

*Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України "КПІ"  
Механіко-машинобудівний інститут  
Спілка інженерів – механіків  
ЗАТ «Гідросила ГРУП»  
ТОВ «СІГМА ІНЖИНІРИНГ»  
Концерн «NICMAS»*

# **МАТЕРІАЛИ**

*XXI МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ*

## **"ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА В ІНЖЕНЕРНІЙ ПРАКТИЦІ"**

*присвяченої ювілею кафедри  
прикладної гідроаеромеханіки  
та механотроніки*

**24-27 травня 2016 року**  
м. Київ, Україна

**Материалы**

**XXI МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ**

**"ГИДРОАЭРОМЕХАНИКА В  
ИНЖЕНЕРНОЙ ПРАКТИКЕ"**

**24-27 мая 2016 года**  
г. Киев, Украина

**Materials**

**XXI INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC AND  
TECHNICAL  
CONFERENCE**

**"HYDROAEROMECHANICS IN  
ENGINEERING PRACTICE"**

**May 24-27, 2016**  
Kyiv, Ukraine

До збірника матеріалів конференції включено тези представлених доповідей, в яких наведені результати досліджень у гідроаеромеханіці та суміжних галузях, за тематикою напрямків роботи секцій: технічна гідромеханіка; гідропневмопривод та системи мехатроніки; гідравлічні і пневматичні машини, гідропередачі.

Збірник призначений для широкого кола науковців та спеціалістів, працюючих в галузі теоретичних досліджень та практичного використання методів і засобів гідроаеромеханіки та гідроприводу. Збірник буде корисним викладачам, аспірантам та студентам технічних вищих навчальних закладів.

### МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

- |                 |   |
|-----------------|---|
| <b>Україна</b>  | <p><b>Бобир М.І.</b>, д.т.н., проф., директор ММІ, НТУУ «КПІ»<br/> <b>Грінченко В.Т.</b> академік НАНУ, Інститут Гідромеханіки НАНУ,<br/> <b>Дашутін Г.П.</b>, голова наглядової ради концерну «NICMAS»<br/> <b>Штутман П.Л.</b>, голова наглядової ради «ГІДРОСИЛА»<br/> <b>Тітов Ю.О.</b> генеральний директор ЗАТ «Гідросила ГРУП»<br/> <b>Артамонов А.В.</b> директор ТОВ «Сігма Інжиніринг»<br/> <b>Бабич С.Е.</b> заст. директора ТОВ «Сігма Інжиніринг»<br/> <b>Жарков П.Є.</b> головний конструктор концерну «NICMAS»<br/> <b>Назаренко І.І.</b> д.т.н., проф., КНУБА<br/> <b>Лур'є З.Я.</b> д.т.н. проф., НТУ «ХПІ»<br/> <b>Фінкельштейн З.Л.</b> д.т.н. проф., ДонДТУ<br/> <b>Іскович-Лотоцький Р.Д.</b> д.т.н., проф., СУНТУ<br/> <b>Саленко О.Ф.</b> д.т.н., проф., Кременчуцький державний університет ім. М.Остроградського<br/> <b>Кононенко А.П.</b> д.т.н., проф., Донецький національний технічний університет<br/> <b>Сьомін Д.О.</b> д.т.н., проф., ВУНТУ ім. В.Дала<br/> <b>Вітенько Т.М.</b> д.т.н., проф., Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулія<br/> <b>Тихенко В.М.</b> д.т.н., проф., ОНПУ<br/> <b>Черкашенко М.В.</b>, д.т.н., проф., НТУ «ХПІ»<br/> <b>Гусах О.Г.</b>, Сумський державний університет</p> |
| <b>Алжир</b>    | <b>Хогас Башир</b> д.філос.н., університет Аннаба   |
| <b>Білорусь</b> | <b>Сафонов А.И.</b> Білоруський національний технічний університет, Мінськ  |
| <b>Болгарія</b> | <b>Неделчева Пенка</b> д.т.н., проф., Габрово   |
| <b>Польща</b>   | <b>Стричек Я.</b> д.т.н., проф., Вроцлавська Політехніка, Вроцлав   |

### ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

**Голова** Яхно О.М.

**Заступники голови:**

Луговський О.Ф., Губарев О.П., Узунов О.В., Ковальов В.А., Зайончковський Г.Й., Струтинський В.Б., Панченко А.І., Андренко П.М., Федориненко Д.Ю., Мочалін Є.В., Веретільник Т.І., Лук'яненко А.В., Іванов М.І., Криль С.І., Турик В.М., Гнатів Р.М.

