

УДК 621.791/792

**СИСТЕМА СИНТЕЗУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ  
ДІЛЬНИЦІ ЗБИРАННЯ В УМОВАХ ОДИНИЧНОГО ТА ДРІБНОСЕРІЙНОГО  
ВИРОБНИЦТВА**

©Скоркін А. О.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про авторів:**

**Скоркін Антон Олегович:** ORCID: 0000-0003-3032-83414; mot@uira.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

На сучасному етапі розвитку промисловості зростання технічної озброєності праці в машино- і приладобудуванні має велике значення через те, що дані галузі покликані повною мірою задовольнити потреби промисловості України у високоефективних машинах й обладнанні, засобах автоматизації та механізації в системах керування. У цих галузях промисловості проблема економії живої праці й звільнення робітників від виконання важких і монотонних ручних операцій особливо гостро відчувається в складальних виробництвах, які в цей час таять у собі самі великі потенційні резерви для скорочення ручної праці, зниження трудомісткості й собівартості виробів, росту продуктивності праці, істотного підвищення ефективності виробництва і якості випускаємої продукції.

Аналіз розвитку машинобудівного виробництва показує, що допущено значні диспропорції в удосконалюванні різних технологічних процесів виробництва виробів, що є серйозною перешкодою на шляху здійснення комплексної автоматизації виробничих процесів і підвищення якості виробів, що випускають.

Висока ефективність складального виробництва може бути отримана за рахунок широкого впровадження передової технології, високоефективних засобів механізації й автоматизації складання й наукової організації праці.

**Ключові слова:** деталь; гнучкі виробничі системи; складання; технологічний процес; складання вузлів; математична модель; керуюча програма; час виконання.

**Скоркін А. О.** «Система синтеза организационно-технологической структуры участка сборки в условиях единичного и мелкосерийного производства».

На современном этапе развития промышленности рост технической вооруженности труда в машино- и приборостроении имеет большое значение из-за того, что данные отрасли призваны в полной мере удовлетворить потребности промышленности Украины в высокоэффективных машинах и оборудовании, средствах автоматизации и механизации в системах управления. В этих отраслях промышленности проблема экономии живого труда и увольнения работников от выполнения тяжелых и монотонных ручных операций особенно остро ощущается в сборочных производствах, в это время таят в себе самые большие потенциальные резервы для сокращения ручного труда, снижение трудоемкости и себестоимости изделий, роста производительности труда, существенного повышения эффективности производства и качества выпускаемой продукции.

**Технологія машинобудування**

---

Анализ развития машиностроительного производства показывает, что имело значительные диспропорции в совершенствовании различных технологических процессов производства изделий, что является серьезным препятствием на пути осуществления комплексной автоматизации производственных процессов и повышения качества выпускаемых изделий.

Высокая эффективность сборочного производства может быть получена за счет широкого внедрения передовой технологии, высокоэффективных средств механизации и автоматизации составления и научной организации труда.

**Ключевые слова:** деталь; гибкие производственные системы; сборка; технологический процесс; сборка узлов; математическая модель; управляющая программа; время выполнения.

*Skorkin A.* “System of synthesis of the organizational and technological structure of the assembly site in single and small-sized production”.

At the present stage of industrial development, the growth of technical weapons in the machine and instrument making industry is of great importance because these industries are called upon to fully meet the needs of the Ukrainian industry in highly efficient machines and equipment, automation and mechanization in control systems. In these industries, the problem of saving living labor and dismissing workers from performing heavy and monotonous manual operations is especially acute in assembly plants, at this time they have the greatest potential reserves for reducing manual labor, reducing labor intensity and cost of products, increasing labor productivity, A significant increase in the efficiency of production and quality of products.

Analysis of the development of machine-building production shows that there was a significant disproportion in the improvement of various technological processes of production of products, which is a serious obstacle to the implementation of integrated automation of production processes and improving the quality of manufactured products.

High efficiency of assembly production can be obtained due to the wide introduction of advanced technology, highly efficient means of mechanization and automation of the compilation and scientific organization of labor.

**Key words:** part, flexible production systems, assembly, technological process, assembly of nodes, mathematical model, control program, execution time.

