

УДК 658.52.01.56

## МЕТОД ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХПРОЦЕССОВ И СТРУКТУР РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ СБОРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Ю.В. Иванов**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация  
e-mail: Yvivanov@bmstu.ru

*Для оценки эффективности роботизированных комплексов, например гибких автоматизированных сборочных комплексов для электронных модулей, метод технико-экономической оценки должен учитывать номенклатуру, годовой объем выпуска электронных модулей, производительность, стоимость; особенности технологических автоматов, электронных модулей, оснастки; фактическую загрузку технологических автоматов, их готовность к работе, выход годных электронных модулей; иметь формулы расчета производственных затрат, затрат на технологическую подготовку; быть универсальным, легко формализуемым; иметь ориентацию на рыночную экономику; способствовать совершенствованию изделий электронных модулей и технологической сборочной среды. Показано, что существующие методы анализа не отвечают требованиям гибких автоматизированных сборочных комплексов. Рассмотренный авторский метод технико-экономической оценки и комплексный показатель эффективности на его основе удовлетворяют требованиям сборки электронных модулей в гибкие автоматизированные сборочные комплексы.*

**Ключевые слова:** эффективность, комплексность, производительность, стоимость.

## TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT METHOD FOR THE EFFECTIVENESS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND ROBOTIC COMPLEXES STRUCTURES FOR ELECTRONIC MODULES ASSEMBLAGE WITHIN MULTINOMENCLATURE PRODUCTION

**Yu.V. Ivanov**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation  
e-mail: Yvivanov@bmstu.ru

*To evaluate the effectiveness of robotic complexes, for example flexible automated assembly systems for electronic modules, method technical and economic assessment should take into account nomenclature, annual production volume of electronic modules, performance, cost; features of technological automata, electronic modules and accessory; factual loading of technological automata and their readiness to the work; manufacturing yields of electronic modules; have the presence of the formulas for calculating production costs and costs of technological preparation; opportunity to be universal and easily be formalized; orientation to a market economy; the need to improve products of electronic modules and technological assembly datum surface. It is shown that the current methods of analysis do not respond the requirements of flexible automated assembly systems. Considered the author's method technical and economic assessment and complex efficiency index based on it satisfy requirements of the electronic modules assemblage into flexible automated assembly systems.*

**Keywords:** efficiency, complexity, capacity, cost.

Малонomenclатурное производство электронных модулей (ЭМ) автоматизировано средствами традиционной автоматизации — специальными автоматическими линиями. Наиболее трудно автоматизировать многономенклатурное производство, когда смена типов изделий происходит часто. Здесь наиболее перспективны роботизированные комплексы (РК), например гибкие автоматизированные сборочные комплексы (ГАСК). Но проектирование и распространение ГАСК сдерживается рядом факторов. Среди них неприспособленность изделий к условиям сборки в ГАСК; несовершенство применяемых технологических сборочных процессов, оборудования, оснастки; отсутствие научных основ проектирования ГАСК. Как показали исследования [1], проектирование ГАСК и его элементов должно быть комплексным, компьютерным, многовариантным, оптимальным. Для этого нужны методы технико-экономической оценки (ТЭО), синтеза, оптимизации, точности, надежности, производительности, стоимости. В настоящей статье рассмотрена разработка метода ТЭО.

**Цель исследования.** Оценка эффективности автоматизированных технологических процессов и структур РК сборки ЭМ в многономенклатурном производстве методом ТОЭ.

**Постановка задачи.** Для количественной оценки конструкторско-технологических решений при проектировании автоматизированных технологических процессов (АТП), структур ГАСК и их элементов; для совершенствования, сравнения между собой, выбора лучшего из них нужен критерий. Объективно оценить эти решения можно по показателю, учитывающему технические, технико-экономические, экономические и производственные факторы сборки изделий ЭМ в ГАСК.

Метод оценки ТЭО эффективности структур ГАСК и их элементов многономенклатурного производства ЭМ должен учитывать номенклатуру, годовой объем выпуска ЭМ, конструкторско-технологические особенности изделия (электронных модулей ЭМ), оборудования, оснастки; фактическую загрузку автоматизированных технологических операций (АТО), его готовность к работе; выход годных изделий ЭМ; иметь механизмы (формулы) расчета производственных затрат по технологическим, транспортным операциям, незавершенному производству, затрат на технологическую подготовку; быть универсальным, легко формализуемым; иметь ориентацию на рыночную экономику; способствовать совершенствованию изделий ЭМ и технологической сборочной среды.

**Обзор известных результатов.** Существует несколько подходов в определении эффективности проектов. Традиционные подходы (на основе показателей плановой экономики) [1–3] хорошо изучены, достаточно просты для применения. В них накоплен большой статистический материал. Другие (на показателях рыночной экономики) —

позволяют оценить инвестиции и риски (они трудны в понимании, применении, часто имеют недостаточную статистическую базу). Автор работы [4] предлагает при выборе и сравнении технологических проектов использовать традиционные подходы, а при оценке инвестиционных потоков – методики на основе инвестиционных вложений с учетом рисков. Но и те и другие не учитывают номенклатуру производства.

Существующие методы и методики технико-экономической оценки эффективности сборочных комплексов [1, 2] в машино- и приборостроении (табл. 1, 2) по заложенным в них критериям можно условно распределить на три группы.

