

УДК 621.9.62-92

Узунов О.В. д.т.н., Галецький О.С. ас.  
НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІБРИДНОГО ПОЗИЦІЙНОГО ПРИВОДУ

Uzunov O., Haletskij O.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (mmi@kpi.ua)

### EXPERIMENTAL RESEARCH OF HYBRID POSITION ACTUATOR

Розглянуто питання експериментального дослідження гібридного позиційного приводу. Особливістю приводу є використання пневмогідралічного дозатора з контролерним управлінням, що створює потенційні можливості досягнення більшої енергоефективності і гнучкості за рахунок застосування об'ємного способу регулювання та контролерного управління. Приведено схеми приводу, експериментального стенду та результати дослідження. Отримані результати підтвердили роботоспроможність приводу, а також дозволили встановити максимальну швидкість переміщення штоку, зусилля на штоці і точність позиціонування. Встановлено особливості роботи приводу, які необхідно враховувати при розробці програми управління.

*Ключеві слова:* гібридний, позиційний привод, контролерне управління, об'ємне регулювання.

**Область застосування, проблема, технічне рішення та мета дослідження.** Позиційні приводи широко використовуються в транспорті, автоматичних лініях, верстатах, промислових роботах та інших засобах автоматизації. Розвиток виробництва, удосконалення технологій та процесів обумовлюють нові вимоги до приводів такого типу. Одними з основних є - висока енергоефективність та гнучкість. Можливість забезпечення цих вимог формується ще на рівні принципової схеми, яка відтворює той, або інший принцип керування приводу. Відомо, що дросельний принцип керування забезпечує гнучкість, а об'ємний - високу енергоефективність [1, 2].

Компромiсним рішенням, що забезпечує підвищення енергоефективності і гнучкості, є гібридний позиційний привод з контролерним управлінням (рис. 1), що створює потенційні можливості для поєднання властивостей дросельного та об'ємного принципів керування [3, 4]. В ролі гібридного компонента виступає пневмогідралічний дозатор з програмним керуванням. Застосування контролера дозволяє швидко перепрограмувати алгоритм роботи, що забезпечує гнучкість приводу. Використання об'ємного принципу керування забезпечує високу енергоефективність.

Гібридний привод складається з контролера 1, блоку комутації стисненого повітря 2, вихід якого зв'язаний зі входом пневмогідралічного дозатора 3. В дозаторі розташовано рухомий поршень, торцеві поверхні якого сумісно з отворами в корпусі дозатора утворюють пневматичні камери. Поршень контактує з плунжерами, які підтиснені до поршня пружинами. Торцеві поверхні плунжера, в свою чергу, утворюють з отворами в корпусі дозатора плунжерні камери.

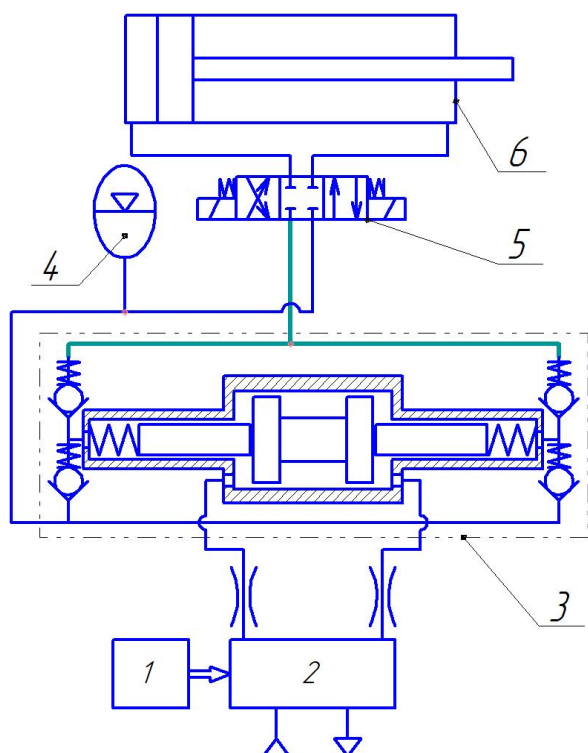


Рис. 1. Принципова схема гібридного позиційного приводу  
(1 – контролер; 2 – блок комутації;  
3 – пневмогідралічний дозатор; 4 – акумулятор;  
5 – керуючий розподільник; 6 – гідроциліндр)