**1. Вступ**

Сьогодні в більшості виробництв трудомісткість складальних робіт звичайно наближається або перевершує трудомісткість механообробки різанням і значно перевищує витрати праці на всіх інших технологічних етапах виробництва. При цьому аналіз процесу зниження трудомісткості по видах робіт показує, що в результаті широкого впровадження ефективних засобів механізації й автоматизації відносна трудомісткість заготівельних (ливарних, ковальсько-пресових, зварювальних) процесів і механообробки різанням рік у рік неухильно скорочується, тоді як відносна трудомісткість складання, як правило, росте. Все це обумовлено тим, що при складанні виробів застосовується й впроваджується найменше засобів автоматизації в порівнянні з іншими технологічними ділянками виробництва. Підтвердженням

цьому є те, що питома вага основних фондів складальних виробництв у машинобудуванні становить усього 5-10 % фондів основних виробництв, що зовсім не відповідає трудомісткості складальних процесів. У результаті в цей час у машино- і приладобудуванні відповідно механізовано 25-30 й 12-15 % складальних операцій, а автоматизовано не більше 6 %.

У складальних виробництвах дотепер переважає малопривабливий ручний, монотонний, а нерідко й важка праця й спостерігається найвища плінність робочої сили, тому складальні роботи є малопродуктивними, трудомісткими і дорогими, внаслідок чого здорожується вартість виробів, що випускають, і знижується їхня якість.

Таким чином, здійснення комплексної автоматизації складання, починаючи від розробки технологічного процесу складання у САПР, подачі деталей, що збирають, і об'єктів складання на складальні місця й кінчаючи пакуванням готових виробів, варто вважати за необхідне умовою підвищення ефективності складального виробництва й надалі створення автоматичних ліній, цехів, заводів. При цьому необхідно, щоб технологія складання органічно вписувалася в єдиний виробничий процес, а система керування складальним виробництвом була б складовою частиною АСУ будь-якого підприємства.

## **2. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У цей час є певний заділ, що створює основу для практичної реалізації методу, наприклад імітаційні пакети, що використовують наступні типи моделей: моделі технічних засобів, які імітують роботу центральних і периферійних пристроїв обчислювальних систем; моделі програмних засобів, що імітують функціонування програм, які забезпечують роботу обчислювальної системи; стиково-оптимізаційних моделі, що здійснюють ув'язування попередніх типів моделей у єдину погоджену систему. За допомогою останніх виробляється структурування масивів [2], призначення масивів по периферійних пристроях і каналам, блокування записів, коректування довжин записів, розподіл пам'яті й ін. Імітація дає можливість розроблювачеві з'ясувати, чи може бути здійснений проєктований процес обробки даних на заданій обчислювальній системі, оцінити можливі режими навантаження системи в часі, перевірити можливість поліпшення якості системи шляхом зміни конфігурації обчислювальних засобів і т.п. Використання імітаційного методу носить ітераційний характер.

Одною з перших практичних розробок була створена в 60-х роках економіко-математична модель упорядкування системи виробництва й підготовки її до впровадження засобів автоматизованого управління. Слід зазначити, що модель у деякому значенні була прототипом сучасних систем. Як вихідні модулі були розроблені моделі окремих верстатів, призначених виконувати ряд технологічних операцій по обробці деталей. Залежно від конкретного завдання модуль настроювався на імітацію виконання набору певних технологічних операцій. Точність імітації випадкових впливів (наприклад, частота й тривалість відмов по різних причинах, зміна тривалості виконання операцій залежно від характеристик основних факторів і т.д.) визначалася зібраною статистикою. При компонуванні моделей технологічних ліній або виробничих ділянок використовувалися також модулі, що описують динаміку роботи транспортних засобів, стан

## **Технологія машинобудування**

---

міжопераційних бункерів й інших елементів. Моделі, які налагоджувалися із пропонованого набору модулів, використовувалися для вирішення питань:

- Вибір і визначення раціональної послідовності впровадження економічно обґрунтованих заходів щодо підготовки об'єкта до автоматизації. (Заміна або модернізація окремих верстатів, визначення структури бункерів у функції раціонального обсягу міжопераційних заділів, впровадження засобів локальної автоматики, виявлення результатів впровадження НОТ, багатостатного обслуговування й т.д.) [3].

- Дослідження поведінки виробничого.
- Виявлення точок і частоти знімання інформації й потреб на обслуговування, у тому числі з боку системи керування.

- Аналіз можливих варіантів побудови системи керування об'єктом й оцінка їхньої економічної ефективності.

- Вибір варіанта системи керування з елементами автоматизації й перевірка її роботи при прогнозованих або планованих змінах у виробничому (технологічному) процесі.

