

УДК 621.91.02

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ****д-р техн. наук, проф. Н.Н. ПОПОК; М.В. ЧЕРНЕВИЧ; Г.И. ГВОЗДЬ**  
(Полоцкий государственный университет)

*Рассмотрены методология, модели и алгоритмы создания комплекта блочно-модульных режущих инструментов для вспомогательных и ремонтных производств. Приведены графы формирования блочно-модульных режущих инструментов различного назначения. Получены обобщенные формулы, описывающие любой тип режущего инструмента. Представленный теоретический подход по проектированию режущих инструментов на основе теории множеств проиллюстрирован технологическими схемами сборки блока резцового, фрезы торцовой и расточной головки.*

**Ключевые слова:** блочно-модульные режущие инструменты, блок резцовый, технологическая схема сборки.

**Введение.** Для расширения технологических возможностей универсальных металлорежущих станков, используемых в вспомогательных и ремонтных производствах, может быть рекомендован комплект (набор) режущих инструментов с широким спектром применения. Ключевой конструктивной составляющей комплекта является блок резцовый, который имеет унифицированные присоединительные поверхности, конструктивные элементы и размеры как для режущих пластин, так и для корпусных модулей инструментов [1]. Блок резцовый может выполнять также самостоятельную функцию режущего инструмента. Он может быть изготовлен и отремонтирован в условиях любого машиностроительного цеха, так как имеет простые по конфигурации поверхности и конструктивные элементы – цилиндрические, плоские, пазовые. На основе блока резцового формируется набор режущих инструментов, включающих токарные проходные и расточные резцы, зенкеры, фрезы, расточные и зуборезные головки [2]. Наличие такого универсального комплекта блочно-модульных режущих инструментов обеспечивает выполнение работ по механической обработке различных деталей.

Методология создания комплекта режущих инструментов основывается на принципе «от простого к сложному» [3]. Режущий инструмент представляется как цельный (простой), составной и сборный (сложный). Если цельные и составные в полной мере систематизированы, имеется определенная стандартная и нормативная база по их проектированию и изготовлению, то для сборных модульных режущих инструментов такая полная база пока не создана.

Представление до недавнего времени сборного режущего инструмента как состоящего из режущей пластины, корпуса (державки) и зажима сейчас усложняется ввиду многообразия вставок (картриджей), конструктивных модулей, механизмов зажима и переходников (адаптеров), стыкующих как сами конструктивные элементы инструмента, так и его присоединение к конструктивным элементам приспособлений и станков.

Таким образом, в связи с обширной номенклатурой применяемых режущих инструментов необходима автоматизация основных процедур их проектирования с использованием обобщенных математических моделей и алгоритмов.

**Основная часть.** Рассмотрим возможности обобщенного подхода к проектированию сборных режущих инструментов на примере блока резцового, торцовой фрезы и расточной головки. Наиболее наглядно структуру конструкций этих режущих инструментов иллюстрируют технологические схемы сборки.

Сборка блока резцового начинается со сборки прихвата  $MЗ_1$  и штифта  $MЗ_{12}$  (рис. 1). Штифт  $MЗ_{12}$  вставляется в отверстие прихвата  $MЗ_1$ . Характер соединения прихвата и штифта не дает последнему перемещаться вдоль посадочной поверхности. Полученная сборочная единица крепится к державке  $BP_1$  с помощью винта  $MЗ_{13}$ . Предварительно на штифт помещается режущая пластина  $PP$  и собранная конструкция зажимается винтом  $MЗ_{13}$ . Конструкция прихвата обеспечивает прижим пластины к основанию державки и боковой ее поверхности, гарантируя тем самым неподвижность пластины во время обработки. При необходимости под пластину режущую  $PP$  устанавливается пластина опорная  $ПО$  и в торец корпуса державки вворачивается регулировочный винт.

Технологическая схема сборки фрезы торцовой (рис. 2) построена по тому же принципу, что и блока резцового. Сборка фрезы торцовой начинается с размещения модуля зажима  $MЗ_2$  в отверстия корпуса МК фрезы БМТФ. Затем вставляются блоки резцовые  $BP$ , устанавливаются планки модуля зажима  $MЗ_3$ , которые крепятся винтами  $MЗ_{31}$ . К торцовой поверхности корпуса винтами с шайбами кре-

пится фланец МК<sub>1</sub>, в который вставляются регуляторы МР для регулирования положения блоков в корпусе. Регуляторы крепятся к фланцу винтами МК<sub>13</sub>.