В процесі роботи приводу керуючі імпульси від контролера 1 подаються на блок комутації 2, порції стисненого повітря від блоку комутації по чергово потрапляють в праву та ліву пневматичні камери дозатора. Це призводить до зворотно-поступального руху поршня і плунжерів в результаті чого на виході з плунжерних камер утворюються порції робочої рідини, що подаються до гідроциліндра 6 через розподільник 5. Це призводить до переміщення штоку. Швидкість руху штоку визначає частота слідування керуючих імпульсів, а його позиція відповідає кількості поданих імпульсів.

Закладені потенційні можливості приводу потребують практичного підтвердження, тому *метою роботи було визначення характеристик гібридного позиційного приводу шляхом його експериментальних досліджень.*

**Результати.** В результаті досліджень планувалось визначити максимальну швидкість руху штоку приводу, точність виходу в задану позицію та оцінити максимальне зусилля на штоку при заданих параметрах приводу.

Розроблений експериментальний стенд (рис. 2, 3) складається з індуктивних датчиків тиску робочої рідини 3, зворотних клапанів 5, що утворюють гідравлічний міст, керуючого розподільника 6, компресорної установки 9, насосної станції 10, гідравлічного розподільника 11, редукційного клапану 12, вентиля 13, манометрів 14 та 16, дроселя 15, потенціометричних датчиків положення 17, індуктивних датчиків тиску в пневматичній лінії 18.