**Учений секретар** Семінська Н.В.

**Технічні секретарі** Тимошенко Л.І.

Гришко І.А., Беліков К.О., Коваль О.Д., Ночниченко І.В., Костюк Д.В.  
 Зілінський А.І., Корольов С.О., Галецький О.С., Козерацький М.С., Пацьола Б.В.

**Підготовка до друку та верстка матеріалів конференції: к.т.н. Семінська Н.В., асп. Корольов С.О., студ. Кузьмін В.**

**Адреса оргкомітету:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Механіко-машинобудівний інститут, кім. 299, пр-т Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна. Тел. (+38044) 204-86-44.  
 E-mail: [seminska@ukr.net](mailto:seminska@ukr.net) Сайт: <http://conf.pgm.kpi.ua>

Рекомендовано до друку рішенням програмного комітету конференції

Мурашенко А.М., Яхно О.М. Вплив температурного фактору на параметри робочих рідин.....	79
Полішук М.О., Зубрій О.Г. Дослідження роботи роторно-пливкового апарата з шарнірним кріпленням лопатей.....	80
Фаршад Разави, Яхно О.М., Кривошеев В.С. Особенности распределения давления в замкнутом объеме, ограниченном коническими поверхностями.....	80
Семінська Н.В., Дашутин А.Г. Дослідження течії в'язкої ньютонівської рідини на початковій ділянці двошарового струменевого потоку.....	81
Луговской А.Ф., Гришко И.А., Паньола Б.В. Вплив статичного тиску на інтенсивність ультразвукової кавітації.....	83
Холівік О.В. Метод гідродинамічної аналогії у інженерній практиці розрахунку параметрів технологічного процесу витягування коробчастих виробів.....	87
Дуношкін В.А., Огурцов С.Ю., Цымбалістый С.З. Применение методов вычислительной гидродинамики для моделирования работы системы взрывопожаропредупреждения сухих отсеков ракеты-носителя.....	88
Колосов О.Є., Сівецький В.І., Кривошеев В.С. Аспекти моделювання технології та обладнання для одержання інтелектуальних полімерних композитів.....	89

## СЕКЦІЯ 2

### «ГІДРОПНЕВМОПРИВОДИ СИСТЕМИ МЕХАТРОНІКИ»

Якимчук М.В. Дослідження шляхів зменшення енерговитрат стисненого повітря в мехатронних модулях пакувального обладнання.....	93
Черкашенко М.В., Потетенко О.В., Бондарева Д.Б. Синтез систем управління гидротурбин.....	96
Рыкунич Ю.Н., Федоричко Я.Б., Барилук Е.И., Зайончковский Г.И. Обеспечение эксплуатационной надежности пневматических клапанов с двухпозиционным поляризованным электромагнитным приводом.....	97
Володін С.О., Мирончук В.Г. Дослідження точності автоматизованої системи керування пневматичного привода запірної арматури.....	98
Федориненко Д.Ю., Безручко В.М., Космач О.П., Сапон С.П., Чуприна В.М. Мехатронні засоби підвищення енергоефективності верстатів.....	100
Турманидзе Р.С., Бачанадзе В.И., Понхалзе Г.З. Конструкции и технология изготовления мелкоразмерных твердосплавных сверл для производства ответственных узлов мехатронных систем.....	103
Лурье З.Я., Панченко А.И., Цента Е.Н. Моделирование рабочего процесса мехатронного гидроагрегата навесного оборудования трактора с обратной связью, учитывающей составляющие тягового сопротивления почвы.....	116
Лурье З.Я., Панченко А.И., Соловьев В.М., Гасюк А.И. Оценка влияния конструктивных и эксплуатационных параметров шестеренного насоса на пульсацию подачи путем оптимизации и трехмерного численного моделирования.....	118
Цибрій Ю.О. Алгоритм керування тракторією електронного променя при плаванні титану.....	121
Тарасенко Т.В., Бадах В.М. Экспериментальные исследования кавитационной эрозии.....	123

чому визначається точністю регулятора тиску. Об'єкти дослідження пов'язані один з одним через динамічні характеристики і запас стійкості.

