

Л.В. Коломієць, д-р техн. наук,
Г.М. Клещов, канд. техн. наук, Одеса, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СКЛАДНОГО ІНСТРУМЕНТУ – ШТАМПІВ ХОЛОДНОГО ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

При дослідженні адаптивної математичної моделі процесів інструментальної автоматизованої підготовки виробництва штампів та їх виготовлення вирішено важливу науково-технічну проблему – виготовлення штампів на кількох спеціалізованих підприємствах країни із застосуванням наскрізної комп'ютерної технології. Це дозволило вирішити ряд проблем, які різко збільшили кількість виготовлених інструментальних штампів в одному типорозмірі, скоротити трудомісткість і вартість виготовлення штампів в умовах ринкової економіки, підвищити ефективність і якість

При исследовании адаптивной математической модели процессов инструментальной автоматизированной подготовки производства штампов и их изготовления решена важная научно-техническая проблема – изготовление штампов на нескольких специализированных предприятиях страны с применением сквозной компьютерной технологии. Это позволило решить ряд проблем, которые резко увеличили количество изготовленных инструментальных штампов в одном типоразмере, сократить трудоемкость и стоимость изготовления штампов в условиях рыночной экономики, повысить эффективность и качество

The important technological problem, namely production of dies at several special-purpose enterprises of the country using open computer technique is solved as a result of analysis of the adaptive mathematical model of the processes of tooling computer-aided preproduction of dies and their manufacture. It has allowed us to solve a set of the tasks that leads to increase an amount of the manufactured die tooling of one dimension type, to reduce labour content and production cost of dies under the conditions of market economy, to improve efficiency and quality

У виробничому інструментальному процесі холодне листове штампування (ХЛШ) – один з найбільш прогресивних і поширених процесів. Цей процес дозволяє виготовляти з листового матеріалу (смуги, стрічки, лист) найрізноманітніші за формою і розмірами деталі в короткі терміни з мінімальними витратами [1, 4]. Область застосування холодно листового штампування все більше поширюється на дрібносерійні виробництва. Розширюється номенклатура холодноштампованих деталей за рахунок важко деформованих і малопластичних металів, сплавів і неметалевих деталей. Водночас штампи холодно листового штампування, незважаючи на те, що вони відносяться до особливо складного інструменту, є найбільш стандартизованими і уніфікованими. У зв'язку з цим, до них при дослідженні процесів проектування і виготовлення, необхідно застосовувати сучасні математичні методи і засоби обчислювальної техніки [2, 8, 9].

Основою для аналізу і синтезу сучасних засобів комп'ютерних технологій з систем автоматизації проектних робіт конструкторсько-

технологічної підготовки виробництва і виготовлення штампів є роботи видатних учених, але тоді не ставились такі задачі як розробка адаптивних моделей, наскрізних систем і т.д. Сучасні розробки, такі як «Компас-штамп5» – нова технологія автоматизованого проектування штампів носять описовий характер. Тому треба розглянути раніше не вирішені частини загальної проблеми: розробки та аналізу математичної та структурної адаптивної моделі, створення та аналіз математичної та структурної моделі нової інструментальної технології виготовлення деталей штампів.

В сучасному виробничому процесі холодне листове штампування є:

1. Перспективним, так як питома вага штампування з листа деталей для основних галузей промисловості становить від 60% до 85%;
2. Доцільним, так як є відомості про тенденції переорієнтування ряду процесів лиття і кування на холодне листове штампування, що знижує вагу деталі на 50% і зменшує витрати металу до 70%.

Мета досліджень – підвищення ефективності виготовлення деталей штампів на основі використання нових наукових методів, моделей та інтегрованої адаптивної наскрізної автоматизованої інструментальної системи підготовки виробництва з використанням штампів-напівфабрикатів, що забезпечує створення безлюдної, безпаперової, конкурентоспроможної системи для галузей народного господарства.

Дослідження і розробки в цій області здійснюються на базі інтегрованої адаптивної наскрізної автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва (ІАН АСТПП), представлені в патенті від 2010р. [3]. Система складається з шести автоматизованих підсистем, кожна з яких вирішує певні завдання.

