

**Є.С. Пуховський, д.т.н., проф.
В.К. Фролов, к.т.н., доц.
В.П. Приходько, к.т.н., доц.
Ю.М. Бецко, ст. викладач
НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського**

Джерела економічної ефективності гнучкого автоматизованого виробництва

Ефективність гнучкого автоматизованого виробництва (ГАВ) та впровадження гнучких виробничих систем (ГВС) як принципово нових технологічних та організаційних структур мають ґрунтуватися на техніко-економічному аналізі їх застосування у зіставленні з іншими формами виробничих систем. Перехід до використання нової техніки та технології супроводжується помітним впливом на економічні та соціальні аспекти діяльності людини. У ряді випадків поява нових технологічних та організаційно-технічних рішень тягне за собою наслідки, що знижують загальну значущість нововведення. Для гнучкого автоматизованого виробництва характерний високий рівень початкових капітальних вкладень. Цілком зрозуміло, що від таких капіталовкладень вимагається відповідний економічний ефект. Основним елементом капітальних вкладень є витрати на обладнання, що купується. Вартість програмно керованого обладнання, засобів обчислювальної техніки та математичного забезпечення на цьому етапі розвитку дуже висока, що створює додаткові труднощі при впровадженні ГВС. Основні завдання розвитку сучасного верстатобудування передбачають заміну верстатного парку металообробних підприємств на основі впровадження окремих верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) та ГВС. У разі заміни окремих верстатів з ЧПК гнучкими системами визначальним фактором економії стає зростання машинного часу обладнання. При цьому слід враховувати зіставлення ефективності роботи взаємопов'язаного обладнання з окремо працюючим верстатом з ЧПК. Створення і впровадження ГВС як принципово нових технологічних і організаційних структур має базуватися на техніко-економічному аналізі їх застосування порівняно з іншими формами виробничих систем. Тому аналіз економічної ефективності ГАВ є однією із центральних проблем, що вирішуються під час створення гнучкого виробництва.

Ключові слова: економічна ефективність; гнучке виробництво; витрати; джерела ефективності.

Актуальність теми. Машинобудування значною мірою впливає на оновлення виробничих фондів країни. Подальша інтенсифікація виробництва, підвищення його ефективності можливі за значного збільшення продуктивності технологічного обладнання та його широкої автоматизації. В сучасних умовах швидкої змінюваності об'єктів виробництва технологічні процеси виготовлення деталей та складання машин мають бути гнучкими, тобто здатними без великих затрат переналагоджуватися з випуску одного виду продукції на інший. Ця якість дуже важлива, якщо взяти до уваги, що в машинобудуванні більше як 80 % всієї продукції виготовляється в умовах серійного, малосерійного та одиничного виробництва. В умовах удосконалення технічної та технологічної бази промисловості, а також впровадження нових методів організації виробництва постає проблема створення гнучких автоматизованих виробництв (ГАВ), основаних на широкому використанні сучасного програмно керованого обладнання, мікропроцесорної техніки, промислових транспортних роботів та систем автоматизації проектно-конструкторських, технологічних та планових робіт. Впровадження гнучких виробничих систем означає новий підхід до комплексної автоматизації механоскладального виробництва та дозволяє в межах технологічних можливостей обладнання обробляти досить широкі за номенклатурою групи деталей будь-якими партіями, в будь-який час за вимогами процесу складання при собівартості масового виробництва. Впровадження ГВС забезпечує підвищення продуктивності виробництва порівняно з універсальним обладнанням у 3–6 разів, зменшення числа верстатників у 2–3 рази, скорочення виробничих площ у 5–8 разів, збільшення коефіцієнта змінності від 2,2 до 2,6. Тому надзвичайно актуальною є проблема економічної ефективності ГВС, що можуть створюватись як на основі вартісного програмно керованого обладнання, так і на базі існуючих на підприємстві верстатів з ЧПК. Правильний вибір обладнання, транспортних систем, оснащення дозволяє створити конкурентну виробничу одиницю з найвищими показниками ефективності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Дослідженню економічної ефективності ГВС присвячено численні роботи вітчизняних та зарубіжних авторів. У роботах Є.С. Пуховського [1] розглянута проблематика вибору раціональних з точки зору ефективності структур гнучких систем. При цьому розрахунки ведуться на етапі створення виробничої дільниці чи цеху.