- Аналіз можливості й доцільності додання створюваній системі властивостей адаптації й самонавчання в результаті включення в настроєній моделі з урахуванням можливості її систематичного підстроювання в міру зміни параметрів моделюваної системи.

Еволюція програмних засобів моделювання може бути представлена у вигляді послідовної зміни п'яти поколінь:

- перше покоління (50-і роки, FORTRAN, ALGOL...) - програмування моделей на мовах високого рівня без якої-небудь спеціальної підтримки;

- друге покоління (60-і роки, GPSS, SIMULA, SIMS-CRIPT...) - спеціальна підтримка моделювання у вигляді відповідних виражень мови, генераторів випадкових чисел, засобів представлення результатів;

- третє покоління (70-і роки, ACSL...) - можливість комбінованого безперервно-дискретного моделювання;

- четверте покоління (80-і роки, SIMFACTORY, XCELL...) - орієнтація на конкретні галузі програм, можливість анімації;

- п'яте покоління (90-і роки, SIMPLEX II, SIMPLE++...) - графічний інтерфейс, інтегроване середовище для створення й редагування моделей, планування експериментів, керування моделюванням й аналізу результатів.

### **3. Постановка проблеми**

Модель виробничого об'єкта дозволяє відтворювати випадкові фактори, що обумовлюють імовірнісний характер виробничих процесів і зухвалі відхилення перебігу виробничого процесу від запланованого: випадкові втрати ресурсу обладнання внаслідок аварійності його роботи й простої в ремонті; випадкові втрати ресурсу робочої сили, обумовлені невходами на роботу; випадкові коливання індивідуальної продуктивності праці, що приводять до змін тривалості виконання технологічних операцій; випадкові

коливання тривалості допоміжних й обслуговуючих процесів і т.д. Весь обсяг інформації, що враховує імовірнісний характер виробничого процесу по зазначених факторах, уводиться в модель у вигляді законів розподілу або довільних статистичних рядів (табличним способом).

Модель АСКП являє собою автоматизовану систему керування промисловим підприємством з дискретним характером виробництва. Об'єктом керування моделі АСКП є підприємство з параметрами, типовими для великого класу підприємств. Таке підприємство можна назвати узагальненим, тому що його галузева приналежність несуттєва, а параметри можуть мінятися в дуже широкому діапазоні. Дана модель може бути використана як повністю готове з генероване програмне забезпечення АСК для широкого класу об'єктів. На його основі за твердженням авторів може бути в короткий термін реалізована перша черга АСК.

Імітаційне моделювання є одним з методів, що дозволяють оцінити систему і її реакцію на збурювання по ряду показників. За допомогою моделювання при створенні АСК цехом можуть вирішуватися наступні завдання: визначення шляхів удосконалювання системи на основі моделювання різних варіантів технічної, технологічної, а також організаційної перебудови й дослідження наслідків ухвалених рішень. Імітаційне моделювання дозволяє робити відпрацьовування не тільки різних варіантів структур і режимів функціонування технічних засобів програмного забезпечення (у тому числі операційних систем, і промислових варіантів програм користувача), але й різних форм функціонування АСК.

Також важливим є критерії вибору оптимальної послідовності технологічних операцій, кількісна концентрація однотипних операцій по їхньому місцезнаходженню в технологічному процесі, що впливає на число одиниць обладнання і його завантаження.

$$T = \begin{pmatrix} \infty, & t_{12} & t_{13}, & \dots, & t_{1N} \\ t_{21}, & \infty & t_{23}, & \dots, & t_{2N}, \\ \dots, & \dots, & \dots, & & \dots \\ t_{N1}, & t_{N2}, & t_{N3}, & \dots, & \infty \end{pmatrix}.$$

Необхідно вибрати по одному елементі так, щоб ці елементи розташувати в послідовності й щоб сума обраних елементів була мінімальною.

$$t_{c1\ c2}, t_{c2\ c3}, \dots, t_{cN-1\ cN}, t_{cN\ cN+1}.$$

На відміну від класичного завдання, де дана відстань між пунктами, тут присвоюється вага дугам, що визначають передачу предметів праці від одного елемента до іншого. Вершини графа при цьому інтерпретуються як елемент, а дуги визначають послідовність проходження елемента, причому якщо перехід здійснюється до однотипного елемента, то дузі присвоюється вага «0», якщо до не однотипного, те «1», «10» або «100» залежно від їхнього місцезнаходження в технологічному процесі.