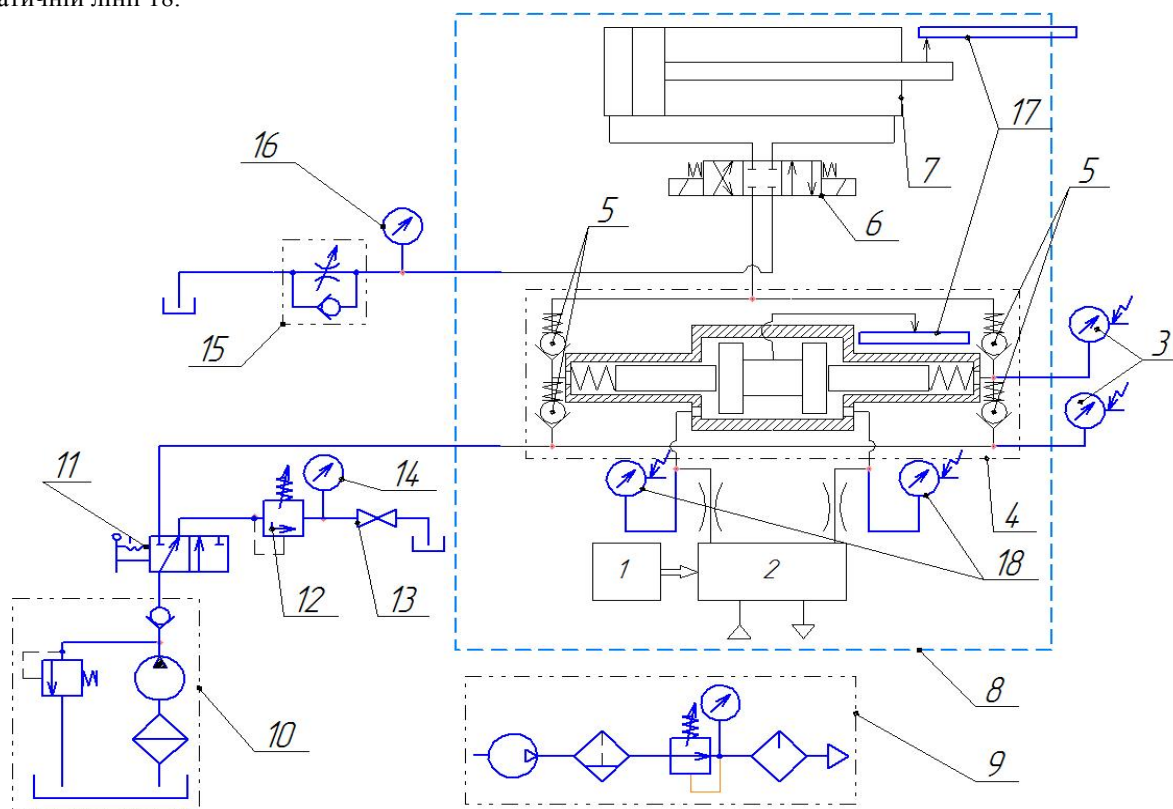


Рис. 2. Схема стенда для дослідження гібридного позиційного приводу

(1 – контролер; 2 – блок комутації стисненого повітря; 3 – індуктивний датчик; 4 – пневмогідравлічний дозатор; 5 – клапани гідравлічного мосту; 6 – керуючий розподільник; 7 – гідроциліндр; 8 – гібридний позиційний привод; 9 – компресорна установка; 10 – насосна станція; 11 – гідравлічний розподільник; 12 – редукційний клапан; 13 – вентиль; 14, 16 – манометр; 15 – дросель; 17 – датчики положення; 18 – індуктивний датчик)

Для регулювання робочого тиску в пневматичній лінії використовувався редукційний клапан 12, а тиск підживлення дозатору налаштовувався редукційним клапаном 13. За допомогою дроселя 15 налаштувалось навантаження на штоку приводу. Напрямок руху штоку приводу задавався за допомогою розподільника 6. Потенціометричні датчики 17 використані для вимірів переміщення штоку та пневмопоршня дозатора. Індуктивні датчики 18, типу Ди-10 (статична похибка  $\pm 2\%$ , динамічна похибка  $5\%$ , діапазон виміру тиску  $0 \dots 1$  МПа, частотний діапазон при рідинному заповненні  $0 \dots 200$  Гц) застосовано для вимірів тиску в пневматичних камерах дозатора. Індуктивні датчики 3 типу Ди – 100 (статична похибка  $\pm 2\%$ , динамічна похибка  $5\%$ , діапазон виміру тиску  $0 \dots 10$  МПа, частотний діапазон при рідинному заповненні  $0 \dots 650$  Гц) застосовано для виміру тиску в плунжерних камерах дозатора.

Основні параметри приводу: діаметр плунжера дозатора  $d = 0.005$  м; діаметр пневмопоршня дозатора  $D = 0.02$  м; діаметр поршня гідроциліндра  $D = 0.04$  м; діаметр штоку гідроциліндра  $d = 0.02$  м; хід поршня

дозатора  $S = 0.02 \text{ м}$  ; хід поршня гідроциліндра  $S = 0.2 \text{ м}$  ; робочий тиск в пневматичній камері  $p = 5 \text{ bar}$  ; тиск підживлення дозатора  $p = 5 \text{ bar}$  .

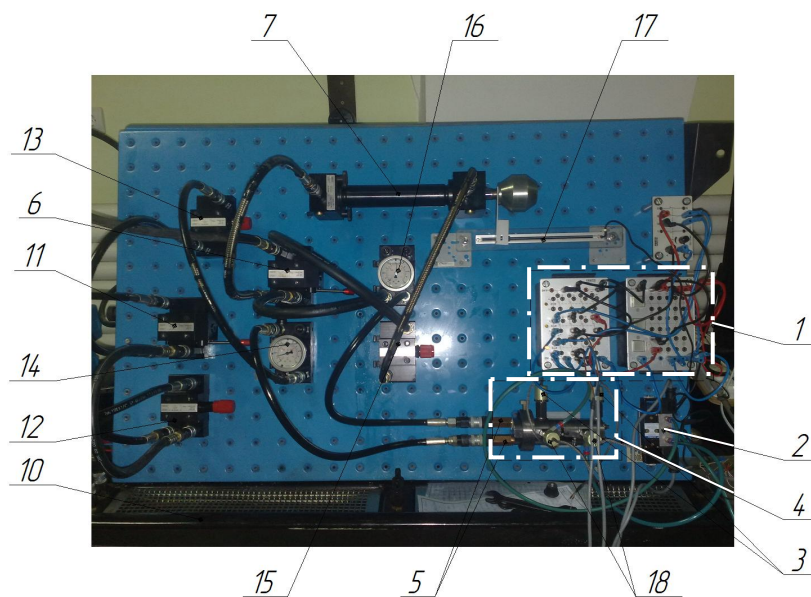


Рис. 3. Загальний вигляд експериментального станда

(1 – контролер; 2 – блок комутації стисненого повітря; 3 – індуктивний датчик; 4 – пневмогідралічний дозатор; 5 – клапани гідралічного мосту; 6 – керуючий розподільник; 7 – гідроциліндр; 8 – гібридний позиційний привод; 9 – компресорна установка; 10 – насосна станція; 11 – гідралічний розподільник; 12 – редукційний клапан; 13 – вентиль; 14, 16 – манометр; 15 – дросель; 17 – датчики положення; 18 – індуктивний датчик)

