



ИВАНОВ
Юрий Викторович
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

IVANOV
Yuriy Viktorovich
(Moscow, Russian Federation,
Bauman Moscow State
Technical University)

Проектирование и оптимизация технологических структур роботизированного комплекса ГАСК сборки электронных модулей в многономенклатурном производстве

Ю.В. Иванов

Предложена методика компьютерного проектирования и оптимизации структур роботизированных комплексов ГАСК сборки электронных модулей (ЭМ) из разнотипных электронных компонентов в многономенклатурном производстве. Методику отличает комплексный подход. Проектирование ГАСК выполнено на основе оптимальных технологических операций с использованием структурной и параметрической оптимизации; подструктур сборки ЭМ из однотипных компонентов; компоновки оборудования; оптимальных технологических операций сборки ЭМ из разнотипных компонентов, транспортных операций с учетом вероятностного характера сборки ЭМ в роботизированном комплексе ГАСК и обеспечения требуемой загрузки оборудования. Применение данной методики обеспечивает эффективную автоматизацию сборки ЭМ многономенклатурного производства.

Ключевые слова: электронный модуль, параметрическая оптимизация, структурная оптимизация, эффективность, комплексность, синтез.

Designing a robotic complex for assembling electronic units in multiproduct manufacture

Yu.V. Ivanov

Designing and automation of technological structures of a robotic flexible automated assembly complex (FAAC) is an urgent problem because of the wide use of electronic equipment. In its turn, it requires the automation of the electronic equipment itself. However, the multiproduct manufacture automation is difficult to implement. In this paper, a new method of computer design and optimization of robotic FAAC structures is proposed. The method is intended for assembling various electronic components into electronic units in the multiproduct production. A comprehensive approach is used. The design of FAACs is based on optimal technological operations using structural and parametric optimization, assembling identical electronic components into substructures, building the equipment, optimum technological operations of assembling heterogeneous electronic components, transport operations taking into account the probabilistic nature of assembling electronic components in FAACs and the required machine loading.

Keywords: electronic module, parameter optimization, structural optimization, efficiency, complexity, synthesis.

Электронные модули (ЭМ) на основе печатных плат и навесного монтажа электронных компонентов широко применяются в народном хозяйстве. Поскольку в дальнейшем предполагается, что производство модулей ЭМ будет увеличиваться, актуальна их автоматизация. Сложность автоматизации заключается в большой номенклатуре производства ЭМ (по статистике более 80 %). Из-за частой сменяемости изделий многономенклатурное производство ЭМ трудно автоматизировать, поэтому наиболее перспективна сборка ЭМ в роботизированном комплексе, например ГАСК. Развитие ГАСК сдерживается недостаточной научной базой проектирования. В литературе [1–5] рассмотрены примеры автоматизации ЭМ для безноменклатурного и мало номенклатурного производства. В работе [5] представлена идея проектирования роботизированных комплексов ГАСК, однако нет подробного описания (методик проектирования оптимальных технологических, транспортных операций, подструктур, компоновки).

Рассмотрим методику проектирования и оптимизации структур ГАСК сборки ЭМ многономенклатурного производства. В качестве примера на рис. 1 изображена технологическая структура ГАСК с подвесным обслуживающим промышленным роботом. Слева от транспортной магистрали расположено оборудование для подготовки выводов электронных компонентов (ЭК) к монтажу, справа — оборудование для автоматизированного монтажа, пайки, отмывки и контроля собранных модулей ЭМ.

Методика компьютерного проектирования и оптимизации технологических структур ГАСК сборки ЭМ в многономенклатурном производстве. Научная новизна методики заключается в многовариантном проектировании, оптимизации, комплексной оценке вариантов (по точности, надежности, трудоемкости, производительности, стоимости). В методике количественно учитываются номенклатура, годовая программа выпуска изделий и вид запуска изделий в производство. Применены два вида оптимизации: структурная и параметрическая. Структурная оптимизация означает максимальную интеграцию монтажа компонентов на автомате; параметрическая — оптимальную очередность монтажа компонентов. Надежность ГАСК оценивается его работоспособностью. Без методики трудно представить создание ГАСК

и эффективную автоматизацию сборки ЭМ в многономенклатурном производстве.

Область эффективного применения методики:

1) компьютерное проектирование гибких автоматизированных (в том числе роботизированных) комплексов сборки ЭМ серийного многономенклатурного производства;

2) получение на каждый тип собираемого модуля ЭМ индивидуальный рационально или оптимально построенный автоматизированный техпроцесс;

3) учет вероятностного характера сборки модулей ЭМ в роботизированном комплексе;

4) обоснованный выбор серийно выпускаемого технологического и транспортного оборудования;

5) при адаптации изделий ЭМ к требованиям автоматизированной сборки в ГАСК;

6) автоматизированная технологическая подготовка сборки ЭМ (проектирование и выпуск маршрутных, операционных карт, компоновки оборудования, блоков управляющей информации для оборудования с ЧПУ);

7) обоснованный выбор или проектирование специального технологического оснащения ГАСК (сборочных головок; автоматизированных накопителей ЭК, печатных плат; координатных систем; устройств загрузки/выгрузки плат; устройств базирования и закрепления плат).

