

УДК 621.9

О.М. Шелковий, д-р техн. наук, В.С. Грушко, Харків, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТРИВИМІРНОГО ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МАСОВОГО ВИРОБНИЦТВА

У даній статті на прикладі обробки деталі «Корпус редуктора» досліджується можливість використання гнучкого обладнання, що переналагоджується, в умовах масового виробництва на основі порівняльного аналізу ефективності його експлуатації по відношенню до автоматичних ліній з жорстким міжагрегатним зв'язком.

В данной статье на примере обработки детали «Корпус редуктора» исследуется возможность использования гибкого перенастраиваемого оборудования в условиях массового производства на основе сравнительного анализа эффективности его эксплуатации по отношению к автоматическим линиям с жесткой межагрегатной связью.

In this article on the example of treatment of detail «Gearcase» is investigated possibility of the use of flexible equipment in the conditions of mass production on the basis of comparative analysis of efficiency of his exploitation in relation to automatic transfer lines with hard interaggregate connection.

Вступ. Сучасною тенденцією металообробки є обробка невеликих партій виробів з продуктивністю близькою до продуктивності систем масової обробки.

У цих умовах найбільш прийнятним варіантом буде використання гнучких переналагоджуваних систем, які можуть дати можливість отримання необхідної якості, завдяки використанню багатоінструментальної обробки, а також скоротити час, що витрачається на налагодження, при використанні переналагоджуваного устаткування і оснащення, а також скоротити кошти, які використовуються на створення декількох автоматичних потокових ліній.

Найважливішими характеристиками гнучкого автоматизованого виробництва є продуктивність, гнучкість та ефективність, які визначаються характеристиками основного та допоміжного обладнання, та правильним вибором конструкторсько-технологічних та організаційних схем. Спробуємо оцінити, наскільки ефективним та доцільним буде використання гнучкого обладнання в умовах масового виробництва.

Продуктивність є безперечно найважливішим показником ефективності виробничого процесу. Найбільш надійним і зручним кількісним критерієм продуктивності була продуктивність, яка вимірюється кількістю виробів, вироблених в одиницю часу (шт./год.), або її зворотна величина – трудомісткість виготовлення конкретного виробу. Прив'язка цих показників

до конкретного виробу робить їх малоєфективними для оцінки продуктивності процесу, який здатен випускати різні вироби. ГВС має здатність виробляти не тільки різні деталі, але і різне їх число в одиницю часу.

Гнучкість ГВС у порівнянні з потоковим виробництвом полягає у тому, що система з ЧПК на виробничому рівні власними зусиллями спроможна:

- виконувати різні операції для однієї і тієї ж деталі;
- виконувати однакові або різні операції для різних деталей;
- самоналагоджуватись при виникненні критичної ситуації (наприклад, зміни товщини зрізаного металу, поломка ріжучого інструменту і т.д.).
- проводити самоконтроль виконаних операцій (наприклад, діаметр отворів) і подальшого прийняття рішень;
- замінювати ті модулі обробки, які вийшли з ладу;
- керувати деякими із загальноприйнятих пристроїв (електронний щуп, пристрій контролю інструменту, пристрій очищення палет і т.д.);
- обслуговувати різні пункти в різних послідовностях;
- функціонувати як автоматично, так і в ручному режимі.

Очевидно, що кошти, які витрачені на обладнання в умовах використання ГВС у масовому виробництві, будуть значно менші ніж у потовому виробництві, але економічний ефект впровадження ГВС не завжди можна визначити простим порівнянням тільки вартості та інших показників основного обладнання та агрегатів. Спроби застосувати традиційні формули для підрахунку економічної ефективності впровадження ГВС часто призводять до негативного результату. Об'єднання в одній системі металообробки, контролю якості, транспортування, та інше, не просто складає, а нелінійно збільшує економічний ефект.

Досвід показує, що витрати з впровадження перших ГВС значно вище і скорочуються з впровадженням кожної наступної системи. Повністю оцінити ефективність впровадження ГВС можливо тільки за всебічної оцінки їх технічних, організаційних, економічних переваг та соціальних наслідків.

Мета дослідження та постановка задачі. Основною метою роботи є дослідження продуктивності обробки типових корпусних деталей в умовах масового гнучкого виробництва та аналіз її ефективності у порівнянні з автоматизованим потоковим виробництвом.

