

УДК 658.51:621.81

**Н.Н. Попок, д.т.н., доц.**  
*Полоцький державний університет, Білорусь*  
**Н.В. Біляков, ст. викл.**  
*Вітебський державний технологічний університет, Білорусь*

### ПРОГРАМНО-ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИНТЕЗУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ НЕТИПІЗОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ

*Наводиться методика формування інформаційної моделі об'єкта виробництва, а також запропоновані алгоритми визначення комплектів баз орієнтації, вибору необхідного обладнання, визначення порядку обробки конструктивних елементів і зміни баз при синтезі технологічних процесів механічної обробки заготовок нетипізованих деталей. Описано структуру розробленого пакета комп'ютерних програм реалізації методик і алгоритмів.*

**Вступ.** На сьогодні у машинобудуванні знаходять застосування системи автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП) двох видів: 1) системи адресації (УП “Інститут Білоргверстат-пром” (САПР ТП), СПРУТ (GTR, САПР ТП), T-FLEX (ТЕХНОПРО) та ін.); 2) діалогові системи (“Інтермех” (Techcard), КОМПАС (АВТОПРОЕКТ, Вертикаль), Consistent Software (TechnologiCS, FOBOS) та ін.). Перші розроблені для деталей типу “тіл обертання” та планок на базі комплексного ТП на типові деталі. Другі можуть бути використані і для нетипізованих деталей, але тільки досить досвідченим технологом. За їхньою допомогою технолог, використовуючи досвід та інтуїцію, може вибрати з бази даних текст переходів, устаткування і т. д., нормувати витрати часу й матеріалу, розрахувати режими різання. Однак ці системи не дозволяють для зазначених деталей в автоматизованому режимі призначити технологічні бази, порядок обробки поверхонь, порядок зміни баз всередині етапів типової схеми механічної обробки, видати завдання на проектування (вибір) верстатних пристосувань. За оцінками експертів, 80 % нетипізованих деталей належать до класів “корпус” і “некруглі стрижні”.

Таким чином, **метою роботи** була формалізація та автоматизація процедур проектування індивідуальних технологічних процесів механічної обробки заготовок нетипізованих деталей класів “корпус” і “некруглі стрижні”. Для досягнення мети були поставлені й вирішені наступні **завдання**: 1) формування інформаційної моделі заготовки в задачі синтезу технологічного процесу механічної обробки; 2) розробка алгоритму визначення комплектів баз орієнтації; 3) розробка алгоритму вибору необхідного устаткування, визначення порядку обробки поверхонь і зміни баз; 4) створення комп'ютерних моделей реалізації алгоритмів.

**Результати досліджень.** Для вирішення задачі комп'ютерного проектування технології виготовлення нетипізованих деталей необхідно створити інформаційну *конструктивно-технологічну модель* заготовки. Для цього пропонується оперувати з моделлю геометричних відносин між конструктивними елементами деталі (функціональними модулями (ФМ)) *різних рівнів складності й службового призначення*, причому, з урахуванням особливостей обробки конструктивних елементів і заготовок.

Класифікатор ФМ деталей *за складністю* ФМ-ір побудований ієрархічно [1]. ФМ нульового ФМ-0р і другого ФМ-2р рангів складності поділяються на технологічні та виконавчі. ФМ нульового рангу ФМ-0р являють собою елементарні поверхні, з яких будуються ФМ решти рівнів їх класифікації. Деталь, таким чином, є функціональним модулем шостого і вище рангів складності. Кожному елементу безлічі модулів кожного рангу залежно від головних поверхонь ставиться у відповідність сукупність низки ознак:  $FM-ir \rightarrow дoспкcгсвст$ , де  $k$  – клас ФМ (плоскі ФМ, ФМ обертання, гвинтові ФМ);  $pk$  – підклас ФМ (плоский ФМ, ФМ-паз, ФМ-вікно, ФМ-напрямна, ФМ-елементарний обертання, ФМ-канавки поздовжні, ФМ-канавки торцеві, ФМ-різь) і т. д. Використовуючи таку класифікаційну сітку, нескладно кожному компоненту поставити у відповідність певний ідентифікатор (код), що відбиває ранг ФМ і визначає його на множині ознак.

Класифікаційну множину модулів за службовим призначенням пропонується представляти у вигляді виразу  $FM = (OBB) \cup (KP) \cup (KM) \cup (OBH)$ , де  $(OBB)$  – множина функціональних модулів, що утворюють основні та допоміжні складальні бази;  $(KP)$  – множина кріпильних функціональних модулів;  $(KM)$  – множина модулів комунікацій;  $(OBH)$  – множина об'єднувальних модулів.

Деталь можна представити у вигляді виразу

$$KD = FM_1 \cup FM_2 \cup FM_{j-1} \dots \cup FM_j \dots \cup FM_n.$$

Під множиною  $FM_i$  мається на увазі комплексний ФМ – структурно максимально складний, що має найвищі показники якості, всі поверхні якого можна обробити з одної установи.