Все сказанное относится ко всему комплексу методик проектирования ГАСК (оптимальных технологических, транспортных операций, подструктур, компоновки оборудования и собственно структур).

В методике представлены: постановка задачи проектирования с учетом ограничений; синтез вариантов структур ГАСК; оценка вариантов и сравнение с допусками; для прошедших тестирование структур — расчет характеристик, определение эффективности по комплексному показателю ($P_{к2}$), формирование оптимальной структуры ГАСК, разработка для нее технической документации.

Постановка задачи проектирования оптимальных структур ГАСК:

$$(R_{g \text{ опт}}, \tilde{N}_{g \text{ опт}}) = \arg \max \left[P_{к2} \left(R_g, \left\{ \tilde{O}_{z \text{ опт}} \right\}, \left\{ \tilde{G}_{y \text{ опт}}^{(p)} \right\}, \tilde{N}_g, \left\{ \tilde{P}_{gq \text{ опт}}^{\text{тп}} \right\} \right) \right],$$

где $R_{g \text{ опт}}$ — оптимальная модель структур ГАСК; $\tilde{N}_{g \text{ опт}}$ — оптимальная модель компоновки обо-

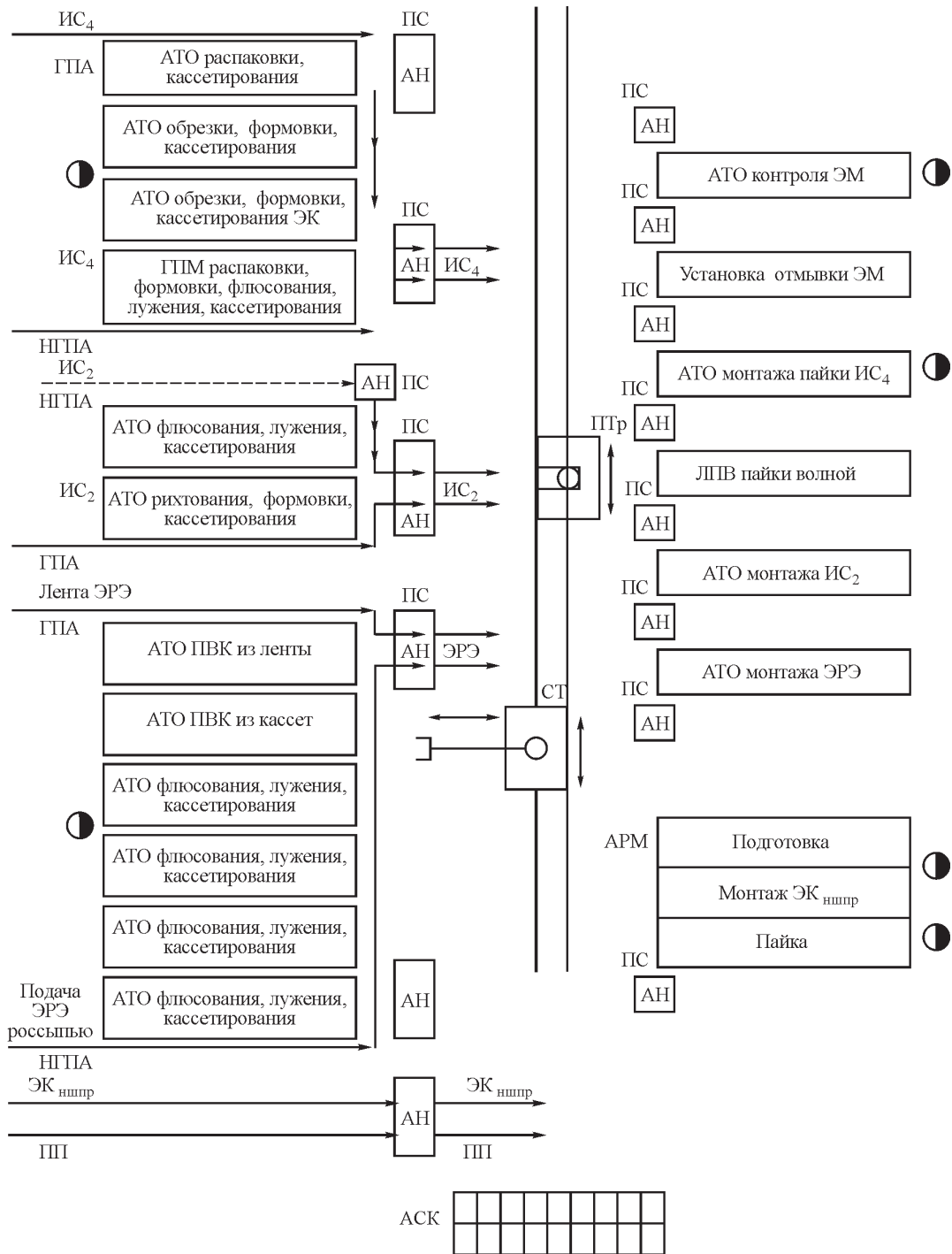


Рис. 1. Пример технологической структуры ГАСК:

IC₄ — интегральные микросхемы с планарными выводами; IC₂ — интегральные микросхемы в корпусе DIP; ГПА — выводы ЭК с гарантией пайки; АТО — сборочный технологический автомат или промышленный робот; ПП — печатная плата; ПС — приемный стол; АН — автоматизированный накопитель ПП, ЭМ; ПВК — программное вклеивание в ленту ЭРЭ разных размеров и номиналов; ЭРЭ — электрорадиоэлементы; НГПА — выводы ЭК без гарантии пайки; ЭК_{ншпр} — компоненты неширокого применения; АРМ — автоматизированное рабочее место

рудования; $P_{к2}$ — комплексный показатель эффективности ГАСК; $\tilde{O}_{z\text{ опт}}$ — модель оптимальных технологических операций; $\tilde{G}^{(p)}$ — модель подструктуры ГАСК; $\tilde{P}_{gp\text{ опт}}^{\text{тр}}$ — модель оптимальных транспортных операций.

В левой части модели записано что нужно получить (оптимальную структуру ГАСК и оптимальную компоновку оборудования), а в правой части модели указано за счет чего можно получить (за счет максимального значения аргумента). Аргументом здесь является комплексный показатель эффективности ГАСК:

$$P_{к2} = \frac{Q_{\text{гоп min}}}{\left\{ \sum_{j=1}^{n_{\text{ЭК}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{оп}}} [K_{\text{гоп}} + C_{\text{гоп}} + C_{\text{тр}} + K_{\text{тр}}] + C_{\text{ТП}} N_a \right\} K_{\text{и}}}$$

где $Q_{\text{гоп min}}$ — годовая производительность наиболее трудоемкой операции техпроцесса сборки изделия ЭМ; $n_{\text{ЭК}}$ — количество компонентов в изделии ЭМ; $n_{\text{оп}}$ — количество операций в техпроцессе; $K_{\text{гоп}}$ — постоянные годовые технологические затраты; $C_{\text{гоп}}$ — переменные годовые технологические затраты; $C_{\text{тр}}$ — переменные годовые транспортные затраты; $K_{\text{тр}}$ — постоянные годовые транспортные затраты; $C_{\text{ТП}}$ — затраты на проектирование техпроцесса АТП; N_a — номенклатура выпуска изделий ЭМ за год; $K_{\text{и}}$ — коэффициент приведения затрат к расчетному году.

Ограничения на суммарные постоянные и переменные затраты по структуре ГАСК имеют вид

$$K_{\Sigma}(R_g) \leq [K_{\Sigma}]_R \text{ и } \tilde{N}_{\Sigma}(R_g) \leq [\tilde{N}_{\Sigma}]_R.$$

На работоспособность ГАСК накладываются следующие ограничения:

- вероятность безотказной работы

$$P_{\text{ГАСК}}(T)(\hat{R}_g) \geq [P_{\text{ГАСК}}(T)];$$

- среднее время наработки на отказ

$$T_{\text{ср ГАСК}}(\hat{R}_g) \geq [T_{\text{ср ГАСК}}].$$

Показатель $P_{к2}$ определяет эффективность модели структур ГАСК R_g . ГАСК разработан с учетом оптимальных технологических операций $\tilde{O}_{z\text{ опт}}$, подструктур $\tilde{G}_{y\text{ опт}}^{(p)}$, компоновки оборудования \tilde{N}_g и оптимальных транспортных операций $\tilde{P}_{gp\text{ опт}}^{\text{тр}}$. При проектировании оптимальных структур ГАСК использованы: методы синтеза, технико-экономической оценки при-

нимаемых решений, полного перебора; определения и обеспечения точности, надежности; теория производительности, теория множеств.

Компьютерный синтез структур ГАСК [5]. Упрощенно можно сказать, что методика синтеза вариантов структур ГАСК включает комплекс действий: перебор множества шаблонов структур и выбор на каждом шаге очередного шаблона; формирование признаков и промежуточной модели структуры ГАСК R'_g (по ее шаблону); дополнение модели R'_g признаками (оптимальных подструктур, технологических операций $\tilde{Q}_{k\text{ опт}}^{\text{крп}}$); формирование промежуточных моделей структуры R''_g и \ddot{R}_g (при дополнении модели R'_g полными моделями компоновки \tilde{N}_g и транспортных операций $\tilde{N}_{gp\text{ опт}}^{\text{тр}}$); образование промежуточной модели \tilde{R}_g (учет работоспособности ГАСК, суммарных производственных затрат, производительности, сравнение вариантов с допусками, расчет значения комплексного показателя эффективности структур ГАСК); формирование модели $\tilde{R}_{g\text{ опт}}$ (выбор лучшего варианта (с $P_{к2} = P_{к2\text{ max}}$)); образование полной модели $R_{g\text{ опт}}$ оптимальной структуры ГАСК (при добавлении к $\tilde{R}_{g\text{ опт}}$ признаков — количества оборудования в ГАСК, обслуживающих рабочих и занимаемой площади); формирование технологической документации.