Матеріали дослідження. У якості матеріалів дослідження використовуються деталь «Корпус редуктора» (рис.1), універсальний вертикально-фрезерний верстат моделі 6Т13-1 (рис.2, а), а також верстат з ЧПК моделі МА2765М3Ф4 (рис.2, б).

Деталь «Корпус редуктора» виготовлена з чавуну марки СЧ 15-32, має габаритні розміри 403×487×450 мм, квалітети точності оброблюваних поверхонь знаходяться в межах від ІТ 14 до ІТ 7, шорсткість поверхонь

знаходиться в межах від Ra 6.3 до Ra 1.6, більшість оброблених поверхонь діаметральні і кріпильні.

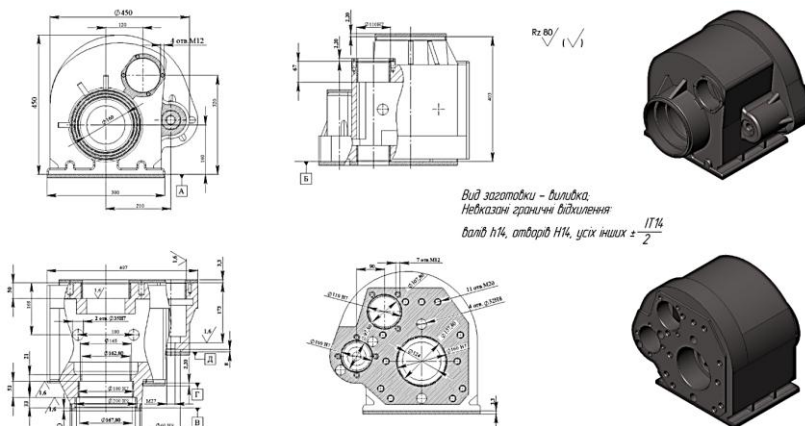
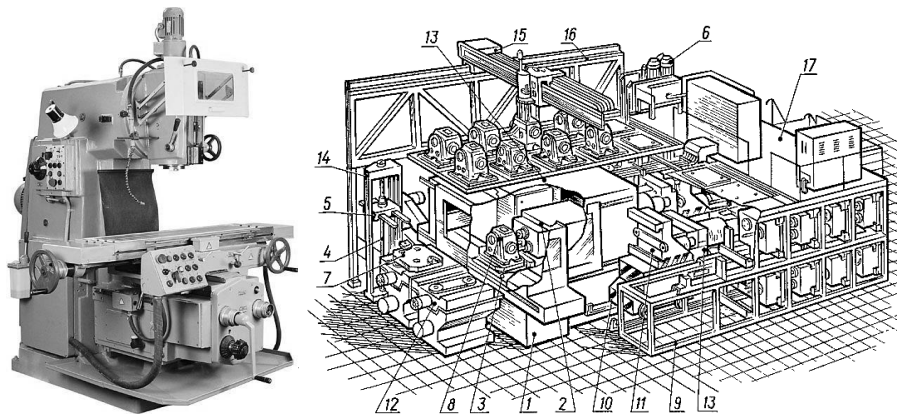


Рисунок 1 – Ескіз та 3D - модель деталі «Корпус редуктора»

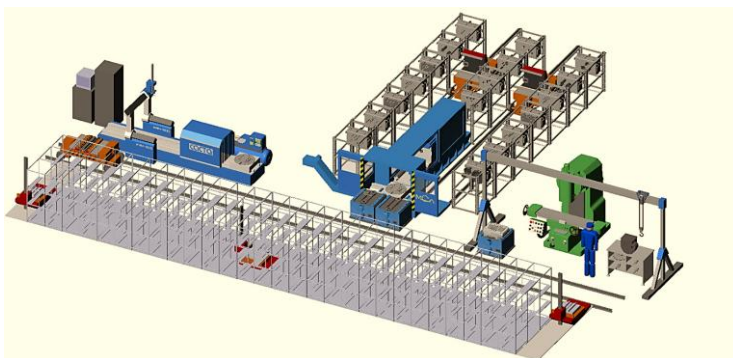
Універсальний вертикально-фрезерний верстат моделі 6Т13-1, призначений для обробки базових поверхонь деталі. Він має 18 швидкостей обертання шпинделя, потужність головного двигуна 10 кВт, а також межі чисел оборотів шпинделя 63 - 3150 об./хв.

