

УДК 621.313:621.9

С.Р.СЄЛІВЕРСТОВА

Херсонська державна морська академія

О.М. ФРОЛОВ

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м.Миколаїв

### РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИСОКОТОЧНИМИ ШВИДКІСНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

*У роботі розглянуто використання 4-х фазного безконтактного двигуна постійного струму, розробленого для приводу технологічного електроустаткування з виробництва підкладок для компонентів електронної техніки. У оглядовій частині проаналізовані різні типи двигунів. Наведені їх переваги та недоліки для використання у складі електроприводу обладнання для різання кремнієвих пластин. На базі аналізу сучасних електричних двигунів і огляду існуючих технологічних особливостей процесу різання кремнієвих пластин запропоновано конструкцію та відображено принцип дії 4-х фазного безконтактного двигуна постійного струму. Наведена схема керування розробленого двигуна постійного струму. Дана розробка дає можливість регулювання швидкості обертання та моменту на валу з високою точністю, їх відновлення та підтримку за час одного оберту двигуна при різкій зміні навантаження. Таким чином, застосування даного електрообладнання підвищить надійність системи, якість технологічного процесу з одночасним зниженням його собівартості.*

*Ключові слова: 4-х фазний безконтактний двигун постійного струму, електропривод, технологічне електрообладнання.*

С.Р.СЕЛИВЕРСТОВА

Херсонская государственная морская академия

А.Н.ФРОЛОВ

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г.Николаев

### РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ВЫСОКОТОЧНЫМИ СКОРОСТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

*В работе рассмотрено использование 4-х фазного бесконтактного двигателя постоянного тока, разработанного для привода технологического электрооборудования по производству подложек для компонентов электронной техники. В обзорной части проанализированы различные типы двигателей. Приведенные их преимущества и недостатки для использования в составе электропривода оборудования для резки кремниевых пластин. На основе анализа современных электрических двигателей и обзора существующих технологических особенностей процесса резки кремниевых пластин, предложена конструкция и отражен принцип действия 4-х фазного бесконтактного двигателя постоянного тока. Приведена схема управления разработанного двигателя постоянного тока. Данная разработка дает возможность регулирования скорости вращения и момента на валу с высокой точностью, их восстановления и поддержание в течении одного оборота двигателя при резком изменении нагрузки. Таким образом, применение данного электрооборудования повысит надежность системы, качество технологического процесса с одновременным снижением его себестоимости.*

*Ключевые слова: 4-х фазный бесконтактный двигатель постоянного тока, электропривод, технологическое электрооборудование.*

S.R. SELIVERSTOVA

Kherson State Maritime Academy

A.N. FROLOV

National University of Shipbuilding, adm. Makarova, Nikolaev

### ROLLING OF THE ELECTRIC DRIVER OF THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT WITH-PRECISION SPEED PARAMETERS

*The article describes the use of 4-phase contactless DC motor designed for an electric drive of technological equipment for the production of electronic equipment components' mounts. The different types of motors have been analyzed in the review. Their advantages and disadvantages for the use in electric equipment for cutting silicon wafers have been given. Based on the analysis and review of modern electric motors and existing technological features of cutting silicon wafers the design and the operating principle of the 4-phase contactless DC motor have been proposed. The control circuit of the designed DC motor has been showed. This design enables adjusting the high-precision torque and rotational speed, their restoration and support during*

*one engine rotation at the sharp load change. Thus the use of this electric equipment enhances reliability of the system and quality of the technological process and at the same time reduces its cost.*

*Keywords: 4-phase contactless DC motor, electric drive, technological electrical equipment.*

### **Постановка проблеми**

У сучасній техніці з електроприводами все більше уваги приділяється електроприводам з більшим діапазоном швидкості обертання та з високою стабільністю цієї швидкості. Наряду з цим, електродвигуни повинні бути довговічними, надійними, мати порівняно малу собівартість виробництва.

Для устаткування різки кремнієвих пластин на кристали в виробництві електронної техніки використовують декілька методів: різка алмазними різцями, різка лазерним променем, різка алмазними дисками. Всі ці методи мають як переваги, так і недоліки. Крім того на різку подають пластини різних типів приладів (діодів, транзисторів, інтегральних мікросхем), які виготовляються з різною товщиною та діаметром, з різним типом підкладки, які мають різні механічні характеристики. Це вимагає змінювати режими різання, тобто регулювати швидкості двигунів впродовж однієї робочої зміни. Додатковою перевагою є менший знос інструменту та деталей станка, що зазнають тертя. Все це приводить до зменшення собівартості виготовляємої продукції.

В цьому випадку для того, щоб отримати необхідну якість поверхні та зменшення зносу інструмента та обладнання, необхідна висока стабільність швидкості обертання валу двигуна [1].

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Промисловість випускає велику кількість різних видів і типів електродвигунів. Також відомо безліч способів регулювання швидкості обертання валу двигунів [2].

Найбільше поширення одержали асинхронні електродвигуни змінного струму, тому що собівартість їхнього виробництва (особливо двигунів з короткозамкненим ротором) одна з найнижчих. Однак, застосовувані способи регулювання швидкості у своїй більшості дозволяють регулювати швидкість обертання східчасто, у той час як у сучасній техніці та пристроях автоматики необхідне регулювання швидкості навіть у частки відсотка. Асинхронні двигуни з фазним ротором мають більшу собівартість, ніж з короткозамкненим ротором, і менш надійні через застосування механічного контакту із щітками для передачі струму в ротор. Через цей механічний контакт і його стирання згодом асинхронні двигуни з фазним ротором мають нижчу надійність [3].

Синхронні двигуни змінного струму дозволяють підтримувати швидкість обертання навіть при різкій зміні навантаження, але не дозволяють змінювати або задавати швидкість, якщо того вимагає технологічний процес. Крім того синхронні двигуни також мають тертьові частини - механічний контакт для передачі струму ротору. Через більш складну конструкцію синхронні двигуни мають одну із найбільших собівартостей виробництва.

Колекторні електродвигуни постійного струму задовольняють багатьом вимогам, які поставлені в даній роботі. По-перше, вони можуть працювати в широкому діапазоні швидкості обертання двигуна. По-друге, вони дозволяють використовувати схеми з плавним регулюванням швидкості. Крім того, мають не таку велику собівартість виробництва. Однак, через наявність щітково-колекторного контакту надійність таких двигунів досить мала. Також через можливість появи іскріння, такі двигуни створюють радіоперешкоди й можуть давати коловий вогонь по колектору, що може стати причиною пожежі.