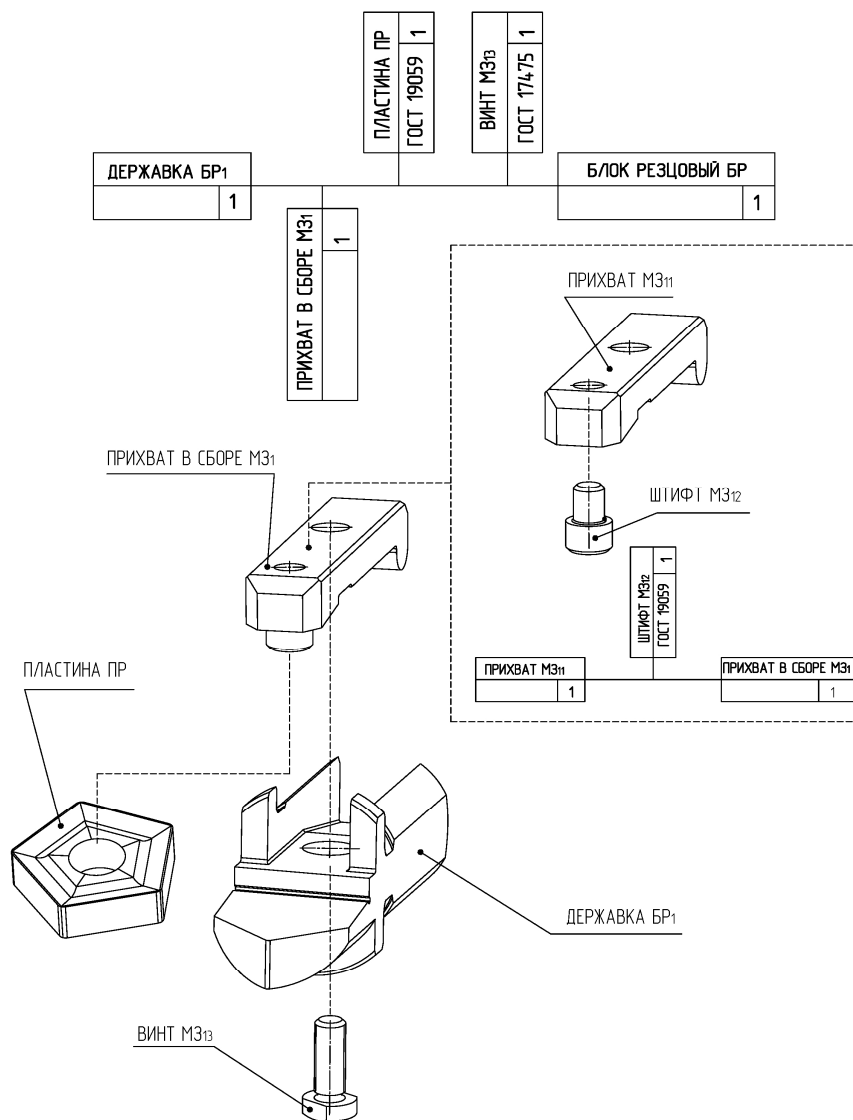


Рисунок 1. – Технологическая схема сборки блока резцового

Технологическая схема сборки расточной головки представлена на рисунке 3. Вначале собирается блок резцовый БР аналогично описанию по рисунку 1. Затем блок резцовый БР вставляется в модуль регулировочный МР<sub>1</sub> (корпус ползуна МР<sub>11</sub>), МР<sub>1</sub> вставляется в модуль корпусной МК, зажимается модулем зажимным – прихватом МЗ<sub>1</sub> (винт МЗ<sub>11</sub>, шайба МЗ<sub>12</sub>, упор МЗ<sub>13</sub>). Затем в МК вставляется винт ходовой МР<sub>12</sub>, гайка, ползуны МР<sub>13</sub> и зажимаются упором МЗ<sub>21</sub>, винтом стопорным МЗ<sub>22</sub> и шайбой МЗ<sub>23</sub>.

Разработанные технологические схемы сборки блока резцового, фрезы торцевой и головки расточной позволяют формировать базы данных по их основным конструктивным элементам для автоматизированного проектирования блочно-модульных режущих инструментов.

Формализация процесса проектирования комплекта блочно-модульных режущих инструментов (БМРИ) включает создание следующих математических моделей [3–5]:

- модель формирования исходной информации по обрабатываемым поверхностям (И) и конструктивным элементам (КЭ);
- модель обобщенной схемы обработки резанием (ОР);
- модель обобщенной конструктивной схемы БМРИ;
- модель взаимного расположения блоков и модулей БМРИ;
- модель оценки вариантов конструкций БМРИ по критериям;
- модель оценки напряженно-деформированного состояния БМРИ.

КОРПУС МК	1	БЛОК РЕЗЦОВЫЙ БР	12	ПЛАНКА МЗ3	12	ВИНТ МЗ31	ГОСТ 71475	12	ФЛАНЕЦ МК1	1	ВИНТ МК11	ГОСТ 11738	12	ВИНТ МК13	ГОСТ 11738	12	ШАЙБА МК12	ГОСТ 6402	12	ФРЕЗА БМТФ	1
		ЗАЖИМ МЗ2	12	РЕГУЛЯТОР МР	12																

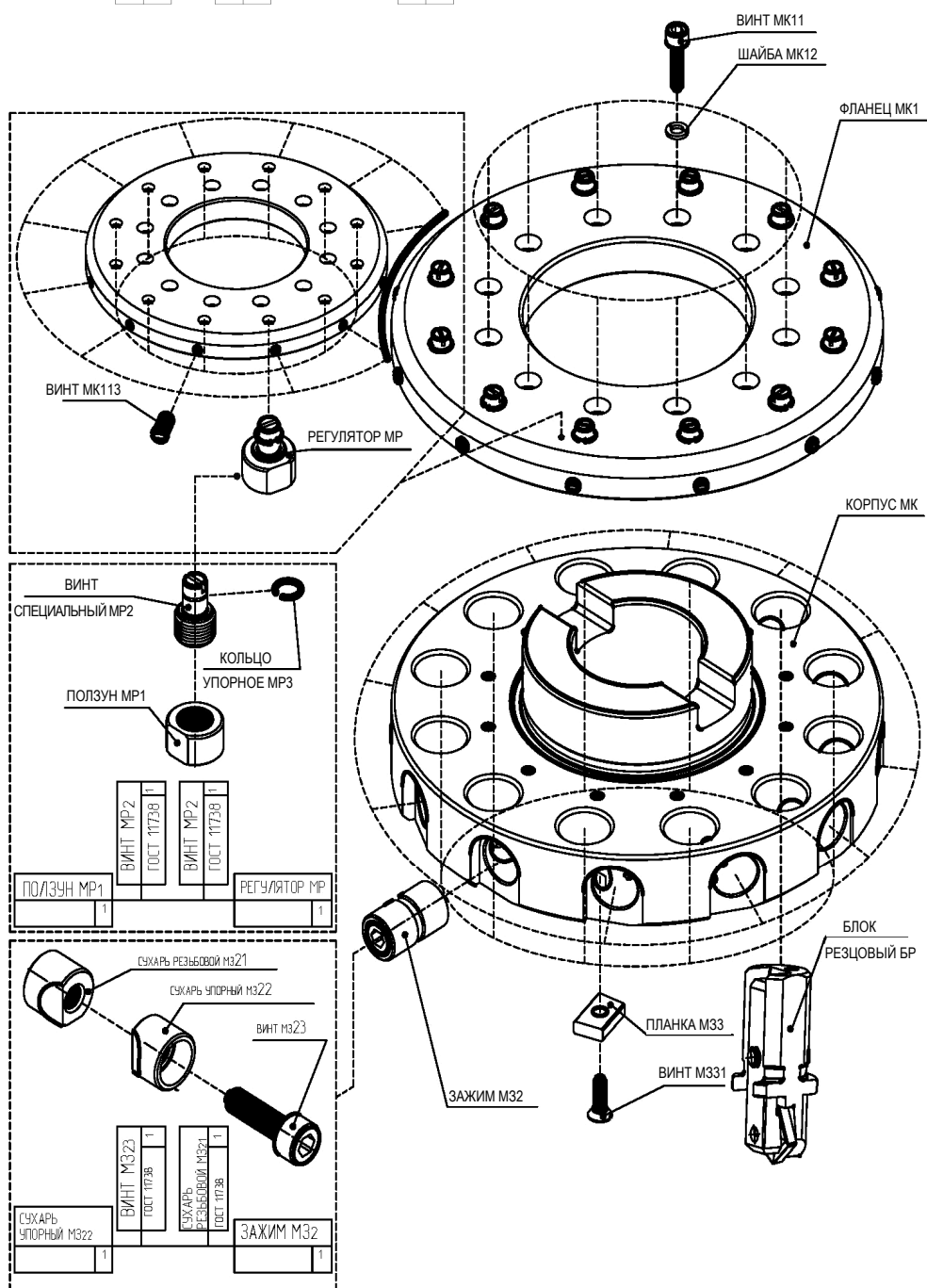


Рисунок 2. – Технологическая схема сборки фрезы торцовой

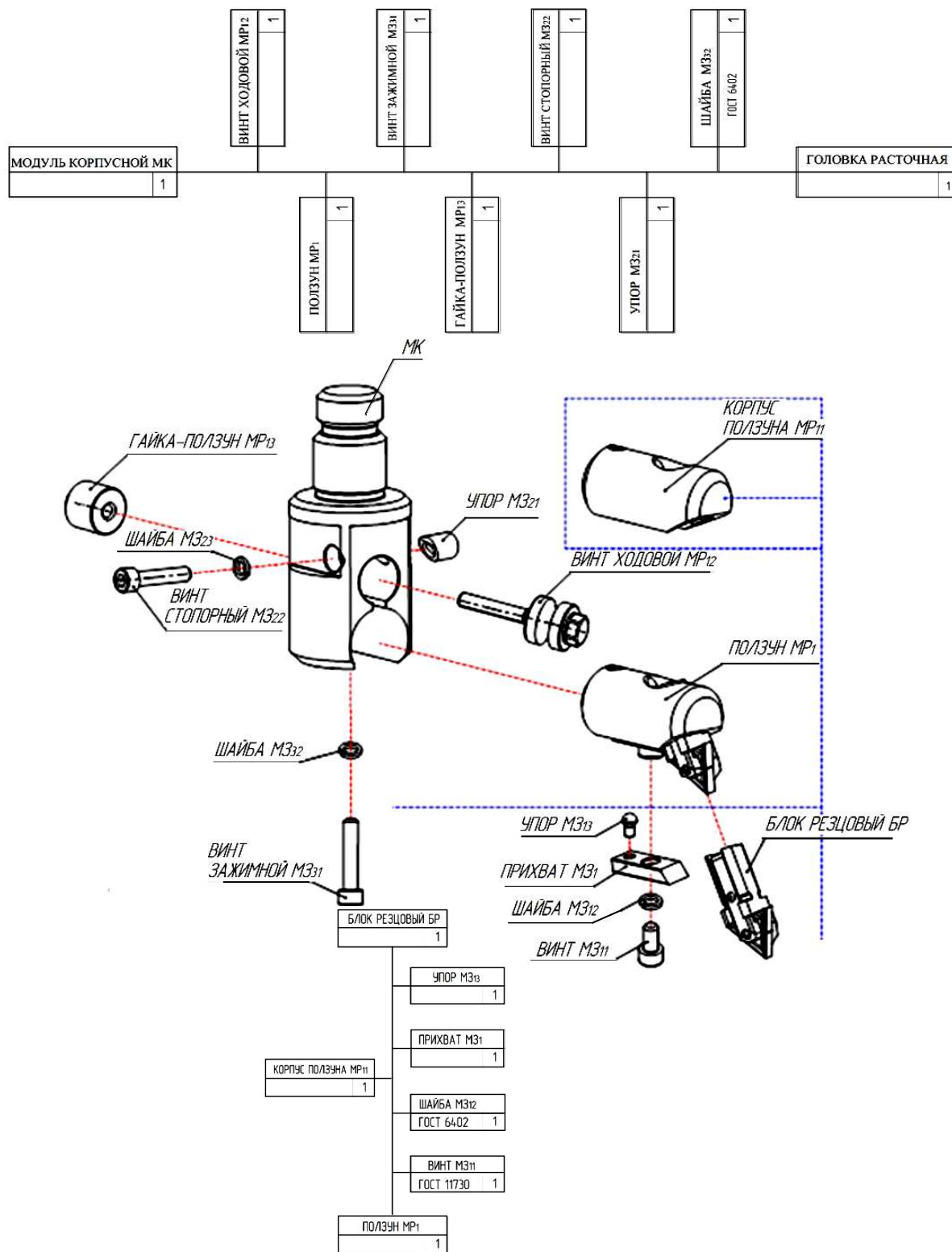


Рисунок 3. – Технологическая схема сборки головки расточной

Модель БМРИ характеризуется конструктивными, технологическими и функциональными признаками [6] и представляется в виде ориентированного графа:

$$\Gamma_1 = (X, E),$$

где  $X$  – множество вершин;  $E$  – отклонение на множестве  $X$ , которое показывает, как между собой связаны вершины.

Каждая вершина графа  $G_1$  определяет блок, модуль и конструктивный элемент или параметры блока, модуля, конструктивного элемента. Ребро  $P_1$  представляет собой подмножество вершин графа  $G_1 \subseteq X$  и одновременно  $P_1 = \{x_1, x_2, x_3\}$ ,

где  $x_1, x_2$  и  $x_3$  – соответственно блок резцовый, корпусной и зажимной модули.

В свою очередь,  $x_1, x_2, x_3$  являются множествами:

$$x_1 = \{x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1px1}\}, \dots, x_3 = \{x_{31}, x_{32}, \dots, x_{3px3}\}.$$

Здесь  $x_{11}$  – пластина режущая ПР;  $x_{12}$  – пластина опорная ПО;  $x_{13}$  – ломатель стружки ЛС;  $x_{14}, \dots, x_{1px1}$  – другие составляющие блока резцового БР, то есть  $P_{x1} = \bigcup_{i=1}^{npx1} x_{1i}$ ,  $x_{21}$  – модуль корпусной МК;  $x_{22}$  – блок рез-

цовый БР;  $x_{23}, \dots, x_{2npx2}$  – другие элементы модуля корпусного, то есть  $P_{x2} = \bigcup_{i=1}^{npx2} x_{2i}$ ;  $x_{31}$  – модуль зажим-

ной МЗ<sub>1</sub> пластины режущей ПР;  $x_{32}$  – модуль крепления пластины опорной ПО;  $x_{33}$  – модуль крепления стружколома СЛ – прихвата П;  $x_{34}$  – модуль зажимной МЗ<sub>2</sub> блока резцового;  $x_{35}$  – модуль регулировочный МР блока резцового БР;  $x_{36}$  – модуль зажимной МЗ<sub>3</sub> блочно-модульного режущего инструмента БМРИ;

другие составляющие (вершины  $x_{37}, \dots, x_{3npx3}$ ) т.е.  $P_{x3} = \bigcup_{i=1}^{npx3} x_{3i}$ .

Ребра  $Px_i, \dots, Pxn_{px1}, Px_{21}, \dots, Pxn_{px2}, Px_{31}, \dots, Pxn_{px}$  определяют область применения элементов режущей, корпусной и крепежной частей БМРИ. Например, ребро  $Px_{11} = \bigcup_{i=1}^{npx1} x_{11i}$  определяет область конструктивных элементов режущей части БМРИ:  $x_{111}$  – лезвие (ПР);  $x_{112}$  – передняя поверхность;  $x_{113}$  – задняя поверхность;  $x_{114}, \dots, x_{1npx11}$  – другие конструктивные элементы.

Модуль зажимной МЗ<sub>1</sub> пластины режущей ПР включает следующий набор элементов – вершин ребра:

$$Px_{31} = \{x_{311}, x_{312}, x_{313}, \dots, x_{314}, \dots, x_{3npx31}\},$$

$x_{311}$  – прихват-стружколом П-СЛ;  $x_{312}$  – штифт Ш;  $x_{313}$  – винт В1;  $x_{314} \dots x_{3npx31}$  – другие элементы,

то есть  $Px_{31} = \bigcup_{i=1}^{npx31} x_{31i}$ .

Аналогичным образом описываются другие конструктивные элементы: модуль корпусной МК, модуль зажимной МЗ<sub>2</sub> блока резцового БР, модуль регулировочный МР, модуль зажимной МЗ<sub>3</sub> БМРИ на станке. Каждый конструктивный элемент характеризуется определенными параметрами и угловыми размерами. На графе это изображено ребрами:

$$Px_{11}^1, \dots, Pxn_{px1}^1, Px_{21}^1, \dots, Pxn_{px2}^1, Px_{31}^1, \dots, Pxn_{px3}^1.$$

Например, лезвие (ПР) – ребро  $Px_{111}^1$  определяется радиусом округления вершины  $\rho$  (вершины  $x_{111}^1$ ), углом наклона главной режущей кромки  $\lambda$  (вершина  $x_{112}^1$ ) и другими параметрами (вершины  $x_{113}^1, \dots, x_{1npx11}^1$ ); передняя поверхность ПР (ребро  $Px_{112}^1$ ) задается передним углом  $\gamma$  (вершина  $x_{1122}^1$ ), углом фаски (вершина  $x_{1123}^1$ ), формой стружколомающих канавок (вершина  $x_{1124}^1$ ), диаметром вписанной окружности (вершина  $x_{1125}^1$ ) и другими параметрами (вершины  $x_{1126}^1, \dots, x_{1npx112}^1$ ).

Таким образом, конструкция БМРИ на уровне модулей определяется совокупностью

$$P_1 = \bigcup_{i=1}^3 x_i = \bigcup_{i=1} x_1 \bigcup_{i=1} x_2 \bigcup_{i=1} x_3 = \bigcup_{i=1}^{npx1} x_{1i} \bigcup_{i=1}^{npx2} x_{2i} \bigcup_{i=1}^{npx3} x_{3i} \quad (1)$$

и на уровне конструктивных элементов

$$P_1 = \bigcup_{i=1}^{npx11} x_{11i} \bigcup_{i=1}^{npx12} x_{12i} \dots \bigcup_{i=1}^{npxpx1} x_{px1i} \bigcup_{i=1}^{npx21} x_{21i} \bigcup_{i=1}^{npx22} x_{22i} \dots \bigcup_{i=1}^{npxpx2} x_{px2i} \bigcup_{i=1}^{npx31} x_{31i} \bigcup_{i=1}^{npx32} x_{32i} \dots \bigcup_{i=1}^{npxpx3} x_{px3i} \quad (2)$$

Разработанная модель является общей для любого типа БМРИ и позволяет: *во-первых*, разложить на модули, блоки и конструктивные элементы любую конструкцию сборного режущего инструмента с целью получения более полного представления об устройстве конструкции, *во-вторых*, построить логическую схему технического решения и оценить работоспособность режущих инструментов.

Модель представляется открытой и может совершенствоваться (пополняться) без изменений начальной структуры.

Общая структура математической модели расчета геометрических параметров БМРИ представляется в виде графа  $\Gamma_2 = (x_\Sigma, E_\Sigma)$ , каждой из вершин которого соответствует локальная трехмерная система координат какого-либо элемента инструмента, а дуги графа определяют матрицы перехода между этими системами координат. Определены следующие системы координат – вершины графа:

$xуz_{x11}$  – пластины режущей ПР;

$xуz_{x12}$  – пластины опорной ПО;

$xуz_{x13}$  – прихвата П стружколома ЛС;

$xуz_{x14}, \dots, xуz_{xnpk1}$  – других элементов режущей части;

$xуz_{x21}$  – модуля корпусного МК;

$xуz_{x22}$  – блока резцового БР;

$xуz_{x23}, \dots, xуz_{xnpk2}$  – других элементов модулей БМРИ;

$xуz_{x31}$  – модуля зажимного МЗ<sub>1</sub> пластины режущей ПР;

$xуz_{x32}$  – модуля крепления пластины опорной ПО;

$xуz_{x33}$  – модуля крепления прихвата П;

$xуz_{x33}$  – модуля зажимного МЗ<sub>2</sub> блока резцового БР;

$xуz_{x36}, \dots, xуz_{xnpk3}$  – модуля крепления других элементов режущей и крепежной частей.

На рисунке 4 представлен граф координат систем БМРИ.

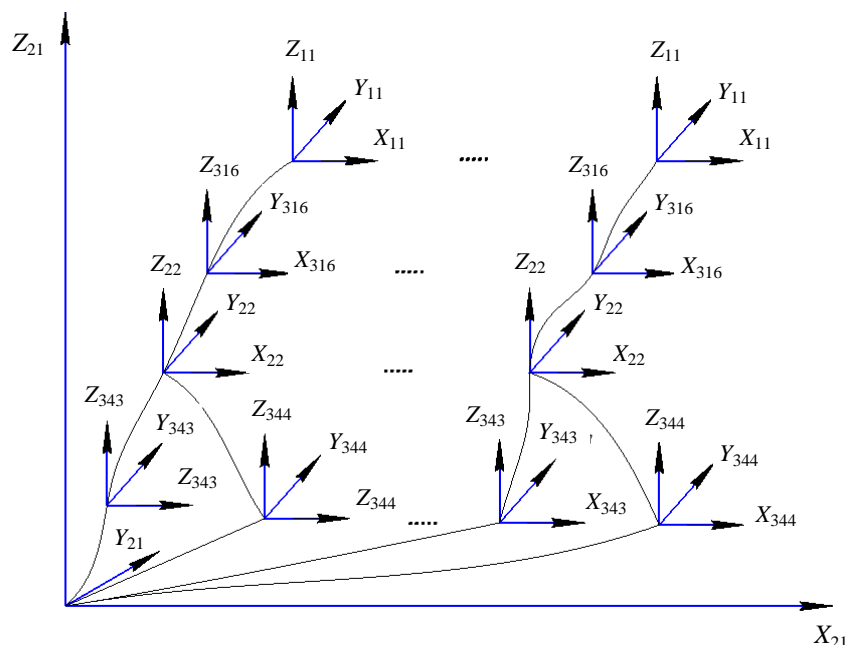
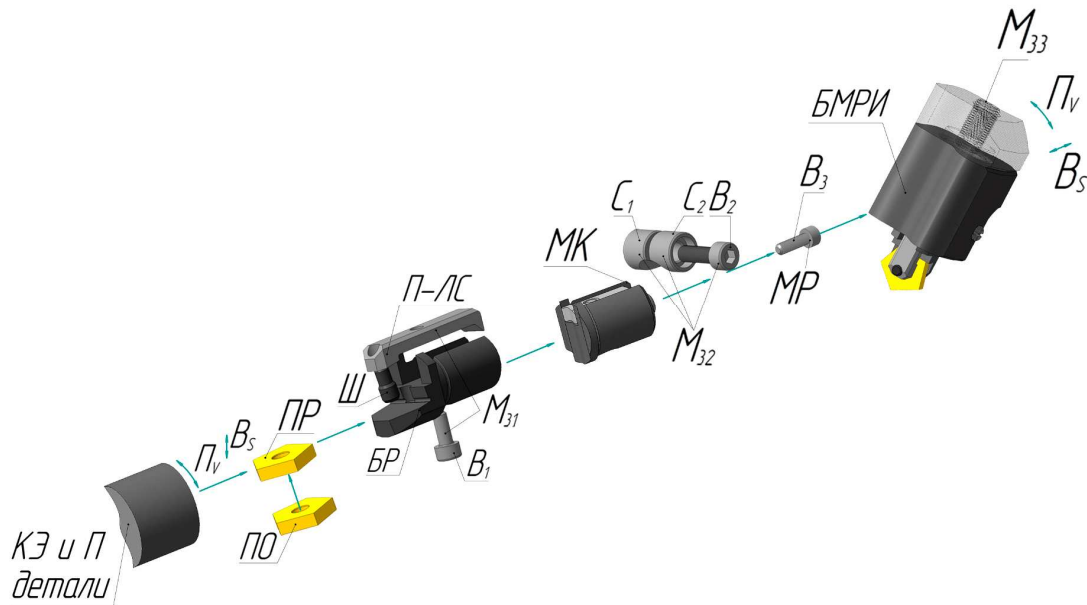


Рисунок 4. – Граф  $\Gamma_2 = (E_\Sigma)$  координатных систем элементов БМРИ

Дуги графа  $\Gamma_2 = (E_\Sigma)$  описывают связи между перечисленными системами координат с использованием матриц перехода.



**КЭ** – конструктивный элемент; **П** – поверхность;  
**П<sub>0</sub>** и **В<sub>0</sub>** – поступательное и вращательное движения детали; **ПР** – пластина режущая;  
**ПО** – пластина опорная; **БР** – блок резцовый; **Ш** – штифт; **МЗ<sub>1</sub>** – модуль зажимной **БР**;  
**П-ЛС** – прихват-ломатель стружки; **В<sub>1</sub>** – винт 1; **МК** – модуль корпусной; **МЗ<sub>2</sub>** – модуль зажимной **БР**;  
**С<sub>1</sub>** и **С<sub>2</sub>** – сухари 1 и 2; **В<sub>2</sub>** – винт 2; **МР** – модуль регулировочный; **В<sub>3</sub>** – винт 3;  
**МЗ<sub>3</sub>** модуль зажимной **БМРИ**; **БМРИ** – блочно-модульный режущий инструмент;  
**П<sub>БМРИ</sub>** и **В<sub>БМРИ</sub>** – поступательное и вращательное движения **БМРИ**

Рисунок 5. – Формирование элементов обобщенного БМРИ

Для обобщенной конструкции БМРИ на рисунке 5 матричное представление систем координат описано выражением, которое переводит координаты отсчета, заданные в следующей системе:

$$[M] = [M]_{x_{11}, x_{21}} \cdot [M]_{x_{11}, x_{22}} \cdot [M]_{x_{11}, x_{316}} \cdot [M]_{x_{11}, x_{21}} \cdot [M]_{x_{11}, x_{316}} \cdot [M]_{x_{22}, x_{21}} \times \\ \times [M]_{x_{316}, x_{22}} \cdot [M]_{x_{22}, x_{343}} \cdot [M]_{x_{22}, x_{344}} \cdot [M]_{x_{343}, x_{344}} \cdot [M]_{x_{344}, x_{21}}. \quad (3)$$

Переход одной системы координат в другую осуществляется перемножением матриц:

$$[M]_{xyz_i} - xyz_{i+1} = [Mx] \cdot [My] \cdot [Mz] \cdot [Mu], \quad (4)$$

где  $[Mx]$ ,  $[My]$ ,  $[Mz]$  – матрицы вращения координатной системы  $xyz_i$  относительно осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$  системы координат  $xyz_{i-1}$ ;  $[Mu]$  – матрица перемещений начала координат системы  $xyz_{i+1}$ .

$$[Mx] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi_x & \sin \psi_x & 0 \\ 0 & -\sin \psi_x & \cos \psi_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad [My] = \begin{bmatrix} \cos \psi_y & 0 & -\sin \psi_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \psi_y & 0 & \cos \psi_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$[Mz] = \begin{bmatrix} \cos \psi_z & \sin \psi_z & 0 & 0 \\ -\sin \psi_z & \cos \psi_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad [Mu] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\bigcup_x & -\bigcup_y & -\bigcup_z & 1 \end{bmatrix},$$

где  $\psi_x, \psi_y, \psi_z$  – углы поворота системы координат  $xyz_{i+1}$  относительно соответствующих осей координат  $xyz_i$ ;  $\bigcup_x, \bigcup_y, \bigcup_z$  – значения смещений центра системы  $xyz_{i+1}$  относительно  $xyz_i$  в направлении осей  $x, y, z$ .

Множество таких преобразований представляет модель расчета БМРИ. Система исходной информации, необходимая для проектирования обобщенной конструкции БМРИ, однозначно заданной объединениями (1), (2), представляется в виде графа  $G_3 = (x, E)$ . Ребро  $P_2$  этого графа является областью формирования исходных данных, которые разбиты на три группы. Первая группа исходных данных (ребро  $P_{21}$ ) характеризует обрабатываемый конструктивный элемент или поверхность. Ребро  $P_{22}$  объединяет группу исходных данных, характеризующую условия эксплуатации БМРИ (функциональные признаки). Третья группа исходных данных (ребро  $P_{23}$ ) относится к процессу изготовления БМРИ (технологические признаки). Параметры БМРИ представлены на графе ребром  $P_3$  (конструктивные признаки). Поступательные  $П$  и вращательные  $В$  движения заготовки и инструмента обеспечивают выбор модели вида  $OP$ .

**Заключение.** Разработанные технологические схемы сборки блока резцового, фрезы торцовой, головки расточной обеспечивают формирование баз данных по их основным конструктивным элементам для автоматизированного проектирования блочно-модульных режущих инструментов.

Предложенные модели и алгоритмы позволяют определить:

- положение и ориентацию режущих, опорных стружколомающих и других элементов режущей части относительно посадочного гнезда блока резцового и модуля корпусного;
- положение и ориентацию посадочного гнезда блока резцового или модуля корпусного относительно установочной базы корпуса инструмента;
- параметры установки модуля корпусного на станке второго порядка для изготовления пазов и отверстий под  $ПР$ ,  $ПО$  или  $БР$ ;
- взаимное расположение компонентов вне зависимости от их числа и первоначальной ориентации в местных системах координат.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Способ установки сменной режущей пластины в режущем инструменте : пат. ВУ19260 / Н.Н. Попок, В.А. Терентьев, Р.С. Хмельницкий, А.В. Сидикевич, И.Я. Сопиков ; заявка на изобретение № а 20110025 от 06.01.2011.
2. Режущий инструмент : пат. ВУ19226 / Н.Н. Попок, В.А. Терентьев, Р.С. Хмельницкий, А.В. Сидикевич, И.Я. Сопиков ; заявка на изобретение № а 20110026 от 06.01.2011.
3. Попок, Н.Н. Мобильная реорганизация машиностроительного производства / Н.Н. Попок. – Минск : Технопринт, 2001. – 396 с.
4. Таратынов, О.В. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ : учеб. пособие для вузов / О.В. Таратынов, Г.Г. Земсков, Ю.Л. Тарамыкина. – М. : Высш. шк., 1991. – 423 с.
5. Гуляев, Ю.Б. Повышение эффективности технологической подготовки производства на основе автоматизированного проектирования и выбора сборных торцовых фрез : автореф. дис. .... канд. техн. наук / Ю.Б. Гуляев. – М., 2006. – 24 с.
6. Попок, Н.Н. Обоснование классификации режущих инструментов по конструктивным, технологическим и функциональным признакам / Н.Н. Попок // Машиностроение : сб. : в 2-х т. – 2005. – Вып. 21. – Т. 1. – С. 143–150.

Поступила 02.02.2017

#### MODEL AND ALGORITHM FOR DESIGNING OF BLOCK-MODULAR CUTTING TOOLS

*N. POPOK, M. CHERNEVICH, G. GVOZD*

*The methodology, models and algorithms for creating a set of block-modular cutting tools for auxiliary and repair industries are considered. Graphs of the formation of block-modular cutting tools for various purposes are given. Generalized formulas describing any type of cutting tool are obtained. The presented theoretical approach on design of cutting tools on the basis of set theory is illustrated by technological schemes of the incisive block, end mill and boring head assembly.*

**Keywords:** *block-modular cutting tools, incisive block, technological schemes of the incisive.*