Фрезерно-свердлильно-розточувальний верстат моделі MA2765M3Ф4 – це багатоцільовий комплекс з ЧПК типу 2Р32, який складається з оброблюваного обладнання та транспортної системи. Він призначений для комплексної обробки деталі і має потужність головного двигуна 20 кВт, межі робочих подач столу 10-4000 мм/хв., найбільшу вихідну потужність на головному валу 14,8 кВт.

Оброблювальне устаткування верстата складається з багатоцільового верстата моделі MA2765M3Ф4, а також з трьох стележних складів зі змінними багатошпиндельними коробками, розташованими вздовж і позаду верстата. Загальний об'єм складу становить 36 осередків з обробними багатошпиндельними коробками. Транспортна система верстата складається з транспортних візків, за допомогою яких багатошпиндельні коробки переміщуються від складу в робочу позицію верстата, а також станції завантаження-розвантаження, які завантажують заготовку у робочу зону обробки, та розвантажують оброблену деталь. Верстат має систему ЧПУ, завдяки чому він переналагоджується на обробку різноманітних деталей, габарити яких можуть складати до 500×500×500 мм.



а) б)



в)

Рисунок 2 – Структура ГВС:
(а,б) оброблювальне устаткування ГВС; (в) планування ГВС

При обробці деталі «Корпус редуктора» на верстаті MA2765M3Ф4 виконуються наступні операції: фрезерування, свердління, розточування і нарізування різьби. Для обробки деталі було обрано різальний та допоміжний інструмент компанії «Sandvik Coromant», бо ця фірма пропонує широкий діапазон металорізальних інструментів для обробки як звичайних сталей і чавунів, так і специфічних матеріалів (алюміній, титан, жароміцні і нержавіючі сплави), також інструмент оптимізований для досягнення вищої

продуктивності та ефективності виробництва. Вона також пропонує різноманітний допоміжний інструмент, який дозволяє виконувати обробку на різноманітному обладнанні.

Розрахунок режимів різання проведено в програмі «Сого Guide - 2007», що розроблена спеціально для інструментів та інструментальних матеріалів фірми «Sandvik Coromant». Діапазони режимів різання для обробки деталі знаходяться у межах: подача (S, мм/об) 0,047 – 6,08 мм/об, подача (S, мм/хв) 16,45 – 608 мм/хв., швидкість різання (V, м/хв.) 104 – 305 м/хв., потужність різання (N, кВт) 1,1 – 11 кВт, що дозволило використати при обробці всі технологічні можливості верстата мод. MA2765MЗФ4.

У MES – системі «ТехноPro 5+» сформовано груповий технологічний процес (рис. 3), який став інформаційною базою для 3D та 2D - моделювання обробки деталі «Корпус».

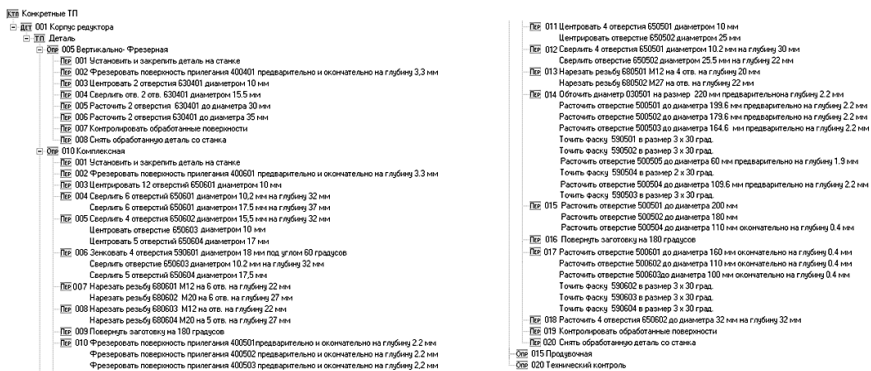


Рисунок 3 – Груповий технологічний процес для обробки деталі «Корпус редуктора»

Розробка імітаційної моделі ГВС для обробки деталі «Корпус редуктора» та моделювання обробки в ній здійснювались за допомогою програм Solid Works і GPS 3D. Було модельовано обробку деталі «Корпус редуктора» на ГВС в умовах масового виробництва малими партіями деталей з урахуванням технічних, організаційних та технологічних особливостей процесу обробки.

В результаті математичного експерименту було отримано циклограму роботи обладнання (рис. 4), яка відображає стан модулів виробничої системи і дозволяє аналізувати послідовність обробки деталі окремими модулями (чорний кольором на діаграмі позначено очікування модуля, червоним – робота модуля, помаранчевим - розвантаження модуля, блакитним - завантаження модуля). Визначено загальний час обробки партії деталей з

8 штук, який склав 3.8 години.