Для побудови електропривода з високою стабільністю швидкості обертання найбільше підходять безколекторні (безконтактні) двигуни постійного струму. Вони мають електронну комутацію струмів у фазах замість щітково-колекторного вузла, а швидкість обертання двигуна визначається величиною струму в котушках фаз. Спочатку такі двигуни застосовувалися в пристроях запису та відтворення інформації, у тому числі у відеотехніці, у звукотехніці, в обчислювальній техніці. Вони могли бути двох- або трифазними. Останнім часом такі двигуни знаходять все більше застосування й у пристроях автоматики та промислового устаткуванні [4]. Тому розробка безколекторних двигунів і систем керування двигунами має важливе значення для багатьох галузей виробництва.

### **Формулювання мети дослідження**

Метою роботи є розробка електропривода для устаткування різки кремнієвих пластин на кристали, у якому можна задати будь-яку швидкість обертання, та у якому при зміні навантаження задана швидкість та момент на валу підтримується з високою точністю і відновлюється за час одного оберту двигуна.

### **Викладення основного матеріалу дослідження**

У системах автоматики, керування, регулювання та контролю широко застосовуються керовані електродвигуни невеликої потужності. До цих машин пред'являється ряд вимог, обумовлений специфікою їхньої роботи: часті пуски, реверси, постійно змінюється частота обертання, широкий діапазон регулювання частоти обертання, мала потужність керування, мала інерційність. Існують виконавчі двигуни асинхронні та постійного струму.

Зростання кількості нових розробок безконтактних двигунів постійного струму. показує, що типова напруга живлення складає 12В та 24В, діапазон потужностей складає стандартний ряд: 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 40 Вт. Разом з тим, нижня межа ряду потужностей була визначена вимогами споживачів, а верхня межа була лімітована можливостями транзисторів за напругою пробою, споживаної потужності та максимальними струмами. На теперішній час розроблено ряд транзисторів зі збільшеною потужністю та напругою пробою. Тому цей ряд може буди доповнений напругами живлення 36(40)В та 50(60)В, а також максимальними потужностями 60 Вт та 100Вт. Статистичні дані по швидкості обертання склали 2000 об/хв., 3000 об/хв., 5000 об/хв., 8000 об/хв., 12000 об/хв.

Особливості технологічного процесу. Для різки напівпровідникових пластин на кристали в електронному виробництві використовують декілька методів [5]: різка алмазними різцями (скрайберами); різка лазерним променем; різка алмазними дисками.

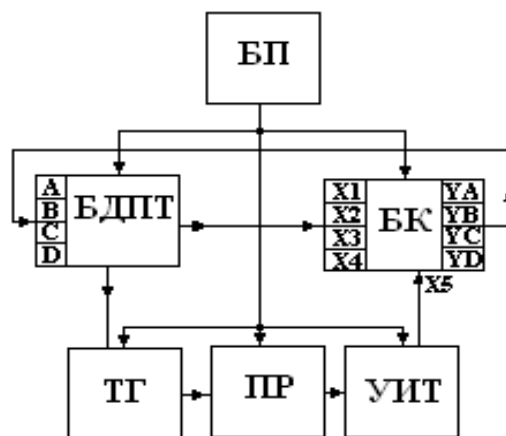
Всі ці методи мають як переваги, так й недоліки. Існують два способи різання напівпровідникових пластин на кристали. Перший спосіб використовують для різання пластин з різним розміром кристалів. В ньому використовують один диск, а столик з пластиною робить зворотно-поступові рухи по кількості стовбців кристалів на пластині, а після повороту на 90° ще по кількості стовбців в перпендикулярному напрямку. Другий спосіб використовують, якщо треба проводити різку багатой кількості однакових пластин з однаковим розміром кристалів. При цьому способі виготовляють набір алмазних дисків з загальною товщиною до 150 мм. Між дисками ставлять спеціальні кільця з товщиною, яка потрібна для отримання необхідних розмірів кристалів [5,6].

З метою зменшення кількості бракованих кристалів необхідно визначати режими різки пластин на кристали, в тому числі швидкість обертання дисків, та швидкість руху робочого столика. Ці швидкості повинні бути стабілізованими, тому що навіть при незначному відхиленні швидкостей від номінальних різання приводить до появи тріщин та сколів на пластинах.

Таким чином, головна умова отримання високої якості проведення процесу - це отримання високого ступеню стабілізації частоти обертання двигунів наряду з зменшенням собівартості, отриманням довговічності та високої надійності.

Пластини з кристалами в процесі виробництва проходять значну кількість термічних операцій при високих температурах (більш 1150°С), що викликає вигинання пластин. При заданій глибині прорізання канавок в пластинах по діаметру пластини момент опору та навантаження змінюються [5]. Це викликає зміну частоти обертання двигуна, тому що використовуються двигуни з невеликою потужністю [4]. Стабілізований по швидкості двигун повинен мати три складові частини: сам двигун з силовими обмотками, датчик швидкості та датчик положення ротора. Недоліки виконавчих двигунів постійного струму пов'язані із застосуванням колектора та наявністю ковзного контакту. У вибухонебезпечних умовах вони вимагають особливої герметизації, а для придушення радіоперешкод - додаткового фільтра.

З метою уникнення цих перешкод розроблена структурна схема системи керування 4-х фазним безколекторним двигуном постійного струму, блок схема якої наведена на рис. 1.



**Рис. 1. Структурна схема системи керування 4-х фазним безколекторним двигуном постійного струму: БП - блок живлення; БДПТ- безколекторний двигун постійного струму; БК - блок комутаторів; ТГ- тахогенератор; ПР - перетворювач частота-напруга; УИТ - кероване джерело струму**

Відповідно до структурної схеми система керування безколекторним чотирифазним двигуном (БДПТ) включає блок комутаторів (БК), що по сигналах (X1, X2, X3, X4) датчика положення ротора

(ДПР), який перебуває в самому двигуні, по черзі зі своїх виводів (YA, YB, YC, YD) перемикає струм у фазах (A, B, Z, D) безконтактного двигуна.