Рассматриваются все варианты структур. На этом цикл по шаблонам структур $R_g \in \tilde{R}$ заканчивается. В результате выполнения данного цикла происходит формирование предварительной $\tilde{R}_{g\text{ опт}}$, а затем и полной модели $R_{g\text{ опт}}$ оптимальной структуры.

После окончания цикла — переход к следующему действию (формированию дополнительной информации для модели структуры $R_{g\text{ опт}}$).

Формирование полной модели $R_{g\text{ опт}}$ оптимальной структуры ГАСК. Полная модель оптимальной структуры $R_{g\text{ опт}}$ создается с учетом дополнительных признаков (с индексами 6–8: количество оборудования, количество рабочих и площадь):

$$N_{\text{об}}(R_{g\text{ опт}}) = \sum_{z=1}^{n_z} [N_{\text{об}}(\tilde{O}_{z\text{ опт}})];$$

$$K_{\text{раб}}(R_{g\text{ опт}}) = \sum_{z=1}^{n_z} [K_{\text{раб}}(\tilde{O}_{z\text{ опт}})];$$

$$S(R_{g \text{ опт}}) = \sum_{z=1}^{n_z} [S(\tilde{O}_{\text{опт}})] + \sum_{q=1}^{n_{gq}} S_{\text{тр}}(\tilde{P}_{gq}^{\text{тр}});$$

$$R_{g \text{ опт}} = \bigcup_{k=0}^{15} \{z_k^{R_{g \text{ опт}}}\} =$$

$$= \tilde{R}_{g \text{ опт}} \bigcup_{k=6,7,8} \{z_k^{R_{g \text{ опт}}}\} \left\{ \begin{array}{l} z_6^{R_{g \text{ опт}}=N_{\text{об}}(R_{g \text{ опт}}); \\ z_7^{R_{g \text{ опт}}=K_{\text{раб}}(R_{g \text{ опт}}); \\ z_8^{R_{g \text{ опт}}=S(R_{g \text{ опт}}).} \end{array} \right\},$$

где $N_{\text{раб}}$ — число обслуживающих рабочих.
 Модель $R_{g \text{ опт}}$ получается путем объединения признаков модели $\tilde{R}_{g \text{ опт}}$ и признаков с индексами 6–8, определенных при проектировании.

Модель $R_{g \text{ опт}}$ учитывает результаты проектирования оптимальных технологических операций с концентрацией разнотипных переходов и оптимизацией последовательности их выполнения, компоновки автоматизированного технологического оборудования (АТО), оптимальных транспортных операций, параметры оптимального варианта структуры ГАСК.

Алгоритм компьютерного проектирования оптимальных структур ГАСК. Специальный алгоритм третьего этапа компьютерного проектирования структур ГАСК построен на основе методик проектирования и оптимизации: операций сборки ЭМ из разнотипных ЭК; компоновки оборудования; транспортных операций на основе системы массового обслуживания (СМО); оптимальных (по $P_{k2 \text{ max}}$) структур ГАСК.

Алгоритм состоит из 25 блоков (рис. 2). В блоках 1–13 алгоритма выполняется проектирование операций сборки ЭМ из разнотипных ЭК с их концентрацией и оптимизацией последовательности выполнения. Блок 1 формирует множества оптимальных подструктур $\tilde{G}_{\text{опт}}$ по всем компонентам ЭК $X^{(pi)} \in X$. В блоке 2 формируются и упорядочиваются множества оптимальных технологических операций $\tilde{O}_{\text{опт}}$ по всему техпроцессу АТП сборки ЭМ. В блоке 3 выполняется цикл по всем шаблонам множества $\bar{M} = \bar{M}^{(r)}$, $r = 1, nM$ (на каждом шаге выбирается очередной шаблон вида монтажа $\bar{M}^{(r)}$; индекс перебора шаблонов вида монтажа r). В блоке 4 формируются множества оптимальных операций $\tilde{O}_{\text{опт}}^{\text{коп}}$ с концентрацией однотипных переходов

(КОП) для последующего проведения концентрации разнотипных переходов (КРП) и моделей разнотипных компонентов ЭК.

В блоке 5 выполняется проверка условия, есть ли в составе техпроцесса АТП сборки ЭМ хотя бы две различные операции (из еще не рассмотренных), которые допускают проведение концентрации разнотипных переходов. Если условие выполнено, то переход к блоку 6, если нет — выход из цикла по видам монтажа ЭК $\bar{M} = \bar{M}^{(r)}$ и переход к блоку 13.

В блоке 6 формируются признаки модели технологической операции $\tilde{O}_k^{\text{крп}}$ с концентрацией разнотипных переходов путем объединения разнотипных переходов из операций множества $\tilde{O}_{\text{опт}}^{\text{коп}}$ в операцию $\tilde{O}_k^{\text{крп}}$; проектируется промежуточная модель операции $\tilde{O}_k^{\text{крп}}$ на основе признаков с индексами 0–7.

В блоке 7 на операцию $\tilde{O}_k^{\text{крп}}$ назначается множество технологического оборудования АТО $T_k^{\text{крп}} \in T$. При этом формируется множество единиц (марок) АТО $T_k^{\text{крп}}$.