$\Phi M_j = (n_1, n_2, \dots, \bar{n}_m, \dots, n_{i-1}, \dots, n_i)$ , де  $n_i \in \Phi M\text{-}ip$ ,  $\bar{n}_m$  – головні поверхні модуля. Структурний склад окремого модуля формується методом адресації з комплексного ФМ:  $\Phi M_1 = (n_1, n_3 \dots n_6)$ ;  $\Phi M_5 = (n_1, n_2 \dots n_9)$  і т. д.

На основі проведеного аналізу креслень деталей, а також технологічних процесів їх механічної обробки у конструкторських і технологічних бюро верстатобудівних заводів Вітебської області ВАТ “ВИЗАС”, РУП “ВИСТАН” (м. Вітебськ), РУПП “Красный борец” (м. Орша) визначено майже 1100 функціональних модулів різних класифікаційних множин. Комплексування окремих ФМ за конструктивними та технологічними ознаками дозволило розробити ілюстрований класифікатор комплексних ФМ деталей класів “корпус” і “некруті стрижні” за службовим призначенням.

Збільшення параметрів точності ФМ і деталей в цілому при механічній обробці відбувається послідовно за кілька етапів: з – заготовельний, п – попередній, ч – чистовий, о – оздоблювальний. Це викликано спадкуванням похибок обробки та застосуванням хіміко-термічної обробки. Тому деталь пропонується представляти не просто набором ФМ і геометричних зв’язків між ними, а моделями станів ФМ на етапах обробки.

Визначення стану ФМ ( $\Phi M_j^3, \Phi M_j^II, \Phi M_j^U, \Phi M_j^Q$ ) і маршруту його обробки на етапах пропонується здійснювати двома способами: 1) за допомогою стандартних маршрутів, застосовуваних на тому або іншому підприємстві для ФМ різного службового призначення; 2) за допомогою синтезу можливих варіантів маршруту ФМ низького рангу на основі моделювання стану показників його якості. Для формалізації призначення маршруту за першим методом пропонується використовувати поняття технологічного регламенту (ТР) обробки ФМ – сукупності впорядкованої технологічної інформації про ФМ:  $\Phi M_j \rightarrow TP_j = \{n_i^{nco}, пер_y i, Pu, Un, \mathcal{E}\}$ , де  $n_i^{nco}$  – сукупність оброблюваних ФМ нульового рангу;  $пер_i$  – переходи обробки та їхня точність;  $Pu$  – види різального інструмента та їхніх розмірних характеристик;  $Un$  – фрагменти керуючої програми для верстатів із числовим програмним керуванням;  $E$  – етап типової схеми обробки, в який розподіляється перехід. Розроблені технологічні регламенти та схеми розподілу припусків по етапах типової схеми для найпоширеніших комплексних ФМ.

Вихідними даними для моделювання за другим методом є: 1)  $Пер = (пер\ 1, пер\ 2, \dots, пер\ i)$  – множина переходів механічної обробки деталей; 2) ФМ-ір – класифікатор ФМ за ступенем складності; 3) масив відповідності – набір кортежів виду  $\{\Phi M\text{-}ip\text{-}n_i\text{-}k \rightarrow pk \rightarrow g \rightarrow v \rightarrow t\} \rightarrow \{перn \dots перt\}$ , де  $k \rightarrow pk \rightarrow g \rightarrow v \rightarrow t$  – ідентифікаційний код ФМ;  $перn \dots перt$  – набір кодів можливих переходів; 4)  $Пер_y = (пер_y^n 1, пер_y^u 1, пер_y^o 1, \dots, пер_y^{n(co)} i)$  – множина уточнених переходів; під  $пер_y i$  мається на увазі кортеж виду  $\{IT_{вх}, IT_{вих}, Ra, HRC, Rzm\}$ , де  $IT_{вх}$  – квалітет точності поверхні на “вході”, тобто, до обробки;  $IT_{вих}$  – квалітет точності поверхні на “виході”, тобто, після обробки;  $Ra$  – параметр шорсткості;  $HRC, Rzm$  – умови вибору за твердістю та розмірним параметром. Для синтезу маршруту розроблений покроковий алгоритм на основі моделювання стану показників його якості на етапах типової схеми обробки.

**Крок 1.** За допомогою ФМ-ір формується ідентифікаційний код ФМ  $k \rightarrow pk \rightarrow g \rightarrow v \rightarrow t$ .

**Крок 2.** За допомогою масиву відповідності  $\{k \rightarrow pk \rightarrow g \rightarrow v \rightarrow t\} \rightarrow \{перn \dots перt\}$  визначаються всі можливі  $перi$  для обробки.

**Крок 3.** За допомогою  $Перу$  формується масив  $\{ПРМЖ\}$  кортежів виду

$$Пер_y^{n(co)} i = IT_{вх}^{\min} \dots IT_{вх}^{\max} \dots IT_{вих}^{\min} \dots IT_{вих}^{\max}.$$

**Крок 4.** Порівняння заданого квалітету  $IT_{зад}$  з діапазоном  $IT_{вих}^{\min} \dots IT_{вих}^{\max}$ .

Якщо  $IT_{зад} = IT_{вих}^{\min} \dots IT_{вих}^{\max}$ , то формується запис  $IT_{вх} \text{—} Перi \text{—} IT_{вих}$  у новий масив  $\{1РАНГ\}$ .

