

**I**  
**PROBLEMY PROJEKTOWANIA**  
**SYSTEMÓW MONTAŻOWYCH**



**Vitalii PASICHNYK**  
**Yuliya LASHYNA**  
 Uniwersytet Techniczny  
 „Politechnika Kijowska”  
 Kijów, Ukraina

## MONTAŻOWO ZORIENTOWANE PROJEKTOWANIE Z ZASTOSOWANIEM DFA EXPERT

### ASSEMBLY-ORIENTED DESIGN USING DFA EXPERT® SOFTWARE

One of the most effective tools for reducing costs associated with assembling is currently the use of methods of improving assemblability of products based on assembly-oriented design (DFA – Design for Assembly).

The most known DFA-analysis methods are: Hitachi Assemblability Evaluation Method, Boothroyd Dewhurst System [1], Lucas DFA Technique [2]. Based on these methods, the following expert systems have been implemented: *Design for Assembly 9.2* (Boothroyd Dewhurst System) and *TeamSET Software* (Lucas DFA Technique). However, even these, universally recognized systems, are featured by a rather low automation level in particular due to the fact that almost all initial data are input by user manually.

A method of task-oriented redesigning an assembly product and DFA Expert® system implemented on its basis are presented in [3]. The use in this system of existing mathematical models of the *assembly product* (AP) [4] and assembly process allowed, further to basic analysis functions, implement integration of DFA Expert® with other product life cycle support systems.

Let us consider the use of the assembly-oriented design methodology based on the above method for the “Polimag” product (Fig. 1) manufactured by LBU-Tech Ltd.

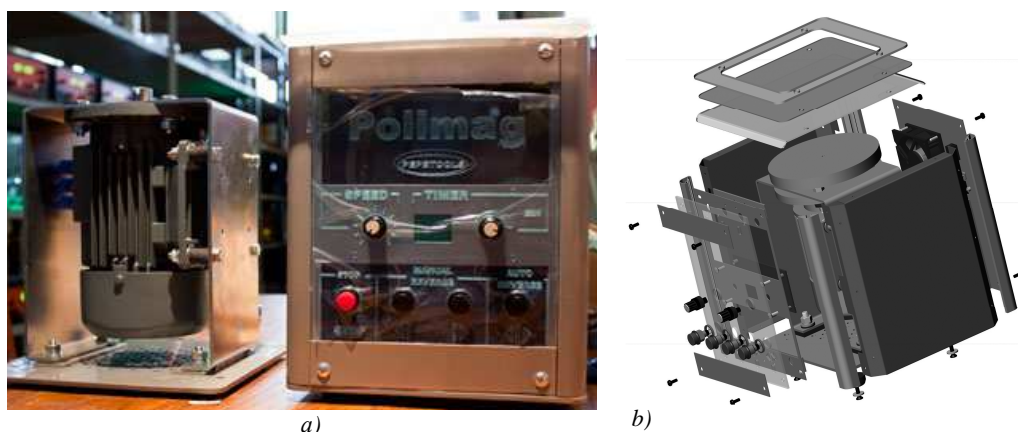


Fig. 1. Product “Polimag”: a) photograph; b) three-dimensional model

Rys. 1. Przyrząd “Polimag”; a) fotografia, b) trójwymiarowy model

The device is designed for finishing treatment of irregular shape parts by contacting with the medium in which metallic particles as free abrasive material of low concentration move under the influence of an

alternating magnetic field created by mechanical rotation of permanent magnets. Initially the design included 280 parts. Cost for manufacturing of such parts UAH 1,191 (~\$150). The product design was analyzed at the factory with the aim to reduce manufacturing cost due to the assembly-oriented design.

The analysis included six stages.

At the **first stage**, the existing (base) *Design and Manufacturing Concept* (DMC) [3] was formally described and initial data were prepared.

Formation of the *design* information  $DMC_0^D$  was started from creation of a 3D-model of the product (Fig. 1,b) based on which the data of decomposition, overall dimensions of parts, weight, materials were obtained. Information on physical properties, i.e. fragility, elasticity, etc. is determined by the user manually.

Formation of the *technological* information  $DMC_0^M$  was started from importing data from the 3D-model to the assembly sequence synthesis module. Then a model of *binary relations of movement restriction* (BRMR) was synthesized [4], *assembly sequence* (AS) was generated [5] and results were registered in a text file.

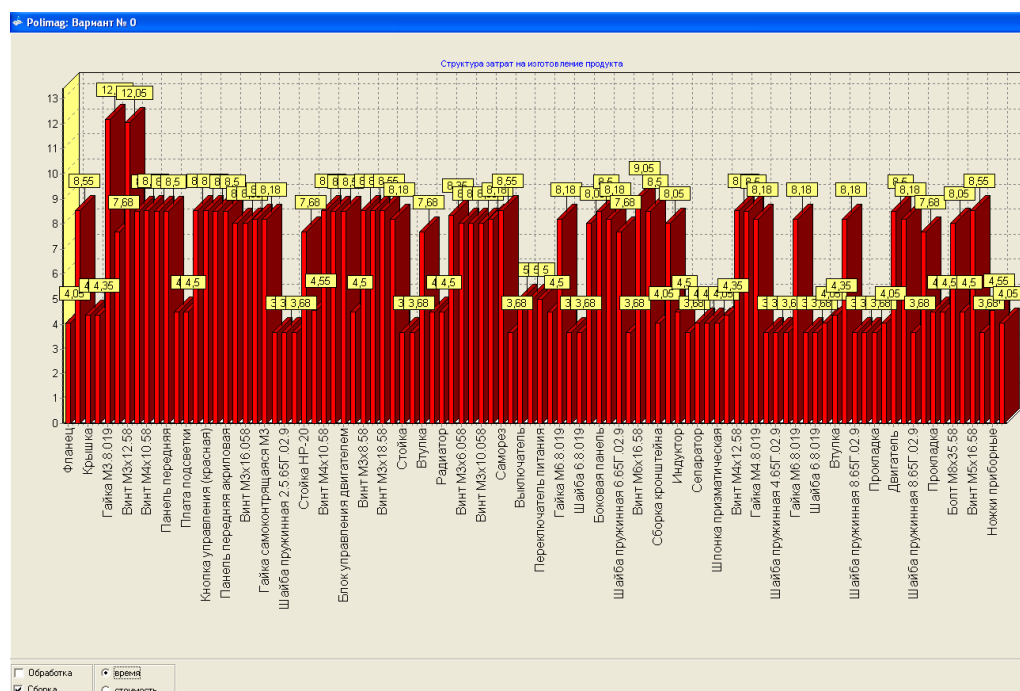
Formation of the *economic* information  $DMC_0^E$  was started by importing the text file to the DFA Expert<sup>®</sup> environment [3]. Then the information on the product part manufacturing cost was input to the system. All this allowed to link together engineering, technological and economic data, i.e. base  $DTS_0$  was formed (Fig. 2).

N	Структура	Шифр	Колво	С. сум	С. сб	С. уст	С. изг.
0	Polimag	THTX.33...	1	1427,28	236,24	0,00	1191,00
1	Фланец	084	1	1,090	0,000	0,450	0,640
2	Винт M4x12.58	ГОСТ 174...	4	3,960	0,000	0,950	0,040
3	Крышка	083	1	12,483	0,000	0,483	12,000
4	Крышка	076	1	19,083	0,000	0,483	18,600
5	Гайка M3.8.019	ГОСТ 592...	12	16,840	0,000	1,353	0,050
6	Шайба стопорная 3.65...	ГОСТ 104...	12	10,720	0,000	0,853	0,040
7	Винт M3x12.58	ГОСТ 174...	12	16,427	0,000	1,339	0,030
8	Стойка корпуса	063	4	23,778	0,000	0,944	5,000
9	Винт M4x10.58	ГОСТ 174...	4	3,960	0,000	0,950	0,040
10	Накладка	057	2	5,689	0,000	0,944	1,900
11	Панель передняя	054СБ	1	206,977	32,582	0,944	173,450
12	Плата управления	103СБ	1	96,500	0,000	0,500	96,000
13	Плата подсветки	104 СБ	2	31,000	0,000	0,500	15,000
14	Кнопка управлени...	106-001 СБ	3	13,950	0,000	0,950	3,700
15	Кнопка управлени...	106-002 СБ	1	4,650	0,000	0,950	3,700

Fig. 2. Representation of AP "Polimag" in DFA Expert

Rys. 2. Widok montowanego wyrobu "Polimag" w środowisku DFA Expert

Analysis of joints and assembly cost determination in the DFA Expert environment showed that direct cost for assembly processes amount to UAH 236 (~\$30), i.e. 19.8% of the total direct costs. By investigating the structure of costs it was determined that the most labor-intensive in terms of assembly are processes of case base installation and making threaded connections (Fig. 3).

Fig. 3. Distribution of operating time for assembly  $DMC_0$ Rys. 3. Struktura nakładów czasowych na montaż ( $KTP_0$  – konstrukcyjno-technologiczne rozwiązanie)  $KTP_0$ 

At the **second stage**, DFA-analysis of  $DMC_j$  alternative was made. For this purpose, possibilities to reduce the number of AP parts were identified. It is known, that in terms of assembly, the ideal case is when all parts of an assembly product  $A$  are integrated into one part. There are, however, some restrictions of the integration process of the functional and technological nature [6]. To account for such restrictions formally, a procedure was used for searching groups of parts which may be integrated with regard to all restrictions.

AP kinematics analysis and division of the set of all AP parts into subsets representing kinematic chains showed that the set of all parts can be divided into two subsets: 1 – motor shaft, key, *assembly unit* (AU) “Inductor”; 2 – all other parts.

After that all parts requiring regular replacement or adjustment were excluded from consideration. The requirement to ensure easy access to assembly units “Illumination board”, “Control board”, “Controller board”, “Power module board” was established by the customer and in this case is a restriction related to the device operation. The said assembly units as well as handles, power and voltage switching connectors shall be made as separate subassemblies.

By analyzing part materials it was found that parts located above the AU “Inductor” shall be made of a magnetically permeable material; front panel of the device shall be made of a transparent material to ensure smart backlighting.

At the **third stage**, modifications to the device design were made.

In order to make decision on whether to modify the AP, basic information for a new  $DMC_{0.1}$  was created. New design of the “Bracket” part was proposed allowing to make connection of the AP “Illumination board”, “Control board”, “Controller board”, “Power module board” without thread joints while keeping easy access during operation.

New design of the “Cover” part was proposed: to be made of acryl thus corresponding to magnetic permeability restriction. It was also offered to replace metallic straps for blanking individual parts of the front panel with film coating.

At the **fourth stage**, description of  $DMC_{0.1}$  was formalized. This stage differs from stage 1 only in that a portion of information is inherited from the parent  $DMC$ .

By carrying out the **fifth stage** implying comparative analysis of  $DMC_0$  and  $DMC_{0.1}$  it was decided at the **sixth stage** to perform one more analysis iteration with the parent element  $DMC_{0.1}$ .

At the **second stage** of the second iteration no solution on the reduction of the number of parts of  $DMC_{0.1}$  was found, thus analysis of design and connections was made.

Based on the analysis of the connection design, screw fastening of power and voltage switching connectors was substituted for a more practically feasible one in terms of assembly, flexible element fastening, screw fastening of the AP “Front panel” and “Back panel” was substituted for a more practically feasible fastening with the use of rivet joints.

By performing the **third stage**,  $DMC_{0.1.1}$  (Fig. 4) with 151 components was obtained. For  $DMC_{0.1.1}$ , the **fourth stage** was carried out that resulted in supplementing design component, and technological and economic components were formed.

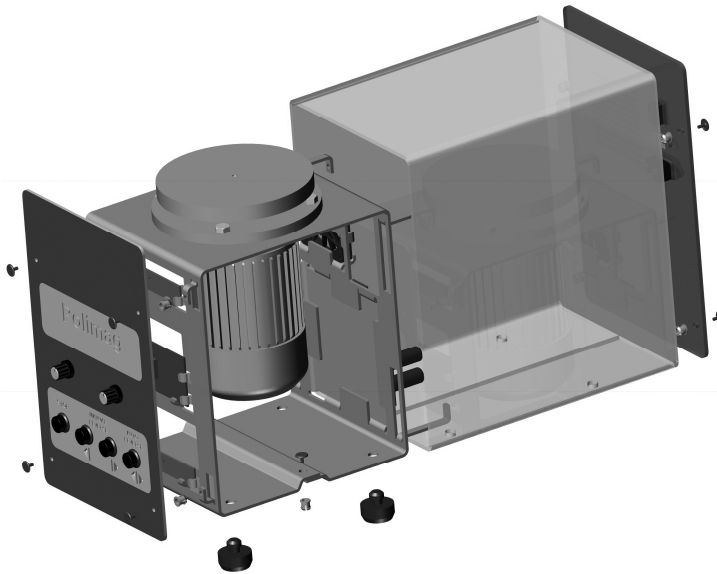


Fig. 4.  $DMC_{0.1.1}$  of AP “Polimag”

Rys. 4.  $KTP_{0.1.1}$  montowanego wyrobu „Polimag”

At the **fifth stage**, comparative analysis of  $DMC_0$  and  $DMC_{0.1.1}$  design alternatives was made (Fig. 5).

At the **sixth stage** it was decided whether to make modifications. New design alternative for the “Polimag” AP, the number of parts was 151. Assembly cost and total manufacturing cost of  $DMC_{0.1.1}$  were reduced by UAH 143 per unit (~\$18) and UAH 212 per unit (~\$27) respectively. According to the DMC comparison report, the repeated design resulted in the reduction (Fig. 6) of the number of parts by 46.1%, of the time and cost for assembly, by 60.7%, cost for manufacturing of parts, by 5.8%, total AP manufacturing costs, by 14.9%.

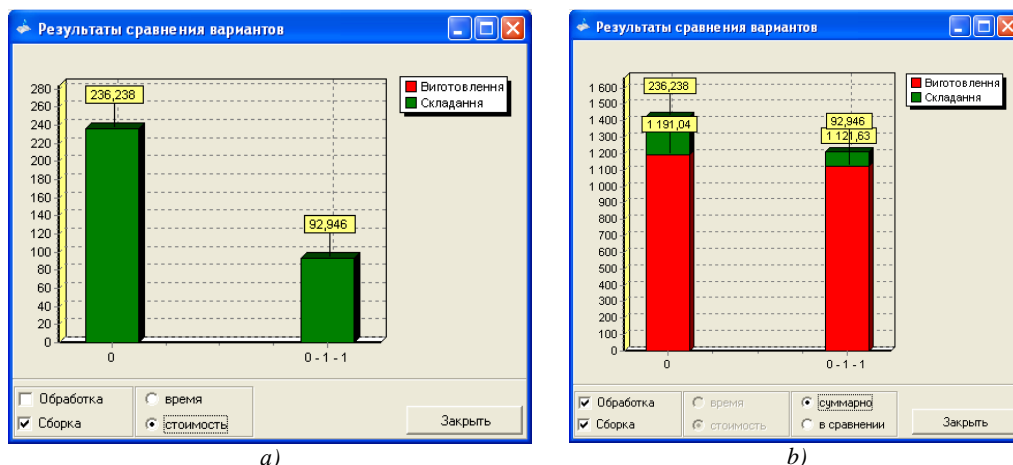


Fig. 5. Results of comparative analysis of the manufacturing costs (a) and the total assembly and manufacturing costs (b) for  $DMC_0$  and  $DMC_{0-1-1}$

Rys. 5. Wyniki porównania  $KTP_0$  i  $KTP_{0-1-1}$ ; a) porównanie kosztów montażu; b) porównanie łącznych kosztów wytwarzania i montażu

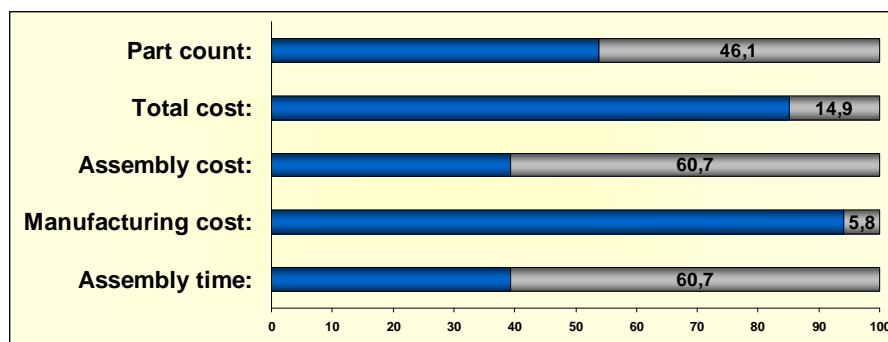


Fig. 6. A diagram of an effectiveness of the  $DMC_{0-1-1}$

Rys. 6. Wykres efektywności nowego projektu

## CONCLUSIONS

DFA Expert<sup>®</sup> software presented in this paper is an efficient design support tool in assembly-oriented design of a product enabling to assess new Design and Manufacturing Concept both in terms of assembly processes and manufacturing processes.

The proposed method proved its efficiency in the LBU-Tech company in engineering a new design of the "Polimag" product. Estimated saving due to implementation of the new design is UAH 212,000 (~\$27,000).

## REFERENCES

1. Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston Anthony Knight. Product design for manufacture and assembly. 2nd ed. ISBN 10: 082470584X, CRC Press Taylor & Francis Group, 2001
2. Lucas Engineering Systems Ltd., University Of Hull, Design For Assembly / Manufacture Analysis Practitioners Manual, Version 10.5, CSC Manufacturing, Solihull, UK, 1995.
3. Пасечник В. А. Анализ и усовершенствование конструкций изделий с использованием программного обеспечения «DFA Expert» / В.А. Пасечник, Ю.В. Лашина // Połączenia montażowe. – 2010. – z. 79. – P.17–25
4. Пасічник В. А. Принципи формування математичної моделі складальної одиниці в виді бінарних відношень обмежень рухливості / В. А. Пасічник, В. М. Кореньков // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. тр XV межд. науч. техн. конф., В 4-х томах. – Донецк : ДонНТУ, 2008. Т. 3. – С. 64–70.
5. Кореньков В.Н. Автоматизированный синтез множества технологически целесообразных последовательностей сборки изделий машиностроения / В.Н. Кореньков, В.А. Пасечник, А.А. Субин // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки / Хмельницький, 2010. – № 1 (144). С. 20-24
6. Лашина Ю. В. Формалізація обмежень на інтеграцію деталей в складальному виробі / Ю. В. Лашина, В. А. Пасічник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ. – 2010. – №26 – С.177–182.

## ASSEMBLY-ORIENTED DESIGN USING DFA EXPERT® SOFTWARE

**Abstract.** *This paper presents the method of assembly-oriented design with the use of DFA Expert computer software. The use of this method for analysis and redesign of the assembly product “Polimag” allowed to reduce the number of parts almost by half and to cut the estimated production cost appreciably.*



Vitalii PASICHNYK  
Vladimir KORENKOV  
Uniwersytet Techniczny  
„Politechnika Kijowska”  
Kijów, Ukraina

## MATEMATYCZNE MODELE I PROCEDURY W ZADANIACH ANALIZY I SYNTEZY PROCESÓW MONTAŻU

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ПРОЦЕДУРЫ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

В статье представлена реализация перспективной модели компьютерно-интегрированного производства для условий гибкого сборочного производства базирующаяся на взаимосвязанных моделях объекта сборки, процесса проектирования технологии и модели производства.

**Математическая модель сборочного изделия (СИ).** При информационной поддержке жизненного цикла СИ возникает целый ряд задач, решение которых базируется на анализе определенных свойств конструкции самого изделия. Поэтому понятно желание создать единую, универсальную по форме представления математическую модель, пригодную для решения большинства задач (в пределах рассматриваемой теории). В этих задачах имеют место несколько сущностей, и ключевую роль играет понятие связи между ними. Разумеется, в качестве сущностей выступают свойства реальных объектов (например, деталей изделия, технологической оснастки, оборудования и т.п.), а связи – своего рода ассоциация между отдельными свойствами упоминаемых объектов. В математике такие связи принято называть отношениями и представлять в виде декартова произведения множеств. Например, если под объектами понимать детали конструкции, то отношением (скажем, свойство "наличие контакта") является подмножество упорядоченных пар  $R \subset A_1 \times A_2 \times \dots$ , где  $a_i \in A_i$ ,  $a_j \in A_j$  и т. д. – номера деталей изделия.

Относительно степени отношения. Если  $n$  – общее количество деталей, то, конечно, должна выполняться равенство  $A_1 \equiv A_2 \equiv \dots \equiv A_n \equiv A$ . Однако рассматривать  $R \subset A_n$  не целесообразно, поскольку любой процесс сборки можно свести к поддетальному (установка по одной детали на каждой операции). Это позволяет сделать вывод, что основное свойство такого представления – „ $a_i$  следует за  $a_j$ ” – характеризует связь между парой деталей, т.е. бинарное отношение  $R \subset A^2 = A \times A$ .

Собственно, для теоретического рассмотрения математической модели сборочного изделия достаточным является ее описание в терминах теории множеств. Однако практическая реализация в САПР требует от разработчиков математического обеспечения подробной формы представления данных. Известно [1], что графическим изображением бинарного отношения является граф (рис. 1, а).

На сегодняшний день программное обеспечение, которое работает с подобным видом информации – объектными моделями на основе языка UML (англ. – *Unified Modeling Language*) активно развивается. Пока что это развитие идет в направлении управленческих и экономических моделей, но можно надеяться, что в будущем речь графического описания объектных моделей займет ведущее место. Одной из самых распространенных является табличная форма представления отношений (рис. 1, б). В случае бинарных отношений – это обычная квадратная таблица, в случае  $n$ -арных – множество связанных таблиц (вроде реляционных баз данных). Табличная форма удобна тем, что выполнение  $a_i R a_j$  обозначается наличием переменной  $e_{ij}$  с помощью которой можно количественно охарактеризовать свойство отношения (например, величину зазора при наличии соединения).

Реже используются формы представления отношений в виде перечня дуг (рис. 1, в) и фактор-множеств (рис. 1, з). С точки зрения программирования – это обычные списки. Для решения поставленной задачи такое представление малоинформативно и достаточно неудобно в использовании.

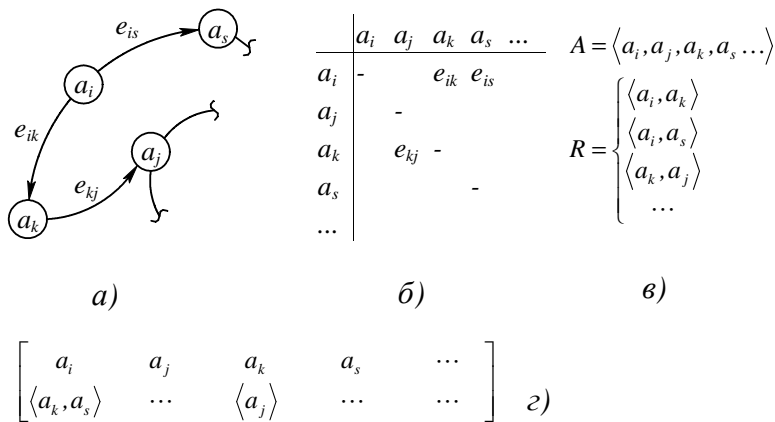


Рис. 1. Формы представления отношений

Rys. 1. Sposób prezentacji zależności

Логичным есть вопрос относительно содержания или семантики отношения. Выше уже упоминались два свойства: контакт и следования. Однако при автоматизированном проектировании основной исходной информацией является геометрическая информация о топологии поверхностей деталей, которая может быть получена из CAD, и свойство следования, которая не присутствует в 3D-моделях в явном виде. Поэтому свойство ограничения перемещения (подвижности), на основе которой будет делаться вывод об очередности установки деталей, должна быть формальной. Итак, в дальнейшем, выражение  $\langle a_i, a_j \rangle \in R$  будет означать, что высказывание „деталь  $a_i$  ограничивает возможное перемещение  $a_j$ ” – истинное.

Способы проверки условий доступа является своего рода инструментом для формирования математического представления геометрической составляющей  $P$  модели СВ. Обычно этот относится к задачам систем компьютерной поддержки производства.

Математическое представление параметров пространственного положения деталей достаточно разнообразно, однако их общей особенностью является то, что они учитывают только свойства конкретной конструкции.

Предлагается [2] математическую модель СВ представить как сочетание функций:

- $F_G: R \times T \rightarrow \Theta$  – деталь  $a_i$  ограничивает возможное перемещение  $a_j$  по траектории  $t \in T$  на расстоянии  $\theta \in \Theta$  (здесь под  $t$  следует понимать произвольную кривую, как простейший и самый частый случай – поступательное перемещение вдоль координатного направления или поворот вокруг оси);
- $F_P: R \times H \rightarrow \Omega$  – соединение  $a_i$  и  $a_j$  принадлежит определенному типу соединений  $H$  с известной характеристикой  $\omega \in \Omega$ ;
- $F_E: R \times O \rightarrow Z$  – соединение  $a_i$  и  $a_j$  может быть получено на оборудовании  $o \in O$  с физическим (технологическим) принципами функционирования  $\zeta \in Z$ .

Функция  $F_G$  устанавливает соответствие между множествами деталей и траекторий перемещений. В общем случае это  $n$ -арное отношение, поскольку траекторий может быть множество.

Обычно множество  $T$  содержит до 6 элементов, которым отвечать 6 матриц перемещений и поворотов:  $M_x, M_y, \dots, R_z$ . Важно, что эти матрицы можно сформировать не вручную, что является непродуктивным и может содержать большое количество ошибок, а автоматически через анализ трехмерной модели, созданной в CAD [3, 4], с обеспечением их полной информативности. Рисунок 2 иллюстрирует выявление ограничений перемещения деталей в СЕ.

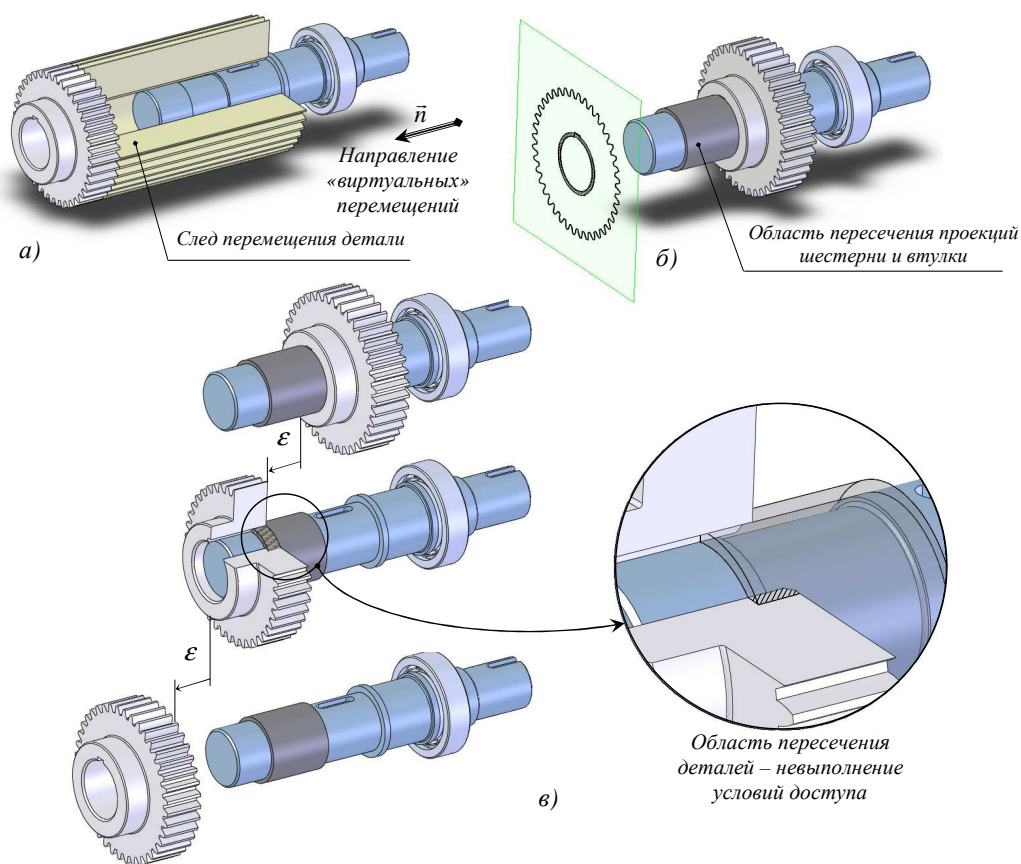


Рис. 2. Возникновение и выявление ограничений подвижности деталей в СЕ

Rys. 2. Tworzenie i identyfikacja ograniczeń przemieszczania części w jednostce montażowej (zespole)

Для общего анализа достаточно иметь значение  $\theta \in \Theta$  функции  $F_G$  как логическое значение наличия или отсутствия того или иного свойства. Для более детального анализа, в частности для размерного анализа, можно под значением  $\theta$  понимать размерную информацию.

Содержание функции  $F_P$  должно отражать, в первую очередь, физический принцип функционирования соединения и, во вторую очередь, подчиненно – конструктивное исполнение соединения. Такая постановка объясняется тем, что физический принцип функционирования

соединения, как правило, является неизменным, в то время когда конструктивная реализация соединения в процессе конструирования и отработки конструкции СИ на технологичность может подвергаться существенным изменениям.

Содержание функции  $F_E$  должно содержать, в первую очередь, физический или технологический принцип (набор принципов) реализации соединения и, во вторую очередь, подчиненно – технологическое оборудование, реализующее этот принцип.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Манипулирование с моделями изделий – прерогатива математических моделей процесса проектирования технологии. Это наименее формализованная составляющая всего процесса проектирования, поскольку она в определенной степени должна воспроизводить мышление человека. Здесь достаточно хорошо применим системный подход. Так, например, процесс синтеза технологического процесса сборки (ТПС) может быть унифицирован и сведен к нескольким типовым подпроцессам дальнейшей проработки принимаемых решений [5]. Иначе говоря, процесс  $\Pi$  проектирования маршрутного ТПС возможно представить как реализацию последовательности подпроцессов  $\Pi_i$ , на каждом из которых автономно решается ряд задач:

$$\Pi \rightarrow \bigcup_{i=1}^k \Pi_i \rightarrow \begin{cases} \bigcup_{j=1}^f \text{Pr}_j^1(Q, M_j) \rightarrow G \\ \bigcup_{t=1}^n \text{Pr}_t^2(G, D, W_t) \rightarrow R \end{cases}$$

Согласно данному утверждению, каждый подпроцесс  $\Pi_i$  представляет собой  $i$ -й уровень проектирования, на котором выполняются процедуры  $\text{Pr}_j^1$  синтеза проектных решений. Результатом выполнения  $\Pi_1 \dots \Pi_k$  будет множество  $G$  всех допустимых решений. Данное множество содержит только часть  $R \subseteq G$  доминирующих вариантов, а поэтому для недопустимости синтеза  $R \cap G$  заведомо неперспективных вариантов на каждом уровне проектирования вводятся процедуры  $\text{Pr}_t^2$  анализа и оценки проектных решений. Процедуры  $\text{Pr}_j^1$  выполняются над объектом моделирования  $Q$  на основе множества правил  $M_j$ , а  $\text{Pr}_t^2$  – на основе исходных данных  $D$  и набора ограничений  $W_t$ .

Согласно сказанному, можно выделить следующие подпроцессы автоматизированного проектирования ТПС (рис. 3).

Подпроцессы  $\Pi_1 \dots \Pi_3$  соответствуют традиционному проектированию, при котором предварительно из состава изделия выделяются технологически независимые части, для которых затем проектируются отдельные ТПС. Такой подход позволяет рассматривать ТПС изделия как совокупность процессов сборки отдельных его элементов, а количество итераций выполнения  $\Pi_1 \dots \Pi_3$  равно количеству структурных элементов, входящих в состав изделия. Данная особенность технологии сборки позволяет ограничиться разработкой алгоритмов проектирования только для одного отдельного элемента, чем обеспечивается универсальность алгоритмического процесса относительно сложной структуры изделия.

Для математического описания подпроцессов, существуют два пути:

- *вероятностный* – позволяет с помощью сравнительно простых проектных процедур и с минимальной трудоемкостью вычислений получить приемлемые результаты, однако не дает гарантии того, что определенные порядки составления являются лучшими на множестве всех возможных альтернатив;
- *логический* – базируется на формализованных методах решения технологических задач, чем

обеспечивает предсказуемость результатов (обоснованность проектных решений). Однако из-за необходимости анализа полного пространства решений задачи, длительность расчетов при современном уровне развития вычислительной техники даже для несложных изделий может быть значительной.

С точки зрения технологии сборки, функция  $F_G$  несет информацию о геометрической замкнутости объектов, то есть они показывают, какие элементы конструкции препятствуют перемещению  $i$ -й детали по той или иной траектории.



Рис. 3. Структура процесса синтеза маршрутных ТПС изделий

Rys. 3. Struktura procesu syntezy marszrut procesu montażu wyrobu

На основе данного свойства в [6, 7] был предложен метод автоматизированного синтеза последовательностей сборки, получивший название "обратного". Его основным преимуществом стала линейная зависимость количества арифметических операций от числа деталей изделия. Это одна из важнейших особенностей, что позволяет анализировать конструкции практически любой сложности (в сравнение, другие известные методы синтеза позволяют рассматривать сборку до 15÷20 деталей, поскольку сложность вычислительной задачи для них степенной зависимостью от  $n$ ).

Идея определения технически допустимой ПС состоит в том, что для СИ, который является иерархическим структурированным объектом с вложенным друг в друга сборочными единицами (СЕ), сначала моделируется процесс их разборки, при котором гарантированно выполняются все условия доступа деталей в зону сборки, после чего инвертированием может быть получена последовательность сборки (рис. 4).

Отметим, что информации только о факте ограничения возможного перемещения деталей недостаточно для выявления самых сборочных единиц, поэтому возникает необходимость в использовании функции  $F_p$ . Окрім наявності контакту дана функція ставить у відповідність парі деталей певний тип з'єднання. С точки зрения технической реализации – это совершенно разные соединения (резьбовые, пресовые, сварные и т.д.), однако с точки зрения их представления в математической модели, все они имеют одно общее свойство – это *соединения, обеспечивающие нераспадемость* (СОН) структурной единицы [8]. Одно такое соединение, а также детали, установка которых предшествует его образованию, определяют элементарную сборочную единицу (рис. 4, а). Комбинируя между собой такого рода "кирпичики" можно создавать любую из технически возможных СИ (рис. 5, б), т.е. разделять всю конструкцию на целостные сборки по технологическим принципам (например, время сборки, количеством деталей и т.д.).

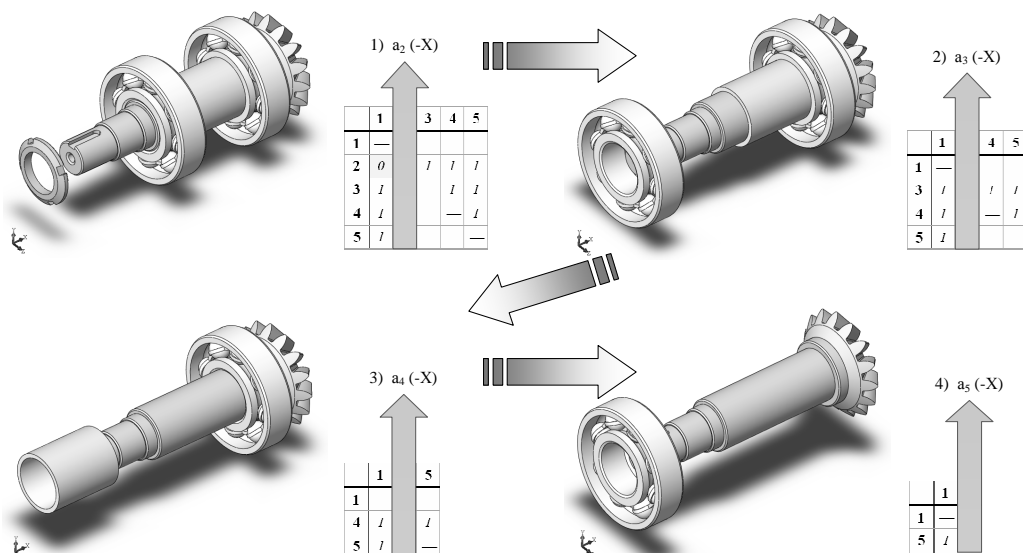


Рис. 4. Применение "обратного" синтеза для разборки-сборки:

разборка:  $a_2 (-X) \blacktriangleright a_3 (-X) \blacktriangleright a_4 (-X) \blacktriangleright a_5 (-X) \blacktriangleright a_1$ ;

сборка:  $a_1 \blacktriangleleft a_5 (+X) \blacktriangleleft a_4 (+X) \blacktriangleleft a_3 (+X) \blacktriangleleft a_2 (+X)$

Rys. 4. Zastosowanie „odwrotnej” syntezy dla demontażu-montażu:

$a_2 (-X) \blacktriangleright a_3 (-X) \blacktriangleright a_4 (-X) \blacktriangleright a_5 (-X) \blacktriangleright a_1$ ;

montaż:  $a_1 \blacktriangleleft a_5 (+X) \blacktriangleleft a_4 (+X) \blacktriangleleft a_3 (+X) \blacktriangleleft a_2 (+X)$

Начиная с модели СИ разработка технологии должна выполняться САМ системой. К сожалению, сейчас в этих системах последовательность выполнения операций задается человеком вручную, то есть, разрывается связь CAD $\leftrightarrow$ CAM. В эту цепочку вмешивается технолог, обычно приводит не только к увеличению времени проектных работ, но и самое главное к ухудшению качества проектных решений за невозможности оценки их полного множества и выбора наилучшего варианта, а также обычных ошибок. Именно поэтому системы для решения слабо формализованных технологических задач выделено в отдельную группу: CAPP – системы компьютерного проектирования технологических процессов в технологической подготовке производства.

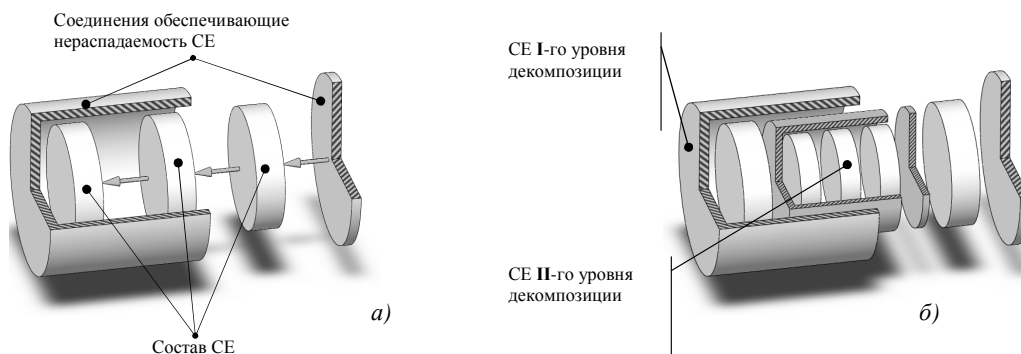


Рис. 5. Схематическое изображение структурных элементов изделия:  
а – одноуровневая SE; б – двухуровневая SE

Rys. 5. Schematyczne przedstawienie strukturalnych elementów wyrobu:  
a) jednopoziomowa jednostka montażowa, b) dwupoziomowa jednostka

Конечный результат проектирования здесь довольно часто представляется в виде графов (или таких, которые могут быть сведены к графам) – своего рода аналогов традиционных схем сборки. Однако до сих пор не решены вопросы автоматизированного ввода и обработки информации технологического содержания (ресурсы и время). Например, остро стоят вопросы автоматизированного выбора технических средств; почти отсутствуют связи между теоретическими моделями технологических процессов сборки и полученными из опытов моделями отдельных подпроцессов ориентирования или соединения деталей. Ввиду этого, модели технологии носят главным образом табличный характер (рис. 6).

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНОСБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сегодня наиболее востребованы САПР для экспресс-анализа и оценки стоимости и сроков выполнения заказа. Развитие такого рода программных продуктов возможен лишь на основе *математических моделей производства*. Разработанные модели производства предназначены, в основном, для решения задач организации и планирования, в качестве исходных данных опираются на информацию о технологии изготовления изделий. Как следствие, недостаточная формализация технологических знаний оказывается единственным звеном, которое разрывает целостную информационную цепочку между подготовкой производства, с одной стороны, и планированием и управлением, с другой.

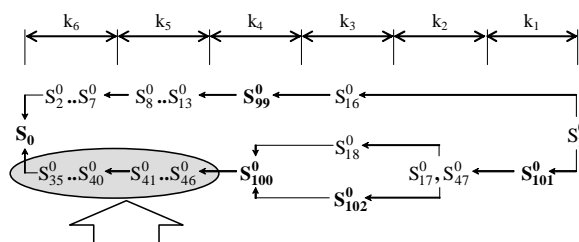
Вопросы планирования и управления производством отошли в разряд чисто математических, что позволило менеджерам проводить эксперименты с различными сценариями, разрабатывать долгосрочной стратегии, выполнять анализ и уменьшать риски. Планирование, координация

трудовых, финансовых и материально-технических ресурсов выполняется на протяжении всего проекта и позволяет автоматически формировать заказы, резервировать необходимые материалы, автоматически контролировать доступность финансовых средств, возможностей или материалов, необходимых для изготовления изделия.

Рассмотренные ранее методы позволяют получить любую технически допустимую последовательность сборки. Однако в их основу положены лишь геометрические и физические принципы построения объектов и, как следствие, количество таких последовательностей будет хотя и конечным, однако слишком большим, чтобы быть пригодной для анализа. Поэтому возникает необходимость введения ограничений технологического характера [9]. Все эти ограничения являются эмпирическими и позволяют свести окончательное число до нескольких вариантов сборки. За выполнение этой задачи отвечает функция  $F_E$ .

Структура взаимодействия элементов производства, интегрированная с гибкой технологией составления приведена на рис. 7.

Представление последовательности сборки изделия  $S_b$  в виде графа. Осуществима за  $k=6$  шагов (символом  $S_i^j$  обозначено  $i$ -й сборочный элемент, принадлежащий  $j$ -й СЕ)



Модель выполнения процесса соединения (установки элемента) задается в виде декартова произведения  $T \times F$ , где  $T = \{\tau_1, \dots, \tau_k\}$  – множество технологических операторов, характеризующих процесс производства (операции, переходы);  $F$  – понятие «контура» как совокупности свойств определенного назначения в изделии или технологической системе.

Для описания технологической системы  $S$  в целом, вводится множество операторов  $\Pi = \{\pi_1, \dots, \pi_j\}$ , характеризующих материальные объекты (оборудование, инструмент, оснастку и т.п.). В таком случае:  $S = T \cup \Pi$

Матрица контуров:

$F_1$  – отверстия;  $F_2$  – положения болта;  $F_3$  – положения шайбы;  $F_4$  – положения гайки

	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
$\tau_1$ – сверление	•			
$\tau_2$ – зенкерование	•			
$\tau_3$ – снятие фаски	•			
$\tau_4$ – установка болта		•		
$\tau_5$ – установка шайбы			•	
$\tau_6$ – установка гайки				•
$\tau_7$ – кернение				•
$\pi_8$ – сверло	•			
$\pi_9$ – зенкер	•			
$\pi_{10}$ – сверло	•			
$\pi_{11}$ – инструмент для установки болта		•		
$\pi_{12}$ – инструмент для установки гайки				•
$\pi_{13}$ – инструмент для выполнения операции кернения				•

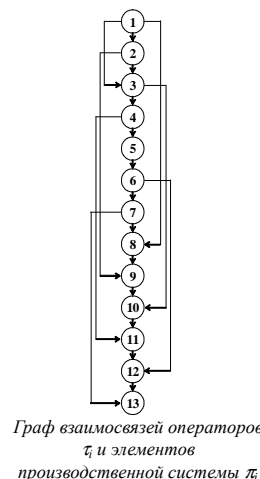


Рис. 6. Представление результатов моделирования ТПС

Rys. 6. Uwidocznienie wyników modelowania procesu technologicznego montażu



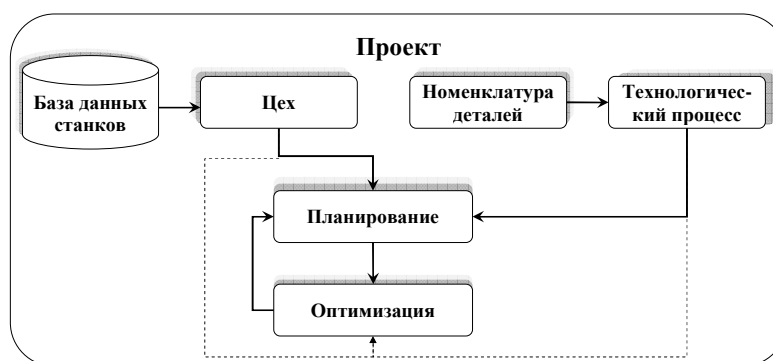


Рис. 7. Структура взаимодействия элементов производства

Rys. 7. Struktura współoddziaływania elementów produkcji

Данные, необходимые для описания взаимодействия этапов технологического подготовке и, в частности, полученной через анализ БВОР множества вариантов последовательностей подетального последовательного и параллельно-последовательной сборки должны описываться совокупностью:

- для технологического оборудования  
 $M_i$  – индекс оборудования ( $i = 1..m$ , где  $m$  – общее количество оборудования);  
 $M_i.type$  – тип оборудования ( $type = [манипулятор, пресс, винтоверт, сварочный аппарат]$ );
- для номенклатуры сборочных единиц  
 $a_j$  – наименование СЕ ( $j = 1..n$ , где  $n$  – общее количество наименований);  
 $a_j.N$  – общее количество (программа выпуска) СЕ  $a_j$ ;  
 $a_j.p$  – количество партий  $a_j$ ;  
 $a_j.priority$  – приоритет сборки для  $a_j$ ;
- для технологии сборки СЕ  $a_j$ ;  
 $a_j.Matrix$  – матрица ограничений последовательности технологических операций (ТО);  
 $a_j.v$  – вариант ТРП  $j$ -ой СЕ ( $v$  – варианты ТП);  
 $a_j.v.P_k$  – ТО сборки для  $a_j$  ( $k = 1..q_v$ , где  $q_v$  – общее количество ТО, предназначенных для сборки данной СЕ для  $v$ -го варианта технологии);  
 $a_j.v.P_k.type$  – тип операции  $a_j.P_k$  ( $type = [установочная, прессовая, резьбозавинчивающая, сварочная]$ );  
 $a_j.v.P_k.time$  – время, необходимое для выполнения операции  $a_j.P_k$ ;  
 $a_j.v.P_k.dodtime$  – вспомогательное время, необходимое для выполнения операции  $a_j.P_k$ ;
- для распределения (диспетчеризации) СЕ по оборудованию  
 $a_j.v.P_k.ID$  – номер оборудования, на котором выполняется  $k$ -ая операция сборки  $j$ -ой СЕ;  
 $M_i.T_r$  – ТО, которая выполняется на  $i$ -м оборудовании ( $r=1..e$ , где  $e$  – общее количество операций на  $i$ -м оборудовании);  
 $M_i.T_r.a_j$  – номер СЕ, соответствующей  $r$ -й ТО, выполняемой на  $i$ -м оборудовании;  
 $M_i.T_r.StartTime$  – время начала выполнения  $r$ -ой ТО на  $i$ -м оборудовании;  
 $M_i.T_r.EndTime$  – время завершения  $r$ -ой ТО на  $i$ -м оборудовании;

Отметим, что важным на данном этапе является не получение одного варианта сборки изделия, а получение именно альтернативных, однако технически допустимых и технологически целесообразных вариантов сборки, которые можно описать ограничениями последовательности технологических операций (ОПТО):

$$M_{c,v} = \begin{bmatrix} l_{1,1} & l_{1,2} & \dots & l_{1,v} & \dots & l_{1,q} \\ l_{2,1} & l_{2,2} & \dots & l_{2,v} & \dots & l_{2,q} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{c,1} & l_{c,2} & \dots & l_{c,v} & \dots & l_{c,q} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{q,1} & l_{q,2} & \dots & l_{q,v} & \dots & l_{q,q} \end{bmatrix},$$

где  $l$  – элемент *ОПТО*, отражающий связь последовательности операций. Может иметь одно из двух значений:

“0” – две операции не накладывают ограничения на последовательность выполнения друг друга, т.е. в вариантах ТП две операции могут быть записаны, как  $(a_j.v.P_c \vee a_j.v.P_v)$ ;

“1” – существует технологически обусловлено ограничение последовательности операций, которое определяет жесткий порядок выполнения операций  $(a_j.v.P_c \wedge a_j.v.P_v)$ .

## ВЫВОДЫ

Эффективная реализация компьютерно-интегрированного механосборочного производства должна опираться на совокупность математических моделей сборочного изделия, технологии сборки и производства, каждая из которых должна уточнять предыдущую. Модель изделия, как способ представления виртуального объекта производства, должна учитывать все значимые свойства и функции материального объекта. Модель технологии должна формально определять технологические возможности и способ изготовления материального объекта. Модель производства должна формально учитывать технологические возможности и реальную загрузку технологического оборудования. Все математические модели должны иметь совместимую, а в лучшем случае, единую математическую основу, что позволит исключить ошибки трансформации и передачи данных, существенно ускорит процесс проектирования технологии и организации производства и гарантировать его корректность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зыков А. А. Основы теории графов. – М.: Наука, 1987. – 384 с.
2. Пасічник В.А., Кореньков В.М. Принципи формування математичної моделі складальної одиниці в виді бінарних відношень обмежень рухливості // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб.тр XV межд.науч.техн.конф., В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2008. Т.3. – С. 64-70.
3. Пасічник В.А., Сімута Р.Р. Виявлення значущих координатних напрямків і технологічних груп деталей у складанні // Вісник ЖІТІ. – 2002 / Спеціальний випуск / ІКТ 2002. – С. 152-157.
4. Пасічник В.А., Сімута Р.Р. Автоматизоване формування математичної моделі складального виробу // Вісник Технологічного університету Поділля, Хмельницький. – 2003. – № 4, Ч.2 (53). – С. 236–242.
5. Кореньков В.М. Автоматизований синтез маршрутних технологічних процесів складання. Дис...канд. техн. наук:05.02.08. – К.: НТУУ «КПІ». – 2005. – 171 с.
6. Давыгора В.Н., Пасечник В.А. Теория формализованного синтеза исходного множества альтернатив доминирующих порядков последовательно- параллельной сборки // Вестник НТУУ „КПИ”. Машиностроение. – 2000. – № 39. – С. 55-77.
7. Давыгора В.М. Методика автоматизованого синтезу раціональних порядків складання // Technologia i automatyzacja montazu. – Warszawa: OBR TEKOMA, 2001. – №2. – С. 3–10.

8. Лапковский С.В. Технологическая декомпозиция сборочных изделий: Дис... канд. техн. наук: 05.02.08. – К.: НТУУ «КПИ», 1998. – 192 с.
9. Пасічник В.А., Галайда Р.В., Ратушна І.В. Моделювання механоскладального виробництва у середовищі „GalAss” // Труды Одесского политехнического университета: Науч. и произв.-прак. сб. по техн. и ест. наукам. – Одесса, 2008.– Вып. 1(29). – С. 26–30

#### MATHEMATICAL MODELS AND PROCEDURES IN TASKS OF ASSEMBLY UNITS ANALYSIS AND ASSEMBLY PROCESSES SYNTHESES

**Abstract.** *The article presents the implementation of a prospective model of computer-integrated manufacturing for a flexible assembly manufacture based on the interconnected model of the object assembly process design technologies and production models.*



**L. W. BOŹKOWA**  
**M. W. WARTANOW**  
**Ż. K. BAKENA MBUA**  
Uniwersytet Techniczny MAMI  
Moskwa, Rosja

## **MODELOWANIE PROCESU ZROBOTYZOWANEGO MONTAŻU PROFILOWANYCH WAŁÓW Z POMOCĄ WIBRACJI**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ ПРОФИЛЬНЫХ ВАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ**

Автоматизировать сборку профильных соединений трудно, поскольку необходимо обеспечить решение трех сложных технических задач. Нужно достигнуть совпадения осей сопрягаемых посадочных цилиндрических поверхностей профильных валов, их относительного углового положения в сечении, перпендикулярном оси сборки и точности осевого положения собираемых деталей. Авторами разработан метод роботизированной сборки профильных бесфасочных соединений с зазором [1]. Мы полагаем, что наличие вибраций и упругой податливости закрепления профильного вала могут компенсировать погрешности положения деталей.

В результате этого, вибрационное сборочное устройство будет представлять собой трехзвенный манипулятор, каждое звено которого приводится в движение от отдельного привода.

Задачей данной работы является изучение влияния вибрационных колебаний и вращения сборочного устройства на характер движения центра масс цилиндрической профильной детали по отношению к втулке (то есть по отношению к подвижной системе координат). Необходимо также определить влияние на характер движения центра масс устанавливаемой детали ряда параметров, а именно: конструктивных параметров вибрационного устройства; коэффициентов жесткости упругих элементов схвата; коэффициента трения между деталями; амплитуды и круговой частоты вибрационных колебаний устройства, а также величины угловой скорости вращения сборочного устройства.

С этой целью нами была разработана математическая модель динамики движения центра масс присоединяемой детали к оси базовой детали [1].

Чтобы выделить режимы вибрации и получить область изменения динамических и конструктивных параметров, при которых центр масс присоединяемой детали достаточно быстро асимптотически приближается к оси базовой детали, было проведено компьютерное моделирование процесса.

Компьютерное моделирование является в настоящее время одним из основных способов исследования динамики сложных механических систем. Оно стало неотъемлемым этапом проектирования конструкций, оптимизации их параметров и широко применяется в различных областях науки и техники, таких как робототехника и пр.

Программы моделирования реализуют методы построения и анализа математических моделей объектов, разработанные на основе обобщенных подходов к описанию разнообразных конструктивных элементов, условий их взаимодействия и функционирования. Эффективность математических моделей определяется допущениями, которые принимаются в рамках таких подходов.

На основе математической модели был разработан пакет программ, реализующий по заданным исходным параметрам аналитическое решение полученных уравнений.

Программный пакет позволяет пользователю задавать различные параметры модели и исследовать их влияние на результат. Интерфейс имеет следующий вид (рисунок 1).

Примеры вывода данных в графическом режиме показаны на рисунках 2, 3, 4, 5, являющиеся траекториями движения центра масс устанавливаемой детали по отношению к базовой.

Из рисунка 2 видно, что при большом значении амплитуды (рис. 2а и 2б) наблюдается движение присоединяемой детали не удовлетворяющие поставленным условиям, а при малой амплитуде ( $A=0,001$ рад) наблюдается асимптотическое движение присоединяемой детали к оси базовой.

Из рисунка 3 видно, что существует область изменения жесткости упругих элементов, при которых движение центра масс присоединяемой детали не доходит (рис. 3а) или проходит (рис. 3в) ось базовой детали, а при других значениях центр масс присоединяемой детали асимптотически доходит до оси базовой детали.

Из рисунка 4 видно, что при изменении коэффициента трения (в зависимости от типа материала присоединяемых деталей) для получения поставленных результатов нужно варьировать сборочное усилие и жесткость упругих элементов.

Из рисунка 5 видно, что при любом изменении частоты центр масс присоединяемой детали приближается к оси базовой. Разница состоит лишь в скорости приближения.

#### **Исходные данные:**

Масса деталей - 0,13 кг;

Размер (h) - 0,04 м;

Радиус присоединяемой детали (r) - 0,005 м;

Длина присоединяемой детали (l) - 0.1 м;

Сборочное усилие (P) - 5 н и 10н;

Возьмем самую минимальную угловую скорость:

Амплитуда колебаний [рад]:	0.05	Масса вала [кг]:	0.07
Частота колебаний [Гц]:	42	Размер h [м]:	0.04
Кoeffициент трения:	0.4	Размер l [м]:	0.005
Жесткость [Н/м]:	5	Радиус диска [м]:	0.005
Угловая скорость [рад/с]:	0.5	Сборочное усилие [Н]:	5

Изменяемый параметр: Отсутствует От: 0 До: 0 Шаг: 0

Старт

	Амплитуда	Частота	Коеф. трения	Жесткость	Угловая скорость
*					

Рис. 1. Интерфейс программного пакета

Rys. 1. Okno widokowe pakietu programowego

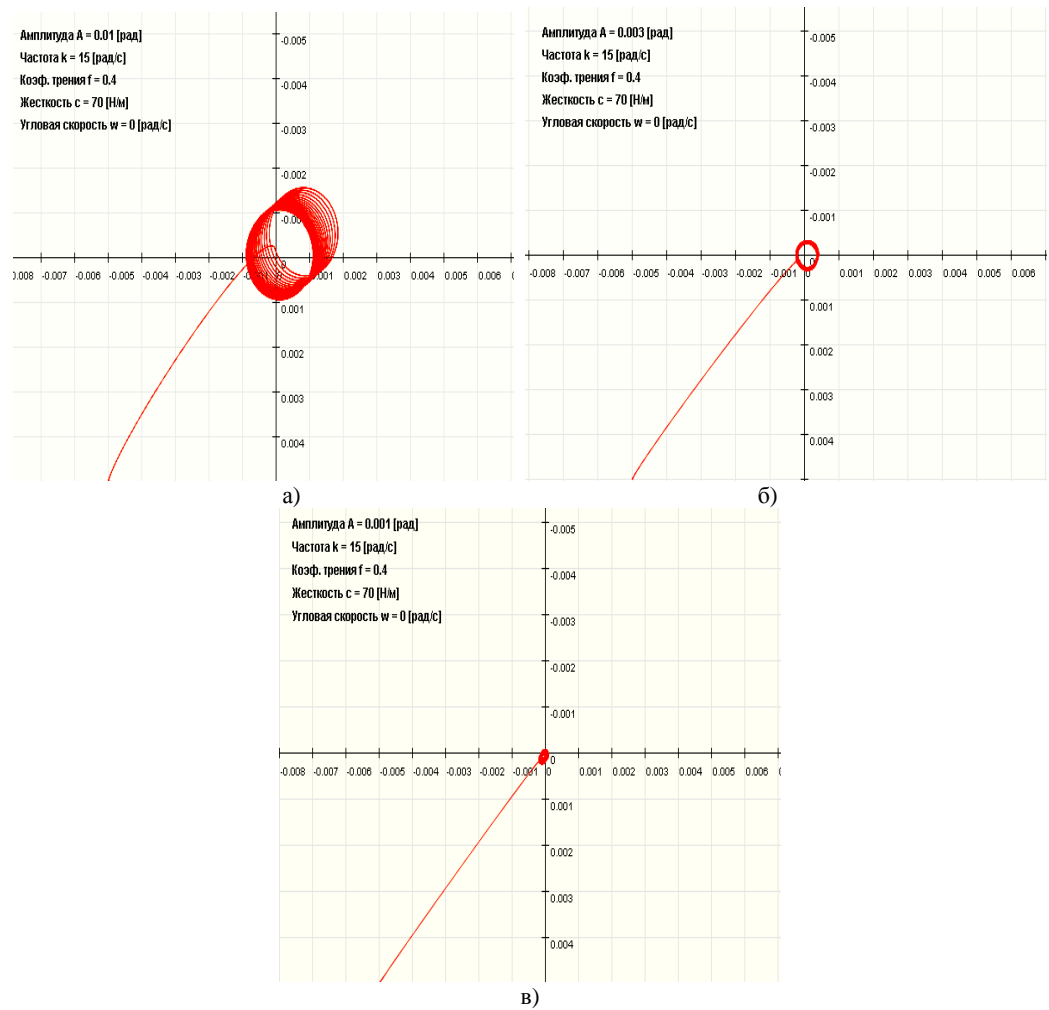


Рис. 2 Влияние амплитуды на характер траектории движения центр масс вала к оси втулки

Rys. 2. Wpływ amplitudy na trajektorię ruchu środka mas względem osi tulejki

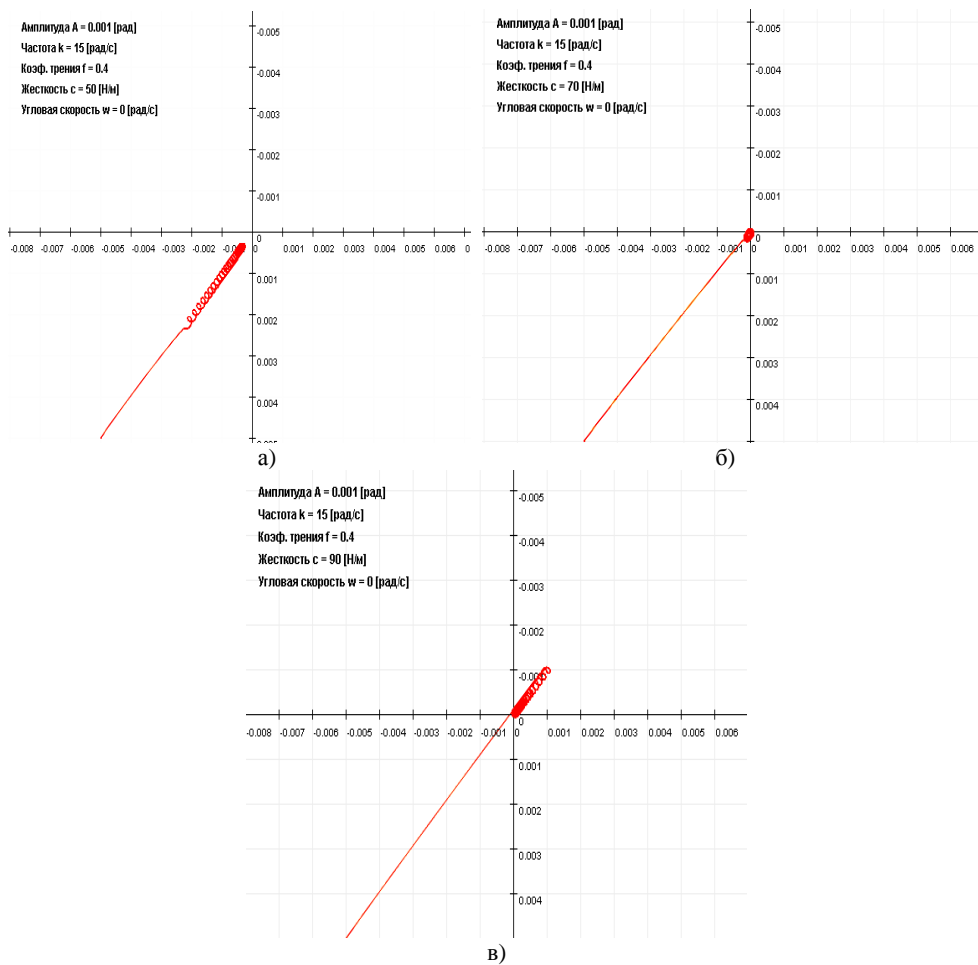


Рис. 3 Влияние жесткости упругих элементов на характер траектории движения центр масс вала к оси втулки

Rys. 3. Wpływ sztywności elementów sprężystych na trajektorię ruchu środka mas wału względem osi tulejki



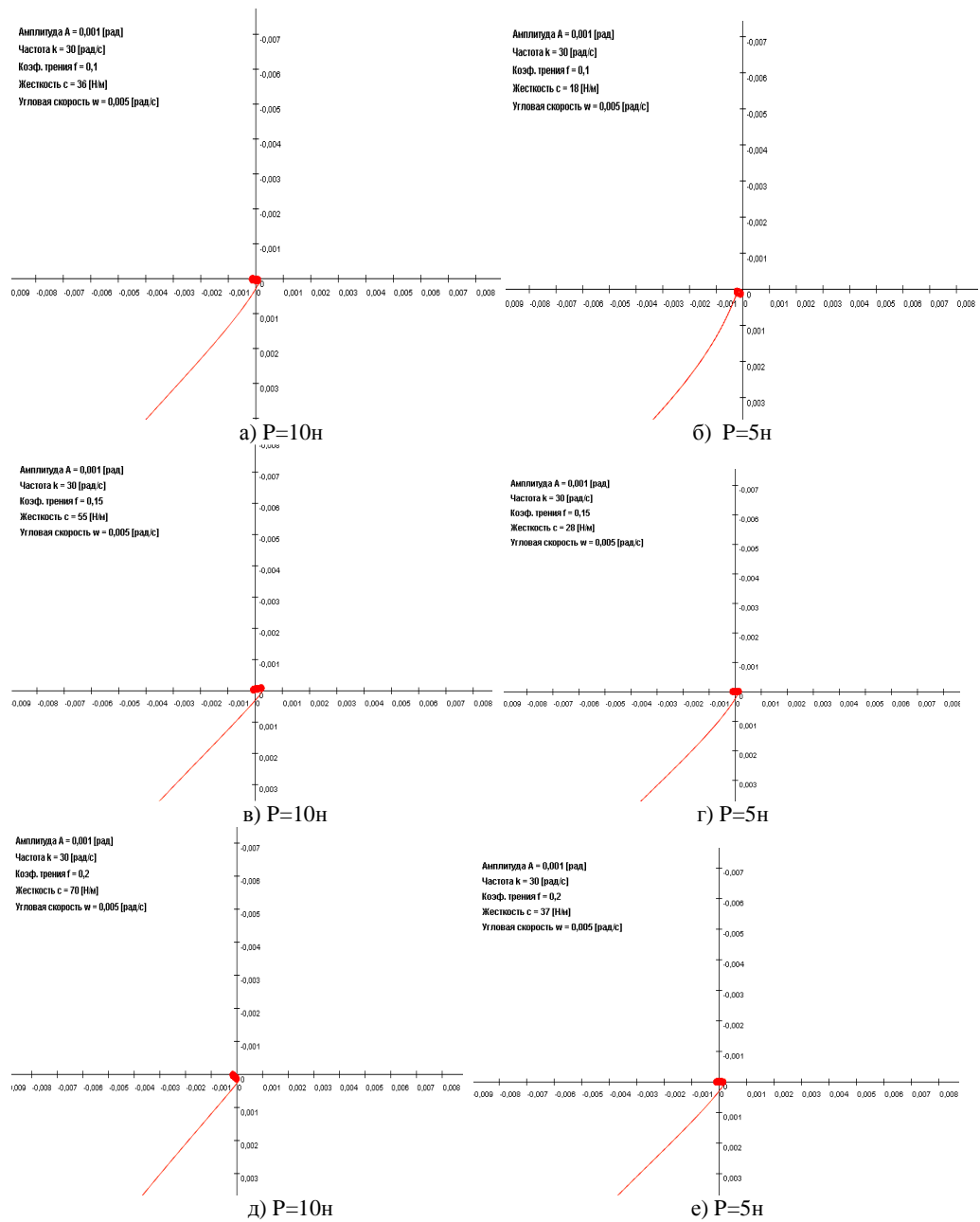
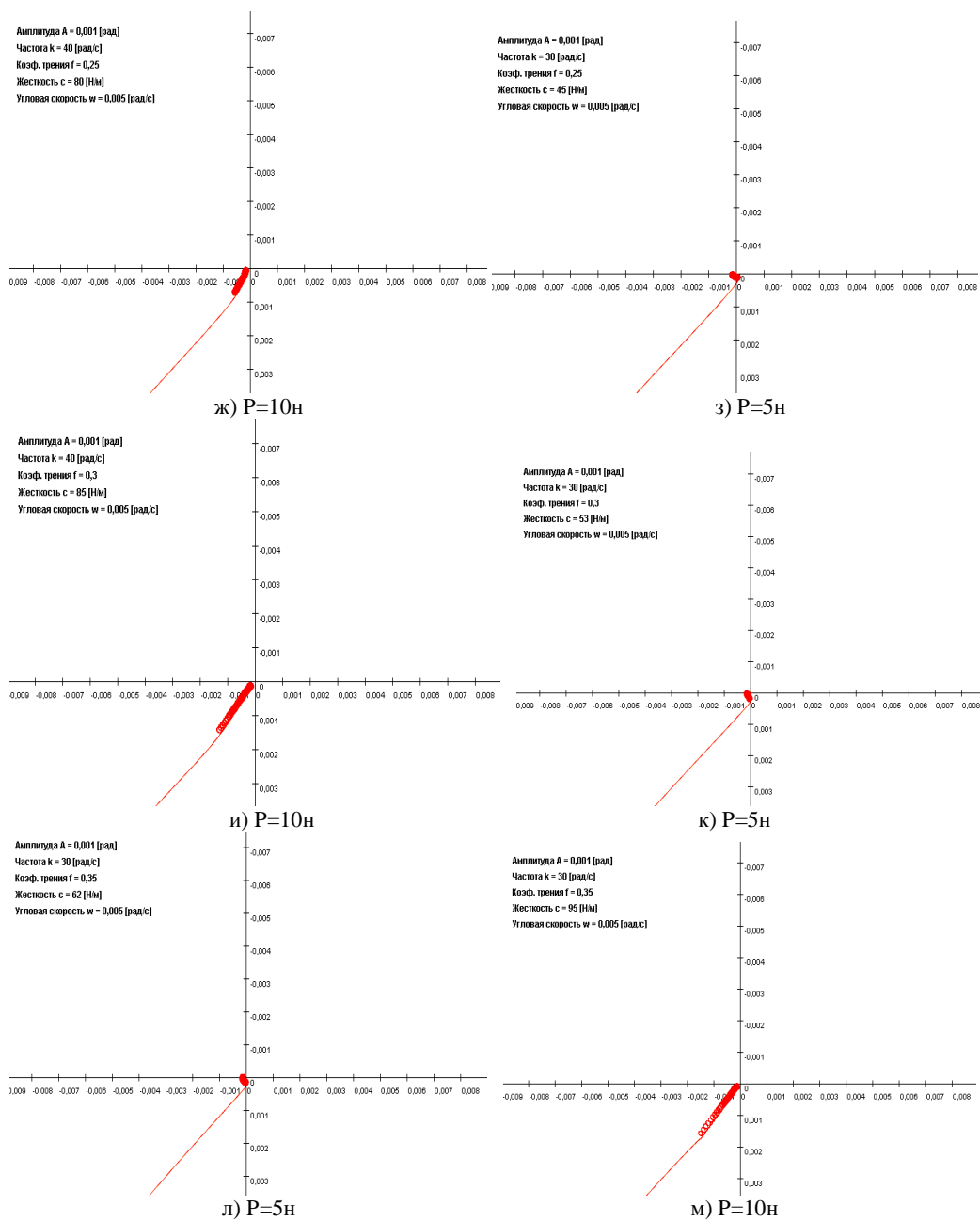


Рис. 4 Влияние коэффициента трения на характер траектории движения центр масс вала к оси втулки

Rys. 4. Wpływ współczynnika tarcia na trajektorię ruchu środka masy wału względem osi tulejki



Rys. 4. cd.

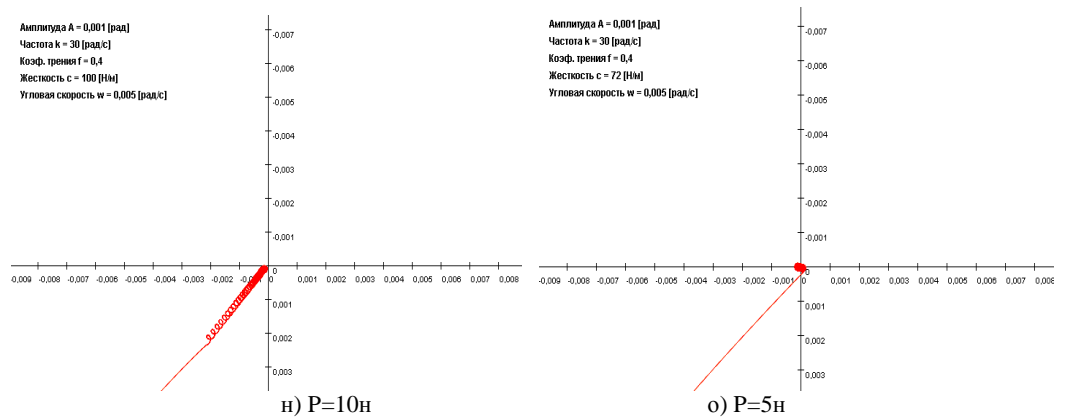
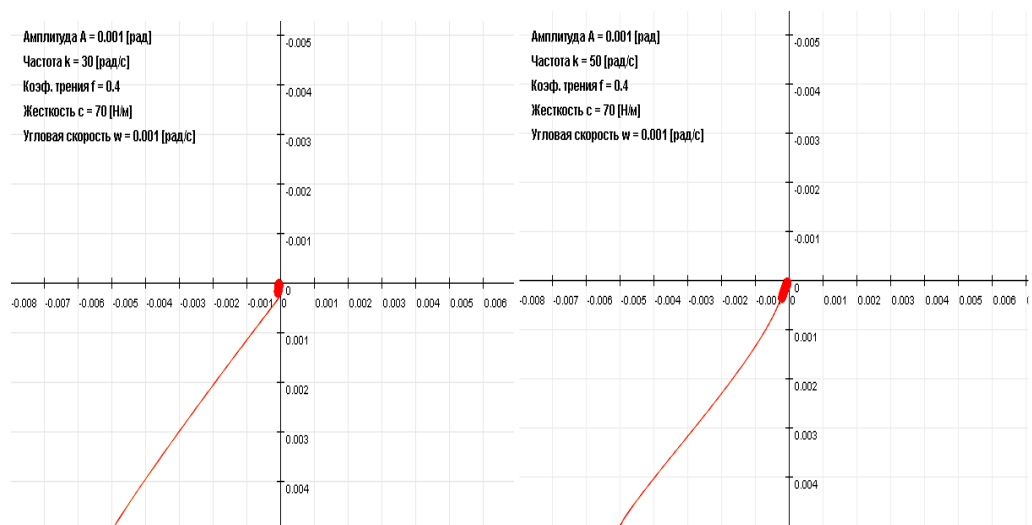
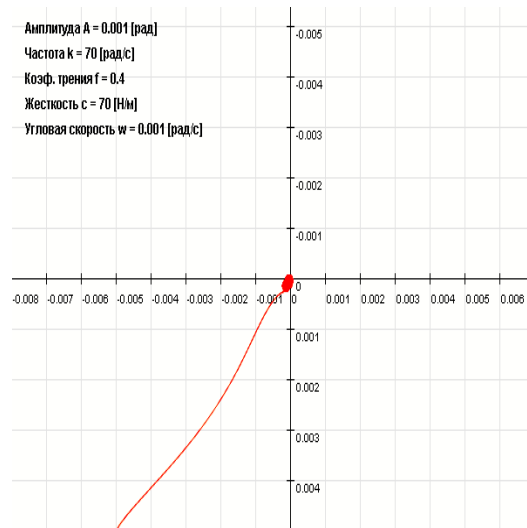
Rys. 4. *cd.*

Рис. 5. Влияние частоты на характер траектории движения центр масс вала к оси втулки

Rys. 5. Wpływ częstotliwości na trajektorię ruchu środka mas wału względem osi tulejki



Rys. 5. cd.

Разработанные динамические модели, позволили теоретически обосновать возможность использования вибрационных колебаний для относительного ориентирования профильных валов с упругим закреплением. Компьютерное моделирование показало, что существует область изменения динамических и конструктивных параметров, при которых центр масс присоединяемой детали достаточно быстро асимптотически приближается к оси базовой детали.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Божкова Л.В., Вартаков М.В., Бакена Мбуа Ж.К. Совершенствование технологии сборки цилиндрических профильных деталей с применением вибрационных колебаний и пассивной адаптации // «Сборка в машиностроении, приборостроении», 2010, №7, с. 26-31.
2. Протождяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов – М.: Наука, 1970. – 76с.

#### COMPUTER SIMULATION OF THE METHOD OF ROBOTIC ASSEMBLING PROFILE DETAILS WITH A BACKLASH WITH PASSIVE ADAPTATION AND LOW FREQUENCY

**Abstract.** The result of computer simulation of robotic assembling profile details with passive adaptation and low frequency is represented.

Nataliia STELMAKH  
Vitaliy PASICHNYK  
Uniwersytet Techniczny  
„Politechnika Kijowska”  
Kijów, Ukraina

## MODELOWANIE TECHNOLOGII MONTAŻU PRZYRZĄDÓW W ŚRODOWISKU AsCAM

### INSTRUMENT ASSEMBLY METHOD SIMULATION IN THE AsCAM SOFTWARE ENVIRONMENT

Accelerated method of preparation for assembling for small-scale instrument engineering implemented in a new software environment AsCAM has been presented. It has been demonstrated that the use of such software environment with relatively small amount of input data allows to get a solid solution and furthermore to reduce the preproduction preparation time.

#### INTRODUCTION

High precision and reliability of modern devices is generally a result of the use of a large number of high-precision instrumentation and performance of various adjustments, fine-tuning and setting-up operations. Thus the instrument assembly process is a labor-intensive one and in most cases comes up to 60-80 % of the total labor content for the manufacture of an instrument as a whole. Such high labor content share of assembly operations makes the organization and preproduction preparation more sophisticated and requires transition to a new manufacturing process arrangement based on group assembly workplaces with their differentiation and specialization.

It is known that these issues can be solved by integrating all manufacturing stages with the use of computer-aided design (CAD) systems. However, the principal obstacle is currently inconsistencies between high development level of the instrument computer-aided design systems and virtually total absence on the world market of computer-aided design and preproduction preparation systems for instrument assembly which would account for a specific character of the small-scale manufacture. All this impedes integration of the manufacturing cycle stages and drastically reduces manufacturing efficiency. This paper addresses developed mathematical models of assembly products with regard to instrument specificity allowing to develop procedures for their analysis and further synthesis of the assembly method and creation on this basis of new computer-aided design systems for assembly process.

#### MODEL OF AN ASSEMBLY PRODUCT IN INSTRUMENT ENGINEERING

Hierarchical structure of an assembly object can be presented as an *assembly composition diagram (ACD)* of a product determining which structural components belong to which separate *assembly units (AU)*. The following reference designations are introduced for further discussion of the assembly object and formal description of its structure:

$Ek = \{Ek_i\}$  – elements of the construction;

$$\left. \begin{array}{l} AP - \text{assembly products} \\ AU - \text{assembly units} \\ P - \text{parts} \\ P_{SP} - \text{standard products} \\ P_{PP} - \text{purchase products} \end{array} \right\} \Rightarrow Ek$$

Product component structure description model (PCSDM) can be presented as follows:

$$Ek.i.K.n.T_{dl}^{ii} \quad (1)$$

where:

$i$  is the sequence number of  $Ek$  at the decomposition level  $i=1..m, m \in N$ ;

$K$  is the name of  $Ek$ ;

$n$  is the number of  $Ek$   $n=1..l, l \in N$ ;

$T$  is the type of  $Ek, T = (AP, AU, P, P_{SP}, P_{PP})$ ;

$dl$  is the decomposition level of  $Ek, dl=1..k, k \in N$ ;

$ii$  is the inclusion index of  $Ek, iv=1..m, m \in N$ .

For express analysis, the mathematical model (2) can be used in a simplified form:

$$Ek.i^{ii}_{dl} \quad (2)$$

Generally accepted construction of ACD for a product is started from division of the assembly product (AP) into AU and parts. AU formed after the first division of the product will be referred to as the 1<sup>st</sup> order AUs. 1<sup>st</sup> order AUs in turn can have complex structure and be broken up into simpler independent 2<sup>nd</sup> order AUs. Such 2<sup>nd</sup> order AUs are similarly divided further to 3<sup>rd</sup> order ones and so on till  $n$ th order AUs composed of individual indivisible elements, parts. Thus, the structure of any instrument can be presented as a graph with the instrument in its root and separate parts and AUs in its nodes, whose number increases and design becomes simpler with an increase of the division level [1]. Hierarchical structure of a product divided into separate elements, with regard to the above designations, can be presented as follows (fig. 1).

PCSDM can be presented as a table, list of graph thus allowing to:

- get information on the number of parts, their names, AUs, number of decomposition levels, where AUs are identified by whether other parts make part thereof,  $P_{SP}$ , other AUs.
- when a product is divided into AUs, the whole scope of assembly operations can be divided into separate parts and performed simultaneously thus considerably reducing the assembly cycle duration;
- form *assembly sequence* (AS) in view of the fact that AUs at the same division level not related by the presence of common loops (common mounting surface) can be assembled in any sequence.

Description of the mathematical model of the "Pressure Regulator" (fig. 2) component structure can be presented as a graph (fig.3) or list (fig. 4.).

Description of an assembly product in the expanded form (according to 1) allows a complete description of links and subordination of components in the assembly product. For products composed of a large number of elements such detailed description is however extremely labor-intensive.

For example, for an adjusted gyrocompass "CRUISE" composed of over 300 components, express description (according to 2) can be employed at the initial design stage which can be subsequently supplemented [2].

Such abbreviated description of an assembly unit of the adjusted gyrocompass "CRUISE" "Gimbal" (fig. 5) is as follows (fig. 6).

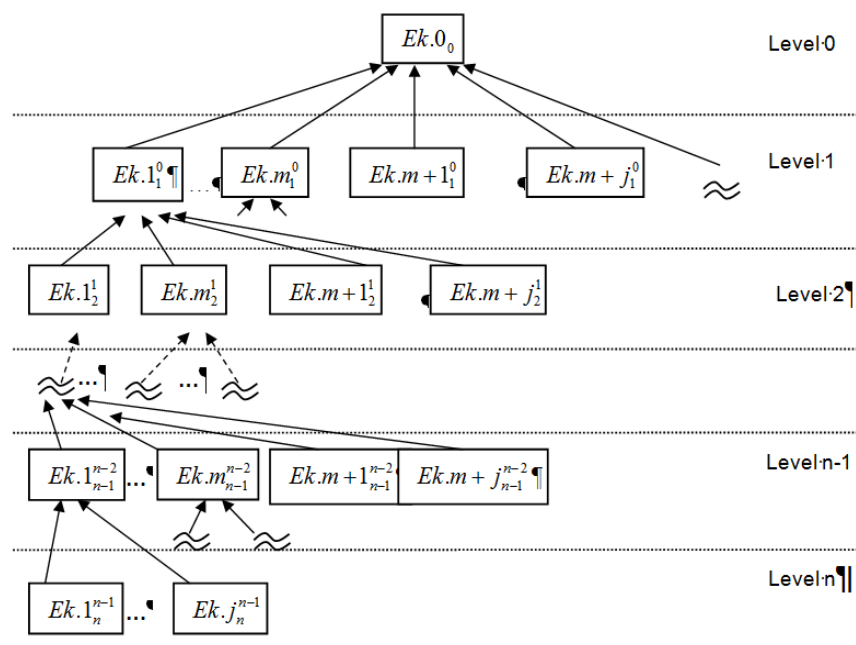


Fig 1. Decomposition of assembly product

Rys. 1. Dekompozycja montowanego wyrobu

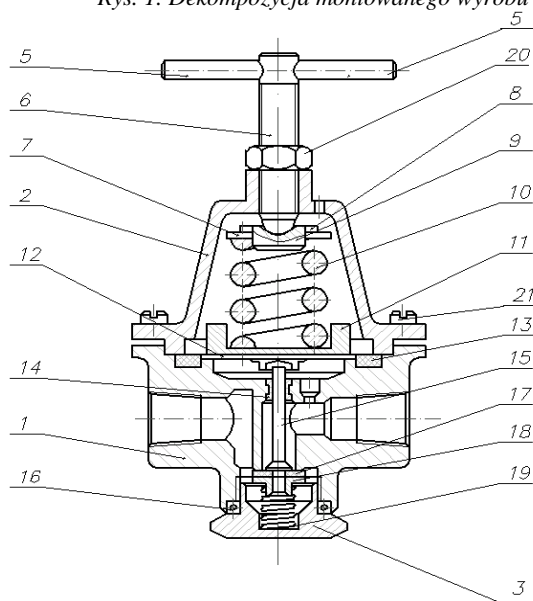


Fig 2. Assembly unit "Pressure regulator"

Rys. 2. Wyrób montowany "Regulator ciśnienia"

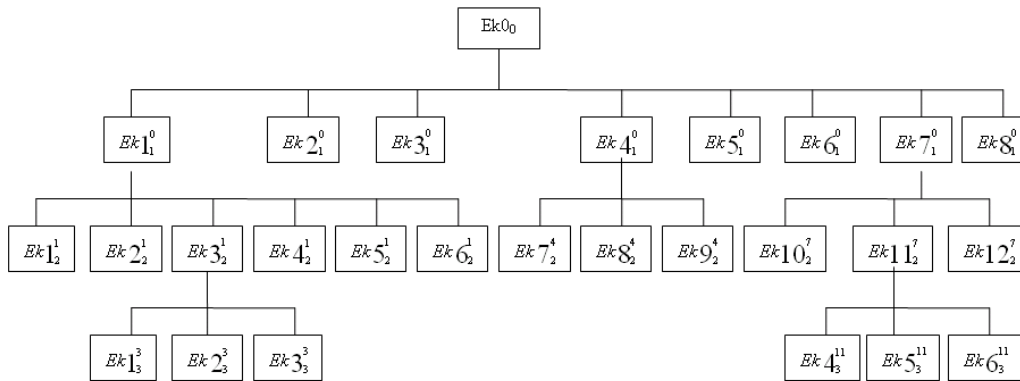


Fig 3. Description of the assembly structure of product "Pressure regulator" in a graph

Rys. 3. Przedstawienie wyrobu "Regulator ciśnienia" w postaci grafu

Ek.1.pressure regulator.1.CB<sub>0</sub>; Ek.1.Body.1.CO<sub>1</sub><sup>0</sup>; Ek.1.Body.1.D<sub>2</sub><sup>1</sup>; Ek.2.Sealing.1.D<sub>2</sub><sup>1</sup>;  
 Ek.3.Rod.1.CO<sub>2</sub><sup>1</sup>; Ek.1.Rod.1.D<sub>3</sub><sup>3</sup>; Ek.2.Sealing.1.D<sub>3</sub><sup>3</sup>; Ek.3.Saddle.1.D<sub>3</sub><sup>3</sup>;  
 Ek.4.Sealing.1.D<sub>2</sub><sup>1</sup>; Ek.5.Spring.1.D<sub>2</sub><sup>1</sup>; Ek.6.Cover.1.D<sub>2</sub><sup>1</sup>; Ek.2.Diaphragm.1.D<sub>1</sub><sup>0</sup>  
 Ek.3.Sealing.1.D<sub>1</sub><sup>0</sup>; Ek.4.Step – bearing.1.CO<sub>1</sub><sup>0</sup>; Ek.7.Washer.1.D<sub>2</sub><sup>4</sup>; Ek.8.Flange.1.D<sub>2</sub><sup>4</sup>;  
 Ek.9.Step – bearing.1.D<sub>2</sub><sup>4</sup>; Ek.5.Spring.1.D<sub>1</sub><sup>0</sup>; Ek.6.Saddle.1.D<sub>1</sub><sup>0</sup>; Ek.7.Cover.1.CO<sub>1</sub><sup>0</sup>;  
 Ek.10.Cover.1.D<sub>2</sub><sup>7</sup>; Ek.11.Drivescrew.1.CO<sub>2</sub><sup>7</sup>; Ek.4.Handle.1.D<sub>3</sub><sup>11</sup>; Ek.5.Screw.1.D<sub>CT3</sub><sup>11</sup>;  
 Ek.6.Nut.1.D<sub>CT3</sub><sup>11</sup>; Ek.12.Screw.1.D<sub>CT2</sub><sup>7</sup>; Ek.8.Screw.6.D<sub>CT1</sub><sup>0</sup>.

Fig 4. Description of the assembly structure of product "Pressure regulator" in a list

Rys. 4. Przedstawienie wyrobu "Regulator ciśnienia" w postaci wykazu

Based on the PCSDM discussed above, procedures for building the assembly composition diagram and assembly process flow diagram and special software AsCAM have been developed [3, 4].

Process design in the AsCAM software environment is started from formation of an information file about the product. Information about the product for design purposes can be prepared by using two methods. The first one is based on the manual input of the overall information about the product, and the second one is based on the automatic input by using a dedicated macros [5].

Product assembly process design according to the first method can be implemented in two modes: a) based on the generation of new design solutions; b) based on existing design solutions (from archive).

Product assembly process design according to the second method is based on the use of a dedicated software module processing electronic version of the design documents for the product (specifications) and creates PCSDM automatically.



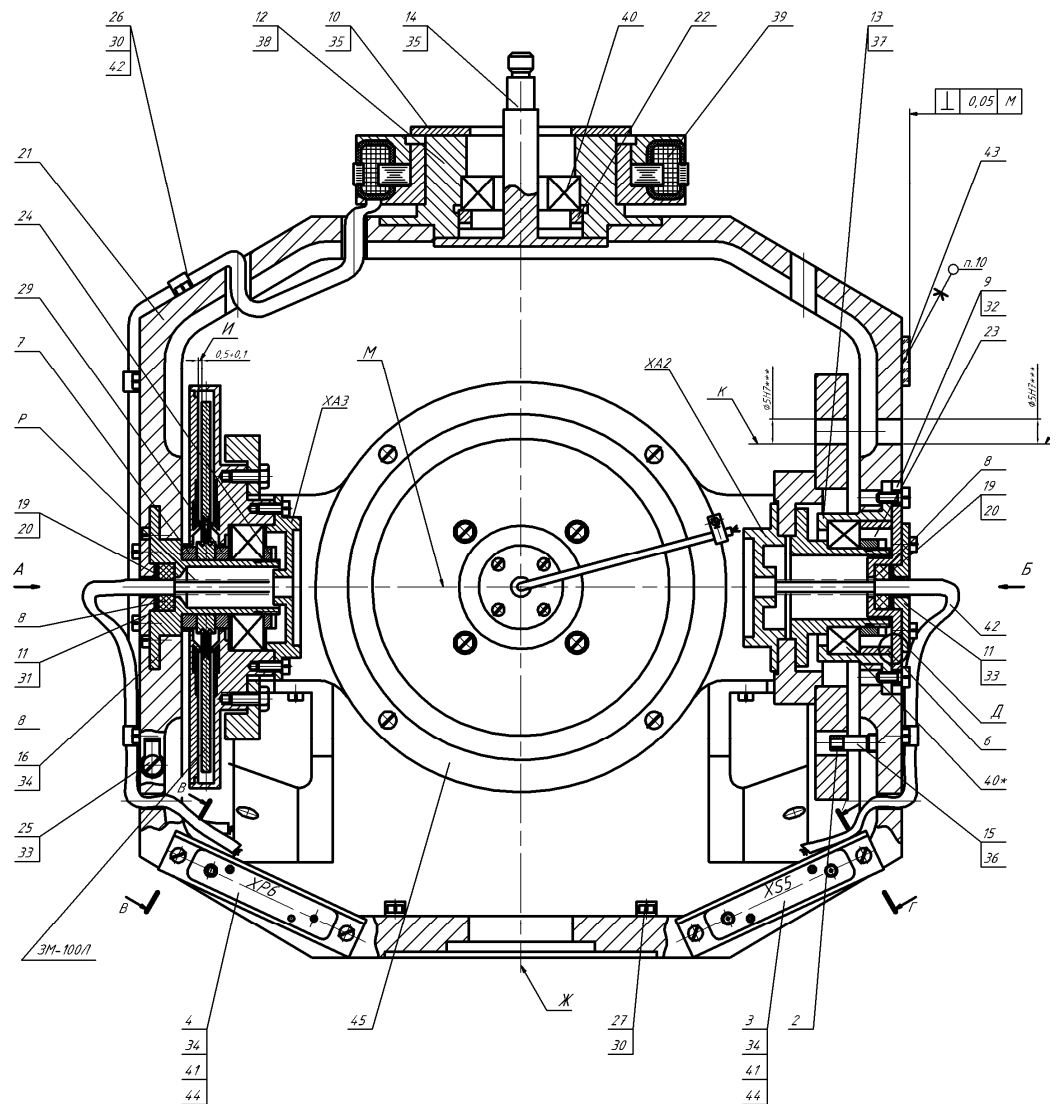


Fig 5. Assembly unit «Gimbal» by product of “CRUISE”

Rys. 5. Jednostka montażowa "Zawieś" z zestawu wyrobu montowanego KGK "KRUIZ"

$Ek1_0; Ek1_1^0; Ek1_2^1; Ek1_3^1; Ek2_3^1; Ek3_3^1; Ek2_2^1; Ek3_2^1; Ek4_2^1; Ek5_2^1; Ek6_2^2; Ek7_2^2; Ek8_2^2; Ek9_2^2; Ek10_2^2;$   
 $Ek4_3^{10}; Ek5_3^{10}; Ek6_3^{10}; Ek7_3^{10}; Ek8_3^{10}; Ek9_3^{10}; Ek11_2^1; Ek10_3^{11}; Ek11_3^{11}; Ek12_2^2; Ek12_3^{12}; Ek13_3^{12}; Ek3_1^0;$   
 $Ek13_2^3; Ek14_2^3; Ek4_1^0; Ek15_2^4; Ek16_2^4; Ek5_1^0; Ek6_1^0; Ek7_1^0; Ek8_1^0; Ek9_1^0; Ek10_1^0; Ek11_1^0; Ek12_1^0; Ek13_1^0;$   
 $Ek14_1^0; Ek15_1^0; Ek16_1^0; Ek17_1^0; Ek18_1^0; Ek19_1^0; Ek20_1^0; Ek21_1^0; Ek22_1^0; Ek23_1^0; Ek24_1^0; Ek25_1^0; Ek26_1^0;$   
 $Ek27_1^0; Ek28_1^0.$

Fig 6. Description of the assembly structure of product "Gimbal" in a list

Rys. 6. Przedstawienie jednostki montażowej "Zawiesz" w postaci wykazu

Automated generation of the design solution of the assembly composition diagram for the AU of the adjusted gyrocompass "CRUISE" "Gimbal" (fig. 7) and assembly process flow diagram are shown (fig. 8). AsCAM software for preproduction preparation of the "CRUISE" product proved to be highly efficient.

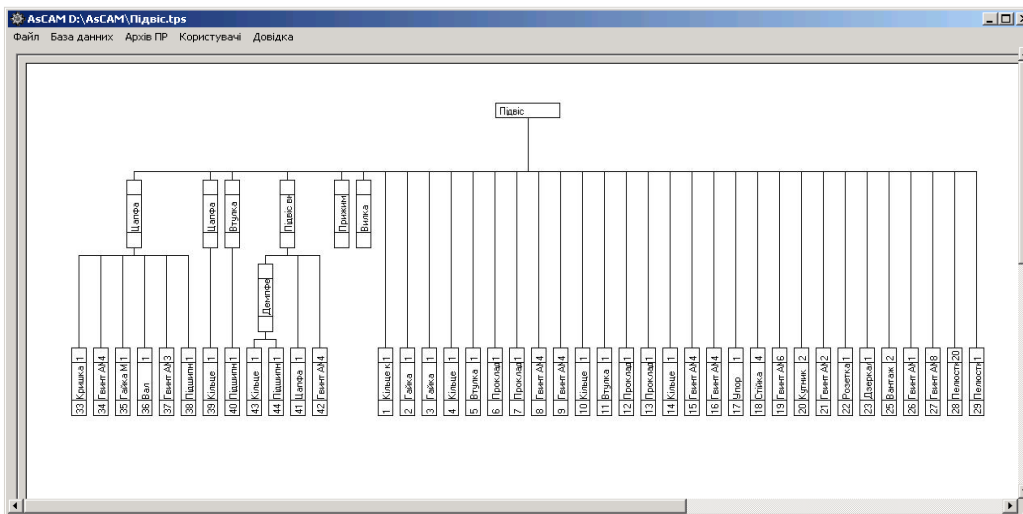


Fig 7. Output of simulation of assembly composition diagram for AU «Gimbal»

Rys. 7. Okno program SSS dla jednostki montażowej „Zawiesz”

## CONCLUSIONS

Assembly product structure information description method presented in this paper allows to set up a mathematical model for the product structure description and on this basis considerably speed up the preparation of product data at the initial stage of the assembly process design. Novel software AsCAM implemented on the proposed method proved its high efficiency in solving various design issues in the instrument assembly technology.

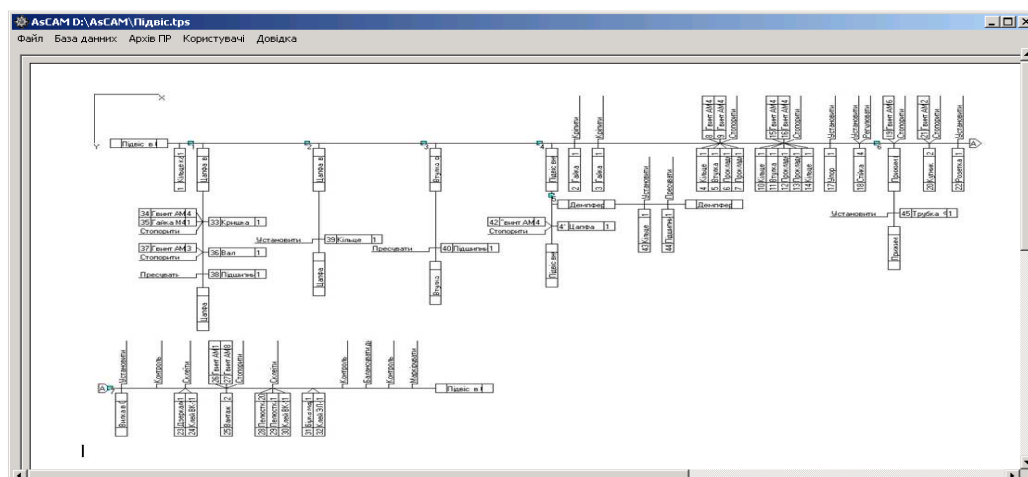


Fig 8. Output of simulation of assembly process flow diagram for AU «Gimbal»

Rys. 8. Okno programu schematu technologicznego montażu dla jednostki montażowej "Zawiesz"

## REFERENCES

1. Румбешта В.О. Основи технології складання приладів: Підручник / Румбешта В.О. -К.: ІСДО,1993.—303с.
2. Стельмах Н. В., Румбешта В. О. Прийняття рішень в автоматизованій системі технологічної підготовки приладобудівного виробництва на базі дискретної оптимізації /Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління, "Нові технології", №1(23),2009,-с.189-191
3. Стельмах Н. В. Програмний модуль для прискореної технологічної підготовки складального дрібносерійного виробництва приладів // Вісник НТУУ "КПІ". К. : 2009. - № 54 / Машинобудування. С.12-17.
4. Патент України №41528 на корисну модель "Виробнича система для складання приладів", Бюл. №10, від 25.05.2009 р. Автори Стельмах Н. В., Румбешта В. О.
5. Свідчення про реєстрацію авторського прав на твір "Комп'ютерна програма «AsCAM» №31431, від 21.12.2009р. Автори Стельмах Н. В., Кот В. С.

## INSTRUMENT ASSEMBLY METHOD SIMULATION IN THE AsCAM SOFTWARE ENVIRONMENT

**Abstract.** Accelerated method of preparation for assembling for small-scale instrument engineering implemented in a new software environment AsCAM has been presented. It has been demonstrated that the use of such software environment with relatively small amount of input data allows to get a solid solution and furthermore to reduce the preproduction preparation time.