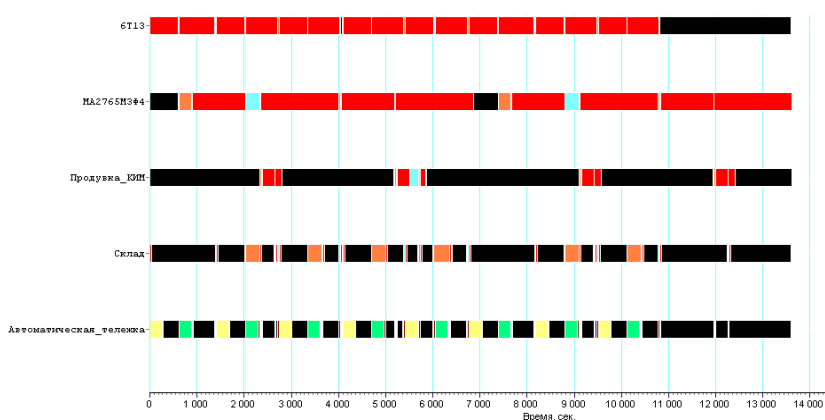


Рисунок 4 – Циклограма обробки деталі «Корпус редуктора»

В системі «GPS» розроблено імітаційні 2D-моделі гнучкої (б) та потокової (а) виробничих системи, які складаються з обробних та транспортно-накопичувальних модулів (рис. 5), що дало можливість виконати порівняльну оцінку ефективності обробки в ГВС через рівень її завантаження, енергетичні витрати, та коефіцієнт корисної дії при виготовленні деталі «Корпус редуктора».

З графіка «Завантаження виробничих систем у часі» (рис. 6) видно, що максимальний рівень завантаження виробничої системи базового варіанта складає майже 60%, проте к кінцю обробки падає до 25%, у свою чергу, максимальний рівень завантаження виробничої системи основного варіанта складає 50%, та к кінцю обробки складає 45%. Це означає, що при обробці невеликої партії деталей конструкція модуля мод. МА2765МЗФ4 дозволяє виконувати операції обробки більш синхронно, ніж це робить автоматична лінія (АЛ) тому, що в ГВС є всього один оброблювальний модуль, який налагоджується на оптимальні режими різання.

З графіку «Витрати енергії у виробничій системі у часі» (рис. 7) видно, що найбільший рівень енергетичних витрат має виробнича система досліджуваного варіанту (14500 кДж), в порівнянні базовим (понад 7000 кДж). Це можна пояснити декількома причинами: більш значними, ніж потрібно для обробки деталі «Корпус редуктора» енергетичними параметрами силових устаткувань, що обумовлено необхідністю обробки в широкому діапазоні розмірів и матеріалів; наявністю енергомістких транспортно-накопичувальної та вимірювальної системи.

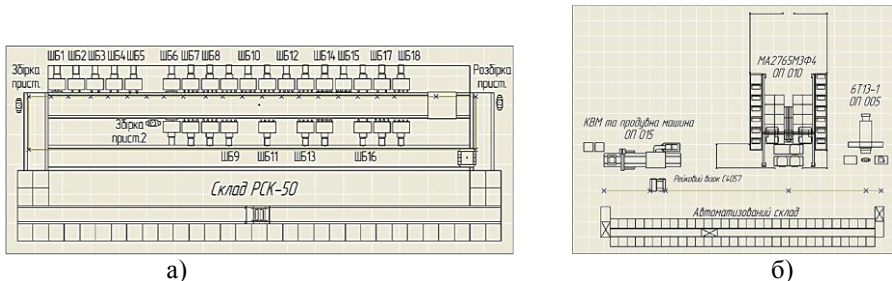


Рисунок 5 – 2D – моделі систем обробки деталі «Корпус»:

а) для базового варіанту на основі автоматичної лінії з жорстким міжагрегатним зв'язком; б) для досліджуваної системи