Таблица 1

**Сравнение существующих методов анализа**

Наименование метода	Формулы для расчета
Метод профессора Г.А. Шаумяна. В основе – $\lambda$ коэффициент роста производительности труда	$\lambda > 1 \quad \lambda = \Pi_{\Pi} / \Pi_{Б};$ $\Pi = Q_{Г} N / [T_{\Pi} + N(T_{V} + T_{Ж})]^{-1}$ $Q_{Г} = Q_{Ч} \Gamma_{ЭГФ}; \quad Q_{Ч} = (T_{O} + T_{X} + T_{ВЦП})^{-1};$ $T_{ВЦП} = T_{И} + T_{Е} + T_{ОРГ} + T_{К} + T_{ПЕР}$
Метод Госплана и АН СССР. В основе $n_{P}$ – срок окупаемости	$n_{P} < n_{Н}; \quad n_{P} = (K_{2} - K_{1}) / (C_{1} - C_{2});$ $K = Ц_{ОБ} + K_{ПЛ}; \quad = C_{M} + C_{3} + C_{ОБ} + C_{ПЛ} + C_{A} + C_{Э} + C_{ПЛ} + C_{ОСН} + C_{Ц}$
Метод группы под руководством М.И. Ипатова. В основе – результат $P$	$\Delta_{\Sigma} = P + 3;$ $\Delta_{\Sigma} = \sum_{t_{Н}}^{t_{К}} P_{T} \cdot \alpha_{T} - \sum_{t_{Н}}^{t_{К}} (I_{t} + K_{t} + Л_{t}) \alpha_{t}$

Таблица 2

**Возможности методов анализа**

Характерные особенности метода	1	2	3	ТЭО
Учет номенклатуры выпуска изделий	–	–	–	+
Учет объема выпуска изделий	+	+	+	+
Учет конструктивных особенностей выпускаемых изделий	–	–	–	+
Учет конструктивных особенностей технологического оборудования изготавливающего изделия	–	–	–	+
Возможность выбора оптимального варианта из множества	–	–	–	+
Наличие формул расчета всех составляющих (методик)	(ч)	+	(ч)	+
Возможность использования критерия для совершенства изделий и технологических средств	(ч)	(ч)	(ч)	+
Наличие программного обеспечения для ПЭВМ	–	–	–	+

К первой группе отнесем метод профессора Г.А. Шаумяна, основанный на теории производительности труда [2]. Критерием в нем служит коэффициент роста производительности труда  $\lambda$ , определяемый как отношение производительностей труда проекта  $\Pi_2$  и базового варианта  $\Pi_1$ :

$$\lambda = \frac{\Pi_2}{\Pi_1} \geq 1 \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{\varphi[K + (m + 1)N]}{K\sigma + (m\delta + 1/\varepsilon)N} \geq 1,$$

где  $\varphi = \frac{Q_{г2}}{Q_{г1}}$ ,  $K = \frac{T_{п}}{T_{ж}}$ ,  $m = \frac{T_v}{T_{ж}}$ ,  $\delta = \frac{T_{\Pi_2}}{T_{\Pi_1}}$ ,  $\varepsilon = \frac{T_{ж1}}{T_{ж2}}$  — соответственно коэффициенты роста производительности технологического оборудования АТО, его технической вооруженности, снижения текущих затрат, уменьшения прошлых затрат, снижения затрат живого труда;  $N$  — число лет эксплуатации АТО. При  $\lambda \geq 1$  подтверждается целесообразность проекта; при  $\lambda \leq 1$  — проект не совершенен. Метод учитывает производительность АТО, постоянные и переменные затраты, связанные с производством изделий. Косвенно (через потери на обслуживание и переналадку АТО) можно учесть номенклатуру выпускаемых изделий, но механизма расчета этих потерь нет. При расчете производительности АТО не учитывается его фактическая загрузка, готовность к работе, выход годных изделий. Не учтены в нем особенности изделий ЭМ и оборудования, оснастки, а также затраты на незавершенное производство, разработку технологического процесса, управляющих программ.

Ко второй группе относятся метод и методики, разработанные учеными АН СССР, Госплана и развитые в трудах ЭНИМСа и НИАТа [1]. Они основаны на определении срока окупаемости проекта  $n$ , который должен укладываться в нормативный  $n_n$ . Срок окупаемости определяется как отношение разностей постоянных затрат проекта  $K_2$  и базового варианта  $K_1$  к разности переменных затрат базового  $C_1$  и проекта  $C_2$ :

$$n = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} \leq n_n,$$

где  $K = C_{об} + K_{пл}$  ( $C_{об}$  — стоимость оборудования;  $K_{пл}$  — стоимость занимаемых площадей);  $C = C_m + C_3 + C_{об} + C_a + C_{эл} + C_{осн} + C_{пл} + C_{ц}$ , где  $C_m$ ,  $C_3$ ,  $C_{об}$ ,  $C_a$ ,  $C_{эл}$ ,  $C_{осн}$ ,  $C_{пл}$ ,  $C_{ц}$  — годовые затраты на изготовление изделия по материалам, зарплате основных рабочих, на эксплуатацию оборудования, на электроэнергию, оснастку, производственную площадь и цеховые расходы).