В блоке 8 выполняется оптимизация последовательности установки разнотипных ЭК из множества $X^{\text{коп}}$ по минимальному суммарному пути координатной системы (КС) $L_{\text{КС}}$ с учетом ограничений (не учет петель, заход в каждую позицию установки компонента ЭК 1 раз). Здесь также формируются признак $z_6^{\tilde{O}_k^{\text{крп}}}$ и промежуточная модель операции $\tilde{O}_k^{\text{крп}}$.

В блоке 9 происходит цикл по всем единицам АТО из сформированного множества $T_k^{\text{крп}}$ марок оборудования (на каждом шаге выбирается очередная марка АТО $T_{kv}^{\text{крп}} \in T_k^{\text{крп}}$; индекс перебора марок АТО v).

В блоке 10 на модель операции $\tilde{O}_{kv}^{\text{крп}}$ назначается марка оборудования АТО $T_{kv}^{\text{крп}}$, оснастки СТО и рассчитываются основные параметры модели операции $\tilde{O}_k^{\text{крп}}$:

$$\{T_{\text{шк}j}(\tilde{O}_k^{\text{крп}})\}, \{T_{\text{шк}j}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}})\},$$

$$T_{\text{п-3}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}}), N_{\text{об}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}}),$$

$$K_{\text{раб}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}}), S(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}}),$$

$$C_{\text{гоп}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}}), K_{\text{гоп}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}}),$$

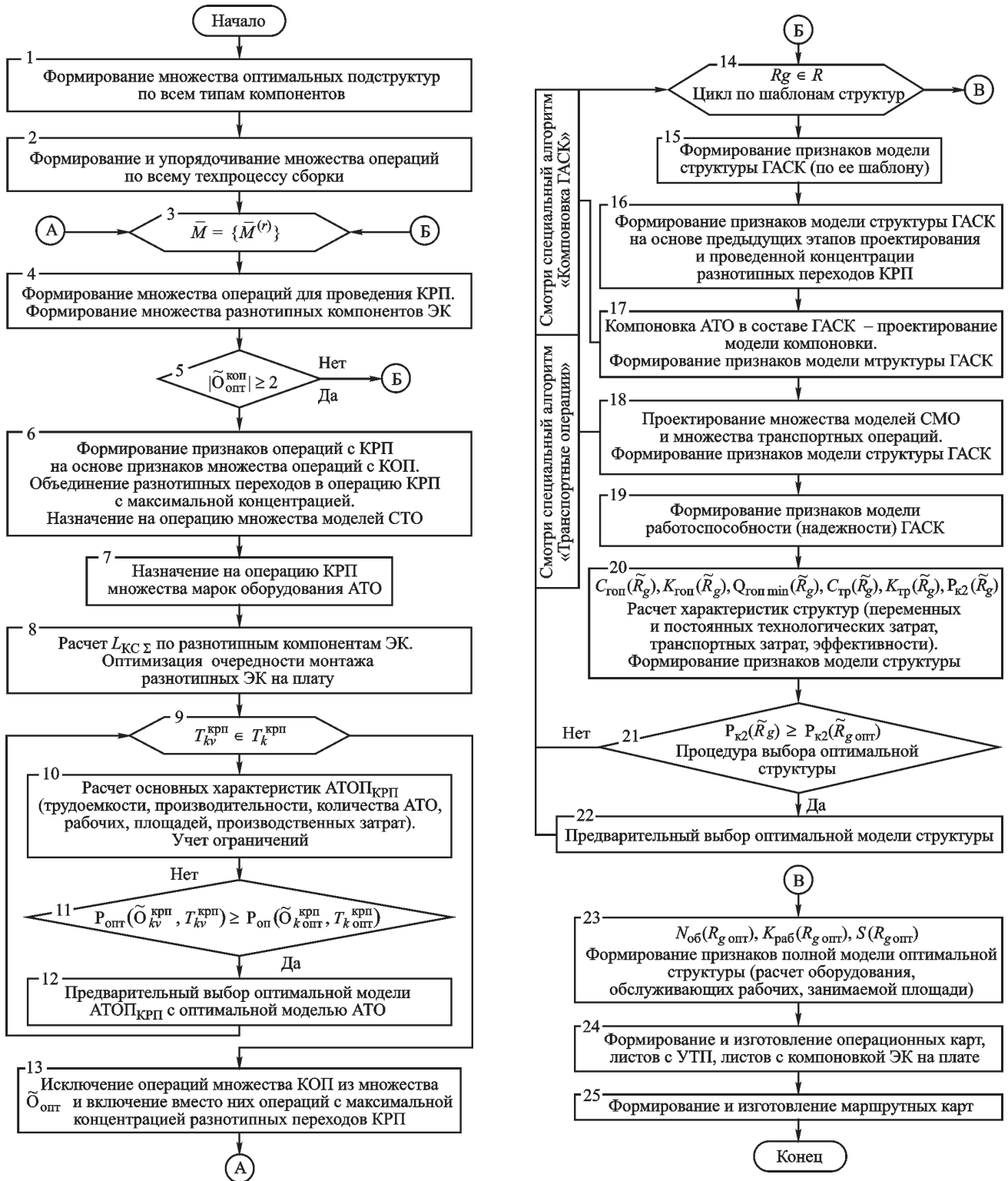


Рис. 2. Алгоритм проектирования оптимальных структур ГАСК сборки ЭМ

$$K_{\text{гоп}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}}), C_{\text{тр}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}}), \\ K_{\text{тр}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}}), P_{\text{оп}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}}).$$