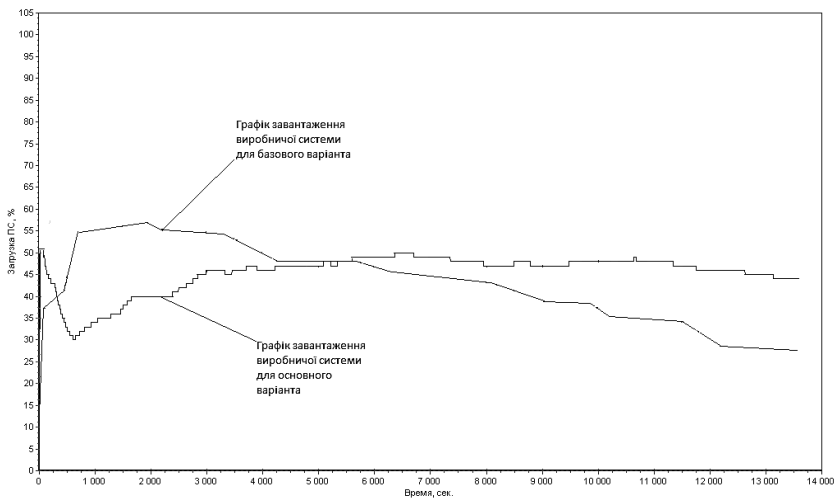


Рисунок 6 – Графік «Завантаження виробничих систем у часі»

З графіку «Витрати потужності приводів виробничих систем у часі» (рис. 8) видно, що для досліджуваного варіанта максимальна питома потужність складає 17 кВт, для базового – 11 кВт. При цьому, питома потужність у сталому режимі для ГВС складає біля 12 кВт, а для АЛ – біля 10 кВт. Велику розбіжність між сталою потужністю енергетичного обладнання та піковим навантаженням пояснюється необхідністю в більш енергомісткім етапі завантаження оброблювального устаткування у ГВС ніж у АЛ. В той же час, основне обладнання в обох випадках працює з приблизно однаковими затратами потужності. А враховуючи те, що ця потужність, в першому

випадку, забезпечується одним силовим агрегатом, а в другому – вісімнадцятою, то для ГВС є наявним виграш у надійності обробки та капітальних затратах на обладнання виробничої системи.

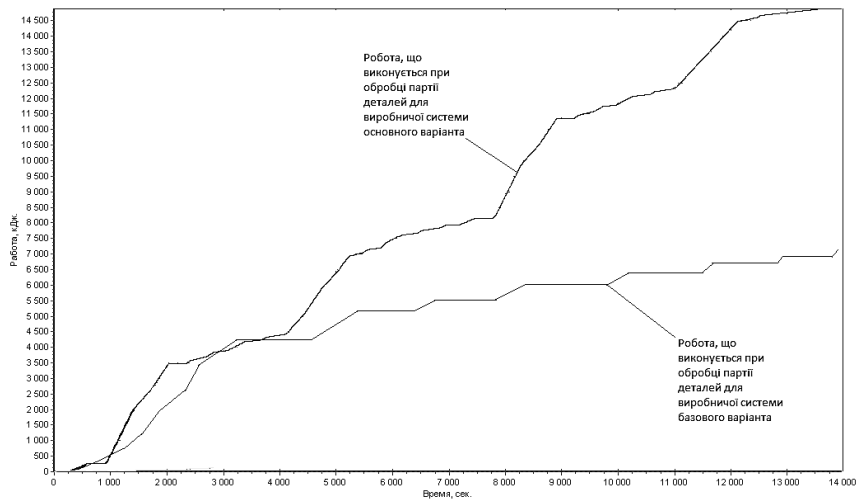


Рисунок 7 – Графік «Витрати енергії у виробничій системі у часі»

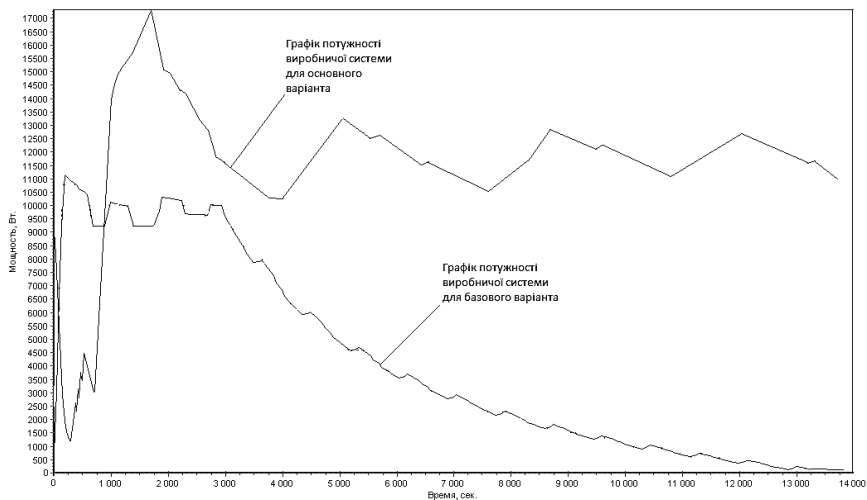


Рисунок 8 – Графік «Витрати потужності приводів виробничих систем у часі»

Оцінюючи комплексний ефект від затрат енергії в у ГВС та АЛ (графік «Зміна коефіцієнту корисної дії в виробничих системах у часі» (рис. 9) можна прийти до таких висновків: що рівень коефіцієнту корисної дії за енергетичними затратами (ККД - на графіку - КПД) досліджуваної системи на початку часового інтервалу досягає 88%, що обумовлено оптимальними транспортними переміщеннями, але у подальшому в процесі обробки він знижується і в кінці складає приблизно 25%. Максимальний рівень ККД базового варіанта складає 53%, у процесі обробки знижується до 5%. Отже, за енергетичними показниками процесу обробки та транспортування ККД ГВС значно більше (майже в 5 разів), ніж ККД АЛ. Це пояснюється великими енергетичними затратами входження автоматичної лінії в процес обробки, та виходом з неї (коли більшість силових агрегатів працює «в холосту»).

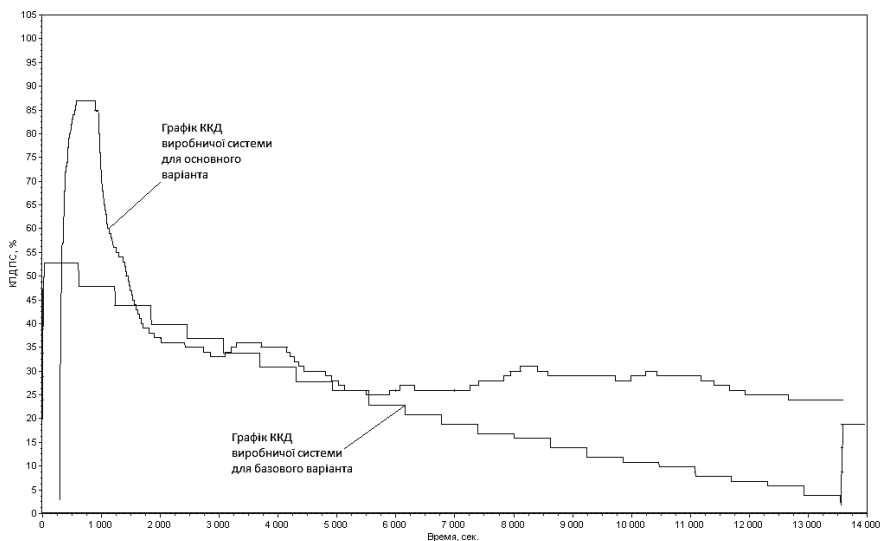


Рисунок 9 – Графік «Зміна коефіцієнту корисної дії в виробничих системах у часі»

Висновки. З'ясувалось, що за рівнем завантаження та витратами потужності на процес обробки ГВС більш прийнятні, ніж АЛ. Що обумовлено наявністю більш гнучкої системи налагодження на процес обробки.

В той же час, за загальними затратами енергії на процес обробки виробу ГВС менш ефективна ніж АЛ. Тому більш повне використання енергетичних можливостей ГВС у масовому виробництві є актуальним завданням. Цього

можна досягти, використовуючи швидкозмінне технологічне оснащення в наступних напрямках:

- підбір шпindelних коробок для групової обробки з максимальною потужністю;
- розробка шпindelних коробок зі змінними параметрами налагодження (за діаметром обробки та міжвісьовою відстанню).

Список використаних джерел: **1.** Шелковой А.Н., Грушко В.С. Исследование продуктивности и надежности обработки корпусных деталей в ГПС крупносерийного производства //Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХП», 2012. – № 53(959). – С.175-177. **2.** Автоматы и автоматические линии. Ч. I. Основы проектирования. Под ред. Шаумяна Г.А. Учеб. пособие для вузов. М: Высшая школа, 1976. – 230 с. **3.** Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении: Альбом схем и чертежей: Учеб пособие для вузов /Под общ. ред. Соломенцева Ю.М. - М.: Машиностроение, 1989. –192 с.

Надійшла до редколегії 22.05.2013