Метод и методики имеют механизмы расчета постоянных и переменных затрат, но не учитывают особенности изделий ЭМ, номенклатуру их выпуска, особенности оборудования для их производства. При расчете производительности АТО не учитывается его фактическая загрузка, выход годных изделий, готовность к работе.

Метод третьей группы [1], разработанный коллективом ученых МГТУ им. Н.Э. Баумана (М.И. Ипатовым, К.А. Грачевой, И.М. Разумовым и др.), основан на определении суммарного экономического эффекта  $\mathcal{E}_\Sigma$ , полученного от применения проекта, как разности результатов реализации  $P_T$  и затрат  $Z_T$ :

$$\mathcal{E}_\Sigma = (P_T^o + P_T^c)\alpha_T - \sum_{t_n}^{t_k} (U_T + K_T - L_T)\alpha_T,$$

где  $P_T^o$  — рыночная стоимость реализации продукта;  $P_T^c$  — сопутствующий эффект;  $U_T$  — текущие издержки, связанные с выпуском продукта;  $K_T$  — капитальные затраты;  $L_T$  — ликвидная стоимость отходов;  $\alpha_T$  — коэффициент приведения к расчетному году.

Метод ориентирован на рыночную экономику. В нем применены такие понятия, как рыночная стоимость, прибыль, ликвидная стоимость и др., позволяющие более полно использовать при расчете особенности рыночной экономики. Однако он не учитывает номенклатуру выпуска, особенности изделий ЭМ и оборудования для их производства, которые бы позволили разработчику совершенствовать свои изделия и оборудование в зависимости от изменяющихся требований рынка.

Указанные методы являются фундаментальными научными трудами в области технико-экономического анализа средств автоматизации и новой техники машино- и приборостроения, однако в полной мере не отвечают указанным требованиям для применения в структурах ГАСК многономенклатурного производства ЭМ.

**Основные результаты.** В предложенном методе [5] оценки АТП, структур ГАСК и их элементов использованы разработанные и проверенные автором следующие положения: 1) за критерий оценки эффективности АТП, структур ГАСК и их элементов принят комплексный показатель  $P$  [отношение пользы к затратам (пользой является производительность средств автоматизации; затратами — их рыночная цена, стоимость эксплуатации и технологической подготовки)]; 2) за расчетный период определения эффективности принят один год (годовая производительность  $Q_{\text{гоп}}$ , годовые затраты); 3) в расчетах эффективности применены удельные (приходящиеся на один компонент ЭК) затраты, позволившие учесть в явном виде номенклатуру  $N_a$  и годовой объем выпуска ЭМ  $N_{\text{эм}}$ ; 4) производительность для структур (подструктур) ГАСК определяется для наиболее трудоемкой операции (наихудший сценарий); 5) при расчете производительности  $Q_{\text{гоп}}$  учтено не только полное время операции  $T_{\text{шк}}$ , но и фактический коэффициент загрузки АТО  $K_3$ , готовность АТО к работе  $\rho$ , выход с АТО годных изделий  $K_{\text{тп}}$ ; 6) при расчете составляющих времени на операцию (основное  $T_o$ , вспомогательное  $T_b$ , на обслуживание  $T_{\text{обс}}$ , пе-

реналадку  $T_{\text{пер}}$  и отдых  $T_{\text{отд}}$ ) учтены конструкторско-технологические особенности АТО и серийной технологической оснастки (СТО); 7) затраты разделены на постоянные и переменные; 8) в состав постоянных затрат входят: рыночная стоимость оборудования, оснастки, налог с продажи, доставка и пусконаладочные работы у пользователя, аренда производственных и служебных площадей; 9) в переменных затратах учтены особенности изделия (тип, расположение ЭК, вид монтажа); 10) переменные затраты включают в себя: стоимость собственно сборки, зарплату рабочих; расходы на эксплуатацию оборудования и его программного устройства управления, оснастку, инструмент, амортизационные отчисления; стоимость разработки программ УТП, компонентов, вспомогательных материалов, исправления брака, незавершенного производства, технологической подготовки; цеховые расходы; 11) на основе метода ТЭО разработаны показатели  $P$ , позволяющие оценить технико-экономические характеристики как отдельных операций —  $P_{\text{оп}}$ , так и всего комплекса ГАСК —  $P_{\text{к}}$  ( $P_{\text{к1}}$  — для подструктур,  $P_{\text{к2}}$  — для структур ГАСК); 12) на основе формул показателя  $P$  построены технико-экономические оценочные модели сборочных процессов и комплексов многономенклатурного производства ЭМ.