Проілюструємо це на прикладі. Нехай необхідно зібрати  $n$  складальних одиниць, технологічний процес кожної з яких представляється у вигляді послідовного ланцюжка проходження елементів:

$$l_{11} \rightarrow l_{12} \rightarrow \dots \rightarrow l_{1n1-1} \rightarrow l_{1n1};$$

$$l_{21} \rightarrow l_{22} \rightarrow \dots \rightarrow l_{2n2-1} \rightarrow l_{2n2};$$

**Технологія машинобудування**

$$l_1 \rightarrow l_2 \rightarrow \dots \rightarrow l_{NnN} \rightarrow l_{NnN}$$

де  $l$  – тип елемента, використовуваний для виконання складальної операції при складанні виробу.

Введемо фіктивні вершини: початкову й кінцеву, відповідно 1 й  $N+2$ ; у технологічних ланцюжках між  $l_{pp}$  й  $z$ , щоб  $n_p = n$ , де  $n = \max\{n_1, n_2, \dots, n_p, \dots, n\}$ .

Далі введемо наскрізну нумерацію всіх вершин:

$$\begin{array}{c} S_1 \\ \left| \begin{array}{cccc} 2 & 3 & \dots & n+1 \\ n+2 & n+3 & \dots & 2n+1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (N-1)_n+2 & (N-1)_n+3 & \dots & N_n+1 \end{array} \right| \\ S_2 \end{array} N_n + 2.$$

Позначимо рядок виділеної матриці  $S_i$ , а стовпець —  $L_k$ , де  $1 \leq i \leq N$ ,  $1 \leq k \leq n$ . Для будь-якого  $v \in L_k$ ,  $S_i$  вибираємо довільну  $v \in L_k, S_j$  при  $j \neq i$  й  $1 \leq j \leq N$  й одержуємо:

$$\omega(u, v) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } l_{ik} = l_{ij} \\ 1 & \text{якщо } l_{ik} = l_{ij} \end{cases}.$$

Для будь-якого  $v \in L_k$ ,  $S_i$  вибираємо довільну  $v \in L_{k+1}, S_j$ , де  $1 \leq j \leq N$  й  $k \leq n-1$ ,  $i$  одержуємо:

$$\omega(u, v) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } l_{ik} = l_{ik+1} \\ 10 & \text{якщо } l_{ik} \neq l_{ik+1} \end{cases}.$$

Для будь-якого  $v \in L_k$ ,  $S_i$ ,  $1 \leq i \leq N$ :

$$((1, u) = 0;$$

$$\omega(N_n+2, 1) = 0.$$

Останні вершини  $S_1, \dots, S_N$  з'єднує з вершиною  $(N_n + 2)$  дугами з вагою «0». Інші дуги графа мають «нескінченну» вагу.

Позначимо  $O = i_1, i_2, \dots, i_{N_n+2}$  – послідовність виконання складальних операцій в узагальненому технологічному процесі складання складальних одиниць, де  $(i$  – найменування операції,  $1, 2, \dots, N_n+2$  - порядок проходження. Ця послідовність може бути представлена як безліч упорядкованих пар складальних операцій  $(i, v)$ :

$$O = \{(i_1, i_2), (i_1, i_2), \dots, (i_{N_n+1}, i_{N_n+2}), (i_{N_n+2}, i_{N_n+3})\}.$$

Потрібно встановити послідовність виконання операцій  $i$ , при якій:

$$f(O) = \sum_{m=1}^{N_n+2} \omega(i_m, i_{m+1}) \rightarrow \min.$$

Отже, імітаційні моделі дозволяють робити аналіз: стохастичних матеріальних й інформаційних процесів, обумовлених виходом з ладу обладнання, інструмента, транспортних й інших технічних засобів, включаючи в загальному випадку й засобу АСК.

**4. Метою роботи** є підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва складальних процесів

**5. Виклад основного матеріалу**

Побудова математичних моделей, що описують функціонування організаційних структур ГВС і враховуючі різні фактори, неможливо без класифікації типових елементів організаційних структур, властивому реальному виробництву виробів, і без побудови на основі класифікації моделей, що дозволяє зменшити обсяг їхнього тезауруса й тим самим обсяг інформації в ЕОМ, використовуваних, наприклад, при проектуванні ГВС.