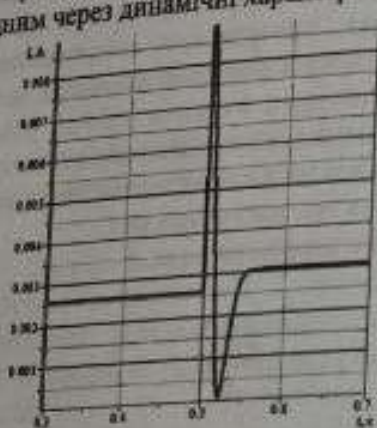


Рис. - 2 Сигнал управління подається на заслінку регулятора витрат

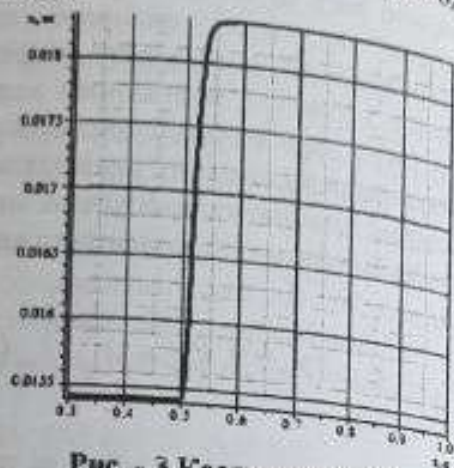


Рис. - 3 Координата зміщення заслінки

#### Список літератури:

1. Beater Peter. *Pneumatic Drives. System Design, Modelling and Control* / Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. — 324 p.
2. Кляев, А.С. Синтез быстродействующих регуляторов для объектов с запаздыванием / А.С. Кляев, В.С. Картов. — М.: Энергоатомиздат, 2000. — 176 с.

УДК 62-1/9:62-822

Федорищенко Д.Ю. д.т.н., Безручко В.М. к.т.н., Космач О.П. к.т.н., Сапон С.П. к.т.н., Чуприна В.М.

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Державний вивково-випробувальний центр Збройних Сил України, м. Чернігів, Україна

### МЕХАТРОННІ ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВЕРСТАТІВ

В більшості розвинених країн світу проблема ефективного використання різних видів енергії та енергоносіїв в умовах промислового виробництва стає все більш гострою. Це пов'язано з тим, що промисловий сектор потребує використання значної кількості енергії, зокрема електроенергії. Складність даної проблеми для більшості виробничих галузей України пов'язано з використанням, в першу чергу, застарілого обладнання, низького рівня автоматизації технологічних процесів, а також низьким рівнем енергетичного менеджменту. Зазначені вище обставини призводять до зростання собівартості виготовленої продукції, зниженням конкуренції на внутрішньому та зовнішньому ринку. Крім того, збільшується негативний вплив на зовнішнє середовище, а також підвищене споживання викопних енергоресурсів, які в основному використовуються для виробництва електричної енергії в Україні.

Використання верстатів, а також рухомих механізмів та машин є невід'ємною частиною будь-яких технологічних процесів на виробництві, які пов'язані з механічною обробкою сировини та її переробкою. Тому ефективність їх використання, яка характеризується відношенням спожитої електричної енергії до корисної механічної роботи, суттєво впливає на складову собівартості виготовленої продукції. Так, наприклад, для верстатів нормальної точності та налагодженого процесу різання лише 20% спожитої верстатом електричної енергії витрачається на механічну обробку

матеріалу [1]. Аналіз основних джерел споживання енергії та шляхи підвищення енергоефективності обробних верстатів докладно розглянуто в [2].