У процесі виготовлення штампів виникають невизначеності – виробничі відхилення по: матеріалу, зусиллю вирубки, конфігурації деталі і т.д. Для усунення цих невизначеностей пропонується досліджувати математичну і структурну адаптивні моделі (Рис. 1).

У модель входять наступні блоки: ОС- основний блок 1, складається з під блоків: 1.1- органу, що управляє, і 1.2 – керованого виробництва -1.2.1 і виготовлення деталей, що складається з підготовки – 1.2.2; Блок 2 - блок адаптації складається з під блоку 2.1, який приймає рішення на підставі порівняння даних, (а остаточне рішення ухвалює провідний конструктор-технолог), наприклад, по заміні матеріалу деталей штампів або конструкції штампів в результаті збільшення зусилля вирубки, і так далі після відрізки під блоками: 2.1.1 під блок ПР і О (порівняння, розпізнавання і оцінювання). 2.1.2 - НДІ (нормативно-довідкової інформації), 2.1.3 – ППС (програмного поля сприйняття), тобто тих програм, на які налаштована система, 2.1.4 – алгоритми адаптації, 2.1.5 – підблок знань. Остаточне рішення передається вектором d в під блок 1.1. Блок 3 - блок обробки, зберігання і передачі інформації; Блок 4- умови виробництва, що змінюються; Блок 5 – блок

ПОЕМ. Підблоки 1.2.1 – 1.2.6 виконують весь технологічний процес від кодування (БТКС) до виготовлення деталей штампів (БВД). У синтезованій оптимальній структурі системи управління виробництвом найбільш ефективним є застосування теоретико-множинного підходу[6]. Даний підхід забезпечує можливість найповніше наділяти отримані конструкції конкретними математичними структурами і гранично узагальнено підходити до проблеми опису складних систем, до яких відносяться системи автоматизації проектних робіт. При цьому, ми виходили з поняття системи **S** як підмножини декартового добутку деякого сімейства множин:

$$\{V_i | i \in I\} \quad S \subset \prod_{i \in I} V_i^I - \text{множина індексів, зважаючи на існування}$$

глобальної реакції системи:

$$R : X \times \prod_{i \in I_1} V_i \rightarrow \prod_{j \in I_2} V_j ,$$

де: $I_1 \cup I_2 = I$ і $I_1 \cap I_2 = \emptyset$; X - деяка абстрактна множина. Ієрархічна n – рівнева система вектора управління U (математична модель адаптивної системи підготовки виробництва і виготовлення деталей), є сукупністю векторів

$$U = (X, Z, \Omega, \varphi, \psi), \quad (1)$$

де X – множина вхідних станів системи, яка є декартовим добутком множин

$$X = \prod_{i=1}^n X_i .$$

Управління зовнішніх дій Z і вихідних дій Ω є множиною відображень

$$\forall z \in Z \quad Z : X \rightarrow X ,$$

$$\forall \omega \in \Omega \quad \omega : X \rightarrow X .$$

Причому:

$$Z = \prod_{i=1}^n Z_i \quad \Omega = \prod_{i=1}^n \Omega_i$$

$$z(x) = (z_1(x_1), z_2(x_2), \dots, z_n(x_n)),$$

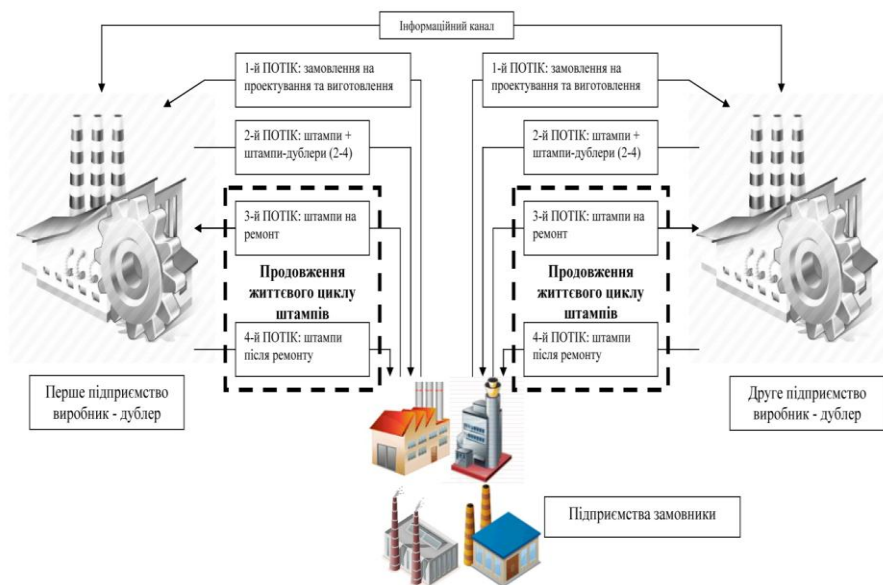
$$\Omega(x) = (\Omega_1(x_1), \Omega_2(x_2), \dots, \Omega_n(x_n))$$