**Крок 5.** Порівняння квалітету точності  $IT_{вих}$  переходу масиву  $\{1РАНГ\}$   $Перi$  з діапазоном масиву  $\{ПРМЖ\}$   $IT_{вих}^{\min} \dots IT_{вих}^{\max}$ .

Якщо  $IT_{вих} \text{—} Перi = IT_{вих}^{\min} \dots IT_{вих}^{\max}$ , то формується запис  $IT_{вх} \text{—} Пер2j \text{—} IT_{вих}$  у новий масив  $\{2РАНГ\}$  другого рівня.

**Крок 6.** Повторення кроку 5 з формуванням масивів  $\{3РАНГ\} \dots \{nРАНГ\}$ .

**Крок 7.** Аналіз входів і виходів масивів  $\{1РАНГ\} \dots \{nРАНГ\}$ , пошук однакових  $IT_{вх}$  та  $IT_{вих}$  і формування кортежів виду  $Пер1i \text{—} Пер2i \text{—} Перnk$ .

ФМ на етапах типової схеми обробки пропонується характеризувати показниками двох видів: внутрішніми й зовнішніми. Внутрішні показники визначають форму, розміри, взаємне розташування й показники якості компонентів ФМ на етапі:

$$\begin{aligned} \Phi M_j^{\Pi} &= (n_1^{\Pi}, n_2^{\Pi} \dots n_{i-1}^{\Pi}, n_i^{\Pi}) \\ &\downarrow \qquad \qquad \qquad \downarrow \qquad \qquad \qquad \downarrow \\ &\qquad \qquad \qquad \text{ПК}n_1^{\Pi} = \{Xp_1^{\Pi}, \Phi n_1^{\Pi}, \Gamma \bar{b}p_1^{\Pi}, K\check{c}_1^{\Pi}, Дn_1^{\Pi}, Op_1^{\Pi}\} \\ &\qquad \qquad \qquad \text{ПК}n_2^{\Pi} = \{Xp_2^{\Pi}, \Phi n_2^{\Pi}, \Gamma \bar{b}p_2^{\Pi}, K\check{c}_2^{\Pi}, Дn_2^{\Pi}, Op_2^{\Pi}\} \\ &\qquad \qquad \qquad \text{ПК}n_i^{\Pi} = \{Xp_i^{\Pi}, \Phi n_i^{\Pi}, \Gamma \bar{b}p_i^{\Pi}, K\check{c}_i^{\Pi}, Дn_i^{\Pi}, Op_i^{\Pi}\} \end{aligned}$$

де  $Xp$  – характер поверхні (вісь –  $O$ , площина  $P$ );  $\Phi n$  – функціональна приналежність (функціональна, технологічна поверхня);  $\Gamma \bar{b}p$  – габарит поверхні (довжина й ширина для плоскої поверхні, діаметр і довжина – для циліндричної);  $K\check{c}$  – якість (квалітет ІТ і шорсткість  $Ra$ );  $Дn$  – доступність для обробки в координатному напрямку;  $Op$  – орієнтація поверхні (координати напрямного вектора).

Зовнішні показники визначають розташування ФМ щодо інших ФМ деталі. Оперування із зовнішніми параметрами організовано за допомогою графів розмірних зв'язків  $R(x, y, z)$  головних поверхонь ФМ у трьох координатних напрямках і графів кутових зв'язків  $U$  оброблюваних головних поверхонь ФМ стосовно оброблюваних поверхонь і кутових розташувань оброблюваних поверхонь відносно необроблюваних на етапі типової схеми обробки.

Безліч  $R$  представляється у вигляді неорієнтованого графа типу дерева  $R_{(x,y,z)} = (\bar{N}, V)$ , де  $\bar{N} = \{\bar{n}_1, \bar{n}_2, \dots, \bar{n}_m\} \mid \bar{N} = m$  – множина вершин (головних поверхонь модуля). Множина лінійних розмірів, що з'єднують будь-які пари вершин,  $(\bar{n}_i, \bar{n}_j) \in \bar{N} \in$  множина ребер  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\} \mid V = k$ . Причому, множина ребер є неорієнтованими лініями, для яких несуттєвий порядок з'єднання вершин  $v_i = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)$  або  $v_i = (\bar{n}_j, \bar{n}_i)$ . Граф  $R_{(x, y, z)}$  представляється за допомогою матриці суміжності

$$R_{(x,y,z)}^{cm} = \left\| v_{i,j} \right\|_{m \times m}$$

Граф  $U$  відображає відношення перпендикулярностей і кутів між головними поверхнями ФМ із урахуванням особливостей їхнього технологічного забезпечення. Зв'язками на графі вказується відношення перпендикулярності або кута розглянутого ФМ до поверхні ФМ, що є базою орієнтації. Напрямок зв'язку вказує базовий елемент, стосовно якого орієнтується поверхня.