Показатель эффективности  $P$  является комплексным, объективным, так как учитывает параметры, существенно влияющие на характеристики сравниваемых вариантов структур ГАСК и их элементов (конструктивно-технологические особенности ЭМ, оборудования АТО, оснастки и условия производства). Этот показатель легко формализуется, универсален (применимым с минимальными изменениями для оптимизации объектов каждого этапа проектирования) на первом этапе  $P_{\text{оп}}$  — для переходов, АТО, СТО, операций:

$$P_{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{гоп}}}{K_{\text{гоп}} + C_{\text{гоп}} + K_{\text{тр}} + C_{\text{тр}}}.$$

На втором этапе — показатель эффективности  $P_{\text{к1}}$  для технологических процессов и подструктур сборки ЭМ из однотипных компонентов ЭК:

$$P_{\text{к1}} = \frac{Q_{\text{гоп min}}}{\sum_{i=1}^{n_{\text{оп}}} [K_{\text{гоп}} + K_{\text{тр}} + C_{\text{гоп}} + C_{\text{тр}}] + C_{\text{тп}} N_a}.$$

На третьем этапе — показатель эффективности  $P_{\text{к2}}$  для технологических процессов и структур ГАСК сборки ЭМ из разнотипных компонентов ЭК):

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

Здесь  $Q_{\text{гоп}} = \frac{K_3 \rho K_{\text{тп}} N_{\text{об}} F_{\text{г.эф}}}{T_{\text{шк}}}$  — годовая производительность выбранной операции ( $K_3$ ,  $\rho$ ,  $K_{\text{тп}}$  — коэффициенты, учитывающие соответственно фактическую загрузку АТО, его готовность к работе, выход годных изделий;  $N_{\text{об}}$  — число АТО на данной операции,  $F_{\text{г.эф}}$  — годового эффективный фонд времени АТО;  $T_{\text{шк}}$  — удельная для одного компонента трудоемкость выполнения операции (монтажа, подготовки или пайки) ЭК);  $K_{\text{гоп}} = (K_{\text{об}} + K_{\text{пл}}) N_{\text{об}}$  — годовые постоянные затраты на одну операцию ( $K_{\text{об}}$  — затраты на покупку единицы АТО (его рыночная цена), налог, транспортировку к пользователю, пусконаладочные работы;  $K_{\text{пл}}$  — стоимость аренды производственной и служебной площадей);

$$C_{\text{гоп}} = (CT_{\text{шк}} + C_{\text{утп}} + C_{\text{бр}} + C_{\text{1эк}}) N_{\text{экэм}} N_{\text{эм}} N_{\text{а}} + K_{\text{нез}}$$

— годовые переменные затраты на одну операцию (удельные затраты на один компонент ЭК (соответственно на зарплату  $C_3$ , эксплуатацию оборудования  $C_{\text{об}}$ , его программного устройства  $C_{\text{п.у}}$ , энергию  $C_э$ , амортизацию  $C_{\text{ам}}$ , оснастку  $C_{\text{осн}}$ , площадь  $C_{\text{пл}}$ , цеховые расходы  $C_{\text{ц}}$ , управляющую программу  $C_{\text{у.п}}$ ; исправление брака  $C_{\text{бр}}$ ; покупку компонента  $C_{\text{1эк}}$ ; незавершенное производство  $K_{\text{нез}}$ );  $N_{\text{а}}$ ,  $N_{\text{эм}}$ ,  $N_{\text{экэм}}$  — годовые номенклатура изделий (типов ЭМ), объем выпуска ЭМ, число компонентов ЭК данного типа в изделии ЭМ).

Проектирование и эксплуатация управляющей программы пользователя УТП:

$$C_{\text{утп}} = \frac{З_{\text{мпр}} t_{\text{р1уп}}}{F_{\text{мэф}} N_{\text{экэм}} N_{\text{эм}}},$$

где  $З_{\text{мпр}}$ ,  $t_{\text{р1уп}}$  — зарплата и трудоемкость разработки программы УП;  $F_{\text{мэф}}$  — месячный эффективный фонд времени разработчика УП.

Затраты на исправление брака:

$$C_{\text{бр}} = \frac{N_{\text{бр}} \frac{C_{\text{зрем}}}{F_{\text{мэф}}} t_{\text{исп1эм}} + 0,9 n_{\text{бр}} \Pi_{\text{1эк}} N_{\text{экэм}}}{N_{\text{экэм}}},$$

где  $N_{\text{бр}}$ ,  $n_{\text{бр}}$  — брак сборщика изделия ЭМ и брак компонентов;  $C_{\text{зрем}}$  — месячная зарплата сборщика;  $t_{\text{исп1эм}}$  — трудоемкость устранения брака сборки;  $\Pi_{\text{1эк}}$  — рыночная цена одного компонента; затраты на покупку компонента ЭК:

$$C_{\text{1эк}} = \frac{1}{n_{\text{оп}}} \left( \frac{\Pi_{\text{1эк}} N_{\text{экэм}} + \Pi_{\text{1пп}}}{N_{\Sigma \text{экэм}}} \right) [\text{руб/эк}]$$

(число операций, в которых используется плата,  $\Pi_{\text{1пп}}$  — рыночная цена одной печатной платы); затраты на незавершенное производство при

месячном запуске изделий в производство

$$K_{\text{нез}} = 0,3N_{\text{ЭКМ}}N_{\text{ЭМ}} \left( C_{1\text{эк}} + \frac{C'_{\text{гоп}}}{2N_{\text{ЭКМ}}N_{\text{ЭМ}}} \right) \frac{\sigma}{n_{\text{оп}}},$$

$\sigma$  — коэффициент, учитывающий интервал времени незавершенного производства.