Роботи [3, 4] показують важливість розрахунків економічних показників при системному підході до організації, управління та функціонування ГВС. В. Yakimovich, A. Korshunov та V. Sviatski [3] розглядають шляхи підвищення ефективності вже існуючих ГВС. Румунські вчені N. Manescu та A. Nedelku [4] розглядають ефективність у зв'язку зі зміною гнучкості системи. Робота [5] присвячена конкретним розрахункам ефективності при впровадженні ГВС в концерні Тойота. Публікації [6, 7] розглядають питання економічної ефективності на ранніх етапах проектування ГВС залежно від проблем вибору обробного обладнання, транспорту, основного та допоміжного інструменту та верстатного оснащення. Аналіз публікацій дає можливість окреслити мету роботи та намітити шляхи її вирішення.

Метою статті є створення системи техніко-економічного аналізу ефективності впровадження ГВС як на базі існуючого обладнання, так і на основі використання сучасного програмно-керованого обладнання, роботизованих систем та засобів обчислювальної техніки.

Викладення основного матеріалу. Показники економічної ефективності ГВБ можуть бути поділені на три групи і характеризують технологічність конструкції виробів, зміни виробничих умов та соціального середовища об'єкта ГВБ. У першу групу враховані коефіцієнти стандартизації, уніфікації та конструкторивної спадкоємності; коефіцієнти складності та точності обробки; питома матеріаломісткість; рівень технологічності та трудомісткості виготовлення; коефіцієнт застосування уніфікованих технологічних процесів та ін. У другій групі оцінюються такі показники: річні обсяги випуску деталей; коефіцієнти закріплення операцій та робочих місць; ступінь повторення виробництва деталей; тип виробництва. Третя група визначає показники соціальної ефективності та непрямі ефекти в грошовому вимірі. До них належать: підвищення рівня автоматизації та механізації праці працюючих; зростання енергоозброєності; підвищення інтелектуального рівня праці; зміна професійного складу кадрів; зменшення плинності кадрів; зниження захворюваності та травматизму робітників тощо. Непрямі ефекти у грошовому вираженні, пов'язані з умовним вивільненням різних категорій працюючих, ліквідацією втрат від плинності кадрів і зниженням витрат на їх підготовку, скороченням доплат та інших виплат у зв'язку з поліпшенням умов праці працюючих, скороченням виплат з тимчасової непрацездатності працюючих, а також зниженням шкоди від умовно недоданої ними продукції та ін.

Показники економічної оцінки аналога об'єкта гнучкого виробництва в царині їх виробничого використання поділяються на приватні, узагальнюючі та результуючі. Приватні показники визначаються збільшенням обсягу випуску продукції, поліпшенням використання обладнання та виробничих площ, скороченням тривалості виробничого циклу, зниженням обсягу незавершеного виробництва, підвищенням якості продукції, скороченням циклу підготовки виробництва. Узагальнюючі показники регламентують трудомісткість продукції та продуктивність праці, кількість умовно вивільнених робітників, розмір капітальних вкладень, зниження матеріальних витрат, собівартість продукції, оптову ціну та розмір прибутку. Результуючі показники враховують підвищення продуктивності праці, зниження собівартості продукції, суму додаткових капітальних вкладень або абсолютне їх зниження, приведені витрати, коефіцієнт порівняльної ефективності та термін окупності додаткових капітальних вкладень. Ці показники економічної ефективності є вихідними даними для синтезованої оцінки узагальнюючого критерію повної господарської економії. Розмір економії наведених господарських витрат, або річний економічний ефект E_p , у загальному вигляді виражається формулою:

$$E_p = Z_{пр1} - Z_{пр2} = \Delta C_x + E_n K_n, \quad (1)$$

де $Z_{пр1}$ та $Z_{пр2}$ – річні приведені затрати за варіантами;

ΔC_x – економія на повній госпрозрахунковій собівартості річного об'єму випуску продукції;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (0,15);

K_n – зміна капітальних вкладень порівнювальних базового та нового варіантів способів і засобів виробництва.

Стосовно економії для заданого обсягу річного випуску N чи одиниці продукції відповідно рекомендуються дві робочі формули:

$$E_p = (C_{x1} + E_n K_1) \alpha - (C_{x2} + E_n K_2); \quad (2)$$

$$E_p = (c_{x1} + E_n K_1) \alpha - (c_{x2} + E_n K_2), \quad (3)$$

де C_{x1} і C_{x2} – собівартості річного обсягу випуску продукції за варіантами;

α – коефіцієнт приведення варіантів у зівставний вид за основними вихідними параметрами;

K_1 і K_2 – питомі капітальні вкладення на одиницю продукції за варіантами;

c_{x1} і c_{x2} – собівартості виготовлення одиниці продукції за варіантами.

Коефіцієнт α визначається за залежністю:

$$\alpha = (B_1 / B_2) [(P_1 + E_n) / (P_2 + E_n)], \quad (4)$$

де B_1 і B_2 – відповідно річна продуктивність базової та проекрованої ГВС;

P_1 і P_2 – коефіцієнти відновлення, що характеризують частки відрахувань від балансової вартості на повне відновлення порівнюваних варіантів ГВС.

При оцінці економічної ефективності від впровадження ГВС необхідно ретельно проаналізувати техніко-економічні показники замінюваного виробництва та призначеної до впровадження ГВС. Аналіз

виробництва, що замінюється, пов'язаний з визначенням показників собівартості продукції, ступеня використання технологічного обладнання, якості продукції, витрат ручної праці, продуктивності обладнання, рівня запасів матеріалів, сировини тощо. Аналіз показників розробленої ГВС передбачає облік кількох категорій джерел ефективності: прямої економії, що має кількісний характер; непрямої економії, що поєднує кількісні та якісні оцінки; факторів економії, що мають якісний характер. Показники прямої економії пов'язані переважно з результатами автоматизації виробництва, що супроводжується заміною звичайного обладнання на автоматично працююче. Джерелами ефективності при цьому є підвищення продуктивності обладнання, збільшення змінності його роботи та коефіцієнтів завантаження. Автоматичне програмно кероване обладнання дозволяє знизити кількість обслуговуючого персоналу та здійснити перехід до безоператорної роботи. Багатофункціональність обладнання зменшує його загальну кількість і займану площу. Основними статтями економії стають менші витрати: на пряму оплату праці; забезпечення виробництва енергією, паливом та обслуговуванням, переміщенням матеріалів, сировини, обробку відходів, амортизацію приміщень та обладнання. Впровадження принципів гнучкого виробництва тягне за собою зміну організаційної структури підприємства, пов'язану з технологічною підготовкою виробництва, обробкою інформації, управлінням та обслуговуванням. Тому важливого значення набувають непрямі джерела економічної ефективності. Головними статтями непрямої економії стають: прискорення виробничого циклу зі зменшенням міжопераційних та транспортних запізнювань; зниження рівня незавершеного виробництва у зв'язку зі збільшенням продуктивності та прискоренням виробничого циклу; зниження рівня складських запасів та витрат на їх зберігання; зменшення витрат на оплату праці у сфері ремонту, обслуговування та експлуатації меншого парку верстатів; планування, організаційного управління всіх видів праці; зниження витрат на реконструкцію виробництва.

Сьогодні накопичується досвід оцінки економічної ефективності від впровадження ГВС різного ієрархічного рівня [1, 3, 5, 7]. Наприклад, впровадження комплексу АЛП-3-2 показало [1], що головними джерелами техніко-економічної ефективності в процесі використання ГВС є підвищення коефіцієнта завантаження обладнання з 0,4...0,6 до 0,85...0,90; збільшення коефіцієнта змінності з 1,3...1,6 до 2...3; зменшення вкладів в оборотні фонди через скорочення у декілька разів виробничого циклу (з 45 до 6 днів після впровадження АЛП-3-2), що приводить до зменшення розміру незавершеного виробництва; зменшення кількості виробничого та обслуговуючого персоналу в 1,7–2 рази; практична реалізація безлюдної технології обробки, що виражається в тому, що за рахунок накопичення заготовок та інструментального оснащення комплексу персонал працює переважно у першу зміну, а в другу і третю зміни працюють лише окремі спостерігачі. З досягненням необхідної надійності всіх елементів ГВС, оснащення її системами автоматизованого контролю якості обробки деталей, стану інструменту, діагностики обладнання друга і третя зміни стануть безлюдними.

Узагальнюючи результати розрахунку економічної ефективності, що досягається від впровадження комплексу АЛП-3-2 порівняно з використанням окремих багатоцільових верстатів з (ЧПК) за однакових обсягів випуску продукції, можна зробити висновок, що економічна ефективність від впровадження ГВС складається з економії:

- 1) основних фондів на придбання обладнання за рахунок скорочення його необхідної кількості (збільшуються коефіцієнти завантаження і змінності) – у комплексі АЛП-3-2 використовуються 8 верстатів замість 16, а також на будівництво виробничих площ під зменшену кількість обладнання;
- 2) фонду заробітної плати внаслідок скорочення складу виробничого і обслуговуючого персоналу (з 70 до 40 чоловік при переході до комплексу АЛП-3-2 і роботі у дві зміни);
- 3) оборотних коштів завдяки скороченню виробничого циклу виготовлення продукції, її партійності, необхідних запасів тощо.

Річний економічний ефект від впровадження АЛП-3-2 при роботі у дві зміни становить 540 тис. грн, а при роботі у три зміни – 700 тис. грн.

Окрім того, надзвичайно ефективною є скорочення часу очікування деталей для подачі на дільниці складання. При цьому запроваджується технологія у японській термінології «just in time», так звана «jt-технологія», яка передбачає роботу всього циклу випуску продукції без використання проміжних складів деталей в очікуванні складання, тобто оброблені деталі подаються зразу не на склад, а безпосередньо на лінію складання. «Jt-технологія» дає змогу позбавитися від вкладень на проміжні склади, скорочує виробничий цикл і підвищує мобільність виробництва, особливо у скрутні часи, такі як війна.

Досвід, накопичений за період експлуатації впроваджених ГВС, показує, що порівняно з автономними верстатами з ЧПК вони дають змогу збільшити машинний час роботи верстатів, підвищити коефіцієнт змінності; зменшити вкладення в оборотні фонди за рахунок скорочення виробничого циклу і зменшення незавершеного виробництва; скоротити кількість основних робочих на виробництві. У таблиці 1 наведені усереднені техніко-економічні показники (ТЕП) використання верстатів з ЧПК, оброблюючих центрів і ГВС, сформованих на базі цих верстатів порівняно з універсальними верстатами [2].

Усереднені ТЕР використання верстатів з ЧПК, обробляючих центрів і ГВС

ТЕР	Верстат з ЧПК	Обробляючий центр	ГВС
Підвищення продуктивності праці	у 2–3 рази	у 3–5 разів	у 8–10 разів
Кількість вивільнених робочих (у разі багатостатного обслуговування), чол.	4	7	50–90
Скорочення потрібного обладнання	у 3–4 рази	у 3–6 разів	у 7–10 разів

Застосування у складі ГВС найбільш сучасних обробляючих центрів, де виконується безліч операцій механічної обробки – фрезерування, свердління, нарізання різьби, обробка по контуру, розточування тощо, дає змогу в 2–3 рази підвищити продуктивність праці і в 2–5 разів – добову віддачу верстатів при обов'язковому скороченні кількості обслуговуючого персоналу.

Для гнучкого автоматизованого виробництва характерна наявність високого рівня початкових капітальних вкладень. Зрозуміло, що великі капітальні вкладення потребують відповідної віддачі. Наведемо приклад японської фірми «Ямадзакі» концерну «Тойота» [5]. За рахунок впровадження ГВС механічної обробки кількість верстатів фірми зменшилось з 68 до 18, площа для розміщення обладнання зменшилась у 3 рази, кількість робітників зменшилась з 215 до 12 чоловік, час обробки виробів скоротився у середньому з 35 до 2 днів. Проте, не дивлячись на таке поліпшення показників, через 2 роки із 18 млн доларів затрат окупилось тільки 6,8 млн доларів. Це свідчить про те, що при впровадженні ГВС, окрім швидких вигід, необхідно оцінювати стратегічні принципи перебудови машинобудівного виробництва на основі застосування техніки та технології нового покоління.

Розраховуючи економічну ефективність ГВС, необхідно використовувати існуючі методики, що застосовуються в сучасних розробках ГВС. Крім того, слід брати до уваги нові матеріали, що відображають сучасні тенденції розрахунків економічної ефективності нової техніки.

Найбільш складно піддаються обліку та ідентифікації джерела ефективності, що мають соціальне та господарське значення. Економія від цих джерел з'являється в результаті покращення якості продукції та підвищення її конкурентоспроможності; підвищення мобільності виробництва, що виявляється у швидкій реакції виробництва на вимоги моди, кон'юнктури та ринку; поліпшення умов праці, пов'язаного з використанням автоматизованої техніки; оздоровлення міжгалузевих відносин і зв'язків, що виявляється в налагодженні дисципліни взаємних поставок сировини, матеріалів і готових виробів; зниження витрат у соціальній сфері в міру поглиблення автоматизації виробництва та зменшення чисельності працюючих.

В умовах інтенсифікації та переходу до впровадження ГВС значною мірою застарівають затвержені методи розрахунку економічної ефективності, які необхідно постійно оновлювати, додаючи нові та коригуючи їх взаємозв'язки. При цьому з'являються абсолютно нові оцінки ефективності, як, наприклад, оцінка ризику та чутливості економічних рішень. Цей показник необхідний для виявлення сильнодіючих чинників, здатних посилювати чи послаблювати очікувані ефекти від великих капіталовкладень у виробництво. Аналіз ризику та чутливості стає необхідною ланкою у визначенні та ретельній перевірці головних факторів, що впливають на ефективність капіталовкладень у нові форми автоматизації виробництва. При заміні окремих верстатів з ЧПК гнучкими системами визначальним фактором економії стає збільшення машинного часу обладнання. В оцінці економічної ефективності ГВС слід враховувати зіставлення ефективності роботи взаємопов'язаного обладнання з окремо працюючим верстатом з ЧПК. При цьому підвищення продуктивності спостерігається особливо при обробці виробів, що вимагають великих витрат на переналагодження обладнання та вкладення оборотних коштів, пов'язаних з незавершеним виробництвом. Втрати часу на переналагодження верстата з ЧПК залежать від трудоемності виготовлення деталі, причому, якщо обробка здійснюється малими партіями, то втрати часу на переналадку автономних верстатів збільшуються, а при обробці великими партіями – зменшуються. В свою чергу збільшення партії веде до збільшення незавершеного виробництва, що призводить до зростання оборотних коштів, тому важливим стає питання про визначення оптимальної величини партії запуску деталей у виробництво. Розмір партії може бути щомісячним, щоквартальним, піврічним та річним. Кількість деталей у таких партіях визначається необхідною програмою їхнього випуску. Порівняння роботи автономних і пов'язаних в ділянці верстатів з ЧПК доцільно проводити на основі аналізу балансу часу роботи верстатів і верстатних систем.

Для верстатів з ЧПК операційний час ($T_{оп}$) складається з машинного часу автоматичної роботи ($T_{маш.а}$) та допоміжної роботи ($T_{д.р}$) верстата за програмою, а також часу виконання ручної допоміжної роботи ($T_{р.р}$), що не перекривається часом автоматичної роботи верстата:

$$T_{оп} = T_{маш.а} + T_{д.р} + T_{р.р}. \quad (5)$$

У свою чергу,

$$T_{р.р} = T_{р.р.в} + T_{д.о} + T_{д.в} + T_{д.п}, \quad (6)$$

де $T_{р.р.в}$ – допоміжний час на встановлення та зняття деталі;

$T_{до}$ – допоміжний час, пов'язаний з виконанням операції (включення, вимикання верстата, встановлення взаємного положення деталі та інструмента за координатами x , y , z , підналагодження), перевірка приходу деталі та інструмента в задану точку після обробки, відведення деталі або інструмента із зони обробки;

$T_{дв}$ – допоміжний час на виміри;

$T_{дп}$ – допоміжний час на переходи.

В умовах функціонування ГВС допоміжний час на встановлення та зняття деталі ($T_{р.р.в}$) не виключається, але стає машинним за рахунок застосування робототехнічних пристроїв; $T_{до}$ може бути скорочено і операції здійснюються автоматично в умовах групового управління від комп'ютера. Протягом $T_{дв}$ вимірювання здійснюються автоматично за програмою за рахунок датчиків торкання, закріплених в інструментальному магазині. $T_{дп}$ може бути скорочено, тому що переходи здійснюються автоматично за рахунок телевізійних чи інших систем спостереження.

Таким чином, в умовах гнучкого автоматизованого виробництва час активного спостереження за процесом переважає в балансі часу робітника і поняття часу зайнятості набуває нового змісту, що полягає в спостереженні за механізмами та досягненні синхронності роботи обладнання.

Особливого значення набувають витрати часу на підготовчо-заклучні роботи, організаційне та технічне обслуговування високопродуктивного обладнання, питома вага яких нині становить від 8 % до 30 % штучного часу виготовлення деталей. Тому необхідною умовою ефективності використання високопродуктивного обладнання є його концентрація в автоматизовані подетально спеціалізовані ділянки з груповою організацією технологічних процесів і досконалою системою підготовки виробництва та обслуговування робочих місць, що дозволяє створити потокове виробництво та спеціалізовані робочі місця таким чином, щоб вони завжди були готові прийняти для обробки будь-які деталі цієї виробничо-технологічної групи.

Накопичений досвід за період експлуатації впроваджених ГВС показує, що головними джерелами економії при роботі ГВС порівняно з автономними верстатами з ЧПК є: збільшення машинного часу верстатів; підвищення коефіцієнта змінності; зменшення вкладень до оборотних фондів внаслідок скорочення виробничого циклу, що призводить до зменшення незавершеного виробництва; зменшення кількості основних робітників у виробництві. Використання у складі ГВС найбільш сучасних оброблюваних центрів та гнучких виробничих модулів (ГВМ) дозволяє у 2–3 рази підняти продуктивність праці та в 2–5 разів підвищити добову віддачу верстатів за обов'язкового скорочення кількості обслуговуючого персоналу.

Досвід проектування ГВС свідчить, що розробити прогресивну техніку буває легше, ніж впровадити. Головна перешкода на шляху впровадження ГВС – слабка підготовленість технічних і керівних працівників з точки зору результатів застосування принципово нової техніки та технології. Гнучкі виробничі системи мають зрештою повністю звільнити людину від безпосередньої участі у виробничому процесі. За людиною залишаються функції спостереження та часткового управління виробництвом через різні пристрої управління. Перехід до таких способів виробництва вимагає не тільки великих зусиль щодо створення відповідних виробничих систем, а й принципово нової підготовки людини у зв'язку зі зміною змісту праці. Зміна характеру праці тягне за собою зміни у розвитку людини. У цих умовах людину треба не пристосовувати до автоматизації, а всебічно готувати. Автоматизація є черговим переломним стрибком у розвитку суспільства і відбувається вона не стихійно, а шляхом переведення економіки на інтенсивний шлях розвитку, удосконалення управління, підвищення рівня господарювання. Мова при цьому йде не тільки про назрілу необхідність звільнення людини від важких, небезпечних, шкідливих і монотонних умов, а і створення більш сприятливих умов праці, підвищення культури виробництва, підготовки та закріплення кадрів тощо. Головне полягає в докорінній зміні змісту праці, що зі свого боку призводить до зміни психології, тому людину до всього цього потрібно планомірно і системно готувати. В комплекс виховання гармонійної особистості необхідно враховувати питання, що пов'язують життя людини з широким використанням можливостей обчислювальної техніки, електроніки, хімії та інших засобів науки й техніки. Поряд з цим необхідне виховання як у підростаючого покоління, так і у дорослої людини не споживчого, а поважного ставлення його до засобів автоматизації. Щодо навчання технічним спеціальностям, то програми мають бути максимально наближені до завдань автоматизації в житті людини. В цілому необхідно прагнути до того, щоб автоматизація, знання її основ і особливостей стала духовним і практичним багатством людини і, поряд з іншими, джерелом її подальшого розвитку. Працюючи з автоматизованими засобами, людина виконує функції нагляду та часткового управління і працює на самоті або в невеликому колективі. При цьому змінюється склад та умови праці. Людині необхідно перебудовуватися не тільки в технічному, а й у психологічному аспекті, і чим швидше відбудеться ця перебудова, тим ефективніше працюватиме обладнання, тим більший результат отримає людина. При відповідних можливостях виробничих систем необхідно постійно підтримувати в потрібному стані не тільки ці системи, а й психологічний стан людини, яка бере участь у їхній роботі. Тут утворюється єдина замкнута система «людина – автоматична система».

Проектовані автоматизовані системи мають зі свого боку «підключатися» про людину, створюючи їй відповідний психологічний настрій. Системи повинні стежити за станом людини, її стомлюваністю, розсіяністю тощо і вживати відповідних заходів. Для цих цілей можуть бути використані такі засоби, як регулювання температури навколишнього середовища, складу повітря, вологості, музика, різні зорові сприйняття, діалоговий обмін між людиною та пристроєм управління автоматизованих систем, а надалі і безпосередній вплив на певні нервові центри людини, підтримка відповідного психологічного настрою. Таким чином, створюючи системи управління, контролю, діагностики із застосуванням обчислювальної техніки для забезпечення оптимального функціонування систем, не можна забувати про людину.

Питання соціології та психології праці в умовах ГАВ слід вирішувати шляхом розробки методів підбору та розстановки кадрів, розширення професійних навичок і знань. Необхідно вивчати вплив моніторів на психіку операторів ГВС, розробити методи психологічного розвантаження після стресових ситуацій у виробництві. Управління ГВС на будь-якому рівні організаційної структури здійснюється через системи автоматичного та адміністративного управління і має містити комплекс заходів щодо встановлення чіткої системи лінійного керівництва та раціональної структури управління персоналом ГВС. В умовах функціонування ГВС підвищується інтелектуальність праці, значна частка робіт виконується автоматичним обладнанням та комп'ютерами, розширюються повноваження працівників у прийнятті рішень та підвищується відповідальність за якість та терміни виконуваних робіт.

Висновки та перспективи подальших досліджень. На основі аналізу гнучкого автоматизованого виробництва показані джерела його економічної ефективності. Розроблена методика розрахунку ефективності як окремих верстатів з ЧПК, так і їх роботи у складі гнучких виробничих систем. Вказані шляхи впровадження автоматизації на основі ГВС багатонаменклатурного виробництва, яке в сучасних умовах є найбільш прийнятним. Окреслені соціально-економічні аспекти гнучкого машинобудівного виробництва.

Список використаної літератури:

1. Пуховський Є.С. Проектування верстатних систем гнучкого виробництва / Є.С. Пуховський. – К. : НТУУ КПІ ім. І.Сікорського, 2021. – 226 с.
2. Design of flexible production systems: methodology and tools / in T.Tolio ed. ; Politecnico du Milano. – Springer. – January, 2009. DOI: 10.1007/978-3-540-85414-2.
3. Yakimovitch B. Increasing of the efficiency of flexible manufacturing system / B.Yakimovitch, A.Korshunov, V.Sviatski // International conference of manufacturing engineering, 6-10 june. – Novy Smocolec, Slovakia. – 2016. DOI: 10/j.proeng.2016.06.709.
4. Manesku N. Flexibility and efficiency analysis of a flexible manufacturing system / N.Manesku, A.Nedelcu // Rewiew of the Air Forse Academy. – Romania. – 2015. – № 1 (28).
5. Adler P. Flexible versus efficiency? A case study of modern changeover in the Toyota Production System / P.Adler, B.Goldoftas, D.Levine // Unuversity of Southern California. – Los Angeles : Organisation Science. – 1999. – Vol. 10, № 1.
6. Trend and Perspectives in Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems / M.G. Megrabi, A.G. Ulsol, Y.Koren, R.Heytler // Journal of Inteligent Manufacturing Systems. – 2022. – April, № 13 (2). DOI: 10.1023/A:101453633051.
7. Rezail K. A Mathematical Model for optimal and phased implementation of flexible manufacturing systems / K.Rezail, B.Ostadi // Applied Mathematics and Computation. – 2007. – № 184 (2). – P. 729–736.

References:

1. Pukhovskiy, Ye.S. (2021), *Proektuvannia verstatnykh system hnuchkoho vyrobnytstva*, NTUU KPI im. I.Sikorskoho, K., 226 p.
2. Tolio, T. (ed.) (2009), *Design of flexible production systems: methodology and tools*, Politecnico du Milano, Springer, January, doi: 10.1007/978-3-540-85414-2.
3. Yakimovitch, B., Korshunov, A. and Sviatski, V. (2016), «Increasing of the efficiency of flexible manufacturing system», *International conference of manufacturing engineering*, 6-10 june, Novy Smocolec, Slovakia, doi: 10/j.proeng.2016.06.709.
4. Manesku, N. and Nedelcu, A. (2015), «Flexibility and efficiency analysis of a flexible manufacturing system», *Rewiew of the Air Forse Academy*, Romania, No. 1 (28).
5. Adler, P., Goldoftas, B. and Levine, D. (1999), «Flexible versus efficiency? A case study of modern changeover in the Toyota Production System», *Unuversity of Southern California*, Organisation Science, Los Angeles, Vol. 10, No. 1.
6. Megrabi, M.G., Ulsol, A.G., Koren, Y. and Heytler, R. (2022), «Trend and Perspectives in Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems», *Journal of Inteligent Manufacturing Systems*, April, No. 13 (2), doi: 10.1023/A:101453633051.
7. Rezail, K. and Ostadi, B.A (2007), «Mathematical Model for optimal and phased implementation of flexible manufacturing systems», *Applied Mathematics and Computation*, No. 184 (2), pp. 729–736.

Пуховський Євген Степанович – доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0001-7843-0922>.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- гнучкі виробничі системи машинобудування;
- обробка металів різанням;
- динаміка верстатів.

Фролов Володимир Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0002-3697-286X>.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- технологія оброблення складнопрофільних поверхонь.

Приходько Василь Петрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0003-1852-3777>.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- розмірний аналіз.

Бецко Юрій Михайлович – старший викладач кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0002-7283-2207>.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- гнучкі виробничі системи машинобудування.

Pukhovskiy E.S., Frolov V.K., Prikhodko V.P., Betsko Y.M.

Sources of economic efficiency of flexible automated production

The efficiency of flexible automated production and the introduction of flexible manufacturing systems (FMS) as fundamentally new technological and organizational structures should be based on a profound study of their application in comparison with other forms of production systems. The transition to the use of new technology is accompanied by a noticeable impact on the economic and social aspects of human activity. In some cases, the emergence of new technological, organizational and technical solutions entails consequences that reduce the overall significance of the innovation. Flexible automated production is characterized by a high level of initial capital investments. It is quite clear that such investments require an appropriate economic effect. The main element of the capital's contribution is the expenses for the new equipment. The prices of the programmatically equipment and computer engineering are very high, that bring an additional difficulties when the FMS is produced. The cost of software-controlled equipment, computing equipment, and mathematical support at this stage of development is very high, which creates additional difficulties in the implementation of FMS. The main tasks of the development of modern machine tool construction involve the replacement of the machine park of metalworking enterprises on the basis of the introduction of separate numerically controlled machines (CNCs) and hydraulic machines. In the case of replacing individual machines with CNC machines with flexible systems, the decisive factor of savings is the increase in the machine time of the equipment. At the same time, one should take into account the comparison of the efficiency of the interconnected equipment with a separately working machine with a CNC. The creation and implementation of FMS as fundamentally new technological and organizational structures should be based on a technical and economic analysis of their application in comparison with other forms of production systems. Therefore, the analysis of the economic efficiency of FMS is one of the central problems to be solved during the creation of flexible production.

Keywords: economic efficiency; flexible production; cost; sources of efficiency.

Стаття надійшла до редакції 16.02.2023.