Таким чином, множину кутових зв'язків можна представити у вигляді орієнтованого графа  $U = (\bar{N}, Y)$ , де  $\bar{N} = \{\bar{n}_1, \bar{n}_2, \dots, \bar{n}_m\} \mid \bar{N} = m$  – множина вершин (головних поверхонь модуля). Множина кутових розмірів, що з'єднують будь-які пари вершин,  $(\bar{n}_i, \bar{n}_j) \in \bar{N} \in$  множиною дуг  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_l\} \mid Y = l$ . Безліч дуг є орієнтованими лініями, для яких істотний порядок з'єднання вершин. Кожна дуга  $y_i \in Y$  визначається впорядкованою парою (кортежем довжини два) вершин  $y_i = \langle \bar{n}_i, \bar{n}_j \rangle$ . Причому,  $y_i = \langle \bar{n}_i, \bar{n}_j \rangle$  і  $y_i = \langle \bar{n}_j, \bar{n}_i \rangle$  – це різні дуги в графі  $Y$ . Граф  $U$  пропонується представляти у вигляді матриці інцидентності  $U = \left\| y_{i,j} \right\|_{m \times k}$ .

З використанням показників множини  $ПКn_i$  як  $Xp, \Gamma \bar{b}p, K\check{c}, Op$ , а також принципів коректності задання орієнтації розроблені символічні логічні правила формування графів кутових розташувань і графів симетричних деталей.

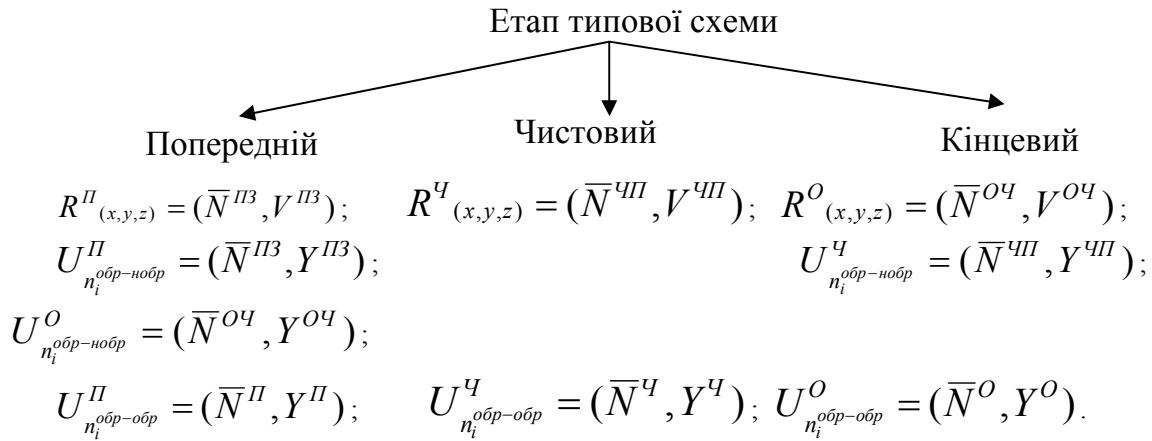
Вихідними даними алгоритму визначення комплектів баз орієнтації є  $\Phi M_j; TP_j; R_{(x,y,z)}; U$ .

Для визначення комплектів баз наведений нижче покроковий алгоритм.

**Крок 1.** З використанням  $\Phi M_j$  і  $Tr_j$  формуються моделі модулів  $\Phi M_j^{\Pi}; \Phi M_j^q; \Phi M_j^o$  і деталі  $KД_j^{\Pi}; KД_j^q; KД_j^o$  після виконання етапу типової схеми обробки.

**Крок 2.** Задаються внутрішні показники ФМ  $ПКn_i^{\Pi}; ПКn_i^q; ПКn_i^o$ .

**Крок 3.** З використанням  $ПКn_i, R(x, y, z)$  і  $U$  креслення деталі формуються моделі розмірних і кутових зв'язків на етапах.



Графи на етапах будуються за позначенням розмірних зв'язків і допусків відносних поворотів із креслення деталі. Такий підхід необхідний для того, щоб зменшити спадкування похибки обробки і кількість ланок технологічних розмірних ланцюгів, у яких замикаючою ланкою є розмір із креслення.