Під організаційною структурою ГВС виробництва виробів будемо розуміти структуру виробничої технологічної системи, що є матеріальною реалізацією технологічного процесу й задану на декомпозиційній множині її елементів  $E$  і множині зв'язків  $\Xi$  між ними. Таким чином, можна задати структуру ГВС графом:

$$G=G(E, \Xi)$$

Враховуючи, що процес функціонування ГВС розглядається в задачі оцінки надійності ГВС, поняття елементів і зв'язків ГВС повинні бути визначені із цих же позицій.

Під елементами ГВС мають на увазі автоматичне й автоматизоване технологічне обладнання (ГВМ), що реалізує основні технологічні операції, необхідні для кількісного і якісного перетворення предметів праці (продукції) відповідно до ТУ на їхнє виробництво, і автоматизовані або автоматичні засоби оснащення допоміжних операцій, необхідних для забезпечення функціонування основних ГВМ. Під зв'язками  $\Xi$  графа організаційної структури ГВС будемо розуміти матеріальні потоки продукції із зазначенням напрямку їхнього переміщення між типовими елементами (ГВМ) ГВС.

Введемо в класифікацію ГВМ  $E$  та зв'язку  $\Xi$  ГВС, що дозволяє на її основі побудувати моделі функціонування, і врахуємо при цьому, що будь-яка система обслуговування, у тому числі й технологічна, може бути описана характеристиками вхідного потоку продукції, дисципліни «обслуговування» і часу «обслуговування» (далі - обробки).

Аналіз організаційних структур типових технологічних процесів підприємства машино- і приладобудування, радіо- і електронної промисловості дозволив виявити типові організаційні структури виробництва й на їхній основі побудувати класифікацію елементів  $E$ , що наведена в табл. 1. Аналіз таблиці показує, що ГВМ володіють рядом ознак, частина з яких має потребу в поясненні.

**Таблиця 1 – Класифікація ГВМ**

Ознака класифікації	Вид ГВМ
По виду виконуваних технологічних операцій	Складально-монтажні; регульовально-настроюванні; контрольні-іспитові; транспортні; нагромадження (зберігання) виробів
По відмовах при функціонуванні	З відмовами по продуктивності, якості й змішаному типу
По числу вхідних і вихідних накопичувачів у складі технологічних модулів	Без накопичувачів; з одним і декількома накопичувачами
По універсальності	Призначені для виконання технологічних операцій одного (спеціалізовані) і різних видів (універсальні)
По числу одночасно оброблюваних виробів	З обробкою одного й безлічі виробів
За розкладом роботи при виконанні операцій	Послідовна, паралельною й послідовно-паралельна в часі обробка

**Технологія машинобудування**

Потоки матеріальної продукції в реальних ГВС охоплюють всі ознаки наведеної класифікації. По ознаці номенклатури виробів у потоці розрізняють потоки з виробами одного й декількох найменувань. Перші з них характерні для масового й серійного однономенклатурного виробництва, другі – для дрібносерійного багатноменклатурного виробництва. Залежно від числа виробів у потоці в кожний момент часу можуть бути потоки ординарні (з одним виробом) і неординарні (з декількома – пачкою виробів). Останні характерні для транспортування виробів у пачках, реалізований, як правило, у ГВС. У свою чергу, обсяг транспортної пачки може бути детермінованою й випадковою величиною, містити вироби одного або декількох найменувань, що залежить від характеру організації процесу транспортування виробів між ГВМ, видів ГВМ і деяких інших факторів.

Потоки продукції, що мають місце в ГВС, можна підрозділити на потоки придатної й дефектної продукції.

Подібне розмежування необхідно при аналізі функціонування ГВМ контролю, які виявляють дефектну продукцію, проріджуючи тим самим потоки з дефектною продукцією. Виділення потоків придатної продукції дозволяє оцінювати потенційну продуктивність її випуску. І, нарешті, виробу в потоці можуть містити один або кілька видів дефектів. Подібна ознака класифікації й відповідно опис потоків необхідні для оцінки показників ефективності функціонування ГВМ діагностики.

