 25. – 3 с. 3. Гидравлический (пневматический) привод : а.с. 1399533 : СССР, МПК<sup>4</sup>F15B21/02 / В. М. Бельферман, М. В. Черкашенко, А. И. Кудрявцев [и др.] (СССР). – № 4086753/25–06 ; заявл. 30.05.88, Бюл. № 20. 4. Черкашенко М. В. Автоматизация проектирования систем гидро- и пневмоприводов з

дискретним управлінням / М. В. Черкашенко. – Х. : НТУ «ХПИ», 2001. – 182 с. 5. Cherkashenko M. Synthesis of discrete control systems of industrial robots / M. Cherkashenko [et al] // Automation and Remote Control (USA). – 1981. – V. 42, № 5. – P. 676–680. 6. Cherkashenko M. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation / M. Cherkashenko // International Fluid Power Symposium in Aachen. – Germany, 20–22 March 2006. – Fundamentals. The report № 1. – P. 147–154.

**Bibliography (transliterated):** 1. Scholz, D. *Proportional hydraulics*. – Festo Didactic KG, D-73734 Esslingen, 1996. Print. 2. Cherkashenko, M. V., et al. *Ustrojstvo mikrokomand dlja sistem pnevmoi gidroprivodov*. USSR Patent, A. s. 1166064 (MPK<sup>4</sup>G05B19/40). 7 July 1985. Print. 3. Cherkashenko, M. V., et al. *Gidravlicheskiy (pnevmaticheskiy) privod*. USSR Patent, A. s. 1399533 (MPK<sup>4</sup>F15B21/02). 30 May 1988. Print. 4. Cherkashenko, M. V. *Avtomatyzacija proektuvannja sistem gidro- i pnevmopryvodiv z diskretnym upravlinnjam*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2001. Print. 5. Cherkashenko, M., et al. "Synthesis of discrete control systems of industrial robots." *Automation and Remote Control (USA)*. No. 42.5. 1981. 676–680. Print. 6. Cherkashenko, M. "Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation." *International Fluid Power Symposium in Aachen*. Germany, 20–22 March 2006. No. 1. 147–154. Print.

Поступила (received) 05.09.2015

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Черкашенко Михаил Владимирович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідує кафедрою «Гидравлические машины», г. Харьков; тел.: (057) 707-66-46; e-mail: gmntukhpi@gmail.com.

**Cherkashenko Mihail Vladimirovich** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Chair of the Department of "Hydraulic machines", Kharkov; tel.: (057) 707-66-46; e-mail: gmntukhpi@gmail.com.

**Салыга Тимофей Сергеевич** – кандидат технічних наук, ведучий інженер Об'єднання підприємств, корпорація «Гидроэлек»; г. Харьков; тел.: (057) 706-39-35; (057) 392-41-19; e-mail: timass@mail.ru.

**Salyha Timofii Serheevych** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Chief engineer of HYDROELEKS Corporation, Kharkov; tel.: (057) 706-39-35; (057) 392-41-19; e-mail: timass@mail.ru.

**Фатеев Александр Николаевич** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Гидравлические машины», г. Харьков; тел.: (057) 707-66-46; e-mail: gmntukhpi@gmail.com.

**Fatyeyev Aleksandr Nikolaevich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of "Hydraulic machines", Kharkov; tel.: (057) 707-66-46; e-mail: gmntukhpi@gmail.com.

**Фатеева Надежда Николаевна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Гидравлические машины», г. Харьков; тел.: (057) 7076646; e-mail: gmntukhpi@gmail.com.

**Fatjeieva Nadezhda Nikolaevna** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of "Hydraulic machines", Kharkov; tel.: (057) 707-66-46; e-mail: gmntukhpi@gmail.com.

**Радченко Лариса Рудольфовна** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», научний співробітник кафедри «Гидравлические машины», г. Харьков; тел.: (066) 098-02-16; e-mail: lrad@ukr.net.

**Radchenko Larysa Rudolfovna** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Research Officer at the Department of "Hydraulic machines", Kharkov; tel.: (066) 098-02-16; e-mail: lrad@ukr.net.