**Крок 4.** Визначаються комплекти баз для оброблюваних осей (O). Для цього спільно аналізуються граfi  $R(x, y, z)$  і  $U$  етапу відповідно до алгоритму:

$$\bar{n}_i(O) \rightarrow (R^{\Pi}_X \wedge R^{\Pi}_Y) \vee (R^{\Pi}_Y \wedge R^{\Pi}_Z) \vee (R^{\Pi}_X \wedge R^{\Pi}_Z),$$

$$\{v_{iX} = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)_X\} \wedge \{v_{iY} = (\bar{n}_i, \bar{n}_p)_Y\} \Rightarrow \bar{n}_j - \bar{n}_p,$$

$$\{v_{iX} = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)_X\} \wedge \{v_{iZ} = (\bar{n}_i, \bar{n}_p)_Z\} \Rightarrow \bar{n}_j - \bar{n}_p,$$

$$\{v_{iY} = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)_Y\} \wedge \{v_{iZ} = (\bar{n}_i, \bar{n}_p)_Z\} \Rightarrow \bar{n}_j - \bar{n}_p,$$

$$\bar{n}_i(O) \rightarrow U_{n_i^{обр-нобр}}^{\Pi} \vee U_{n_i^{обр-обр}}^{\Pi} \rightarrow y_i = \langle \bar{n}_i, \bar{n}_l \rangle \Rightarrow \bar{n}_j - \bar{n}_p - \bar{n}_l.$$

**Крок 5.** Визначаються комплекти баз для оброблюваних площин (P). Для цього також спільно аналізуються граfi  $R(x, y, z)$  і  $U$  етапу відповідно до алгоритму:

$$\bar{n}_i(P) \rightarrow R^{\Pi}_X \vee R^{\Pi}_Y \vee R^{\Pi}_Z \{v_{iX} = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)_X\} \Rightarrow \bar{n}_j \vee$$

$$\vee \{v_{iY} = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)_Y\} \Rightarrow \bar{n}_j \vee \{v_{iX} = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)_X\} \Rightarrow \bar{n}_j \bar{n}_i(P) \rightarrow U_{n_i^{обр-нобр}}^{\Pi} \vee U_{n_i^{обр-обр}}^{\Pi} \rightarrow$$

$$\rightarrow \{y_i = \langle \bar{n}_i, \bar{n}_p \rangle\} \wedge \{y_i = \langle \bar{n}_i, \bar{n}_l \rangle\} \Rightarrow \bar{n}_j - \bar{n}_p - \bar{n}_l.$$

Тобто, відповідно до алгоритмів, номер оброблюваної поверхні (або осі оброблюваної поверхні) відшуковується на граfi (за однією віссю для плоскої поверхні, за двома координатами для вісі) розмірних зв'язків. Визначається її зв'язок або зв'язки з іншими найближчими поверхнями на графах розмірних зв'язків. (Найкоротші шляхи на граfi від розглянутої поверхні до інших поверхонь). Далі для плоских поверхонь на графах кутових розташувань оброблюваних поверхонь комплект доповнюється двома поверхнями, для осі комплект доповнюється однією поверхнею. На рис. 1 показана ілюстрація роботи алгоритму формування комплекту баз для осі.

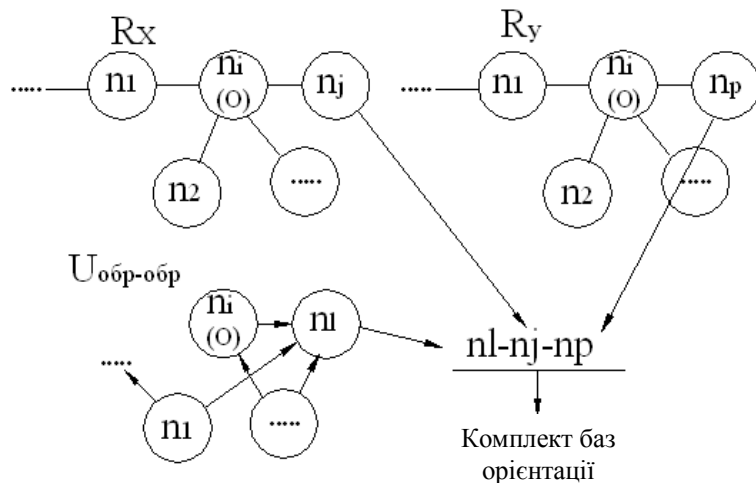


Рис. 1. Ілюстрація роботи алгоритму формування комплекту баз для осі

**Крок 6.** Формування таблиці комплектів баз на етапі.

Для вирішення завдання вибору необхідного устаткування, визначення порядку обробки поверхонь і зміни баз усередині етапів обробки деталей необхідний масив наявного обладнання, що містить наступні відомості: 1) модель верстата; 2) розміри робочої зони; 3) технологічні можливості верстата (набір виконуваних на верстаті переходів і їхніх параметрів, координати доступності різального інструмента в просторі робочої зони); 4) таблиці комплектів баз орієнтації.

Нижче наводиться покроковий алгоритм вибору необхідного встаткування, визначення порядку обробки поверхонь і зміни баз.

**Крок 1.** Розподіл переходів за типорозмірами верстатів. Пропонується зіставляти характеристики комплексу поверхня–перехід з технологічними можливостями верстатів, а габарити деталі – з габаритами робочого простору верстата. У результаті формується таблиця вибору обладнання, в якій на перетині рядка (поверхня–перехід) і стовпчика (верстат) записуються можливі комплекти баз орієнтації (табл. 1).