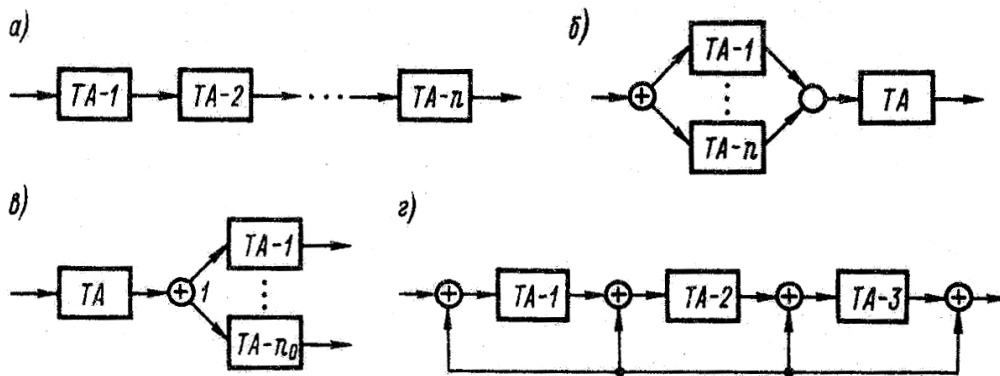


Рис. 1 – Види з'єднань між елементами виробничої системи:

- а – послідовне; б – паралельне;  
в – послідовно-паралельне; г – зі зворотним зв'язком

Аналіз реальних технологічних систем виробництва продукції дозволяє визначити характер руху матеріальних потоків (об'єктів виробництва) між ГВМ: послідовні, збіжні, розбіжні й зі зворотним зв'язком. Кожний із зазначених видів потоків характерний для відповідних видів з'єднань між ГВМ: перший – для послідовного з'єднання ГВМ (рис. 1, а); другий – для групи паралельно працюючих ГВМ (рис. 1, б); третій – для ГВМ і допоміжного устаткування, включених послідовно з ним (рис. 1, в); четвертий – для групи ГВМ, що виконують технологічні операції з наступним їх повторенням на наступних ГВМ (рис. 1, г). Звичайно останній вид з'єднань між ГВМ характерний для випадків виявлення дефектних виробів або для багаторазових повторень деяких технологічних операцій, наприклад лакування, нанесення шарів матеріалу й т.д.



**Висновки**

Розглянувши існуючі на даний момент системи імітаційного моделювання, можна зробити висновок, що: зараз є потреба у створенні системи імітаційного моделювання виробничих систем складання вузлів, для точнішого аналізу виробничого процесу складання вузлів.

**Список використаних джерел:**

1. Балабанов А. Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя / А. Н. Балабанов. . – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 464 с.
2. Гибкие производственные системы сборки / П. И. Алексеев, А. Г. Герасимов, Э. П. Давыденко [и др.] ; под общ. ред. А. И. Федотова. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 349 с.
3. Замятин В. К. Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения : справочник / В. К. Замятин. – М. : Машиностроение, 1995. – 608 с.
4. Kugelmann D. Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern / Doris Kugelmann. – München : Herbert Utz Verlag GmbH, 1999. – 168 s.
5. Junker G. Schraubenverbindungen. Berechnung und Gestaltung / G. Junker, H. Kothe. – Berlin : Veb Verlag Technik, 1968. – 451 s.
6. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учеб. для втузов / Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. шк., 2004. – 415 с.
7. Демин Ф. И. Анализ и синтез точности изделий и технологических процессов со сложными размерными связями / Ф. И. Демин // *Фундаментальные проблемы теории точности* / под ред. В. П. Булатова, И. Г. Фридлендера. – СПб. : Наука, 2001. – 504 с.

**References**

1. Balabanov, A 1992, *Kratkiy spravochnik tekhnologa-mashinostritelya*, Izdatelstvo standartov, Moskva.
2. Fedotov, A, Alekseev, P, Gerasimov, A & Davydenko, E 1989, *Gibkie proizvodstvennye sistemy sborki*, Mashinostroyeniye. Leningradskoye otdelenenie, Leningrad.
3. Zamyatin, V 1995, *Tekhnologiya i osnashchenie sborochnogo proizvodstva mashinopriborostroyeniya*, Mashinostroyeniye, Moskva.
4. Kugelmann, D 1999, *Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern*, Herbert Utz Verlag GmbH, München.
5. Junker, G & Kothe, H 1968, *Schraubenverbindungen. Berechnung und Gestaltung*, Veb Verlag Technik, Berlin.
6. Kapustin, N, Kuznetsov, P & Skhirtladze, A 2004 *Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v mashinostroyenii*, Vyssh. shk., Moskva.
7. Bulatova, V, Fridlendera, I & Demin, F 2001, ‘Analiz i sintez tochnosti izdeliy i tekhnologicheskikh protsessov so slozhnymi razmernymi svyazyami’, *Fundamentalnyye problemy teorii tochnosti* Nauka, Sankt-Peterburg.

Стаття надійшла до редакції 3 травня 2017 р.