Расчет времен $T_{\text{шк}}, T_{\text{шт}}, T_{\text{ср.шт}}$ выполняется для всех операции АТОП_{крп} по всей номенклатуре изделий ЭМ и типам ЭК; количества АТО, обслуживающих рабочих, производительности, занимаемой площади, суммарных производственных переменных и постоянных затрат, показателя эффективности $P_{\text{оп}}$ операции АТОП_{крп}. При этом выполняется проверка, будут ли параметры модели операции $O_k^{\text{крп}}$ с назначенной на нее маркой АТО $T_{kv}^{\text{крп}}$ удовлетворять ограничениям, накладываемым на операцию. Если не удовлетворяют, то модель АТО $T_{kv}^{\text{крп}}$ исключается из множества $T_k^{\text{крп}}$ и более не рассматривается; если удовлетворяют — переход к следующему шагу цикла по моделям АТО $T_k^{\text{крп}}$ (блок 11). При объединении признаков модели $O_k^{\text{крп}}$ с индексами 0–7, 23–25 и признаков с индексами 8–22, определенных при проектировании, формируется промежуточная модель операции $O_k^{\text{крп}}$. В блоке 11 выполняется сравнение вычисленного значения показателя оптимальности операции $P_{\text{оп}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}})$ с максимальным его значением по другим вариантам.

В блоке 12 определяется наибольшее значение эффективности варианта структуры ГАСК. Если значение показателя $P_{\text{оп}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{kv}^{\text{крп}})$ больше максимального значения $P_{\text{оп}}(\tilde{O}_k^{\text{крп}}, T_{\text{копт}}^{\text{крп}})$, то марка АТО $T_{kv}^{\text{крп}}$ принимается оптимальной для операции $\tilde{O}_k^{\text{крп}}$ на данном шаге цикла: $T_{kv}^{\text{крп}} = T_{\text{копт}}^{\text{крп}}$. После окончания цикла переход к блоку 13.

В блоке 13 происходит исключение операций множества $\tilde{O}_{\text{опт}}^{\text{копт}}$ с КОП из множества $\tilde{O}_{\text{опт}}$ по всему техпроцессу АТП сборки ЭМ, включение вместо них оптимальной операции $\tilde{O}_{\text{копт}}^{\text{крп}} = \tilde{O}_k^{\text{крп}}$ с максимальной концентрацией разнотипных переходов (КРП) и формирование множества моделей оптимальных операций. Множество моделей оптимальных операций есть разность множеств $\tilde{O}_{\text{опт}}$ и $\tilde{O}_{\text{опт}}^{\text{копт}}$ с последующим объединением разности и модели

оптимальной операции $\tilde{O}_{\text{копт}}^{\text{крп}}$. После окончания цикла переход к блоку 14.

В блоке 14 выполняется цикл по всем шаблонам структур множества $\bar{R} = \{\bar{R}_g, g \in G\}$, построенного на базе унифицированных структур. На каждом шаге выбирается очередной шаблон \bar{R}_g (индекс перебора шаблонов структур g).

В блоке 15 происходит формирование признаков ($z_0^{R_g}$ и $z_1^{R_g}$) и промежуточной модели структуры ГАСК R'_g на основе признаков с индексами 0, 1, 15.

В блоке 16 модель структуры R'_g дополняется признаками (с индексами 2 и 3), определенными при проектировании и в результате проведения концентрации разнотипных переходов (блоки 1–13). Формируется промежуточная модель структуры R''_g (модель R''_g есть объединение признаков модели R'_g с индексами 0, 1, 15 и признаков с индексами 2, 3, определенных при проектировании).

В блоке 17 проектируется модель компоновки АТО ГАСК N_g и промежуточная модель структуры R''_g . Модель R''_g дополняется значением признака $z_4^{R_g} = z_0^{N_g}$ (идентификатором модели (ИМ) компоновки ГАСК). В результате объединения признаков модели R''_g с индексами 0–3, 15 и признака с индексом 4 (определенного при проектировании компоновки АТО, если $z_4^{R_g} = z_0^{N_g}$) получается модель структуры R'''_g .

В блоке 18 выполняется проектирование, оптимизация транспортных операций $\tilde{O}_{gq}^{\text{тр}} = \{\tilde{O}_{gqz}^{\text{тр}}\}$ на основе моделей систем массового обслуживания (СМО) $\tilde{P}_g^{\text{тр}} = \{\tilde{P}_{gq}^{\text{тр}}\}$ и промежуточной модели структуры R'''_g модель структуры R'''_g дополняется значением признака $z_5^{R_g} \{z_0^{\tilde{P}_{gqz}^{\text{тр}}}\}$ — множеством идентификаторов модели (МИМ) СМО. При объединении признаков модели R'''_g и признака с индексом 5, полученного при проектировании и оптимизации транспортной операции, образуется модель структуры \hat{R}_g .