Таблиця 1

Таблиця вибору устаткування

Поверхня–перехід	Номер станка q			
	1	2	q	N <sub>ст</sub>
1	nl <sub>11</sub> -nj <sub>11</sub> -np <sub>11</sub>	nl <sub>11</sub> -nj <sub>11</sub> -np <sub>11</sub>	...	...
2	nl <sub>21</sub> -nj <sub>21</sub> -np <sub>21</sub>	nl <sub>21</sub> -nj <sub>21</sub> -np <sub>21</sub>	...	...
i	nl <sub>i1</sub> -nj <sub>i1</sub> -np <sub>i1</sub>	nl <sub>i1</sub> -nj <sub>i1</sub> -np <sub>i1</sub>	...	...
N <sub>пр</sub>	...	...	...	...

**Крок 2.** Вибір комплекту баз і верстата для обробки на першій операції етапу. Пропонується в таблиці вибору устаткування відшукувати осередок з ідентичними комплектами, що складається з вихідних (необроблюваних) поверхонь етапів. За рішення береться стовпчик (верстат), в якому найбільша кількість осередків (переходів) з ідентичними комплектами. Перевіряється можливість обробки від налагоджуваних баз.

Переходи з однаковими типорозмірами верстатів і технологічними базами поєднуються в групу, що попередньо формує найпершу операцію етапу.

Якщо для моделі етапу немає комплектів, що складаються тільки з вихідних поверхонь, то приймається комплект, що складається з максимальної їхньої кількості.

Якщо вихідних (необроблюваних) поверхонь на етапі немає, то як комплект баз на першій операції етапу варто використовувати комплект для виконання максимальної кількості переходів.

**Крок 3.** Вибір верстата й комплекту баз для другої операції.

Для цього в стовпчиках “відсіченої” таблиці вибору встаткування відшуковується максимальна кількість осередків (поверхонь–переходів) з ідентичними комплектами, що складаються з оброблених на попередній (першій) операції поверхонь. “Відсічена” таблиця отримується відкиданням з початкової таблиці рядків, що відповідають обробленим поверхням. Переходи з однаковими типорозмірами верстатів і технологічних баз поєднуються в групу, формуючи тим самим другу операцію.

**Крок 4.** Вибір верстата й комплекту баз для другої операції. Повторюється крок 3.

**Крок 5.** Аналіз можливості сполучення переходів, відібраних для даного типорозміру верстата. Аналіз полягає в: а) порівнянні векторів доступності оброблюваних функціональних модулів і координат доступності формотвірних елементів у просторі робочої зони (технологічні можливості верстата); б) перевірки наявності необхідної кількості гнізд у револьверній голівці або магазині верстата.

Якщо встановлено, що кілька переходів не можна виконати при використанні одного комплекту баз або за один установ, то в таких випадках зменшується кількість переходів в операції аж до одного (збільшується кількість операцій, виконуваних на тому самому верстаті).

У результаті роботи алгоритму формується кілька варіантів маршруту обробки (табл. 2) з різними структурами операцій. Остаточний вибір варіанта послідовності обробки, змісту й структур, що входять у технологічний процес, можна здійснити на основі проведення техніко-економічних розрахунків.

Таблиця 2

Структура вихідних параметрів роботи алгоритму

Оброблювані поверхні	i i-1 i-3	i-2 i-4	i+1 i+2	...
Комплект баз	$nl_{i-1}-nj_{i-1}-np_{i-1}$	$nl_{i-1-3}-nj_{i-1-3}-np_{i-1-3}$	$nl_{i+1-2}-nj_{i+1-2}-np_{i+1-2}$	...
Верстат	q	q+1	q-1	...

Структура та порядок в операціях позаверстатних переходів у більшості випадків стандартизовані. Переходи термічного і контрольного етапів та їхній вибір залежать від технічних вимог креслення деталі. Першим кроком розв’язання задачі *синтезу завдання на проектування пристосування* є ідентифікація комплекту баз орієнтації. Для цього розглядаються поверхні сформованих комплектів баз і визначається характер поверхні (вісь або площина). Усього можливі чотири варіанти поєднань поверхонь (рис. 2).

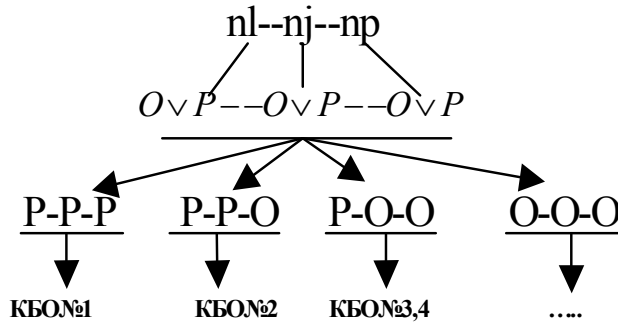
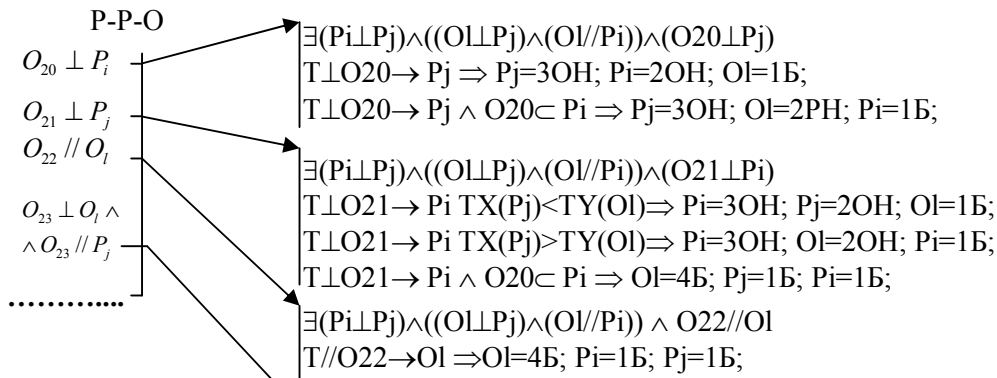