Схема керування чотирифазним безколекторним двигуном живиться від блоку живлення БП. Блок живлення виробляє напругу постійного струму одночасно для живлення обмоток електродвигуна та для живлення всіх блоків схеми керування. Якщо напруга на обмотках двигуна більше (15-24)В, то блок живлення повинен видавати дві постійних напруги: підвищену напругу на обмотки двигуна; більш низьку напругу для схеми керування та живлення датчиків Холла.

Два датчики Холла розташовуються під ротором так, щоб їх осі відносно один одного були зрушені на  $90^\circ$ , тобто на  $1/4$  частину повного оберту. При обертанні ротора датчики Холла попадають під дію магнітного поля ротора то з південною полярністю S, то з північною полярністю N, і тому на двох виходах кожного датчика відбувається зміна полярності сигналу. Наприклад, при дії полярності S на першому виході датчика буде  $(+\Delta V)$ , а на другому  $(-\Delta V)$ , і при дії полярності N на першому виході з'явиться  $(-\Delta V)$ , а на другому  $(+\Delta V)$ . Через розташування датчиків зі зрушенням осей, на другому датчику Холла полярність сигналу повторює полярність сигналів з першого датчика, але зі зсувом на  $1/4$  оберту. В зв'язку з тим, що кожний датчик Холла має два виходи, на входи блоку комутаторів (X1, X2, X3, X4) приходять 4 сигнали від датчиків Холла.

Сигнали, що прийшли від датчиків Холла, у блоці комутаторів (БК) підсилюються та обробляються так, щоб на бази вихідних потужних транзисторів видавався по черзі сигнал у базу тільки одного із чотирьох транзисторів, з'єднаних з виходами схеми (YA, YB, YC, YD). У результаті даний транзистор відкривається і, тим самим, відкриває шлях для проходження струму від джерела живлення через обмотки й далі через відкритий транзистор.

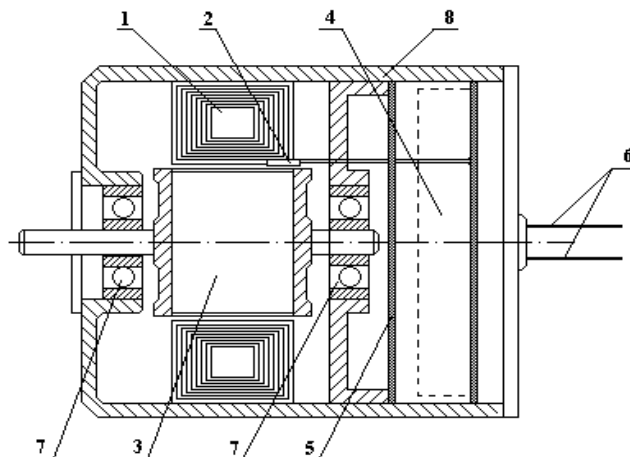
Найбільш важливим вузлом схеми керування є блок комутаторів, тому що саме він перемикає в котушках фаз струм, вироблений джерелом струму.

Якщо в схемі не передбачені автоматичне підстроювання або стабілізація струму, то шлях струму через відкритий транзистор проходить на шину «землі», з'єднаної з негативним виводом джерела живлення обмоток електродвигуна. А якщо передбачається автоматична стабілізація частоти, то шлях струму через відкритий транзистор лежить до керованого джерела струму (УИТ).

При сильному збільшенні навантаження та зменшенні швидкості обертання струм, посланий у фази (у котушки фаз), повинен збільшитися до необхідного рівня. Із цією метою застосовується тахогенератор (ТГ), що визначає швидкість обертання ротора двигуна, а також перетворювач «частота – напруга» (ПР) зі схемою порівняння. Вироблена перетворювачем напруга подається на вхід керування керованого джерела струму (УИТ).

Будова чотирифазного безконтактного двигуна постійного струму та принцип його дії. Незважаючи на різноманітність форми та розмірів безколекторних двигунів постійного струму, основні елементи та принцип роботи двигунів у них однаковий.

Будову безколекторного (безконтактного) чотирифазного двигуна постійного струму показано на рис. 2.



**Рис. 2. Конструкція безконтактного двигуна постійного струму**

У спеціальних пазах полюсних наконечників 1 сердечників статора (рис.2) розташовують датчики Холла 2. Постійний магніт 3 не має центрального отвору для посадки на вал, він вставляється в спеціальну тонкостінну гільзу та закривається фланцями з обох півосей, що приварюються. Така конструкція ротора дозволяє уникнути виконання центрального отвору в постійному магніті, тому що це

часто є причиною появи браку - тріщин і відколів на постійному магніті.

Схема керування із блоком комутаторів виконується на платах і розташовується в об'ємі 4. Схеми керування звичайно відділені від механічної частини двигуна перегородкою 5 і закриті металевим ковпаком - екраном. Приведені елементи містяться в корпусі 8.

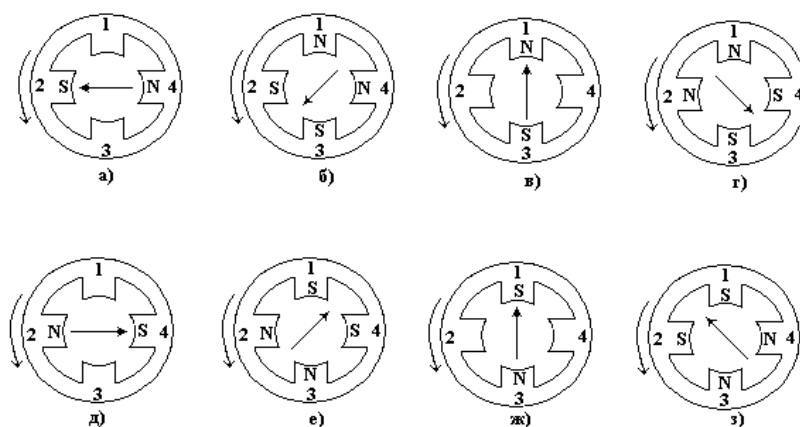
Стабілізований по швидкості двигун повинен мати три складові частини: сам двигун з силовими обмотками, датчик швидкості та датчик положення ротора [2].

Для керування таким двигуном застосовують датчики Холла та комутатор із чотирма потужними вихідними транзисторами, які по черзі перемикають електричний струм в обмотках (рис. 3,4).

Чотири обмотки (фази) двигуна розташовуються на явно виражених полюсах сердечника якоря. Датчики Холла встановлюються в пазах полюсних наконечників двох суміжних полюсів. Потужні вихідні транзистори комутатора працюють у ключовому (релейному) режимі. Сигнали на відкриття потрібного транзистора надходять від датчиків Холла, а живлення датчиків Холла здійснюється від джерела живлення з постійною напругою  $V_{cc2}$ .

Кожна обмотка (фаза) виконана із двох котушок, розташованих на полюсах сердечника статора та з'єднаних послідовно.

Якщо на якусь з обмоток (фаз) статора проходить струм від початку (Н1-Н4) до кінця обмотки (К1-К4), то полюси сердечника статора здобувають полярність, відповідно S і N (рис. 3).



**Рис. 3. Зміна магнітного поля статора в чотирифазному (чотириполюсному) безколекторному двигуні постійного струму**

При положенні ротора, показаному на рис. 4, у зоні магнітного полюса перебуває датчик Холла DX1.

Датчик DX1 виробляє сигнали, по яких транзистор VT(B) переходить у відкритий стан. Тому в обмотці статора  $W_2$  (фаза B) з'явиться струм  $i_2$ , що протікає від Н2 до К2. При цьому полюси статора 2 і 4 здобувають полярність S і N, як показано на рис. 3а. У результаті взаємодії магнітного поля статора, що наводиться струмом, і магнітного поля ротора, який наводиться постійним магнітом, з'являється електромагнітний момент  $M$ , що обертає ротор.

Після повороту ротора щодо осі полюсів статора 1-3 на деякий кут  $\alpha$  проти годинникової стрілки в зоні магнітного полюса ротора S, виявиться датчик Холла DX2. По його сигналах у відкритий стан перемикається транзистор VT(3) і в обмотці  $W_3$  (фаза 3) з'явиться струм  $i_3$ , а полюси 3 і 1 здобувають полярність S і N. При цьому магнітний потік статора буде створюватися спільною дією МДС обмоток  $W_2$  і  $W_3$ . Вектор цього потоку буде повернений щодо осі 2-4 на кут  $45^\circ$ , як показано на рис. 3б.

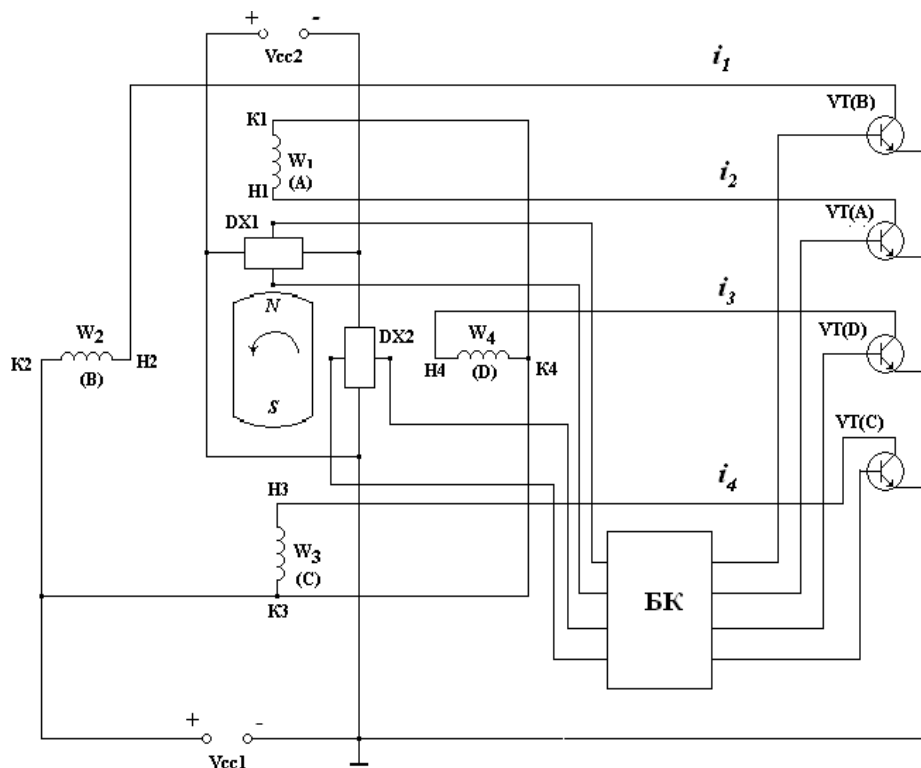
Ротор, продовжуючи обертання, займає положення по осі полюсів статора 2-4. При цьому датчик Холла DX1 попадає в міжполюсний простір ротора, а датчик Холла DX2 залишається ще в зоні дії магнітного поля полюса S ротора. У результаті транзистор VT(B) закривається і струм через нього вже не протікає, а транзистор VT(C) залишається відкритим і магнітним потоком, створюваний МРС обмотки фази C, повертається щодо осі полюсів 2-4 ще на  $45^\circ$ , як показано на ри. 3в.

Після того, як весь обертового ротора перетне весь полюсів статора 2-4, датчики Холла DX1 і DX2 виявляться в зоні дії магнітного поля полюса S ротора, що приводить до перемикання у відкритий стан транзистора VT(D). У результаті в обмотці  $W_4$  (фаза D) з'явиться струм  $i_4$ , а полюси 2 і 4 здобувають полярність N і S. При цьому магнітний потік статора буде створюватися спільною дією МРС обмоток  $W_3$  і  $W_4$ . Вектор цього потоку буде повернений щодо осі 1-3 на кут  $45^\circ$ , як показано на рис. 3г.

Ротор, продовжуючи обертання, займає положення по осі полюсів статора 3-1. При цьому датчик Холла DX2 попадає в міжполюсний простір ротора, а датчик Холла DX1 буде в зоні дії магнітного поля

полюса S ротора. У результаті транзистор VT(C) закривається і струм через нього вже не протікає, а транзистор VT(D) залишається відкритим і магнітним потоком, створюваний MPC обмотки фази D, повертається щодо осі полюсів 3-1 ще на 45°, як показано на рис. 3д.

Схема керування безколекторним (безконтактним) чотирифазним двигуном постійного струму наведена на рис.4.



**Рис. 4. Схема керування безколекторним (безконтактним) чотирифазним двигуном постійного струму**

Після повороту ротора щодо осі полюсів статора 3-1 на деякий кут  $\alpha$  проти годинникової стрілки в зоні магнітного полюса ротора S, виявиться датчик Холла DX2. По його сигналах у відкритий стан перемикається транзистор VT(A) і в обмотці W<sub>1</sub> (фаза A) з'явиться струм  $i_1$ , а полюси 4 і 2 здобувають полярність S і N. При цьому магнітний потік статора буде створюватися спільною дією MPC обмоток W<sub>4</sub> і W<sub>1</sub>. Вектор цього потоку буде повернений щодо осі 4-2 на кут 45°, як показано на рис. 3е.

Ротор, продовжуючи обертання, займає положення по осі полюсів статора 4-2. При цьому датчик Холла DX1 попадає в міжполюсний простір ротора, а датчик Холла DX2 залишається ще в зоні дії магнітного поля полюса S ротора. У результаті транзистор VT(D) закривається й струм через нього вже не протікає, а транзистор VT(A) залишається відкритим і магнітним потоком, створюваний MPC обмотки фази A, повертається щодо осі полюсів 4-2 ще на 45°, як показано на рис. 3ж.

Після того, як вісь обертального ротора перетне вісь полюсів статора 4-2, датчики Холла DX1 і DX2 виявляться в зоні дії магнітного поля полюса S ротора, що приводить до перемикання у відкритий стан транзистора VT(B). У результаті в обмотці W<sub>2</sub> (фаза B) з'явиться струм  $i_2$ , а полюси 2 і 4 здобувають полярність S і N. При цьому магнітний потік статора буде створюватися спільною дією MPC обмоток W<sub>1</sub> і W<sub>2</sub>. Вектор цього потоку буде повернений щодо осі 1-3 на кут 45°, як показано на рис. 3з. На цьому один оберт ротора закінчується і для наступного оберту обертання двигуна процес перемикання транзисторів та зміни магнітного поля повторюється спочатку.

Зміна напрямку обертання (реверс) двигуна здійснюється зміною полярності напруги живлення датчиків Холла Vcc2. Змінювати полярність напруги на вході двигуна Vcc1 або полярність напруги живлення блоку комутаторів неприпустимо, тому що транзистори обраного типу провідності не зможуть працювати.

Коефіцієнт корисної дії такого двигуна в порівнянні з колекторними двигунами постійного струму вище, що пояснюється відсутністю щітково-колекторного вузла. Тому спостерігається менше електричних втрат у щітковому контакті, а також менше механічних втрат на подолання сили тертя в колекторі.

**Висновки**

1. На базі аналізу сучасних електричних двигунів і огляду існуючих технологічних особливостей процесу різання кремнієвих пластин, запропоновано конструкцію та відображено принципи дії безконтактного двигуна постійного струму.

2. Розроблено схему керування 4-х фазного безконтактного двигуна постійного струму.

3. Встановлено, що застосування чотирьох фаз дозволяє спростити систему комутації і керування двигуном, тому що в цьому випадку можна використовувати як аналогові, так і досить прості логічні схеми.

4. Показано, що дана розробка дає можливість регулювання швидкості обертання та моменту на валу з високою точністю, їх відновлення та підтримку в плінні одного оберту двигуна при різкій зміні навантаження.

**Список використаної літератури**

1. Запорожский В.П. Обработка полупроводниковых материалов / Запорожский В.П., Лапшинов Б.А. – М: Высшая школа, 1988.
2. Данилина Т.И. Процессы микро- и нанотехнологии / Данилина Т.И., Смирнова К.И., Илюшина В.А., Величко А.А. – Томск, 2005. -316 с.
3. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч.посібник / [Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепкіков В.Б. та ін.]; за ред. Поповича М.Г., Лозинського О.Ю.– К, 2005. – 680 с.
4. Кацман М.М. Электричні машини / Кацман М.М. – М.: Вища школа 1990. – 394 с.
5. 3. Теория автоматизированного электропривода : [уч.пособие для вузов]. / М.Г. Чиликин, В.И.Ключев, А.С Сандлер. – М.; Энергия, 2009. – 616 с.
6. 4. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов : [учебник для вузов]. / Михайлов О.П. – М.: Машиностроение, 1990. – 304 с.
7. Цитыркина С.А. Технологии резки стержней монокристаллов кремния/ Цитыркина С.А., Зуйков И.Ф., Чумакова И.В. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики - № 6, том 1., 2010. – с.25-26.
8. Семенов Ю.Г. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. [уч.пособие для вузов]. / Семенов Ю.Г. - М. : Высшая школа, 1990. – 354с.
9. Никифорова-Денисова С.Н. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. [уч.пособие для вузов]. / Никифорова-Денисова С.Н. - М. : Высшая школа, 1990. – 298с.
10. Селіверстова С.Р. Система керування 4-фазним безконтактним двигуном постійного струму [Текст] / Селіверстова С.Р., Фролов О.М. // VII Міжнародна науково-практична конференція “Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування”, 22-23 вересня 2016 г. – Херсон : ХДМА - с.83-85.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

<b>Асаулюк Тетяна Сергіївна</b>	к.т.н., м.н.с. науково-дослідного сектору Херсонського національного технічного університету E-mail: tatisevna@gmail.com
<b>Бабіч Світлана Степанівна</b>	к.т.н., доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: babich_vi@ukr.net
<b>Базик Віталій Петрович</b>	аспірант кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: adamsitsb@gmail.com
<b>Бардачов Юрій Миколайович</b>	д.т.н., професор, ректор Херсонського національного технічного університету E-mail: kntu@kntu.net.ua
<b>Безпальченко Віолета Михайлівна</b>	к.х.н., доцент кафедри хімії і екології Херсонського національного технічного університету E-mail: maleevkherson@mail.ru
<b>Богданова Ольга Федорівна</b>	к.т.н., професор кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: bogdanova.olga.f@gmail.com
<b>Бойко Галина Анатоліївна</b>	к.т.н., докторант кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: galina_boyko_86@ukr.net
<b>Бурак Валентина Геннадіївна</b>	к.т.н., доцент, завідувач кафедри інженерії харчового виробництва Херсонського державного аграрного університету E-mail: burak_v@ro.ru
<b>Валько Микола Іванович</b>	д.т.н., професор кафедри харчових технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: valko.mukola@kntu.net.ua
<b>Валько Павло Миколайович</b>	к.т.н., ст. викладач кафедри харчових технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: valko.pavlo@kntu.net.ua
<b>Венгер Олена Олексіївна</b>	к.т.н., доцент кафедри хімії і екології Херсонського національного технічного університету E-mail: ximiecology@kntu.net.ua
<b>Вікулін Іван Михайлович</b>	д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри фізики Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова E-mail: physonat@gmail.com
<b>Войцеховський Олександр Никифорович</b>	ст. викладач кафедри енергетики, електротехніки і фізики Херсонського національного технічного університету E-mail: laurvignon@yahoo.fr
<b>Гевко Роман Богданович</b>	д.т.н., професор, завідувач кафедри менеджменту біоресурсів і природокористування Тернопільського національного економічного університету E-mail: r_hevko@ukr.net
<b>Горященко Сергій Леонідович</b>	к.т.н., доцент кафедри машин та апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету E-mail: GSL7@ukr.net
<b>Дмитрієв Вадим Сергійович</b>	завідувач навчально-науковою лабораторією кафедри мікроелектронних інформаційних систем Запорізької державної інженерної академії E-mail: dems562@gmail.com



<b>Добіжа Наталія Володимирівна</b>	к.т.н., доцент, директор Вінницького коледжу економіки та підприємництва Тернопільського національного економічного університету E-mail: r_hevko@ukr.net
<b>Домбровська Олена Петрівна</b>	к.т.н., доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: alen4ik77.d@gmail.com
<b>Домбровський Андрій Геннадійович</b>	к.т.н., доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: tka4@mail.ua
<b>Дон Наталія Леонідівна</b>	к.ф.-м.н., доцент, викладач Херсонського політехнічного коледжу Одеського національного політехнічного університету E-mail: donnatalia79@gmail.com
<b>Єдинович Михайло Борисович</b>	к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету E-mail: edenkuz@gmail.com
<b>Ємельянова Тетяна Анатоліївна</b>	ст. викладач кафедри фізики та загально інженерних дисциплін Херсонського державного аграрного університету E-mail: e.tatyana.2014@ukr.net
<b>Заморська Ірина Леонідівна</b>	к.с.н., доцент кафедри технології зберігання і переробки плодів та овочів Уманського національного університету садівництва E-mail: zil197608@gmail.com
<b>Ільющенков Ілля Вадимович</b>	студент кафедри харчових технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: XT-2014@ukr.net
<b>Іщенко Данііл Русланович</b>	студент кафедри хімії і екології Херсонського національного технічного університету E-mail: ximiecolology@kntu.net.ua
<b>Клендій Олександра Миколаївна</b>	к.т.н., доцент кафедри загальноінженерної підготовки Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут» E-mail: klendii_o@ukr.net
<b>Клендій Володимир Миколайович</b>	к.т.н., асистент кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя E-mail: vova221@ukr.net
<b>Ковалевський Костянтин Андрійович</b>	к.т.н., професор кафедри харчових технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: Food_technology@kntu.net.ua
<b>Короленко Віра Опанасівна</b>	к.т.н., доцент кафедри харчових технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: korolenko.vira@kntu.net.ua
<b>Кругла Наталія Анатоліївна</b>	к.і.н., доцент, декан факультету кібернетики та системної інженерії Херсонського національного технічного університету E-mail: natali270869@ukr.net
<b>Кузнєцов Сергій Іванович</b>	к.т.н., доцент кафедри хімії та екології Херсонського національного технічного університету E-mail: ksieko@rambler.ru
<b>Кузьміна Тетяна Олегівна</b>	д.т.н., професор кафедри харчових технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: Food_technology@kntu.net.ua
<b>Кутасов Андрій Володимирович</b>	аспірант кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: kutasov_a@rambler.ru
<b>Лещенко Олександр Валерійович</b>	м.н.с., аспірант кафедри транспортних технологій Херсонської державної морської академії E-mail: oo.sapronov@gmail.com

<b>Литвиненко Віктор Миколайович</b>	к.т.н., доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій електроніки та інженерії Херсонського національного технічного університету. E-mail: hersonlvn@gmail.com
<b>Малєєв Володимир Олексійович</b>	к.с.н., доцент кафедри хімії і екології Херсонського національного технічного університету E-mail: maleevkherson@mail.ru
<b>Мамай Ольга Іванівна</b>	к.т.н., доцент кафедри харчових технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: Food_technology@kntu.net.ua
<b>Міщенко Ганна Володимирівна</b>	д.т.н., професор, завідувач кафедри хімії і екології Херсонського національного технічного університету E-mail: ximiecolgy@kntu.net.ua
<b>Міщенко Олена Володимирівна</b>	к.т.н., доцент кафедри хімії і екології Херсонського національного технічного університету E-mail: ximiecolgy@kntu.net.ua
<b>Погрішук Борис Васильович</b>	д.е.н., професор, директор Вінницького навчально-наукового інституту економіки Тернопільського національного економічного університету E-mail: r_hevko@ukr.net
<b>Розов Юрій Георгійович</b>	д.т.н., професор кафедри транспортних систем і технічного сервісу Херсонського національного технічного університету E-mail: rozovu@mail.ru
<b>Савченко Сергій Олександрович</b>	викладач Херсонського політехнічного коледжу Одеського національного політехнічного університету E-mail: ckeper@gmail.com
<b>Салєба Людмила Владимировна</b>	к.т.н., доцент кафедри хімічних технологій, експертизи та безпеки харчової продукції Херсонського національного технічного університету E-mail: saleba@inbox.ru
<b>Сапронов Олександр Олександрович</b>	докторант кафедри транспортних технологій Херсонської державної морської академії E-mail: oo.sapronov@gmail.com
<b>Сарібєкова Юлія Георгіївна</b>	д.т.н., професор, п.н.с. НДС Херсонського національного технічного університету E-mail: ysaribyekova@gmail.com
<b>Семенченко Оксана Олександрівна</b>	к.т.н., доцент кафедри хімії і екології Херсонського національного технічного університету E-mail: maleevkherson@mail.ru
<b>Семешко Ольга Яківна</b>	к.т.н., науковий співробітник науково-дослідного сектора Херсонського національного технічного університету E-mail: solgaya@gmail.com
<b>Сєліверстова Світлана Ростиславівна</b>	к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматизації Херсонської державної морської академії E-mail: ussr28031972@gmail.com
<b>Скалозубова Наталія Сергіївна</b>	к.т.н., м.н.с. відділу хімії проблемної лабораторії Херсонського національного технічного університету E-mail: solgaya@gmail.com
<b>Скропишева Олена Віталіївна</b>	к.т.н., доцент кафедри хімічних технологій, експертизи та безпеки харчової продукції Херсонського національного технічного університету E-mail: Skropysheva.Olena@kntu.net.ua
<b>Степанчиков Дмитро Михайлович</b>	к.ф.-м.н., доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики Херсонського національного технічного університету E-mail: dmitro_step75@ukr.net
<b>Стоянова Ольга Вікторівна</b>	к.т.н., доцент кафедри харчових технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: stoyanova.olga@kntu.net.ua

<b>Тернова Тетяна Іванівна</b>	к.т.н., докторант кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: tti.kherson@gmail.com
<b>Тіхосова Ганна Анатоліївна</b>	д.т.н., професор кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: tihosova@gmail.com
<b>Толмачов Володимир Сергійович</b>	к.т.н., ст. викладач кафедри професійної освіти та комп'ютерних технологій Глухівського національного педагогічного університету ім. Олександра Довженка E-mail: 9779905@gmail.com
<b>Фролов Олександр Миколайович</b>	к.т.н., доцент кафедри автоматичної та електроустаткування Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова E-mail: ussr28031972@gmail.com
<b>Чутро Олександр Федорович</b>	к.т.н., доцент Херсонського державного аграрного університету
<b>Шанін Олександр Дмитрович</b>	ст. викладач кафедри харчових технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: Food_technology@kntu.net.ua
<b>Яковенко Тетяна Олександрівна</b>	асистент кафедри харчових технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: food_technology@kntu.net.ua

**ПРАВИЛА ПРИЙОМУ СТАТЕЙ****ВИМОГИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ  
У НАУКОВИЙ ФАХОВИЙ ЖУРНАЛ «ВІСНИК ХЕРСОНСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»**

«Вісник Херсонського національного технічного університету» є періодичним науковим журналом, призначеним для опублікування наукових робіт з метою висвітлення нових наукових і практичних результатів, що не публікувалися раніше у відкритій пресі.

Журнал приймає до розгляду статті за наступними науковими напрямками:

1. **Фундаментальні науки.**
2. **Інженерні науки.**
3. **Технологія легкої і харчової промисловості.**
4. **Інформаційні технології.**
5. **Математичне моделювання фізичних і технологічних процесів та технічних систем.**
6. **Прикладна геометрія і комп'ютерні технології.**
7. **Електроніка та електротехніка.**
8. **Економічні науки.**
9. **Проблеми вищої школи.**

Науковий журнал «Вісник ХНТУ» включено згідно з договором № 639-10/2013 у Російський індекс наукового цитування (Российский индекс научного цитирования, РИНЦ).

До журналу приймаються оригінальні статті, що не публікувалися в інших виданнях. **Обсяг рукопису** – від 5 до 10 повних сторінок. Статті публікуються українською, російською та англійською мовами.

**Обов'язкові елементи статті:**

- індекс УДК у верхньому лівому кутку листа (*Times New Roman, 12 nm*);
- ініціали, по-батькові та прізвище автора великими літерами у верхньому правому кутку сторінки (*Times New Roman, 12 nm*), із зазначенням місця роботи повністю справа (*Times New Roman, 8 nm*);
- назва статті великими літерами, по центру (*Times New Roman, 12 nm, жирний*); назва статті подається без використання вузькоспеціалізованих скорочень, крапка в кінці назви не ставиться;
- основний текст статті (*Times New Roman, 10 nm*).

**Основний текст статті** відповідно до вимог ВАК України (Постанова Президії ВАК України від 15.01.2003 р. № 7-05/1) повинен мати такі **виділені** елементи:

- **постановка проблеми;**
- **аналіз останніх досліджень і публікацій;**
- **формулювання мети дослідження;**
- **викладення основного матеріалу дослідження;**
- **висновки;**
- **список використаної літератури.**

*Список використаних джерел має містити не більше 15 літературних посилань і оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання».*

**Обов'язково** додаються анотації **українською, російською та англійською мовами** (*Times New Roman, 10 nm, курсив*) (текст ідентичний, середній обсяг – 500 друкованих знаків), де вказується назва статті, повне ім'я та прізвище автора, характеристика основної проблеми, мети, узагальнених результатів, та ключові слова.

Статті подаються у вигляді файлу формату *doc* для *Word for Windows* у незаархівованому вигляді на CD-диску. Шрифт *Times New Roman*, розмір – 10, інтервал – одинарний, поля: зліва – 25 мм; справа – 25 мм; зверху – 25 мм; знизу – 25 мм, відступ першої строчки – 127 мм, сторінки не пронумеровані. Таблиці слід виконувати в Excel чи Word, рисунки потрібно подавати у чорно-білому варіанті, вони мають бути згруповані. Для набору формул використовувати лише редактор формул Microsoft Equation 3.0.

Шрифт у заголовках, текстах, рисунках повинен співпадати. Ілюстрації, діаграми, схеми, таблиці та формули оформлюються відповідно до Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника (Постанова Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567).

**Статті, які не відповідають наведеним вимогам, до друку не приймаються.**

До статті **обов'язково** додаються:

- **електронні копії** статті, анотацій та авторської довідки на CD-диску та на e-mail: [vestnikntu@gmail.com](mailto:vestnikntu@gmail.com), (назва файлу повинна відповідати прізвищу першого автора);
- **рукопис статті**, із підписами усіх вказаних авторів;
- **експертний висновок** щодо відсутності відомостей, заборонених для відкритого опублікування;
- **рецензія** доктора наук з рекомендацією до друку (*якщо серед авторів немає доктора наук за відповідним напрямом*);
- **заява авторів** на опублікування статті;
- **авторська довідка** (відомості про автора), прізвище, ім'я, по батькові (повністю); вчене звання, науковий ступінь; посада, місце роботи, контактні адреси і телефони, e-mail; назва статті; тематична рубрика.

Телефон редколегії (0552) 326907

**Оплата в розмірі 35 грн за сторінку здійснюється за наступними реквізитами:**

Банк ХОД ВАТ «Райффайзен Банк Аваль», м. Херсон

р/р 26002219875

МФО 380805

ЄДРПОУ 36838410

Одержувач: ТОВ «Академія інтелектуальних технологій»

Призначення платежу: За оформлення статті... (вказуються П.І.Б. авторів) у журналі «Вісник ХНТУ», без ПДВ.

**Приклад оформлення рукопису для представлення в редакцію подано у додатку 1.**

## Додаток 1

**ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РУКОПISУ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ У  
РЕДАКЦIЮ (ПОДАНО ФРАГМЕНТ СТАТТІ)**

УДК 667.021.1

**В.С. КОРОЛЕНКО, І.Ф. БОНДАРЬ**  
Херсонський національний технічний університет  
**С.О. ІВАНОВА**  
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ  
ДЕФОРМУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ГІДРОПРЕСУВАННІ ТРУБЧАТИХ  
ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

*У даній роботі розглянута кінцево-елементна модель процесу гідроекструзії трубчастих заготовок у середовищі високих гідростатичних тисків, необхідних для підвищення пластичності сталі 30ХН2МФА при холодному формоутворенні виробів. Результати моделювання показали можливість реалізувати процес при дії значного гідростатичного тиску (750 МПа) на вільну поверхню заготовки. При меншому тиску відбувається характерне руйнування ще на початкових етапах деформування на зовнішній поверхні заготовки. Натурні експерименти підтвердили адекватність комп'ютерного моделювання та ефективність запропонованого методу виготовлення високоточних довгомірних трубчастих виробів.*

*Ключові слова: гідропресування, гідроекструзія, деформування, матриця, моделювання, міцність, надійність, руйнування.*

**В.С. КОРОЛЕНКО, І.Ф. БОНДАРЬ**  
Херсонский национальный технический университет  
**С.А. ИВАНОВА**  
Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ДЕФОРМИРУЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ПРИ ГИДРОПРЕССОВАНИЯ ТРУБЧАТЫЕ  
ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*В данной работе рассмотрена конечно-элементная модель процесса гидроэкструзии трубчатых заготовок в среде высоких гидростатических давлений, необходимых для повышения пластичности стали 30ХН2МФА при холодном формообразовании изделий. Результаты моделирования показали возможность реализовать процесс при действии значительного гидростатического давления (750 МПа) на свободную поверхность заготовки. При меньшем давлении происходит характерное разрушение еще на начальных этапах деформирования на внешней поверхности заготовки. Натурные эксперименты подтвердили адекватность компьютерного моделирования и эффективность предложенного метода изготовления высокоточных длинномерных трубчатых изделий.*

*Ключевые слова: гидропрессования, гидроэкструзии, деформирования, матрица, моделирование, прочность, надежность, разрушения.*

**V.S. KOROLENKO, I. F. BONDAR**  
Kherson National Technical University  
**S.O. IVANOVA**  
Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv

**THE RESEARCH OF DEFLECTED MODE OF THE DEFORMING TOOL DURING THE  
HYDRAULIC FORGING OF TUBULAR BLANKS BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS**

*In this work, the finite element model of the hydrostatic extrusion process of tubular blanks in the medium of high hydrostatic pressure that are necessary for increase ductility of steel 30HN2MFA during the cold forming products, was considered. The modelling results showed the possibility to realize a process with effect of considerable hydrostatic pressure (750 MPa) on the free surface of blank. There is characteristic destruction still on the initial stages of deformation on the external surface at less pressure.*

The full-scale experiments confirmed the adequacy of computer simulation and the efficiency of introduced method of manufacturing exacting long-measuring tubular products.

Keywords: hydraulic forging, hydrostatic extrusion, deformation, mould, modelling, strength, reliability, destruction.

### Постановка проблеми

Товстостінні трубчасті вироби з прецизійними елементами внутрішнього профілю (6 ... 8 квалітет, при шорсткості 0.16 ... 0.64 мм) досить широко застосовуються в машинобудуванні, приладобудуванні та виробках спеціального призначення.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ефективність дії рідини під високим тиском на пластичність при механічних випробуваннях зразків і в процесах прямого видавлювання показана в роботах [1-3].

У зв'язку з цим, був запропонований перспективний метод отримання високоточних довгомірних трубчастих виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями методом гідропресування на гладкій оправці [4, 5].

### Формулювання мети дослідження

Метою роботи було вивчення можливості отримання довгомірних трубчастих заготовок методами холодного пластичного деформування.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Розрахунок матриці проводили в умовах, наближених до реальних, при максимальних значеннях зусилля видавлювання  $P$  (630 кН) і гідростатичного тиску  $q$  (750 МПа), яке впливає на матрицю. Вихідні дані для розрахунку матриці наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Задані вихідні дані для розрахунку матриці

№ з/п	Матеріал матриці	Модуль пружності, ГПа	Межа міцності, МПа	Твердість, HRC <sub>3</sub>
1	P18	228	2250	66
2	...	...	...	...

$$\varphi = N_k \frac{\cos(2 \cdot l \cdot \omega)}{\sqrt{j \cdot Q \cdot \alpha_i}}, \quad (1)$$

де  $\varphi$  – ... ;  
 ...  
 $\alpha_i$  – .

### Висновки

1. За результатами чисельного експерименту були визначені необхідні параметри гідропресування, остаточна геометрична форма деформівної заготовки та її ПДВ.

2. Проведене моделювання показало, що даний процес можливо реалізувати із значним гідростатичним тиском на вільній поверхні заготовки (750 МПа), тоді як при меншому тиску відбувається характерне руйнування ще на початкових етапах деформування на зовнішній поверхні заготовки.

.....

### Список використаної літератури

- Акофф Р. Л. Идеализированное проектирование : как предотвратить завтрашний кризис сегодня. Создание будущего организации / Акофф Р. Л., Магидсон Д., Эддисон Г. Д. ; пер. с англ. Ф. П. Тарасенко. – Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2007. – XLIII, 265 с.
- Петров П. П. Активність молодих зірок сонячної маси : дис.... доктора фіз., -мат. наук : 01.03.02 / Петров Петро Петрович. – К., 2005. – 276 с.
- Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж, науч. – исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.).