В блоке 19 формируются признаки и модель работоспособности (надежности) ГАСК \hat{R}_g (вероятность безотказной работы участков $P_{i \text{ тр}}(T)$

и ГАСК в целом $P_{\text{ГАСК}}(T)$; их интенсивность отказов $\lambda_{i \text{ гр}}$ и $\lambda_{\text{ГАСК}}$ и среднее время наработки на отказ $T_{\text{ср } i \text{ гр}}$ и $T_{\text{ср ГАСК}}$ по уникальным идентификаторам (УИ) модели работоспособности ГАСК $z_0^{\tilde{R}_g}$ и идентификаторам модели (ИМ) структуры, на основе которой проектируется данная модель $z_1^{\tilde{R}_g} = z_0^{\tilde{R}_g}$.

В результате получается полная модель работоспособности (надежности) ГАСК \tilde{R}_g — объединение признаков модели с индексами 0–28.

В блоке 20 производится расчет параметров модели промежуточной структуры \tilde{R}_g ГАСК, формирование признаков, значения комплексного показателя эффективности структур ГАСК $P_{k2}(\tilde{R}_g)C_{\text{гоп}}(\tilde{R}_g)$, $C_{\text{гоп}}(\tilde{R}_g)$, $K_{\text{гоп}}(\tilde{R}_g)$, $Q_{\text{гоп min}}(\tilde{R}_g)$, $C_{\text{тр}}(\tilde{R}_g)$, $K_{\text{тр}}(\tilde{R}_g)$, $P_{k2}(\tilde{R}_g)$. В этом блоке также проверяется выполнение условий неравенств по ограничениям:

$$C_{\text{гоп}}(\tilde{R}_g) \leq [C_{\text{гоп}}]_R;$$

$$K_{\text{гоп}}(\tilde{R}_g) \leq [K_{\text{гоп}}]_R.$$

Если параметры \tilde{R}_g не удовлетворяют требованиям (тестам), то структура исключается из множества R как не эффективная и осуществляется переход к следующему шагу цикла по шаблонам структур \tilde{R}_g (блок 14). Для структур, прошедших тесты, переход — к блоку 21, в котором вычисленное значение критерия $\{P_{k2}(\tilde{R}_g) \geq P_{k2}(\tilde{R}_{g \text{ опт}})\}$ сравнивается с максимально достигнутым на данном шаге.

В блоке 22 выбирается модель $\tilde{R}_{g \text{ опт}}$ оптимальной структуры.

Если условие блока 21 не выполнено — переход к блоку 14.

В результате выполнения цикла (блоки 14–21) выбирается предварительная модель оптимальной структуры.

В блоке 23 производится подготовка дополнительной информации для полной модели структуры $R_{g \text{ опт}}$ (количество оборудования, обслуживаемых рабочих, занимаемая площадь). Формируется полная модель оптимальной структуры $R_{g \text{ опт}}$, которая получается при объединении признаков модели $R_{g \text{ опт}}$ и признаков с индексами 6–8, определенных при проектировании.

В блоке 24 формируются и изготавливаются (по специальным алгоритмам) операционные карты, листы с управляющими технологическими программами (УТП), листы с компоновкой компонентов ЭК на плате ПП. Основой для изготовления листов с компоновкой ЭК на плате ПП служит содержимое множества таблиц «Модели ЭК $X^{(n)}$ ». Листы с УТП разрабатываются на основе информации, полученной по результатам проектирования операций АТОП_{КРП}.

В блоке 25 осуществляется формирование (по специальному алгоритму) и изготовление маршрутных карт.

Таким образом, рассмотренная методика и алгоритм проектирования оптимальных структур роботизированного комплекса ГАСК позволяют: выполнить синтез вариантов структур ГАСК; произвести их оценку и сравнить с допусками (протестировать). Не прошедшие тест варианты отбрасываются как не эффективные. Для прошедших тест версий определяются технические характеристики и эффективность (P_{k2}), выбирается оптимальная структура ГАСК ($P_{k2} = P_{k2 \text{ max}}$), для которой разрабатывается и изготавливается техническая документация.

Методика разработана на основе оптимальных технологических, транспортных операций, компоновки оборудования, с учетом вероятностного характера сборки ЭМ в ГАСК, номенклатуры, годовой программы выпуска, комплексной оценки вариантов структур ГАСК по точности, надежности, затратам, производительности, эффективности ГАСК (по P_{k2}) [6–10]. Без методики невозможна автоматизация эффективной сборки ЭМ многономенклатурного производства.