Розглянувши загальну структуру верстата можна виокремити деякі узагальнені шляхи зменшення витрат електроенергії при обробці матеріала. Двигун, що обертає шпиндель, працює в повторно-короткочасним режимі роботи, тому для його охолодження, звичайно, використовують окремий двигун для обдування основного двигуна. Цей двигун працює постійно, навіть тоді коли охолодження основного двигуна не потрібне. У верстатах з гідростатичними опорами шпинделя також можуть встановлюватися двигуни охолодження мастила та охолодження двигуна насоса [3].

Для зменшення споживання електроенергії рекомендується вклучати двигун вентиляторів охолодження лише за потребою (при перевищенні граничного значення температури двигуна). Це може виконуватися за допомогою термостатів, що розміщуються в різних місцях на поверхні двигуна та дублюються для підвищення надійності. Вартість такої системи незначна та характеризується достатньою надійністю. Замість термостата можуть використовуватися промислові позиційні регулятори, проте така система буде мати більшу вартість, однак дасть суттєвий вииграш при довгостроковій експлуатації обладнання, особливо у режимі двошвидкостного робочого дня.

Зазвичай електродвигун приводу гідравлічного насоса, який живить гідростатичні опори шпинделя, працює постійно з метою забезпечення певного значення тиску насосної установки. Однак слід відмітити, що великі значення тиску потрібні лише при безпосередній обробці заготовки, а під час холостих ходів та налагодження верстата можна обмежитися мінімальним значенням тиску у магістрах системи живлення, при якому зберігається працездатний стан системи. Зважаючи на те, що налагодження за нормативними документами складає приблизно в межах хвилини на одну заготовку [4] (включає в себе підведення робочих органів верстата та налагодження різального інструменту на потрібний розмір), а обробка заготовки займає частіше всього набагато менший час (в межах від 20 до 50% часу зробки), то впровадження такого підходу дозволить досить суттєво зменшити витрати електроенергії, особливо у випадку малих партій виробів або в одиничному виробництві. Наприклад, як показують експериментальні дослідження для прецизійного токарного верстату УТ16А на підтримання тиску 4 МПа в гідравлічній системі живлення опор шпинделя насос споживає біля 2,5 кВт·год, а для 1 МПа – 0,8 кВт·год, тому зниження тиску при виконанні допоміжних ходів та при налагодженні верстата дозволить зменшити споживання електроенергії двигуна приводу насоса на 35-55%. Така модернізація верстата може бути виконана за допомогою перетворювача частоти (ПЧ), який використовується у приводі насоса. Підвищення тиску в гідравлічній системі буде виконуватися на початку робочого ходу верстата та, у простішому випадку, може бути реалізовано через важіль вмикання автоматичної подачі робочих органів верстата. Слід відмітити, що вітчизняні ПЧ мають достатньо помірну вартість та повний набір необхідних для реалізації цих функцій.

Також в такій системі обов'язково повинно бути передбачена функція «сплячого режиму» – відключення живлення або його підтримання з мінімальним електричним споживанням при довгому простой обладнання, наприклад, більше 5-10 хв.

Під час налагодження верстата, шпиндель обертається номінальними обертами, при цьому значна кількість енергії витрачається лише на покриття втрат на терті. Тому рекомендується автоматично підвищувати оберти шпинделя безпосередньо перед початком вмикання робочого ходу органів верстата. Наприклад, в режимі холостого ходу при частоті обертання шпинделя  $n=600 \text{ хв}^{-1}$  верстат УТ16А споживає 0,8 кВт, при  $n=1500 \text{ хв}^{-1}$  – 1,2 кВт, а при  $n=2500 \text{ хв}^{-1}$  – 1,37 кВт. Це може бути реалізовано додаванням до основного потенціометра (задавачка швидкості обертання шпинделя) додаткового потенціометра, що буде задавати швидкість обертання шпинделя, під час

обробки заготовки. Вибір першого або другого потенціометра в якості задатчика швидкості може бути здійснено по тій же схемі вмикання автоматичної подачі. За вище згаданими умовами обробки, якщо, наприклад, різання заготовки буде виконуватися при  $n=1500 \text{ хв}^{-1}$ , а при налагодженні швидкість обертання буде зменшуватися хоча б до  $600 \text{ хв}^{-1}$ , вдасться зберегти більше ніж 30% споживаної електроенергії під час холостого ходу двигуна приводу головного руху токарного верстата.

Істотний вплив на енергоспоживання чинять режими різання матеріалу, які визначаються згідно результатів моделювання процесів різання або використання програмних САМ систем. Однак слід розуміти, що цей шлях матиме право на життя лише при наявності матеріальної зацікавленості виробничого керівництва та його ефективного енергоменеджменту. Для впровадження ефективного енергоменеджменту, необхідно контролювати затрати енергії на обробку заготовки на робочому місці та по можливості обирати більш енергоощадні режими обробки (особливо при чорновій обробці), у зв'язку з чим верстат доцільно оснастити одно-, або багатоканальним лічильником електричної енергії з деталізованим дисплеєм, за яким можна оцінити затрати енергії на обробку однієї або кількох заготовок або виявляти пікові навантаження, що дозволять додатково вирівняти добовий графік навантаження робочого обладнання.

Загальну структуру модернізованого прецизійного токарного верстату на гідростатичних опорах можна представити у вигляді структурної схеми (рис. 1). Основні компоненти представленої схеми можна об'єднати або в загальний блок керування потужністю основних компонентів верстату або в окремі незалежні модулі керування потужністю двигунів. Вибір того або іншого варіанту залежить від рівня автоматизації виробництва, ступеню надійності, а також фінансових можливостей підприємства.

Використання на виробництві зазначених заходів енергоменеджменту дозволить оцінити вплив матеріалу заготовок, режимів різання, експлуатаційних характеристик гідро- та пневмоприводів та ін. на споживання електричної енергії верстатами та сформулювати загальну стратегію підвищення енергоефективності процесів механічної обробки на конкретному підприємстві.