Рис. 2. Модель ідентифікації комплекту баз

Далі визначається приналежність розглянутого комплекту до одного із чотирьох. Комплект O-O-O для деталей класів “корпус” і “некруглі стрижні” практично не використовується.

Для формального призначення виду компонентів комплекту (проектування схеми базування) розроблений масив продукційних моделей, елементи якого відповідають варіантам однозначного завдання орієнтації ФМ (рис. 3).



**Наприклад, алгоритм  $O_{21}$ :** якщо існує КБО № 2 і заданий допуск перпендикулярності осі  $O_{21}$  відносно площини  $P_i$ , а допуск лінійного розміру відносно  $P_j$  менший допуску лінійного розміру відносно  $O_i$ , то площина  $P_i$  призначається потрібною односпрямованою (установочною) базою, площина  $P_j$  подвійною односпрямованою (установочною), вісь  $O_i$  одиночною (опорною). Якщо допуск лінійного розміру відносно  $P_j$  більший допуску лінійного розміру відносно  $O_i$ , то площина  $P_i$  назначається потрібною односпрямованою (установочною) базою, вісь  $O_i$  подвійною односпрямованою (установочною), площина  $P_j$  одиночною (опорною) базами. Якщо площина  $P_i$  збігається з віссю  $O_i$ , то вісь  $O_i$  назначається четвертною (подвійною установочною) базою, площини  $P_i$  та  $P_j$  призначаються одиночними (опорними) базами.

Рис. 3. Елементи масиву продукційних моделей для КБО № 2

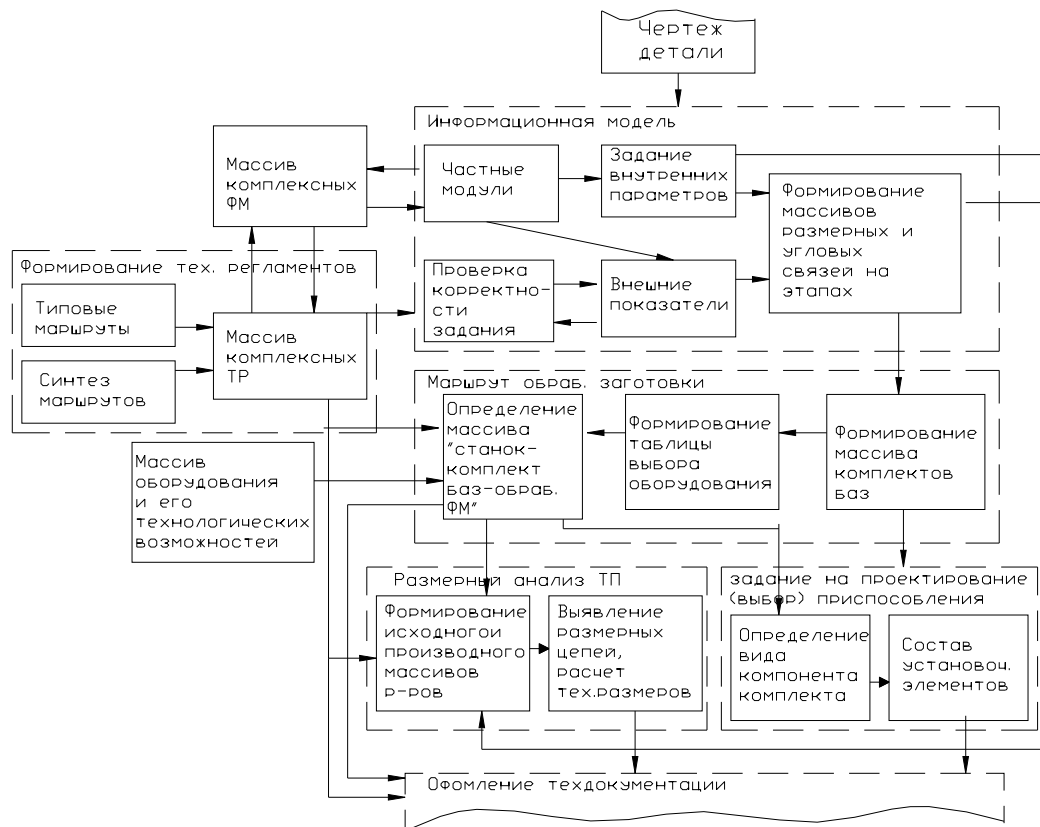


Рис. 4. Структура програмно-методичного комплексу реалізації процедур проектування ТП механічної обробки нетипізованих деталей

Завдання структурного синтезу схеми установки пропонується вирішувати в термінах умовних установочних елементів. Для цього вид компонента КБО замінюється відповідним умовним установочним елементом. Після визначення точки прикладання та напрямку сил закріплення можна сформулювати завдання на проектування пристосування [2, 3].

На базі методик, моделей і алгоритмів розроблено пакет комп'ютерних програм автоматизації процедур синтезу індивідуальних ТП механічної обробки заготовок оригінальних нетипізованих деталей класів "корпус" і "некруті стрижні" (рис. 4), доведено їхню працездатність шляхом впровадження на машинобудівних підприємствах Вітебської області та у навчальний процес.

У роботі використовувалися методи системно-структурного аналізу й моделювання, теорії графів, алгебри логіки, теорії множин, теорії алгоритмів і теорії базування.

**Висновок.** У результаті проведених досліджень:

1. Запропоновано метод синтезу інформаційної конструкторсько-технологічної моделі нетипізованої деталі та її заготовки з параметризованих комплексних функціональних модулів, структури розмірних і кутових зв'язків між головними поверхнями модулів, а також технологічних регламентів обробки, що дозволяє представити заготовку для визначення порядку обробки і зміни баз, синтезу схем базування та установки.

2. Описано метод структурного синтезу маршруту обробки заготовок, що на основі визначення і аналізу таблиць комплектів технологічних баз орієнтації (які відображають кутову й розмірну орієнтації оброблюваних поверхонь) з урахуванням технологічних можливостей устаткування (виконувані переходи, габарити робочої зони, вектор доступності в робочу зону) дозволяє визначати порядок обробки поверхонь, комплекти баз для обробки та порядок зміни комплектів баз.

3. Запропоновано метод структурного синтезу складу установочних елементів верстатного обладнання, що вперше дозволив для складних нетипізованих деталей машин усередині кожного етапу механічної обробки в автоматичному режимі синтезувати теоретичні схеми базування, визначати вид компонента комплекту технологічних баз (установочна, опорна тощо), за схемою базування в термінах умовних елементів синтезувати теоретичні схеми установки.

4. Створено пакет прикладних програм автоматизації процедур синтезу індивідуальних технологічних процесів механічної обробки оригінальних нетипових заготовок на основі подання розроблених мо-

делей, методик, алгоритмів, баз даних, баз знань мовою теорії графів, алгебри логіки, теорії множин, теорії алгоритмів, теорії розмірних ланцюгів, теорії ймовірностей і доведено їхню працездатність.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Попок Н.Н.* Мобильная реорганизация машиностроительного производства / *Н.Н. Попок*. – Минск : УП «Технопринт», 2001. – 396 с.
2. *Беляков Н.В.* Формализация проектирования технологических процессов механической обработки корпусных деталей машин : научное издание / *Н.В. Беляков, Е.И. Махаринский, Ю.Е. Махаринский*. – Витебск : УО «ВГТУ», 2006. – 147 с.
3. *Махаринский Е.И.* Базирование в задачах создания САПР процессов механической обработки и средств оснащения / *Е.И. Махаринский, Н.В. Беляков, Ю.Е. Махаринский* // Вестник ПГУ. – 2008. – № 2 / Серия В. Прикладные науки. – С. 47–56.
4. *Беляков Н.В.* Формализация синтеза технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей машин / *Н.В. Беляков* // Материалы, технологии, инструменты. – 2006. – № 4. – С. 32–38.

ПОПОК Н.Н. – доктор технічних наук, доцент Полоцького державного університету, м. Полоцьк, Білорусь..

Наукові інтереси:

- системи автоматизованого проектування технологічних процесів.

БІЛЯКОВ Н.В. – старший викладач Вітебського державного технологічного університету, м. Вітебськ, Білорусь.

Наукові інтереси:

- проектування технологічних процесів.

Подано 12.11.2009



**Попок Н.Н., Біляков Н.В.** Програмно-інформаційне забезпечення синтезу технологічних процесів виготовлення нетипізованих деталей

**Попок Н.Н., Бемяков Н.В.** Программно-информационное обеспечение синтеза технологических процессов изготовления нетипизированных деталей

УДК 658.515621.81

**Программно-информационное обеспечение синтеза технологических процессов изготовления нетипизированных деталей / Н.Н. Попок, Н.В. Бемяков**

Приводится методика формирования информационной модели объекта производств, а также предложены алгоритмы определения комплектов баз ориентации, выбора необходимого оборудования, определения порядка обработки конструктивных элементов и смены баз при синтезе технологических процессов механической обработки заготовок нетипизированных деталей. Описана структура разработанного пакета компьютерных программ реализации методик и алгоритмов.