для всіх $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X$

На підставі адаптивної моделі, ввівши вектор станів **A** (вектор автоматизації і адаптації) і враховуючи змінний вектор **d** (див. рис. 1), вектор управління адаптивною системою **U** можна представити в спрощеному

У тих випадках, коли відбуваються зміни у виробничих умовах, підключається адаптивна модель і, за наявності бібліотеки з пакетом конкретних рішень, система в змозе прийняти правильне рішення, яке аналізується користувачем і, при необхідності, він приймає своє остаточне оптимальне рішення. Це рішення передається у блок управління – 1.1БУ (див.рис. 2) і система продовжує функціонувати з урахуванням умов, що змінилися.

На рис.2 вказана модель нової технології процесу виробництва стандартизованих штампів[5, 7]. Основний принцип роботи моделі нової технології процесу проектування і виробництва штампів полягає в наступному. В країні створюються два (як мінімум) підприємства - дублерів, яки проектують і виготовляють в металі усі штампи на ЕОМ і на верстатах з ЧПУ, залишаючи усі відомості про штампи у своїх БДІЗ. Замовникові видаються тільки штампи в металі.



1. Підприємства Виробники – дублери видають штампи у металі, але не видають замовнику комплекти креслень та технологічні карти, залишаючи у базах даних та знань (БДІЗ) підприємств – дублерів усі відомості о спроектованих та виготовлених штампах. Таким чином, на цій стадії, визволяють десятки (сотні) конструкторів та технологів, що виготовляли цю документацію на підприємствах – виробниках.
2. Підприємство Замовник, відправляючи штампи на централізований ремонт, також визволяє у себе десятки (сотні) конструкторів, технологів, робочих високої кваліфікації, що були зайняті на ремонтних роботах з штампами.
3. Підприємства Виробники – дублери, маючи усі відомості о спроектованих та виготовлених штампах у своїх БДІЗ, проводять ремонт штампів на тому ж обладнанні та використовуючи саме тих працівників (продовження життєвого циклу штампів).
4. Нова технологія дозволяє збільшити ефективність за рахунок скорочення людських ресурсів, строків, трудовитрат та підвищення якості.

Рисунок 2 – Модель нової технології інструментального процесу виробництва штампів

У цьому випадку вивільняються десятки (сотні) конструкторів, технологів і копіювальників, а КБ по проектуванню тільки штампів ХЛШ – різко скорочуються (безлюдна і безпаперова технологія). Для ремонту штампів і штампів дублерів (яких замовляють від 2 до 4 і більш) замовник відвантажує їх підприємствам-дублерам. Підприємство-виробник, маючи усі дані про штампи у своїх БДіЗ, робить ремонт, використовуючі ту саму ІАН АСТПВ, на тому самому устаткуванні і тими самими робітниками (продовження «життєвого циклу» штампів), а замовнику не треба мати: цех по ремонту штампів, обслуговуючий персонал, устаткування, платити: за площі для ремонтного цеха, матеріали і т.д.

Математичні моделі проектування, виготовлення і ремонту штампів для замовників (базовий варіант – 1):

$$\min c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^3 + o_j + z_j \quad (5)$$

$$x_j^1 + x_j^2 \geq b_j \quad (6)$$

$$x_j^1 \geq 0, x_j^2 \geq 0, x_j^1, x_j^2 - \text{цілі числа} \quad (7)$$

Оцінка різниці між значенням цільової функції (5) і (7) :

$$c_j^3 + o_j + z_j - c_j^4(y_j^1 + y_j^2) \gg 0$$

$$\min c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^4(y_j^1 + y_j^2) \quad (8)$$

$$x_j^1 + x_j^2 - (y_j^1 + y_j^2) = b_j \quad (9)$$

$$x_j^1 \geq 0, x_j^2 \geq 0, y_j^1 \geq 0, y_j^2 \geq 0, x_j^1, x_j^2, y_j^1, y_j^2 \quad (10)$$

Шукані величини:

x_j^1 – кількість замовлених штампів на першому підприємстві-виробнику

x_j^2 – кількість замовлених штампів на другому підприємстві

y_j^2 – кількість ремонтів штампів на другому підприємстві-виробнику.

Параметри в моделях:

b_j – потреба j -го підприємства в працюючих штампах

c_j^1 – вартість розробки проекту і виготовлення одного зразка штамп

c_j^2 – вартість виготовлення додатково штамп за розробленим проектом

c_j^3 – вартість виготовлення документації за проектом

o_j – витрати на купівлю і обслуговування ремонтного устаткування

z_j – витрати на оплату праці на ремонтній ділянці.

c_j^4 – вартість ремонту одного штамп, який виконується підприємством-виробником, - відома величина.

Математичні моделі проектування і виготовлення для виробників (новий варіант – 2):

$$\max \sum_{j=1}^n (c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^3) - \quad (11)$$

$$- (d_j^1 + d_j^2(x_j^1 + x_j^2) + d_j^3) \\ x_j^1 + x_j^2 \geq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n (x_j^1 + x_j^2) \leq v^1 + v^2 \quad (13)$$

$$x_j^1 \geq 0, \quad x_j^2 \geq 0, \quad x_j^1, x_j^2 - \text{цілі числа} \quad (14)$$

$$\max \sum_{j=1}^n \left[c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^4(y_j^1 + y_j^2) - \right. \\ \left. - (d_j^1 + d_j^2(x_j^1 + x_j^2) + d_j^4(y_j^1 + y_j^2)) \right] \quad (15)$$

$$x_j^1 + x_j^2 \geq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n (x_j^1 + x_j^2) \leq 0,95(v^1 + v^2) \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^n (y_j^1 + y_j^2) \leq 0,05(v^1 + v^2) \quad (18)$$

$$x_j^1 \geq 0, \quad x_j^2 \geq 0, \quad x_j^1, x_j^2 - \text{цілі числа} \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^n [(c_j^4 - d_j^4)(y_j^1 - y_j^2)] - \sum_{j=1}^n (c_j^3 - d_j^3) >> 0$$

Параметри в моделях

(додаток до вказаних вище) :

d_j^1 – собівартість розробки проекту і виготовлення одного зразка штампу

d_j^2 – собівартість розробки одного штампу

d_j^3 – собівартість тиражування документації за проектом

d_j^4 – собівартість ремонту одного штампу

Шукані величини:

ті самі

Оцінка різниці між значенням цільової функції

$$\frac{c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^2 + o_j + z_j}{\theta_j} \quad (20)$$

$$\frac{c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^4(y_j^1 + y_j^2)}{\theta_j} \quad (21)$$

$$\frac{c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^2 + o_j + z_j}{\theta_j} >> \frac{c_j^1 + c_j^2(x_j^1 + x_j^2) + c_j^4(y_j^1 + y_j^2)}{\theta_j} \quad (22)$$

Оскільки витрати на ремонт у виробника істотно менше, ніж для j -го підприємства – замовника штамів, відповідає потреба у виготовленні документації, наявності свого ремонтного цеха (ділянки) і обслуговуванні ремонтного устаткування. Як видно, собівартість кінцевої продукції (штампованих деталей), виготовленої на штампах, при новій моделі технології проектування і виготовлення штамів істотно менше, оскільки підприємство не несе витрати, пов'язані з ремонтним цехом і обслуговуванням ремонтного устаткування, а також витрати на купівлю документації і, у зв'язку з цим, немає необхідності мати конструкторів, технологів і робітників високої кваліфікації для ремонту штамів.

Замовник у себе вивільняє десятки конструкторів, технологів і робітників високої кваліфікації, що брали участь в ремонтних роботах, а також економляться площі, устаткування, необхідні для ремонту. Нова

технологія різко підвищує ефективність за рахунок скорочення людських ресурсів, термінів, трудовитрат і підвищення якості.

Нова технологія автоматизованого процесу виробництва штампів в математичному розумінні відноситься до теорії А.К. Ерланга теорії масового обслуговування з використанням апарату марківських ланцюгів. Так замовлення штампів за новою технологією на проектування і виготовлення для «підприємств виготовників», а тим більш штампі, які надійшли на ремонт від «заводів замовників» носять імовірний характер. Потреба у виробництві штампів по країні складає десятки тисяч і носить масовий характер. Моменти вступу замовлень – випадкові і носять хаотичний характер, через що у вхідних потоках Пуассона (на проектування і на ремонт), утворюються випадкові нерівномірні завантаження устаткування. Дуже зручним і гнучкішим є потік Ерланга, що є узагальненням пуассоновського потоку. Для його отримання необхідно при деякому цілому $k > 0$ «просіяти» пуассоновський потік, залишивши кожному k -у вимогу. Кожному значенню k відповідає свій потік Ерланга. Час обслуговування є випадковою величиною. Системи обслуговування можуть бути трьох видів: системи з очікуванням, системи з втратами і системи змішаного типу. Нова технологія також відноситься к Марковським ланцюгам з безперервним часом.

Висновки. На підставі досліджень, вирішена важлива науково-технічна проблема: підвищення ефективності, скорочення терміну підготовки виробництва та обробки інструментальних деталей замовника для штампів ХЛШ з використанням комп'ютерних інструментальних технологій на базі штамп-напівфабрикатів.

Основні наукові і практичні результати полягають у наступному.

1. Розроблені структурна і математична адаптивні моделі процесу підготовки виробництва і багатоменклатурного виготовлення деталей з урахуванням невизначеності виробничих умов, що змінюються.

2. Реалізован метод роздільного виготовлення блоків і пакетів штамп - напівфабрикатів по типорозмірам (без прив'язки до конкретної деталі замовника), що дозволяє створювати партії однакових деталей (перейти від одиничного виробництва до серійного).

3. У виробництві штампів за новою технологією централізовано двома підприємствами - дублерами на ЕОМ, видаються замовникові штампи тільки в металі, а ремонт робиться також централізовано на підприємствах - дублерах, використовуючи відомості БДЗ про раніше розроблені штампи на тій же ІАН АСТПВ, на тому самому устаткуванні і тими ж самими робітниками, що вивільняє десятки (сотні) конструкторів, технологів і робітників високої кваліфікації.

Список використаних джерел: 1. Клецов Г.М. Адаптивна наскрізна комп'ютерна технологія управління підготовкою виробництва та виготовлення деталей штампів на базі штамп-напівфабрикатів / Г.М. Клецов // Одеса: ВМВ, 2010. – 290 с. 2. Квасников В.П. Роль стандартизації в підготовці виробництва штампів совмещенного действия ХЛШ / В.П. Квасников, Г.М. Клецов // Вісник Інженерної академії України. – К., 2008. – Вип.1. – С. 168-174. 3. Пат. 48027 України МПК В21D 22/02 Метод інтегрованої наскрізної підготовки виробництва та виготовлення деталей штампів / В.П. Квасников, Г.М. Клецов, Л.В. Коломієць та ін. Заявн. Одеський Державний інститут вимірювальної техніки – № а2009 07883, заявл. 7.07.2009, опубл.10.03.2010, бюл. №5. 4. Клецов Г.М. Интегрированная адаптивная сквозная компьютерная технология механообработки деталей штампов холодной листовой штамповки / Г.М.Клецов // Збірник наукових праць військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка – Київ, 2011. – Вип. 30. – С. 110–114. 5. Клецов Г.М. Новая технология производства штампов холодной листовой штамповки для строительства и сельскохозяйственного машиностроения / Г.М. Клецов, Коломиец Л.В., Клецов М.Г. // Збірник Міжнародних науково-технічних праць MOTROL'2014, Том15, №1 LUBLIN, Польща, С.157-161. 6. Клецов Г.М. Адаптивна модель управління підготовкою виробництва та виготовлення деталей штампів ХЛШ / Г.М. Клецов // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград, 2010. – Вип.23.. – С.352– 357. 7. Клецов Г.М. Підготовка виробництва та виготовлення деталей штампів ХЛШ у середовищі нової наскрізної комп'ютерної технології / Г.М. Клецов // Аграрний вісник Причорномор'я. – ОДАУ. Одеса, 2010. – Вип.55. – С. 105–108. 8. Клецов Г.М. Математичні основи управління стандартизованою підготовкою виробництва штампів / Г.М. Клецов // Вісник інженерної академії України – Київ, 2010. – Вип. 2. – С. 100–102. 9. Клецов Г.М. Інформаційні конструкторські масиви штампів холодної листової штамповки / Г.М. Клецов // Вісник інженерної академії України – К., 2010 – Вип 3. – С. 74–77.

Bibliography (transliterated): 1. Kleshhov G.M. Adaptivna naskrizna komp'yuterna tehnologija upravlinnja pidgotovkoju virobnictva ta vigitovlennja detalej shtampiv na bazi shtamp-napivfabrikativ / G.M. Kleshhov // Odesa: VMV, 2010. – 290 s. 2. Kvasnikov V.P. Rol' standartizacij v podgotovke proizvodstva shtampov sovmeshhennogo dejstva HLSh / V.P. Kvasnikov, G.M. Kleshhov // Visnik Inzhenernoї akademii Ukraїni. – K., 2008. – Vip.1. – S. 168-174. 3. Pat. 48027 Ukraїni MPK V21D 22/02 Metod integrovanoї naskriznoї pidgotovki virobnictva ta vigitovlennja detalej shtampiv / V.P. Kvasnikov, G.M. Kleshhov, L.V. Kolomicc' ta in. Zayavn. Odes'kij Derzhavnij institut vimirjuval'noї tehniki – № a2009 07883, zayavl. 7.07.2009, opubl.10.03.2010, bjul. №5. 4. Kleshhev G.M. Integrirovannaja adaptivnaja skvoznaja komp'yuternaja tehnologija mehanooobrabotki detalej shtampov holodnoj listovoj shtampovki / G.M.Kleshhev // Zbirnik naukovih prac' vijs'kovogo institutu Kiїvs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka – Kiїv, 2011. – Vip. 30.– S. 110–114. 5. Kleshhev G.M. Novaja tehnologija proizvodstva shtampov holodnojlistovoj shtampovki dlja stroitel'stva i sel'hozmashinostroenija / G.M. Kleshhev, Kolomicc L.V., Kleshhev M.G. // Zbirnik Mizhnorodnih naukovو- tehnicnih prac' MOTROL'2014, Tom15, №1 LUBLIN, Pol'sha, S.157- 161. 6. Kleshhov G.M. Adaptivna model' upravlinnja pidgotovkoju virobnictva ta vigitovlennja detalej shtampiv HLSh / G.M. Kleshhov // Zbirnik naukovih prac' Kirovograds'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu. – Kirovograd, 2010. – Vip.23.. – S.352– 357. 7. Kleshhov G.M. Pidgotovka virobnictva ta vigituvannja detalej shtampiv HLSh u seredovishhi novoї naskriznoї komp'yuternoї tehnologії / G.M. Kleshhov // Agrarnij visnik Prichornomor'ja. – ODAU. Odesa, 2010. – Vip.55. – S. 105–108. 8. Kleshhov G.M. Matematichni osnovi upravlinnja standartizovanoju pidgotovkoju virobnictva shtampiv / G.M. Kleshhov // Visnik inzhenernoї akademii Ukraїni – Kiїv, 2010.– Vip. 2. – S. 100–102. 9. Kleshhov G.M. Informacijni konstruktors'ki masivi shtampiv holodnoї listovoї shtampovki / G.M. Kleshhov // Visnik inzhenernoї akademii Ukraїni – K., 2010 – Vip 3. – S. 74–77.

Надійшла до редколегії 12.06.2014