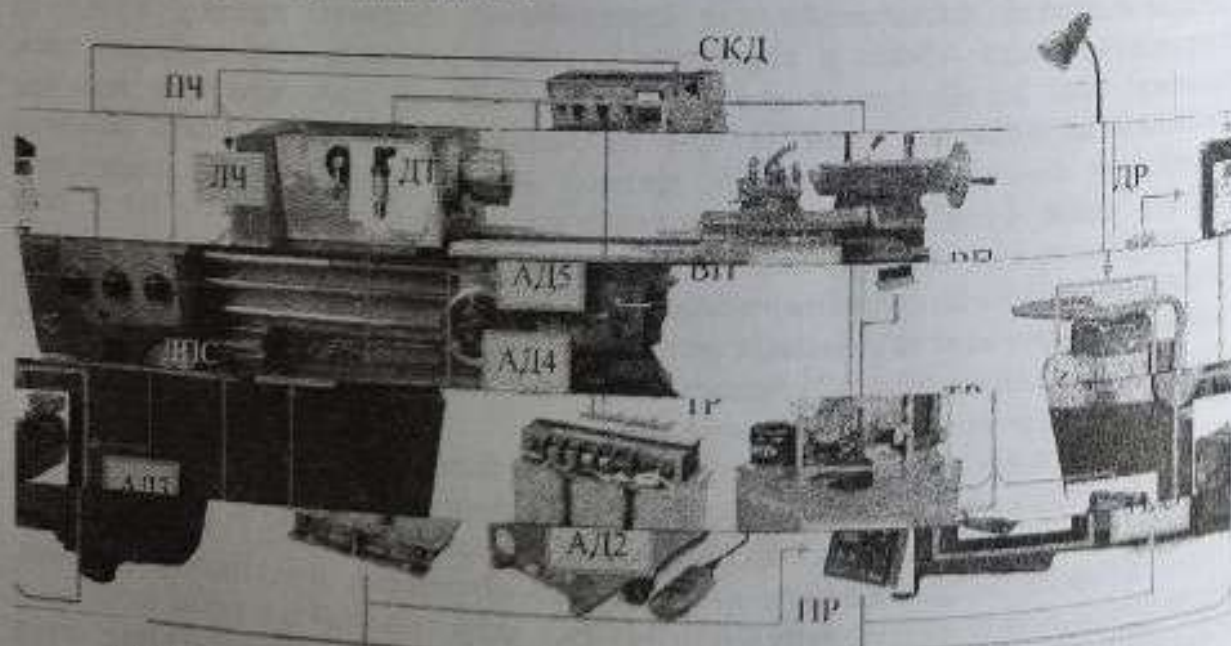


Рис. 1 - Схемне рішення для підвищення енергоефективності верстату УТ16А:  
 ТР - трансформатор, ДР - дросель, ПЧ - перетворювач частоти, АД1 - асинхронний двигун охолодження мастила, ДЧ - лічильник електричної енергії, АД2 - асинхронний двигун насоса охолоджуючої рідини, АД3 - асинхронний двигун охолодження двигуна постійного струму ДПС головного приводу, АД4 - асинхронний двигун насоса охолоджуючої рідини, АД5 - асинхронний двигун охолодження мастила, ВП - позиційний регулятор, ДТ - датчик тиску, СКД - система керування двигуном, ДР - дросель, ПР - позиційний регулятор.

АД5 – асинхронний двигун прискорених ходів органів верстата, ВП1 – важіль поперечних або поздовжніх подач

Впровадження вище зазначених мехатронних засобів для підвищення енергоефективності обробних верстатів дозволить зменшити собівартості кінцевої продукції та підвищити рентабельності вітчизняних виробництв за умови незначних капіталовкладень.

#### Список літератури:

1. Gutowski, T. *Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes* / T. Gutowski, J. Dahmus, A. Thiriez // 13th CIRP International Conference of Life Cycle Engineering, Lueven, May 31st - June 2nd, 2006 - pp. 1-5.
2. Федориненко Д.Ю. *Енергоефективність обробних верстатів* / Д.Ю. Федориненко // Вісник ЧНТУ. – 2015/6. – №2. – 64-70.
3. Федориненко Д.Ю. *Інформаційно-вимірний комплекс для дослідження траєкторій шпинделя на гідростатичних опорах* / Д.Ю. Федориненко, С.П. Сапко, О.П. Косман, С.В. Бойко // Науковий вісник НГУ, 2015, № 6 – С. 42-48.
4. *Общемашиностроительные нормы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного при работе на металлорежущих станках. Мелкосерийное и единичное производство. Дифференцированные.* – М.: НИИ труда, 1982. – 421 с.

УДК 621.923.91

Турманидзе Р.С. д.т.н., проф., Бачаналдзе В.И., Попхалдзе Г.З.  
Грузинский Технический Университет (ГТУ), Тбилиси, Грузия

### КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ СВЕРЛ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОТВЕТСТВЕННЫХ УЗЛОВ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

#### Введение и постановка задачи

Значительная часть современной техники, начиная от бытовой техники и заканчивая космической аппаратурой, является совокупностью механических узлов, гидро и пневмо аппаратуры и микроэлектронных блоков или целых систем управления, то есть представляет собой сложную мехатронную систему.

В процессе производства таких систем нередко возникает необходимость обработки отверстий малых диаметров (около 1 мм и меньше), особенно на деталях гидро и пневмо аппаратуры. Что касается производства микроэлектронных узлов, в технологических процессах изготовления базовых деталей – печатных плат, значительную часть работ приходится на операциях сверления огромного количества отверстий малого диаметра.

Сверление осуществляют микросверлами из твердого сплава, геометрические параметры которого установлены многократными экспериментами и опытами соответствующих производств. В частности: оптимальный передний угол и соответственно угол наклона спиральной канавки составляет  $30^\circ$ , а задний угол  $18^\circ$ . Их передачивают через каждое 1000 отверстие и рассчитаны на 3-4 переточку.

Производство печатных плат это массовое производство, где с целью увеличения производительности осуществляется сверление пакета, составленного из несколько пластин, то есть имеет место глубокое сверление, где глубина сверления превышает к диаметру 8-10 раз.

Простой дорогостоящего технологического оборудования, особенно в массовом производстве связаны со значительными экономическими потерями. В производстве печатных плат простой связан не только с предусмотренной заменой инструмента с