Визначення максимальної швидкості руху штоку приводу. Відповідно до схеми приводу максимальну швидкість руху штоку визначає максимальна частота подавання порцій робочої рідини у порожнину гідроциліндра. Максимальна частота, в свою чергу, залежить від часу переміщення пневматичного поршня і плунжерів з початкового в кінцеве положення. Для визначення цього часу на вхід дозатора подавалися керуючі імпульси з частотою 2 Гц, яка є завідомо нижчою, ніж прогнозована максимальна частота. Це дозволило встановити час процесів наповнення та вихлопу пневматичної камери (рис. 4).

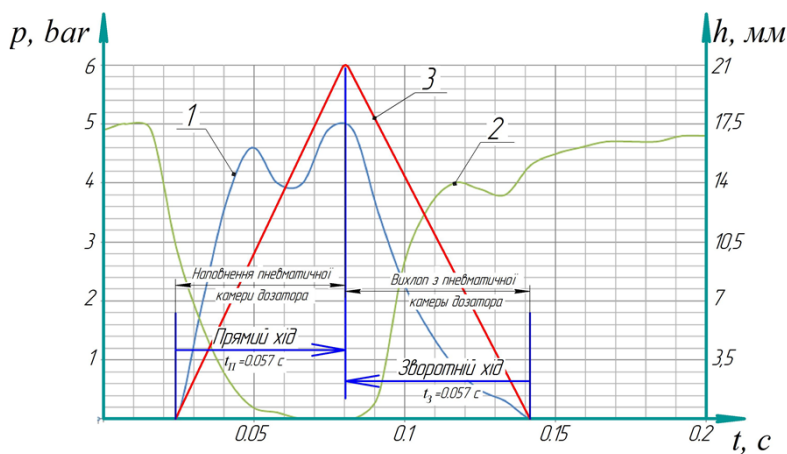


Рис. 4. Графіки процесів наповнення та спорожнення в пневматичних камерах пневмогідралічного дозатора (1 – ліва пневматична камера; 2 – права пневматична камера; 3 – переміщення пневматичного поршня)

Максимальна робоча частота розрахована по залежності:

$$f = \frac{1}{t_n + t_3};$$

де  $t_p$  - загальний час руху пневматичного поршня;  $t_n$  - час прямого ходу;  $t_3$  - час зворотного ходу.

В результаті експериментів встановлено  $t_n$ ,  $t_3$  та розрахована максимальна робоча частота слідування порцій робочої рідини з плунжерної камери пневмогідралічного дозатора, яка становить  $f = 8,7 \text{ Гц}$ . Враховуючи двотактну дію дозатора максимальна робоча частота формування вихідних імпульсів становить  $f = 17,4 \text{ Гц}$  (при наявності навантаження на штоку).

Максимальна швидкість руху штоку приводу становить  $v_{um} = 0,005 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , яка визначається із залежності:

$$v_{um} = \frac{V_1}{S_2} \cdot f,$$

де  $V_1$  - об'єм порції робочої рідини, який витісняється з плунжерної камери дозатора;  $S_2$  - площа поршня гідроциліндра зі сторони активної порожнини.

*Визначення максимального зусилля.* Максимальне зусилля, яке може забезпечити привод, визначалося при тиску живлення блоку комутації стислого повітря 7 бар. Відповідно максимальним значенням тиску в імпульсах на вході дозатора становило теж 7 бар. Експериментально встановлено, що на виході з дозатора максимальне значення тиску становило 70 бар, що відповідає розрахованій величині. З врахуванням площі поршня максимальне зусилля на штоку становило - 8790 Н.

Результати експерименту показали також, що, при подачі пакету імпульсів для переміщення штоку в задану позицію, максимальні значення тиску на виході дозатора (крива 2, рис. 5), спочатку збільшуються, а потім стабілізуються при величині тиску 70 бар.

Це пояснюється тим, що кожна порція робочої рідини збільшує тиск в порожнині гідравлічного циліндра, а поступове досягнення тиском величини, яка відповідає максимальному значенню, призводить до його стабілізації. Характер процесу зміни тиску в порожнині гідравлічного циліндру обумовлює різні за величиною кроки штоку при відпрацюванні керуючих імпульсів. З врахуванням розірваної схеми приводу це призводить до появи похибки позиціонування, яку необхідно компенсувати.

*Оцінка точності позиціонування приводу.* Оцінка проводилася шляхом порівняння програмно заданої позиції з дійсною позицією штоку. Для цього на вхід приводу послідовно подавались пакети з 10 імпульсів з частотою 2 Гц та контролювалося положення штоку. Експерименти проведені при різних навантаженнях на штоку приводу, яке змінювалось в діапазоні від 1000 Н до 6000 Н з кроком 1000 Н.

Визначено, що збільшення навантаження на штоку призводить до зменшення кроку переміщення і, відповідно, зменшення точності виходу в задану позицію, що пояснюється необхідністю більшого стиснення робочої рідини (рис. 6). Так, наприклад, при зміні навантаження на 43% точність виходу в задану позицію зменшилася на 9%. При цьому точність позиціонування також суттєво залежить від об'єму порожнини гідроциліндра в яку подається робоча рідина. При збільшенні об'єму поршневої порожнини відносно початкового положення штоку на 56% точність виходу в задану позицію зменшилася на 10%. Це спостерігається на графіках по величині похибки при послідовному відпрацюванні пакетів із 10 імпульсів за однакового навантаження (рис.6).

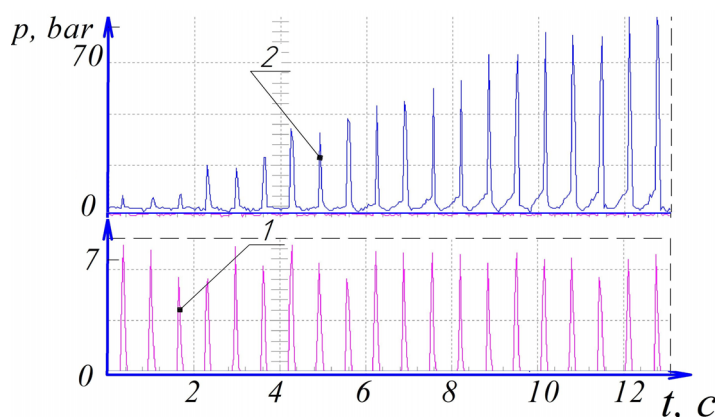


Рис. 5. Графіки процесів в пневматичній та плунжерній камерах пневмогідравлічного дозатора при подачі пакету керуючих імпульсів (1 – тиск в пневматичній камері; 2 – тиск в плунжерній камері)

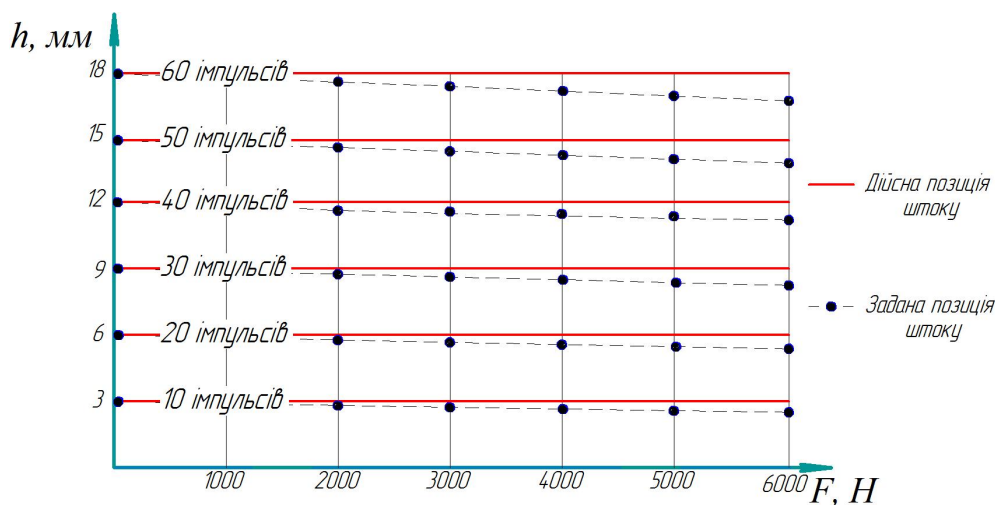


Рис. 6. Графік залежності переміщення штоку від навантаження при відпрацюванні приводом заданих пакетів імпульсів

**Висновки**

Експерименти показали наступне:

- Пневмогідролічний дозатор виконує функції дозування робочої рідини та мультиплікації, що дозволяє при його використанні в позиційному приводі забезпечити позиціонування штоку гідроциліндра з кроком 0,28 мм. При цьому для заданих параметрів пневмогідролічного дозатора та умов експерименту і з врахуванням двохтактної дії дозатора, максимальна робоча частота дозатора становить 17,4 Гц, що забезпечує максимальну швидкість руху штоку 0,0048 м/с (290 мм/хв) при максимальному зусиллі на штоку 8790 Н.

- Точність позиціонування приводу залежить від навантаження і початкового положення штоку гідроциліндра. У разі використання розімкненої схеми приводу це призводить до появи похибки позиціонування, яку необхідно компенсувати програмним шляхом.

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы экспериментального исследования гибридного позиционного привода. Особенностью привода являются использование пневмогидравлического дозатора с контроллерным управлением, что создает потенциальные возможности достижения большей энергоэффективности за счет применения объемного способа регулирования и гибкости, за счет применения контроллерного управления. Приведены схемы привода, экспериментального стенда и результаты исследования. Полученные результаты подтвердили работоспособность привода, а также позволили установить максимальную скорость перемещения штока, усилие на штоке и точность позиционирования. Установлены особенности работы привода, которые необходимо учитывать при разработке программ управления.*

***Ключевые слова:** гибридный, позиционный привод, контроллерное управление, объемное регулирование.*

***Abstract.** The article highlights presented experimental studies fusion positional issue in order to confirm its potential. The authors proposed a new schematic diagram about positional , which aims to increase energy efficiency and flexibility. The peculiarity about is the use Pneumohydraulic dispenser that provides volume control principle and, consequently , increases efficiency , and control of the controller, which allows for flexibility. The lack of data about the characteristics and working led to the need for experimental studies. Designed and developed an experimental stand, by which to obtain new scientific results. They are allowed to confirm working drive and install the selected parameters, maximum speed, force on the rod and positioning accuracy . Useful is also specified by the author features of the subject, which take into account the program management will improve the accuracy of the positioning drive. Using the proposed subject of automated equipment will improve the efficiency and flexibility. Actuators of this type can be used as transport, automatic transfer lines , machine tools , industrial robots and more. The article will be useful for developers of automated equipment for industrial facilities for various purposes.*

***Keywords:** hybrid, position the drive, the controller controls, volume control.*

**Бібліографічний список використаної літератури**

1. *Лещенко В.А.* Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением., М.: Машиностроение, 1975, 288с.
2. *Гамынин Н.С.* и др. под ред. Лещенко В.А. Гидравлический следящий привод. М.: Машиностроение, 1968, 376 с.
3. *Патент України №64197 на корисну модель, МПК (51) F15B 9/00. Позиційний привід / Узунов О.В., Галецький О.С., Ночніченко І.В.; заявники, подано 25.05.2011, опубліковано 25.10.2011, бюл. №20.*

**References**

1. *Leschenko V.A.* Hidravlicheskie slediaschie privodu stankov s programnum upravleniem (Programmatic hydraulic servo drives machines) Moscow: Mashunostroenie, 1975, 288 p
2. *Hamunin N.S.* i dryhie pod redakciej Leschenko V.A. Hidravlicheskij slediaschij privodu (Hydraulic servo drives machines) Moscow: Mashunostroenie, 1968, 376 p
3. *Uzunov O.V., Haletskij O.S., Nochnichenko I.V.* Pzuciijnuij privod (Position the drive). Patent Ukrainy No64197 A 25.10.2011.

Подана до редакції 12.11.2013