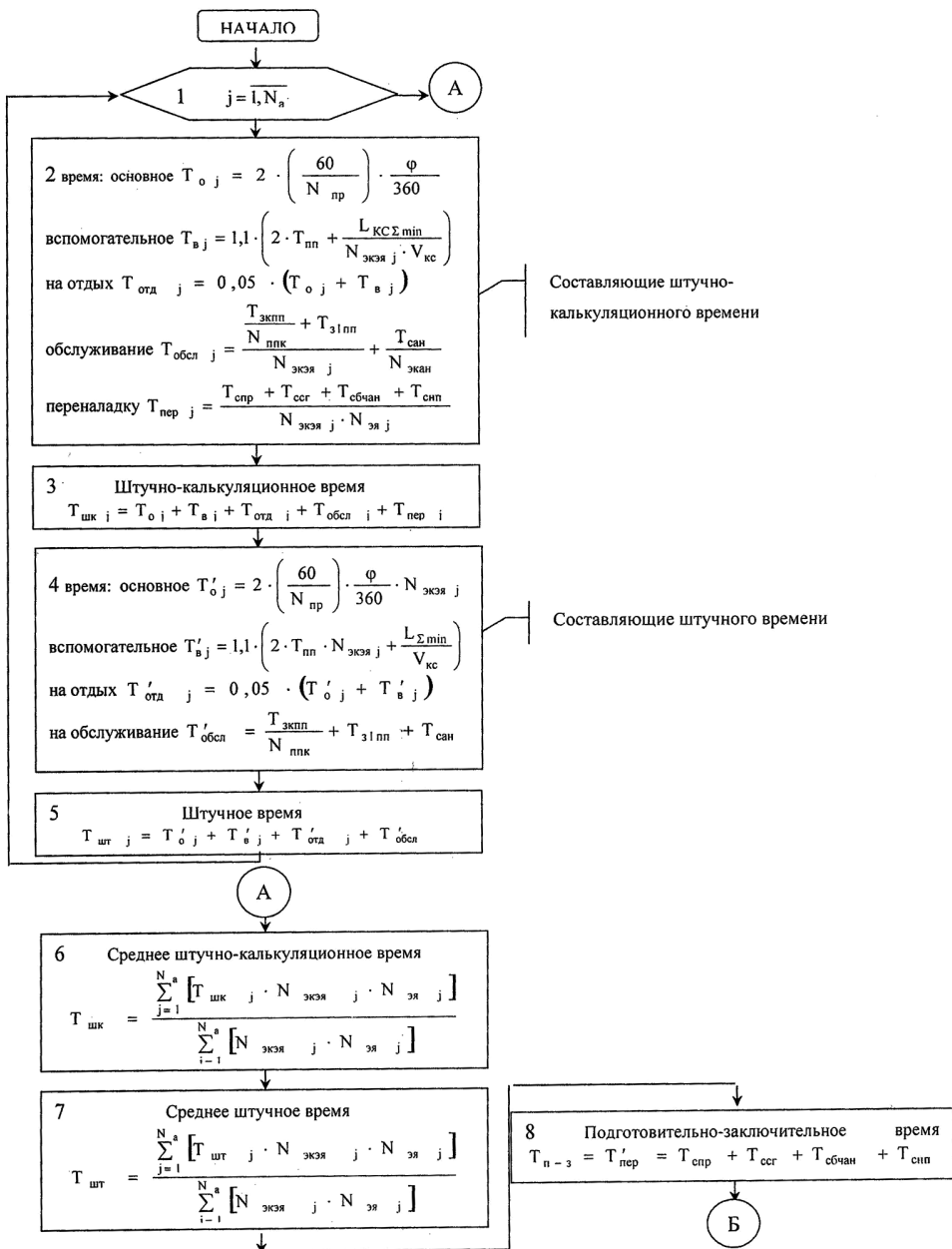
Показатели  $P_{\text{к2}}$ ,  $P_{\text{к1}}$  и  $P_{\text{оп}}$  представляют собой сборку одних и тех же частных критериев (производительности операции  $Q_{\text{гоп}}$ ; постоянных годовых затрат на приобретение технологического  $K_{\text{гоп}}$ , транспортного  $K_{\text{тр}}$  оборудования; переменных годовых технологических  $C_{\text{гоп}}$  и транспортных  $C_{\text{тр}}$  затрат). Механизм расчета переменных затрат учитывает: номенклатуру  $N_a$  изделий ЭМ, годовой объем выпуска  $N_{\text{ЭМ}}$ , вид монтажа, число и состав компонентов  $N_{\text{ЭКМ}}$  в изделии.

Проведенные исследования показали, что количественные значения частных критериев в комплексном показателе  $P$  (кроме зарплаты рабочих) близки между собой (их влияние на  $P$  приблизительно одинаково 5... 15% общего значения  $C_{\text{гоп}}$ ).

**Обсуждение основных результатов.** Предложенный метод проектирования структур ГАСК и их элементов учитывает особенности: автоматизированного многономенклатурного производства ЭМ (объем выпуска, номенклатуру, вид запуска ЭМ в производство), изделий ЭМ, АТП, структур ГАСК, оборудования и оснастки (уровень автоматизации, тип операции, фактическую загрузку АТО  $K_3$ , готовность его к работе  $\rho$  (надежность), выход годных  $K_{\text{тп}}$ , трудоемкость обслуживания  $T_{\text{обс}}$  и переналадки  $T_{\text{пер}}$ , вид питателей и др. Он позволяет в условиях гибкого автоматизированного многономенклатурного производства ЭМ выполнить оценку структур ГАСК и их компонентов и выбрать из альтернативных вариантов лучший по технико-экономическим характеристикам.

Алгоритм автоматизированного расчета комплексного показателя  $P_{\text{оп}}$  для технологической операции сборки ЭМ из разнотипных ЭК представлен на рис. 1. В алгоритме блоки 2... 9 выполняют расчет трудоемкости сборки ( $T_{\text{шк}}$ ,  $T_{\text{шт}}$ ) и ее составляющих; блоки 10... 12 определяют затраты на покупку ЭК, подготовку управляющей программы, исправление брака. Остальные блоки (13... 25) участвуют в разработке модели операции (рассчитывают расходы на зарплату рабочих, эксплуатацию оборудования АТО, СТО, цеховые расходы, незавершенное производство и в целом переменные затраты технологической операции). Блоки 26... 29, 31 определяют постоянные затраты технологической операции; блоки 30, 32... 34 — число АТО, занимаемую площадь, обслуживающих рабочих и производительность операции; блоки 35, 36 — постоянные и переменные затраты на транспортные операции; блок 37 — эффективность операции  $P_{\text{оп}}$ .

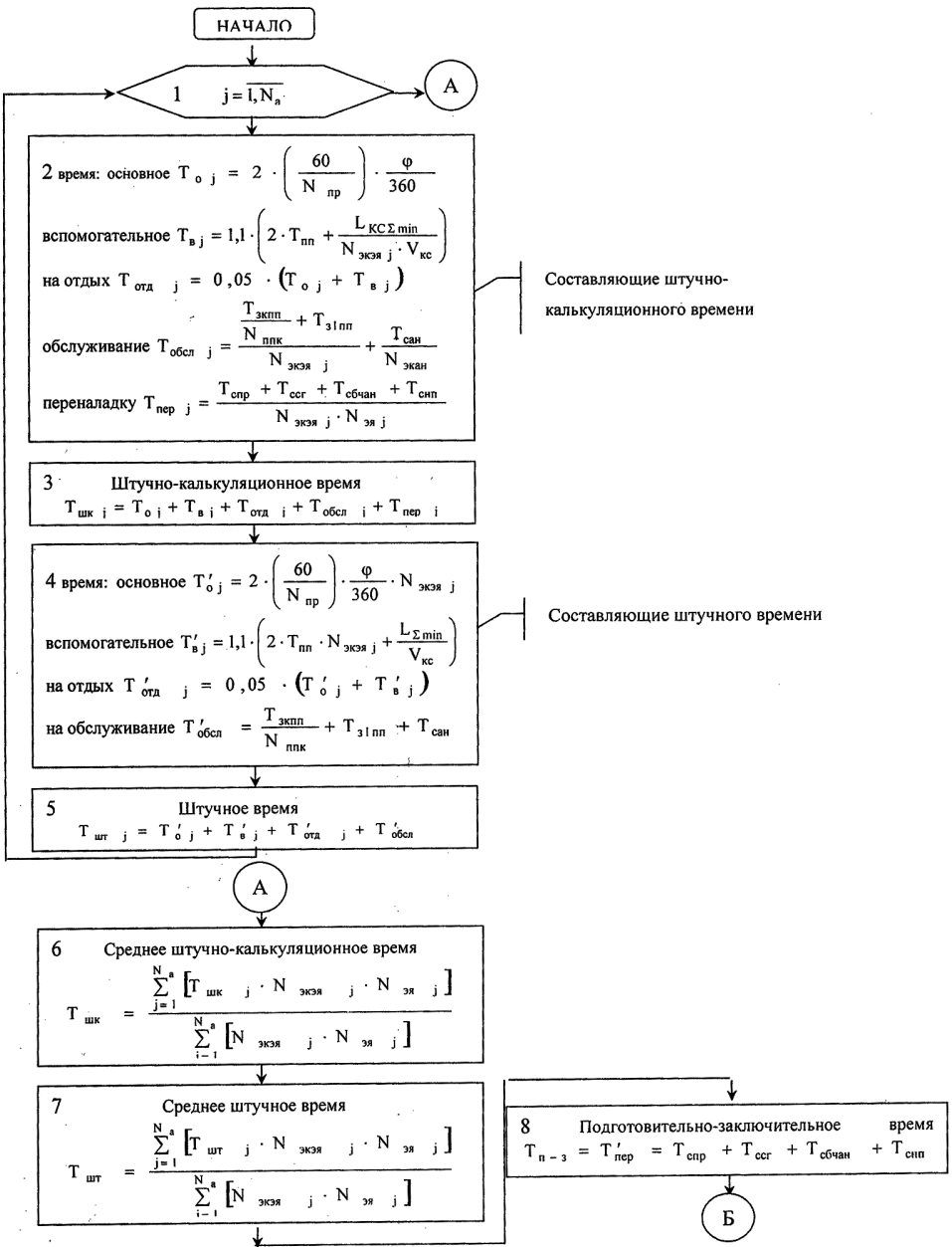




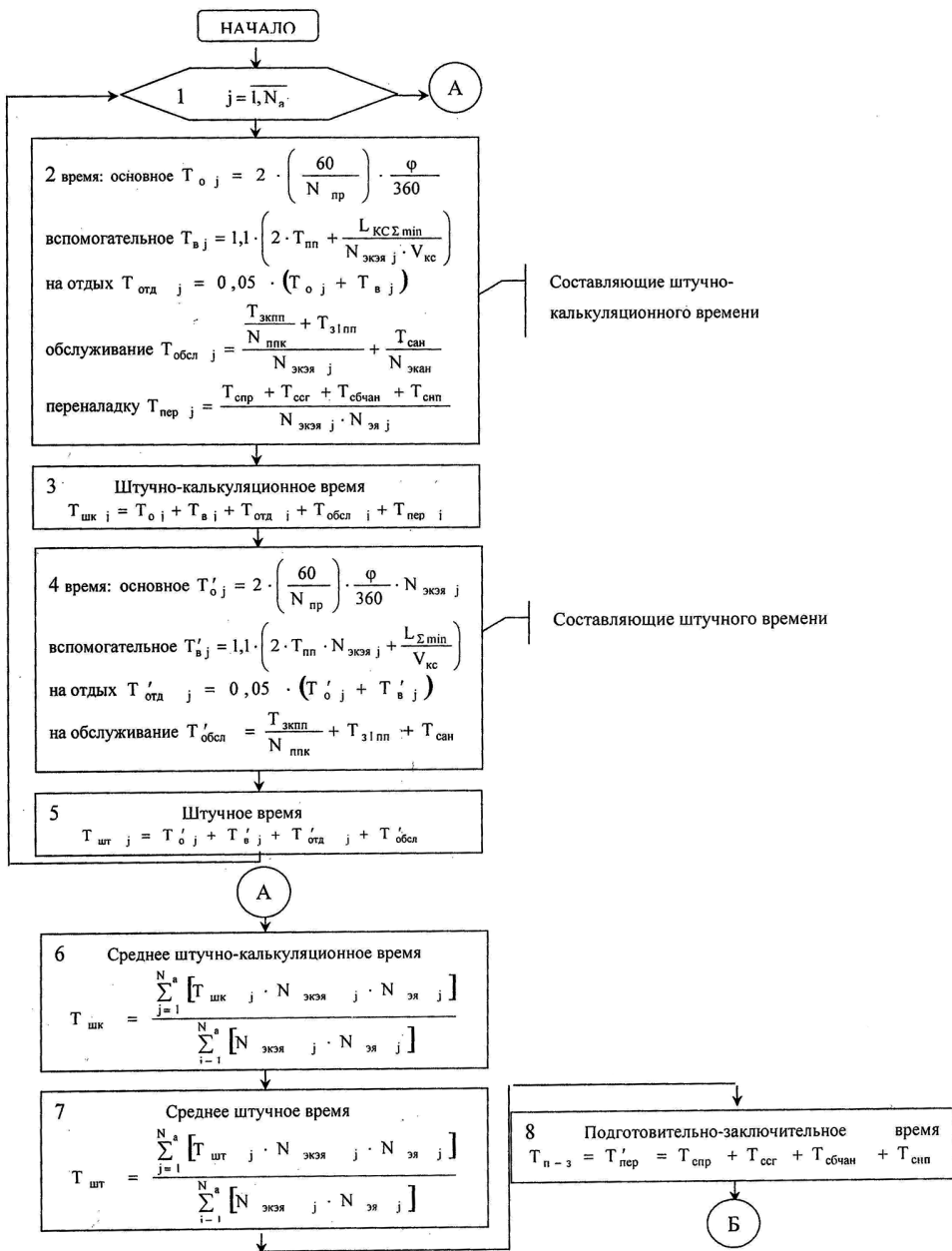
### Алгоритм расчета комплексного показателя эффективности операций сборки $P_{оп}$ электронных модулей

Рассмотренный метод нашел отражение в сертификатах [6–9].

**Выводы.** 1. Разработан метод ТОЭ эффективности технологических решений по технологическим процессам, структурам РК и их элементам сборки ЭМ в многономенклатурном производстве.



Алгоритм расчета комплексного показателя эффективности операций сборки  $P_{оп}$  электронных модулей (продолжение)



## Алгоритм расчета комплексного показателя эффективности операций сборки $P_{оп}$ электронных модулей (окончание)

2. Метод позволяет получить комплексную оценку сравниваемых вариантов. Он учитывает большое число групп факторов, влияющих на эффективность сборки ЭМ: особенности изделий (тип, число, расположение электронных компонентов, вид монтажа), оснастки и оборудования (вид, тип, монтажные головки, координатные системы, накопители, фактическая загрузка, выход годных, готовность к работе);

особенности производства (годовая программа выпуска, номенклатура, вид запуска) и незавершенного производства (технологический, транспортный, страховой заделы), технологической подготовки производства (техпроцесс, программы пользователя), постоянных и переменных затрат.

3. Все затраты в методе условно отнесены к одному компоненту. Это позволило количественно учесть номенклатуру и годовой объем выпуска изделий ЭМ в показателе  $P$ .

4. На основе метода ТЭО разработаны комплексные показатели определения эффективности отдельных операций ( $P_{оп}$ ), подструктур (технологических процессов сборки ЭМ из однотипных компонентов  $P_{к1}$ ) и структур (техпроцессов сборки ЭМ из разнотипных компонентов  $P_{к2}$ ).

5. Для ускорения расчетов эффективности на компьютере разработаны специальные алгоритмы расчета показателя (например,  $P_{оп}$ ).

6. Применение метода ТОЭ вместе с методами синтеза, оптимизации (например, метода полного перебора, многоугольника), точности, надежности, производительности и стоимости, позволило разработать индивидуальные оптимальные (или близкие к ним) техпроцессы и структуры ГАСК сборки ЭМ в многономенклатурном производстве.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов Ю.В.* Автоматизация проектирования сложных роботизированных комплексов сборки электронной аппаратуры. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. 45 с.
2. *Шаумян Г.А.* Комплексная автоматизация производственных процессов. М.: Машиностроение, 1973. 640 с.
3. *Иванов Ю.В., Лакота Н.А.* Гибкая автоматизация производства РЭА с применением микропроцессоров и роботов. М.: Радио и связь, 1987. 464 с.
4. *Скворцов Ю.В.* Организационно-экономические вопросы дипломного проектирования. М.: Высш. шк., 2006. 350 с.
5. *Иванов Ю.В.* Проектирование автоматизированных технологических процессов сборки ЭМ в ГАСК. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. 46 с.
6. *Иванов Ю.В., Курносенко А.Е.* Базы данных для САПР структур ГАСК сборки ЭМ первого уровня. Свидетельство ФС интеллектуальной собственности 2.06.2006, № 2006620158.
7. *Иванов Ю.В., Курносенко А.Е.* САПР структур ГАСК сборки ЭМ первого уровня. Свидетельство ФС интеллектуальной собственности 2.06.2006, № 2006611922.
8. *Иванов Ю.В., Курносенко А.Е.* Модуль автоматизированной компоновки оборудования и проектирования транспортных операций. Свидетельство ФС интеллектуальной собственности 2.06.2006, № 2006611923.
9. *Иванов Ю.В., Курносенко А.Е.* Модуль определения оптимальной последовательности монтажа электронных компонентов на печатную плату и автоматизированной подготовки управляющих программ для оборудования с ЧПУ. Свидетельство ФС интеллектуальной собственности 2.06.2006, № 2006611924.

## REFERENCES

- [1] Ivanov Yu.V. Avtomatizatsiya proektirovaniya slozhnykh robotizirovannykh kompleksov sborki elektronnoy apparatury [Computer-aided design of complex robotic complexes for assemblage of electronic modules]. Moscow, MGТУ im. N.E. Bauman Publ., 2004. 45 p.
- [2] Shaumyan G.A. Kompleksnaya avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov [Complete integrated automation of production processes]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973. 640 p.
- [3] Ivanov Yu.V., Lakota N.A. Gibkaya avtomatizatsiya proizvodstva REA s primeneniem mikroprotssessorov i robotov [Flexible manufacturing automation for radioelectronic equipment using microprocessors and robots]. Moscow, Radio i Svyaz' Publ., 1987. 464 p.
- [4] Skvortsov Yu.V. Organizatsionno-ekonomicheskie voprosy diplomnogo proektirovaniya [Organizational and economic problems of graduation work]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2006, 350 p.
- [5] Ivanov Yu.V. Proektirovanie avtomatizirovannykh tekhnologicheskikh protsessov sborki EM v GASK [Design of automated technological processes for assemblage of electronic modules within flexible automated assembly systems (FAAS)]. Moscow, MGТУ im. N.E. Bauman Publ., 2004. 46 p.
- [6] Ivanov Yu.V., Kurnosenko A.E. Bazy dannykh dlya SAPR struktur GASK sborki EM pervogo urovnya [Database for CAD of structures of flexible automated assembly systems for electronic modules assemblage of the first level]. Certificate of Federal Service RF of Intellectual Property, 02.06.2006, no. 2006620158.
- [7] Ivanov Yu.V., Kurnosenko A.E. SAPR struktur GASK sborki EM pervogo urovnya [CAD of structures of flexible automated assembly systems for electronic modules assemblage of the first level]. Certificate of Federal Service RF of Intellectual Property, 02.06.2006, no. 2006611922.
- [8] Ivanov Yu.V., Kurnosenko A.E. Modul' avtomatizirovannoy komponovki oborudovaniya i proektirovaniya transportnykh operatsiy [Module of automated equipment layout and design of transport operations]. Certificate of Federal Service RF of Intellectual Property, 02.06.2006. no. 2006611923.
- [9] Ivanov Yu.V., Kurnosenko A.E. Modul' opredeleniya optimal'noy posledovatel'nosti montazha elektronnykh komponentov na pechatnuyu platu i avtomatizirovannoy podgotovki upravlyayushchikh programm UTP dlya oborudovaniya s ChPU [Definition module of the optimal sequence of electronic components assemblage on a printed circuit board and automated preparation of control technological programs (CTP) for CNC equipment]. Certificate of Federal Service RF of Intellectual Property, 02.06.2006. no. 2006611924.

Статья поступила в редакцию 2.10.2013

Иванов Юрий Викторович — д-р техн. наук, профессор кафедры “Проектирование и технология производства электронной аппаратуры” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор ряда научных работ в области автоматизации сборки электронной аппаратуры. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ivanov Yu.V. — Dr. Sci. (Eng.), professor of “Design and Technology of Production of Electronic Apparatus” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of a number of publications in the field of automation of electronic apparatus assembly.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.