Литература

- [1] Асаль Р. *Роботы и автоматизация производства*. Москва, Машиностроение, 2001. 448 с.
- [2] Шпур Г., Краузе Ф.-Л. *Автоматизированное проектирование в машиностроении*. Москва, Машиностроение, 1988. 648 с.
- [3] Козырев Ю.Г., ред. *Роботизированные производственные комплексы*. Москва, Машиностроение, 2002. 272 с.
- [4] Мэнгин Ч.Г., Макклелланд С. *Технология поверхностного монтажа*. Москва, Мир, 1990. 276 с.
- [5] Иванов Ю.В. Концептуальная модель автоматизированного проектирования структур ГАСК многономенклатурного производства электронных ячеек. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2001, № 2, с. 58–68.
- [6] Иванов Ю.В., Курносенко А.Е. *Базы данных для САПР структур ГАСК сборки ЭМ 1-го уровня*. Свидетельство ФС интеллектуальной собственности. № 2006620158. 2006.
- [7] Иванов Ю.В., Курносенко А.Е. *Модуль автоматизированной разработки расписания запуска ЭМ первого уровня*

в многоменклатурное производство. Свидетельство ФС интеллектуальной собственности. № 2006611921. 2006.

[8] Иванов Ю.В., Курносенко А.Е. *САПР структур ГАСК сборки ЭМ 1-го уровня*. Свидетельство ФС интеллектуальной собственности. № 2006611922. 2006.

[9] Иванов Ю.В., Курносенко А.Е. *Модуль автоматической компоновки оборудования и проектирования транспортных операций*. Свидетельство ФС интеллектуальной собственности. № 2006611923. 2006.

[10] Иванов Ю.В., Курносенко А.Е. *Модуль определения оптимальной последовательности монтажа компонентов ЭК на плату ПП и автоматизированной подготовки УТП для оборудования с ЧПУ*. Свидетельство ФС интеллектуальной собственности. № 2006611924. 2006.

References

[1] Asal' R. *Roboty i avtomatizatsiia proizvodstva* [Robots and automation]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2001. 448 p.

[2] Shpur G., Krauze F.-L. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii* [Computer-aided design in engineering]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1988. 648 p.

[3] *Robotizirovannye proizvodstvennye komplekсы* [Robotic production complexes]. Ed. Kozyrev Iu.G. Moscow, Mashinostroenie publ., 2002. 272 p.

[4] Mengin Ch.G., Makklelland S. *Tekhnologiia poverkhnostnogo montazha* [Surface Mount Technology]. Moscow, Mir publ., 1990. 276 p.

[5] Ivanov Iu.V. *Kontseptual'naiia model' avtomatizirovannogo proektirovaniia struktur GASK mnogomenklaturnogo proizvodstva elektronnykh iacheek* [Conceptual model of computer-aided design of structures Gask multiproduct production

of electronic cells]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Instrument Engineering]. 2001, no. 2, pp. 58–68.

[6] Ivanov Iu.V., Kurnosenko A.E. *Bazy dannykh dlia SAPR struktur GASK sborki EM 1-go urovnia* [Databases for CAD assembly structures Gask EM Level 1]. Certificate of the Federal Service of Intellectual Property no. 2006620158. 2006.

[7] Ivanov Iu.V., Kurnosenko A.E. *Modul' avtomatizirovannoi razrabotki raspisaniia zapuska EM pervogo urovnia v mnogomenklaturnoe proizvodstvo* [Module automated development schedules, the first level in EM diversified production]. Certificate of the Federal Service of Intellectual Property no. 2006611921. 2006.

[8] Ivanov Iu.V., Kurnosenko A.E. *SAPR struktur GASK sborki EM 1-go urovnia* [CAD assembly structures Gask EM Level 1]. Certificate of the Federal Service of Intellectual Property no. 2006611922. 2006.

[9] Ivanov Iu.V., Kurnosenko A.E. *Modul' avtomaticheskoi komponovki oborudovaniia i proektirovaniia transportnykh operatsii* [Module of automatic equipment layout and design of transport operations]. Certificate of the Federal Service of Intellectual Property no. 2006611923. 2006.

[10] Ivanov Iu.V., Kurnosenko A.E. *Modul' opredeleniia optimal'noi posledovatel'nosti montazha komponentov EK na platu PP i avtomatizirovannoi podgotovki UTP dlia oborudovaniia s ChPU* [Module determine the optimal sequence of component mounting PCB EC PP and automated preparation of TSS for CNC equipment]. Certificate of the Federal Service of Intellectual Property no. 2006611924. 2006.

Статья поступила в редакцию 23.12.2013

Информация об авторе

ИВАНОВ Юрий Викторович (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: Yvivanov@bmstu.ru).

Information about the author

IVANOV Yuriy Viktorovich (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Professor of «Design and Manufacture of Electronic Equipment» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: Yvivanov@bmstu.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышло в свет учебное пособие «Математические методы принятия решений», автора А.А. Грешилова.

Изложены методы решений задач математического программирования и статистических задач принятия решений (задачи распознавания образов). Рассмотрены алгоритмы, позволяющие учитывать влияние погрешностей всех случайных величин, фигурирующих в задаче (конфлюэнтный анализ).

Рассматриваются реальные примеры, например, идентификации землетрясений и слабых взрывов по результатам сейсмических наблюдений, идентификации летательных аппаратов, задачи о назначениях, о максимизации выпуска продукции и т. п.

К пособию прилагается оптический диск с обучающими программными продуктами.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;

press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru