

Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана.

Ю.В. Иванов

Курсовая работа по автоматизированному производству
электронных систем

*Рекомендовано методической комиссией факультета ИУ
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
2004

УДК 658.52.01.56

ББК 32.965

И18

Рецензенты:

проф. МГТУ, д.т.н. В.А. Шахнов

проф. НИЭМИ, д.т.н. В.Г. Костиков

Иванов Ю.В.

И18 Курсовая работа по автоматизированному производству электронных систем: Учебное пособие. - М.: МГТУ им Н.Э. Баумана, 2004,- 30 с.

Рассмотрена методика выполнения курсовой работы по проектированию роботизированного комплекса сборки электронных модулей: разработка технологии сборки, выбор структуры комплекса, определение эффективности альтернативных вариантов, выбор из них лучшего; разработка компоновки, проектирование необходимой технологической оснастки.

Материал пособия направлен на повышение эффективности сборочного оборудования производства электронных систем за счет уменьшения трудоемкости сборки путем повышения уровня автоматизации средств сборки.

Для студентов, выполняющих семинары, домашние задания, курсовые и дипломные работы по Технологии производства ЭС, а также студентов других специальностей и специалистов промышленности, занимающихся автоматизацией сборки ЭА.

Илл. 10. Библиогр. 33 назв.

УДК 658.52.01.56

ББК 32.965

Юрий Викторович Иванов

Курсовая работа по автоматизированному производству электронных систем

Учебное пособие

Печатается в авторской редакции

Корректор *О.В. Калашникова*

Компьютерная верстка *О.В. Беляевой*

Подписано в печать 24.12. 2004. Формат 60x84/16. Бумага офсетная.

Печ. л. 1,33. Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л.1,25. Тираж300 экз.

Заказ № 53а.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана

105005, Москва, 2-я Бауманская, 5

© МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004

Курсовая работа выполняется на 10 семестре. К этому времени технологическая подготовка студентов практически завершена. Выполнению курсовой работы предшествовало изучение студентами блоков не только технологических (в том числе Автоматизированное производство ЭС), но и конструкторских дисциплин, дисциплин по автоматизированному конструкторско-технологическому проектированию, организации и экономике производства. Студенты получили достаточный объем знаний для решения инженерных задач в области производства изделий электронных систем (ЭС), поэтому выполнение курсовой работы должно носить самостоятельный и творческий характер.

Тема курсовой работы - роботизированный комплекс (РТК, например, рис. 2) автоматизированной сборки электронных модулей в условиях многономенклатурного производства. Собираемыми изделиями (рис. 1) являются электронные модули (ЭМ) - основные узлы современной электронных средств. ЭМ выполнены на базе печатной платы и навесных электронных компонентов ЭК.

Цель работы: 1) подготовка к выполнению технологической части дипломного проекта; 2) получение навыков проектирования простых автоматизированных сборочных комплексов (РТК) и их технологического оснащения; 3) выработка у студентов концепции автоматизированной сборки ЭА; 4) закрепление знаний по дисциплинам технология и специальная технология производства ЭА.

Состав и краткое содержание курсовой работы.

Курсовая работа состоит из графической части и расчетно-пояснительной записки. Графическая часть выполняется по правилам ЕСКД на листе формата А1 [электронный (но не сканированный); AutoCad v. 2002 (не старше)]. Она включает компоновку РТК (1 л. – формата А 4 или А3) и конструкций оснастки (4 – 5 л. формата А 4).

Расчетно-пояснительная записка выполняется на 30 –40 стр. формата А 4 (электронный вариант - Word v. 2000 (не старше), шрифт: кегли – 13, абзац – одинарный; формулы – в буквенном выражении, затем - в числовом).

Расчетно-пояснительная записка должна содержать: 1. Исходные данные для проектирования; 2. Маршрутный техпроцесс (АТП) сборки ЭМ; 3. Расчет комплексного показателя эффективности структуры гибкого автоматизированного сборочного комплекса (ГАСК) следующего уровня сложности (основного и альтернативных вариантов); 4. Операционную технологию и оснастку для разработанного комплекса; 5. Расчеты оснастки.

Исходные данные содержат: информацию об изделии ЭМ (габаритные размеры платы, размеры и координаты контактных площадок, монтажных отверстий, базовых отверстий; количество и типы ЭК, таблицу с координатами расположения их корпусов; вид монтажа); оборудовании, оснастке (перечень оборудования и технологической оснастки), производстве (годовую программу выпуска, номенклатуру, условия запуска в производство).

Сроки выполнения курсовой работы. Начало проектирования - день получения задания на курсовую работу (первая неделя); окончание – 16 неделя.

Вид отчетности – защита работы на комиссии кафедры.

Основные этапы выполнения курсовой работы:

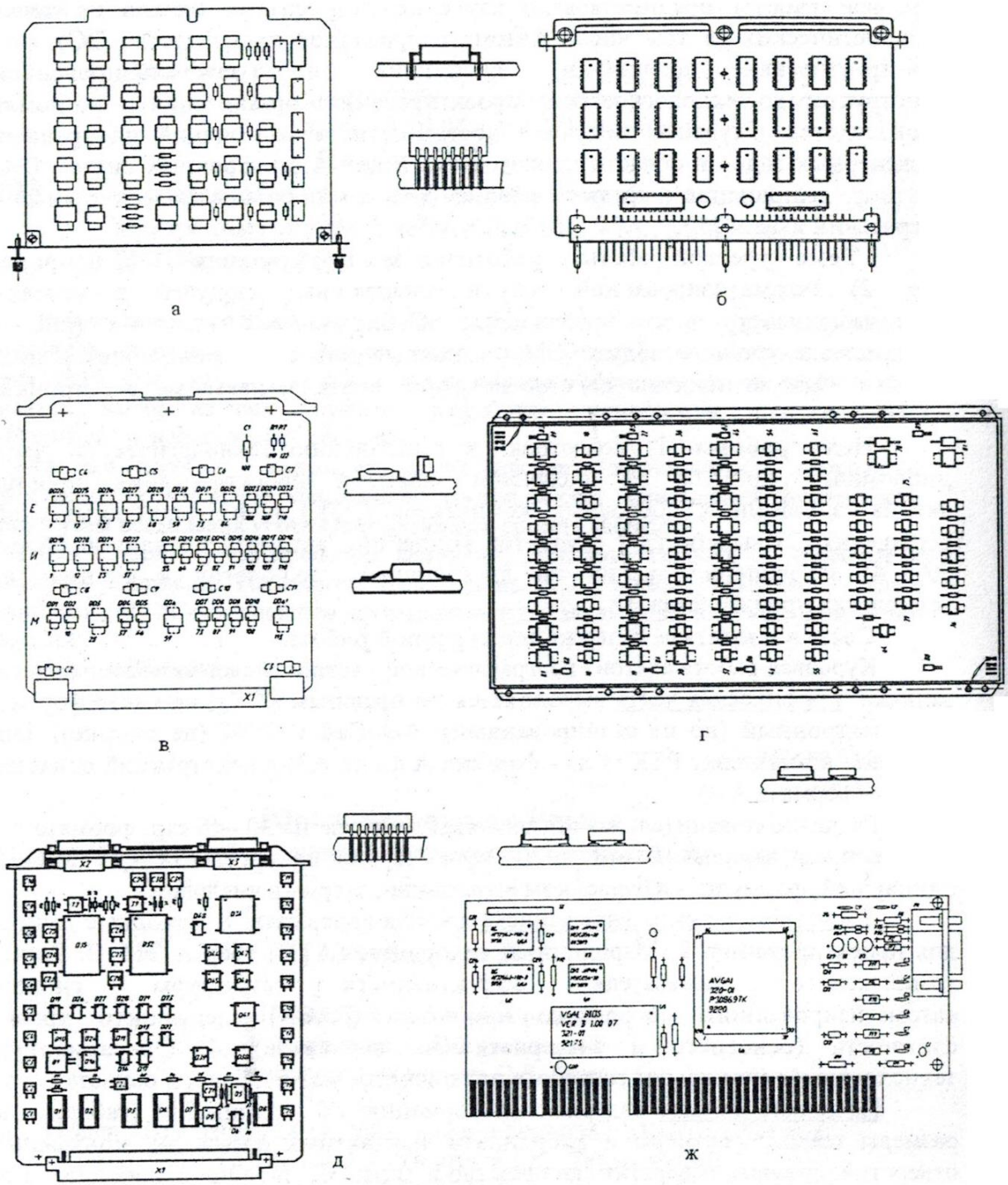


Рис. 1. Примеры электронных ячеек

а, б - ЭЯ с DIP монтажом; в - ЭЯ с планарным монтажом; г - ЭЯ с SMD монтажом; д, е - ЭЯ с комбинированным монтажом

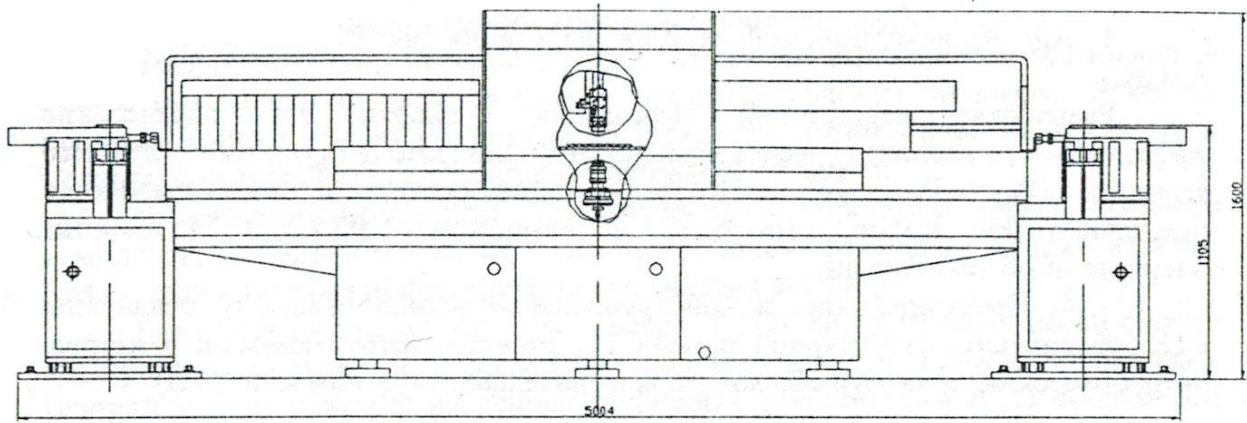


Рис.2. Пример РТК монтажа интегральных микросхем ИС₂, построенного на базе автомата с ЧПУ и напольных обслуживающих роботов

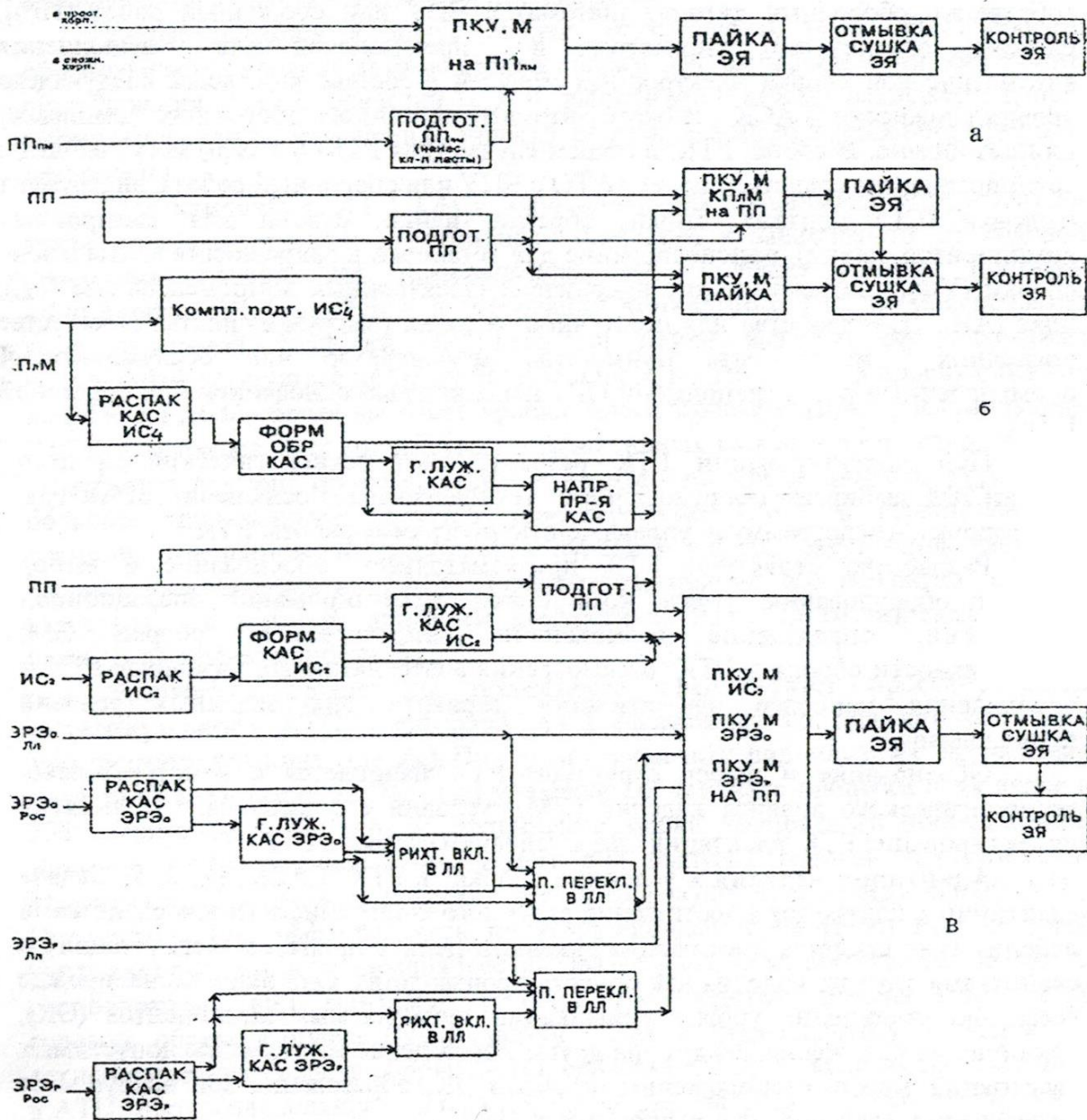


Рис. 4. Структуры типовых техпроцессов АТП сборки ЭЯ
а - с поверхностным, б - с планарным, в - со штырьковым монтажом

1. Анализ исходной информации, адаптация ЭМ к условиям сборки в ГАСК;

Разработка маршрутной технологии сборки ЭМ; определение эффективности варианта (расчет комплексного показателя P_{K2}) и выбор лучшего варианта ($P_{K2} = P_{K2 \text{ MAX}}$); 2. По результатам расчета и согласованию с преподавателем выбор структуры и компоновки РТК; 3. Разработка операционной технологии;

4. Проектирование и конструирование технологического оснащения РТК (обоснование структурной схемы СТО; расчет конструктивных параметров; энергетический, точности сборки, производительности, стоимости СТО)

Теоретическая часть

Роботизированный комплекс (РТК, например, рис.2) имеет, в общем случае, собственно сборочный автомат [автомат с ЧПУ или сборочный робот (ПР)], системы обеспечения, управления и предназначен для выполнения автоматической сборки электронных модулей в составе комплекса следующего уровня сложности (ГАСК - гибкого автоматизированного сборочного комплекса) или автономно. В состав РТК, в общем случае (для РТК_i и РТК_{ii}) могут входить: технологическое средство сборки (АТО с ЧПУ или сборочный робот), инструмент [головки (СГ) монтажа, гибки, обрезки, пайки; схваты для электронных компонентов, платы], приспособление для установки и закрепления платы в зоне сборки (УФ_п), автоматические накопители [электронных компонентов (АЗУ_{ЭК}), плат (АН_п)], устройства для поштучной загрузки (выгрузки) платы. В качестве последних могут быть применены автооператор или обслуживающий промышленный робот (напольный ПР с неподвижным основанием или подвесной ПТр).

При проектировании РТК разрабатывают технологический процесс сборки ЭМ, выбирают оборудование и технологическое оснащение, структуру, компоновку, циклограмму и управляющую программу работы РТК.

Разработка структуры РТК предусматривает: обоснование и выбор состава оборудования, его компоновку; проектирование операционной технологии; определение возможности автоматической сборки ЭМ; эффективности сборки в РТК; рассмотрения альтернативных вариантов РТК и определения наиболее эффективного варианта для заданных условий производства.

Обоснование и выбор структуры РТК начинается с конструкторско-технологического анализа изделия (ЭМ), условий его выпуска, задания на проектирование РТК, адаптации ЭМ к условиям сборки в РТК.

Адаптация изделия к условиям сборки в РТК (ГАСК) [1, 3, 5]. Задача адаптации заключается в достижении разумного компромисса между свойствами изделия (как средства достижения заданной цели в процессе эксплуатации) и свойствами того же изделия как объекта производства. Она направлена, прежде всего, на увеличение уровня унификации применяемых компонентов (ЭК); исключение наложения ЭК друг на друга, соблюдение минимально допустимых расстояний между расположенными рядом ЭК, образование зон вокруг мест базирования и закрепления, свободных от ЭК.

I. Проектирование технологического процесса ГАСК

Технологический процесс сборки изделия ЭМ выполняется на отдельном станке или линии и является частью производственного процесса. В состав процесса сборки входят различные по характеру технологические операции и приемы, которые связаны единством поставленной задачи.

В автоматизированном технологическом процессе (АТП) гибкого комплекса ГАСК все основные и вспомогательные работы по сборке изделия ЭМ выполняются без непосредственного участия рабочего.

Разработка маршрутного техпроцесса (АТП) автоматизированной сборки электронных модулей производится после анализа изделия ЭМ и технических условий на его приемку на основе групповых техпроцессов АТП сборки ЭМ (рис. 4), унифицированной структуры ГАСК (см. рис. 3) с учетом особенностей ЭМ и сведений о наличии автоматизированного технологического оборудования, оснастки на данном производстве.

Разрабатывается маршрут сборки, определяется темп (такт) сборки, обосновывается уровень автоматизации сборки ЭМ, выбирается тип сборочного оборудования АТО и оснастки (СТО), выполняется анализ размерных цепей, выбирается метод обеспечения точности сборки, разрабатывается операционная технология.

Проектирование АТП ГАСК необходимо для правильного определения и учета подготовительных и финишных операций в зависимости от годовой программы сборки ЭМ, номенклатуры ЭМ, а также условий поставки компонентов (ЭК) на сборку и требований конкретного РТК по обеспечению вида групповой упаковки ЭК, гарантии пайки выводов ЭК. Возможно полученный техпроцесс не будет оптимальным, но это - задача проектирования не РТК, а ГАСК - более высокого уровня проектирования (при проектировании ГАСК разрабатывается множество альтернативных вариантов структур; из них выбирается лучший по комплексному показателю эффективности R_{K2}). Из-за большой трудоемкости расчетов проектирования ГАСК и ограниченности времени, отведенного на выполнение курсовой работы, здесь лишь частично рассматривается уровень ГАСК. Разрабатываются не все варианты, а лишь структура, в которой применен конкретный РТК. Затем определяется ее показатель эффективности R_{K2} .

Разработка группового техпроцесса предшествует проектированию индивидуального АТП. Групповой АТП разрабатывают для каждого типа электронного компонента (ЭК). При этом учитывают: вид монтажа ЭК, наличие гарантии пайки выводов ЭК, вид упаковки ЭК в начале процесса и на входе в РТК. Применяя в групповом техпроцессе марки конкретного оборудования, оснастки в количестве, необходимом для выпуска годовой программы и номенклатуры (в рамках задания), его преобразуют в индивидуальный АТП. Определяют его эффективность по комплексному показателю R_{K2} , который учитывает особенности изделия [состав ЭМ ($N_{ЭКЭМ}$), j - количество типов ЭК, их расположение, вид монтажа], условия производства [номенклатуру (N_A), годовой объем выпуска ($N_{ЭМ}$) запуск ЭМ в производство], особенности технологических средств сборки (АТО, оснастку СТО), i - количество операций в АТП, производительность операции ($Q_{ГОП \min}$), затраты {на технологические операции [(постоянные ($K_{ГОП}$), переменные ($C_{ГОП}$), транспортные [($K_{ТР}$), ($C_{ТР}$)]},

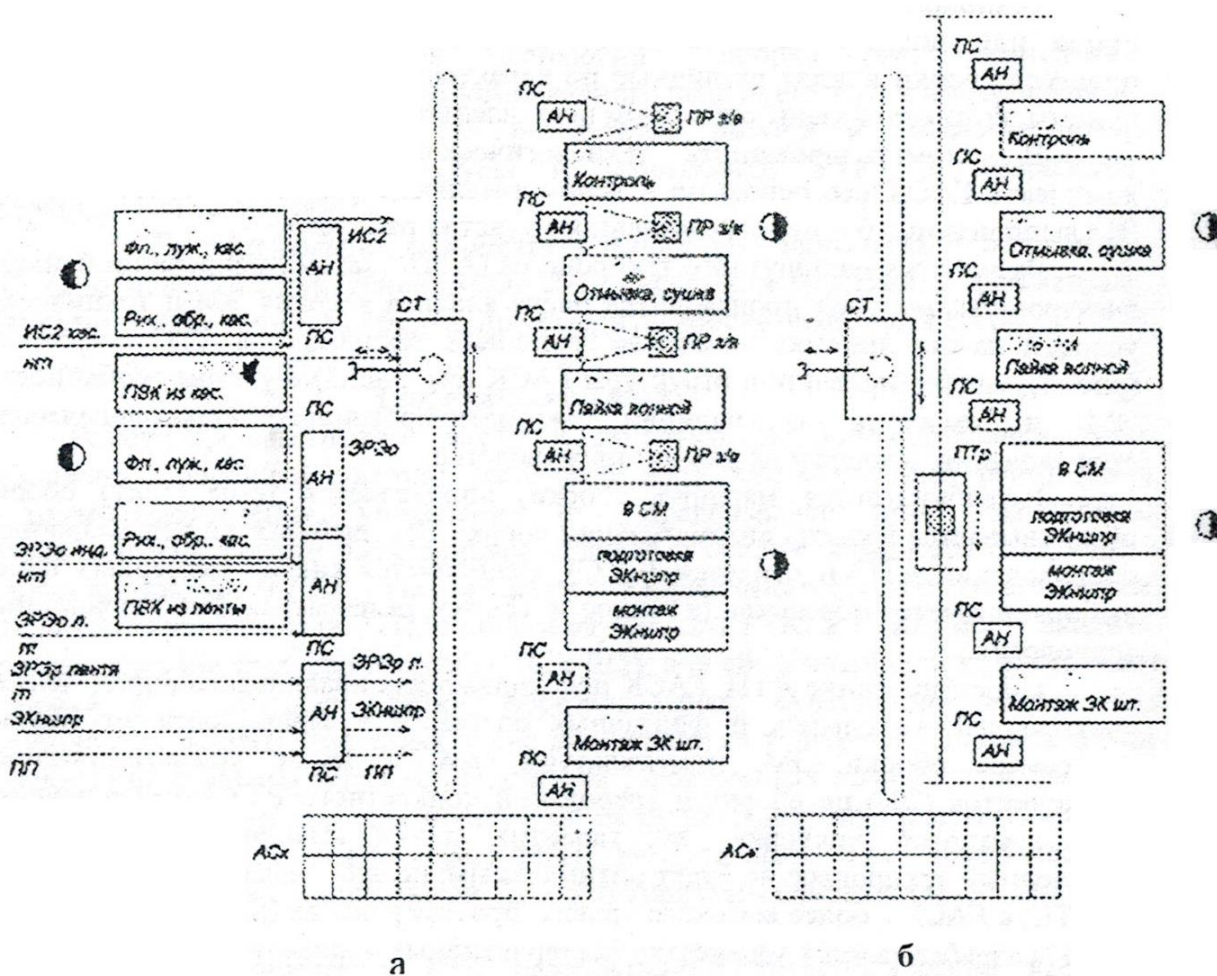


Рис. 3. Пример унифицированной структуры ГАСК сборки ЭЯ на базе микросхем ИС₂, ЭРЭ и компонентов не широкого применения ЭК а – структура с напольными обслуживающими роботами; б - структура с подвесными обслуживающими роботами (подготовительное оборудование не показано) ПП - печатная плата; ИС₂, ЭРЭ - электрорадиоэлементы; ГПА - выводы ЭК с гарантией пайки; НГПА - выводы ЭК без гарантии пайки; Расп - распаковка ИС; КАС – касетирование ЭК; Обр - обрезка выводов ЭК; Форм - формовка выводов ЭК; Фл - флюсование выводов ЭК; Луж - лужение выводов ЭК; ПВК - программное вклеивание в ленту ЭРЭ разных размеров и номиналов; ЭК ншпр - компоненты не широкого применения; ПС – приемный стол; АН – автоматизированный накопитель ПП, ЭЯ; РР - промышленный робот; СТ самоходная транспортная тележка с РР; АСк - автоматизированный склад; АРМ - автоматизированное рабочее место

разработку технологического процесса АТП}, $K_{И}$ – коэффициент приведения к расчетному году:

$$P_{K2} = \frac{Q_{гопmin}}{\left\{ \sum_{j=1}^{n_{эк}} \sum_{i=1}^{n_{оп}} [K_{гоп} + C_{гоп} + K_{тр} + C_{тр}] + C_{ТП} \cdot N_a \right\} \cdot K_{И}} \quad (1)$$

При этом контролируют удовлетворение требований РТК по точности, надежности и затратам.

Ограничения: на точность, надежность совокупности оборудования с оснасткой

$$\begin{aligned} \delta_c \left(T_{iv}^{(p)} \right) &\leq [\delta_c]; \quad T_{срАТЦ} \left(T_{iv}^{(p)} \right) \geq [T_{срАТЦ}]; \quad P_{АТЦ}(t_{ср}) \left(T_{iv}^{(p)} \right) \geq [P_{АТЦ}(t_{ср})] \\ &: \text{ на затраты } C_{гоп} \left(\tilde{O}_{iv}^{(p)}, T_{iv}^{(p)} \right) \leq [C_{гоп}]_0; \quad K_{гоп} \left(\tilde{O}_{iv}^{(p)}, T_{iv}^{(p)} \right) \leq [K_{гоп}]_0 \end{aligned} \quad (2)$$

где $\tilde{O}_{iv}^{(p)}$, $T_{iv}^{(p)}$, $C_{имкп}^{(p)}$ – модели операций, оборудования, оснастки; δ_c – точность совмещения выводов ЭК с элементами печатного монтажа при автоматической сборке, $T_{ср} P(t_{ср})$ – среднее время наработки на отказ и вероятность безотказной работы, $K_{гоп}$, $C_{гоп}$ – постоянные и переменные затраты на операцию.

II. Разработка операционной технологии сборки ЭМ в РТК [1, 3, 16] включает разработку переходов, определение оснастки, объединение переходов в операцию на конкретном оборудовании и оснастке с оптимизацией очередности их выполнения, условий выполнения сборки, проектирование управляющей программы УТП.

При разработке перехода выбирают оснастку [сборочные головки (СГ), АЗУ (питатели ЭК), устройство фиксации платы (УФП)], схему установки и закрепления платы.

При определении условий сборки рассчитывают точность и надежность сборки, выполняют энергетические, временные, стоимостные расчеты.

При расчете точности и надежности определяют допуск на замыкающее звено размерной цепи сборки δ_c и коэффициент риска K_p .

Полученные значения расчета на точность, надежность и затрат вариантов операций сравнивают с допустимыми. Не соответствующие этим требованиям варианты отсеиваются как не эффективные [если назначенное серийное технологическое оборудование АТО и оснастка СТО не отвечают требованиям ГАСК (что возможно в условиях ограниченного ассортимента АТО, СТО), то предлагается модернизация назначенной пользователем марки АТО до получения требуемых (или близких к ним) характеристик, см. 20 и проектирование СТО с требуемыми (или близкими к ним) характеристиками, см. 22]

Расчет точности совмещения выводов ЭК с элементами печатного монтажа при автоматической сборке ЭМ (δ_c) выполняют для совокупности автомата и оснащения. Например, при монтаже микросхем ИС₂ и нормальном законе распределения погрешностей допуск δ_c на совмещение (на замыкающее звено расчетной цепи) будет определен [11]:

$$\delta_c = t \cdot \sqrt{\delta_{\Pi}^2 + \delta_{\text{ЭК}}^2 + \delta_{\text{СТ}}^2 + \delta_{\text{УФП}}^2 + \delta_{\text{КСП}}^2 + \delta_{\text{АЗУ}}^2 + \delta_{\text{СТ}}^2} \leq [\delta_c]$$

(3)

где: t - коэффициент риска сборки; λ -- коэффициент, учитывающий закон распределения погрешностей; погрешности, вносимые соответственно латой δ_{Π} , электронным компонентом ЭК $\delta_{\text{ЭК}}$, накопителем ЭК $\delta_{\text{АЗУ}}$, монтажной головкой $\delta_{\text{СТ}}$, координатной системой $\delta_{\text{КСП}}$, базированием платы и приспособлением установки платы $\delta_{\text{УФП}}$, $[\delta_c]$ - допустимое значение точности совмещения.

Оптимизацию очередности монтажа ЭК из-за большого количества ЭК выполняют одним из известных эвристических методов (многоугольника, ближнего соседа, попарных перестановок, венгерским, Флада и др.) [3, 4, 5].

Оптимизацию последовательности монтажа ЭК выполним менее трудоемким и более точным методом многоугольника [6]. Критерием оптимизации служит минимальный суммарный путь координатной системы ($L_{\Sigma RC MIN}$) при установке рассматриваемых компонентов ЭК с учетом таблицы их расположения на плате.

Ограничениями, которые нужно учитывать при оптимизации очередности монтажа ЭК, являются: соблюдение минимально допустимых расстояний между соседними ЭК, исключение наложения одних ЭК на другие, исключение установки ЭК в запрещенные зоны (вокруг мест базирования и закрепления платы), отсутствие многократных заходов КС в точку установки ЭК, исключение петель в траектории КС.

Разработку управляющей программы УТП в зависимости от типа компонента и оборудования можно выполнить по одной из методик [14,15,16].

Расчет основных характеристик операции сборки (АТОП).

Определяют трудоемкость сборки, производительность, требуемое количество оборудования, обслуживающих рабочих, занимаемую площадь, постоянные и переменные затраты производства, величину незавершенного производства, эффективность работы РТК для заданных условий производства ($R_{оп}$).

Объединение переходов в операцию с использованием разного технологического оснащения приводит к разным вариантам ее реализации, имеющим разную эффективность.

Для выбора лучшего варианта необходимо определить комплексный показатель эффективности операции $R_{оп}$ и выбрать тот, у которого (при соблюдении ограничений по точности и надежности) $R_{оп} = R_{оп max}$. Расчет комплексного показателя эффективности $R_{оп}$ выполняется по формуле:

$$R_{оп} = \frac{Q_{гоп}}{(K_{гоп} + C_{гоп} + K_{тр} + C_{тр})} \quad (4)$$

где: $Q_{гоп} = Q_{чато} \cdot N_{об} \cdot F_{гэф}$ - годовая производительность операции

$[Q_{чато} = \frac{K_3 \cdot K_{тп} \cdot \rho}{T_{шк}}$ - часовая производительность единицы АТО; K_3 , ρ , $K_{тп}$ -

коэффициенты, учитывающие соответственно фактическую загрузку АТО, готовность его к работе, выход годных изделий), $F_{гэф}$ - годовой эффективный фонд времени АТО; $T_{шк}$ - удельная для одного компонента трудоемкость

$$N_{\text{об}} = \frac{N_{\text{ЭКЭМ}} \cdot N_{\text{ЭМ}} \cdot N_{\text{А}}}{Q_{\text{ЧАТО}} \cdot F_{\text{ГЭФ}}} - \text{количество АТО на данной операции; } K_{\text{ТР}}, C_{\text{ТР}} -$$

коэффициенты учитывают затраты на транспорт. Производственные годовые затраты, отнесенные к одному компоненту, имеют постоянную и переменную составляющие.

Постоянные затраты на технологическую операцию $K_{\text{ГОП}} = (K_{\text{ОБ}} + K_{\text{ПЛ}}) \cdot N_{\text{ОБ}}$ [$K_{\text{ОБ}}$ - затраты на покупку единицы АТО (его рыночная цена), транспортировку к пользователю, пусконаладочные работы; $K_{\text{ПЛ}}$ - стоимость аренды производственной и служебной площадей].

Переменные затраты на технологическую операцию

$$C_{\text{ГОП}} = (C \cdot T_{\text{ШК}} + C_{\text{УТП}} + C_{\text{БР}} + C_{\text{ЭК}}) \cdot N_{\text{ЭКЭМ}} \cdot N_{\text{ЭМ}} \cdot N_{\text{А}} + K_{\text{НЕЗ}} \quad (6)$$

[$C = C_3 + C_{\text{ОБ}} + C_{\text{ПУ}} + C_{\text{ЭЛ}} + C_{\text{АМ}} + C_{\text{ОСН}} + C_{\text{ПЛ}} + C_{\text{Ц}}$, где - удельные затраты на зарплату (C_3), эксплуатацию оборудования ($C_{\text{ОБ}}$), его программного устройства ($C_{\text{ПУ}}$), энергию ($C_{\text{ЭЛ}}$), амортизацию ($C_{\text{АМ}}$), оснастку ($C_{\text{ОСН}}$), площадь ($C_{\text{ПЛ}}$), цеховые расходы ($C_{\text{Ц}}$), на изготовление управляющей программы ($C_{\text{УТП}}$), исправление брака ($C_{\text{БР}}$), покупку компонента ($C_{\text{ЭК}}$), незавершенное производство ($K_{\text{НЕЗ}}$).

Условия производства: номенклатура изделий ЭМ ($N_{\text{А}}$), годовой объем выпуска ЭМ ($N_{\text{ЭМ}}$), количество ЭК в ЭМ ($N_{\text{ЭКЭМ}}$).

Пример 1. Разработка техпроцесса АТП сборки ЭМ в ГАСК для $N_{\text{ЭМ}} = 10^4$ ЭМ/Г, $N_{\text{А}} = 50$ тип ЭМ/Г, $N_{\text{ЭКЭМ}} = 20$ ИС₂ и 3 ЭРЭ не широкого применения. Выводы ИС₂ не имеют гарантию пайки, а у ЭРЭ - имеют. Учитывая особенности изделия ЭМ, компонентов ЭК и рекомендации типовых АТП (рис.4) и унифицированной структуры ГАСК (рис. 2) структура технологического процесса для данного варианта будет содержать следующие групповые операции:

Подготовительные операции:

1. Подготовка выводов ИС₂ (рихтовка, разводка, касетирование; флюсование, лужение, касетирование);
2. Подготовка ЭРЭ (формовка выводов, касетирование).

Монтажные операции.

3. Программно-координатный монтаж ИС₂
4. Монтаж ЭРЭ (на АРМе). Финишные операции сборки ЭМ.
5. Пайка волной припоя.
6. Отмывка и сушка ЭМ.
7. Контроль ЭМ.

Пример 2. Определение трудоемкости монтажа микросхем ИС₂ в РТК на основе NM 2243 (с использованием табл. 1, 2)

Расчет трудоемкости монтажа

$$T_{\text{ШК}} = T_{\text{О}} + T_{\text{В}} + T_{\text{ОТД}} + T_{\text{ОБС}} + T_{\text{ПЕР}} = \frac{1,05}{Q} + T_{\text{ОБС}} + T_{\text{ПЕР}}$$

где: $T_{\text{ШК}}$, $T_{\text{О}}$, $T_{\text{В}}$, $T_{\text{ОТД}}$, $T_{\text{ОБС}}$, $T_{\text{ПЕР}}$ - время соответственно штучно-калькуляционное, на монтаж, вспомогательные действия, отдых, обслуживание АТО, его переналадку.

$$T_{\text{ОБС}} = \frac{t_{\text{ЭКПП}} + t_{\text{ЭЛП}}}{N_{\text{КФЛ}}} + \frac{t_{\text{САНЭК}}}{N_{\text{ЭКАН}}} = \frac{1,67 \cdot 10^{-2}}{20} + \frac{0,28 \cdot 10^{-2}}{20} + \frac{1 \cdot 10^{-2}}{500} = 2,0175 \cdot 10^{-4} [\text{час/эк}]$$

$$T_{\text{ПЕР}} = \frac{T_{\text{СПР}} + T_{\text{СГ}} + T_{\text{СБАН}} + T_{\text{СМПР}}}{N_{\text{ЭКЭМ}} \cdot N_{\text{ЭМ}}} = \frac{25 \cdot 10^{-2} + 50 \cdot 10^{-2} + 25 \cdot 10^{-2} + 5 \cdot 10^{-2}}{20 \cdot 10^4} = 5,25 \cdot 10^{-6} [\text{час/эк}]$$

$$T_{\text{ШК}} = \frac{1,05}{Q} + T_{\text{ОБС}} + T_{\text{ПЕР}} = \frac{1,05}{4500} + 2,0175 \cdot 10^{-4} + 5,25 \cdot 10^{-6} = 4,403 \cdot 10^{-4} [\text{час/эк}]$$

Пример 3. Определение годовых производственных затрат на технологическую операцию монтажа ИС₂ на автомате NM 2243 ГАСК (с использованием табл. 1-6).

Постоянные затраты:

$K_{\text{ОБ}} = E_{\text{Н}} \cdot K_1 \cdot C_{\text{ОБ}} = 0,17 \cdot 1,13 \cdot 65000 = 1,2 \cdot 10^4$ [руб/год] - затраты на покупку оборудования, доставку его к пользователю, наладку и запуск;

$K_{\text{ПЛ}} = C_{\text{АПРПЛ}} \cdot S_{\text{ОБ}} \cdot \gamma + C_{\text{АСПЛ}} \cdot S_{\text{ПР}} \cdot n_{\text{Р}} = 200 \cdot 8,7 \cdot 4 + 200 \cdot 0,7 \cdot 0,25 = 6,995 \cdot 10^3$ [руб/год]
- затраты на производственные и служебные площади;

$Q_{\text{Ч}} = \frac{K_3 \cdot \rho \cdot K_{\text{ПШ}}}{T_{\text{ШК}}} = \frac{0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,99}{4,403 \cdot 10^{-4}} = 1983$ [эк/час] - фактическая часовая

производительность;

$N_{\text{ОБ}} = \frac{N_{\text{ЭКЭМ}} \cdot N_{\text{ЭМ}} \cdot N_{\text{А}}}{Q_{\text{Ч}} \cdot F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 50}{1983 \cdot 4100} = 1,23 \Rightarrow N_{\text{ОБ}} = 2$ [шт] - количество единиц

оборудования данного типа;

$K_{\text{ГОП}} = (K_{\text{ОБ}} + K_{\text{ПЛ}}) \cdot N_{\text{ОБ}} = (1,2 \cdot 10^4 + 6,995 \cdot 10^3) \cdot 2 = 3,8 \cdot 10^4$ [руб/год] - суммарные годовые постоянные затраты на технологические операции;

Переменные затраты

$C_3 = K_{\text{Д}} \cdot \varphi \cdot n_{\text{Р}} = 1,7 \cdot 0,67 \cdot 0,25 = 0,285$ [руб/час] - затраты на зарплату;

$C_{\text{ОБ}} = \frac{(C_{\text{М}} \cdot R_{\text{М}} + C_{\text{Э}} \cdot R_{\text{Э}}) \cdot \mu}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{(30,6 \cdot 20 + 7,7 \cdot 3) \cdot 1,2}{4100} = 0,186$ [руб/час] - затраты

на эксплуатацию оборудования;

$C_{\text{ПУ}} = \frac{C_{\text{ПУ}}}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{900}{4100} = 0,22$ [руб/ч.эк] - затраты на эксплуатацию его

программного устройства;

$C_{\text{ЭЛ}} = \frac{C_{\text{ЭКВЧ}} \cdot N_{\text{Э}} \cdot K_{\text{АМ}} \cdot K_{\text{АВ}} \cdot K_{\text{т}}}{\eta} = \frac{0,04 \cdot 1,7 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,05}{0,95} = 0,042$ [руб/час] - затраты

на электроэнергию;

$C_{\text{АМ}} = \frac{C_{\text{ОБ}} \cdot a}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{65000 \cdot 0,2}{4100} = 3,17$ [руб/час] - затраты на амортизацию;

$C_{\text{ОСН}} = \frac{\Sigma K_{\text{ПР}}}{Z_{\text{ОСН}} \cdot F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{500 + 200}{2 \cdot 4100} = 0,085$ [руб/час] - затраты на оснастку;

$C_{\text{ПШ}} = \frac{C_{\text{ЭПЛ}} \cdot S_{\text{ОБ}} \cdot \gamma + C_{\text{ЭСПЛ}} \cdot S_{\text{ПР}} \cdot n_{\text{Р}}}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{20 \cdot 8,7 \cdot 4}{4100} + \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 0,25}{4100} = 0,1708$ [руб/час]

- затраты на эксплуатацию площадей;

$C_{Ц} = 0,4 \cdot C_3 = 0,4 \cdot 0,285 = 0,114$ [руб/ч·ас] – цеховые расходы;

$C = C_3 + C_{ОБ} + C_{ПУ} + C_{ЭЛ} + C_{АМ} + C_{ОСН} + C_{ИЛ} + C_{Ц} =$

$= 0,285 + 0,186 + 0,22 + 0,042 + 3,17 + 0,085 + 0,1708 + 0,114 = 4,27$ [руб/час]

$C_{УТП} = \frac{Z_{МПР} \cdot t_{ПУП}}{F_{МЭФ} \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ}} = \frac{250 \cdot 1}{192 \cdot 20 \cdot 10^4} = 6,51 \cdot 10^{-6}$ [руб/эк] – затраты на подготовку УТП;

Затраты на брак

$$C_{БР} = \frac{N_{БР} \cdot \frac{C_{ЗРЕМ}}{F_{МЭЭ}} \cdot t_{ИСПЭЭ} + 0,9 \cdot n_{БР} \cdot C_{1ЭК} \cdot N_{ЭКЭМ}}{N_{ЭКЭМ}} =$$

$$= \frac{0,01 \cdot \frac{250}{192} \cdot 0,05 + 0,9 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 20}{20} = 0,018$$
 [руб/эк]

$$C_{1ЭК} = \frac{1}{n_{ОП}} \cdot \left(\frac{C_{1ЭК} \cdot N_{ЭКЭМ} + C_{1ИП}}{N_{\Sigma ЭКЭМ}} \right) = \frac{1}{7} \cdot \left(\frac{2 \cdot 20 + 8}{23} \right) = 0,298$$
 [руб/эк]

$$C'_{ГОП} = (C \cdot T_{ШК} + C_{УТП} + C_{БР} + C_{1ЭК}) \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ} \cdot N_A =$$

$$(4,26 \cdot 4,403 \cdot 10^{-4} + 6,51 \cdot 10^{-6} + 0,018 + 0,298) \cdot 20 \cdot 10^4 \cdot 50 = 3,2 \cdot 10^6$$
 [руб/год]

$$K_{НЕЗ} = 0,3 \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ} \cdot \left(C_{1ЭК} + \frac{C'_{ГОП}}{2 \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ}} \right) \cdot \frac{\sigma}{n_{ОП}} =$$

$$= 0,3 \cdot 20 \cdot 10^4 \cdot \left(0,298 + \frac{3,2 \cdot 10^6}{2 \cdot 20 \cdot 10^4} \right) \cdot \frac{1,1}{7} = 7,35 \cdot 10^4$$
 [руб/год]

– количество связанных незавершенным производством средств;

$$C_{ГОП} = C'_{ГОП} + K_{НЕЗ} = 3,2 \cdot 10^6 + 7,35 \cdot 10^4 = 3,2 \cdot 10^6$$
 [руб/год];

$Q_{ГОП} = Q_{Ч} \cdot F_{ГЭФ} \cdot N_{ОБ} = 1983 \cdot 4100 \cdot 2 = 1,626 \cdot 10^7$ [эк/год] – годовая производительность оборудования;

$K_{ТР} = 0,2 \cdot K_{ГОП} = 0,2 \cdot 3,8 \cdot 10^4 = 7,6 \cdot 10^3$ [руб/год] – постоянные годовые транспортные затраты;

$C_{ТР} = 0,2 \cdot C_{ГОП} = 0,2 \cdot 3,2 \cdot 10^6 = 6,4 \cdot 10^5$ [руб/год] – переменные годовые транспортные затраты.

Пример 4. Определение эффективности монтажной операции

Эффективность монтажной операции определяется с учетом трудоемкости сборки, производительности и суммы производственных затрат по комплексному показателю $R_{ОП}$:

$$R_{ОП} = \frac{Q_{ГОП}}{(K_{ГОП} + K_{ТР} + C_{ГОП} + C_{ТР})} = \frac{1,626 \cdot 10^7}{(3,8 \cdot 10^4 + 7,6 \cdot 10^3 + 3,2 \cdot 10^6 + 6,4 \cdot 10^5)} = 4,223$$
 [эк/руб]

Пример 5. Проектирование операции и управляющей программы монтажа ИС₂ в РТК. Базирование платы выполним по ее базовым отверстиям. За начало расчетной системы координат примем центр нижнего базового отверстия. Для управляющей программы (УТП) определяют информацию [15, 16] привязки расчетной системы координат к абсолютной АТО, на перемещение

координатной системы (по X и Y), перемещения сборочной головки; выбора нужной кассеты в накопителе АЗУ (номера кассет). Технологические ограничения на расположение и последовательность установки формируют на основе анализа «свободных зон» для каждого компонента и минимального суммарного времени на их размещение. При определении последовательности монтажа микросхем на плату выполняют оптимизацию различными методами (например «ветвей и границ»), а в качестве критерия оптимизации используют минимум пути, пройденного координатной системой при установке всех ИС₂ на плату. Для определения минимального пути воспользуемся кафедральным пакетом программ по оптимизации установки микросхем на плату. Расположение компонентов (вариант задания) представлено на рис. 5 а):.

Суммарный путь монтажа ИС₂ на плату без оптимизации (рис. 5 б) составляет 2151мм, а с учетом оптимизации (рис. 6) суммарный путь (2-1-5-10-6-4-3-11-15-13-12-7-9-8-18-17-20-16-19-14) составляет 760 мм.

Пример 6. Определение количества дополнительно собранных ячеек ЭМ за смену на одном РТК за счет оптимизации очередности монтажа ИС₂ (без учета времени на загрузку плат и переналадку ДПВ)

1. Производительность РТК за смену (при его полной загрузке и семичасовом рабочем дне):

$$Q_{\text{ч}} = 4500 \frac{\text{ИС}}{\text{час}} - \text{ часовая производительность РТК}$$

$$Q_{\text{см}} = Q_{\text{ч}} \cdot 7 = 3,15 \cdot 10^4 \frac{\text{ИС}}{\text{см}} - \text{ сменная производительность РТК}$$

$$Q_{\text{с}} = \frac{Q_{\text{ч}}}{3600} = \frac{4500}{3600} = 1,25 \frac{\text{ИС}}{\text{с}} - \text{ секундная производительность РТК.}$$

2. Количество собираемых ячеек (ЭМ) за смену на одном АТО без оптимизации:

$$N_{\text{ЭКЭМ}} = 20 - \text{ количество ИС данного типа в одной ЭЯ}$$

$$N_{\text{ЭМСМ}} = \frac{Q_{\text{см}}}{N_{\text{ЭКЭМ}}} = \frac{3,15 \cdot 10^4}{20} = 1575 \frac{\text{ЭМ}}{\text{см}}$$

3. Трудоемкость установки 1-ой ИС₂:

$$T_{\text{1ИС}} = \frac{1}{Q_{\text{с}}} = \frac{1}{1,25} = 0,8 \frac{\text{с}}{\text{ИС}}$$

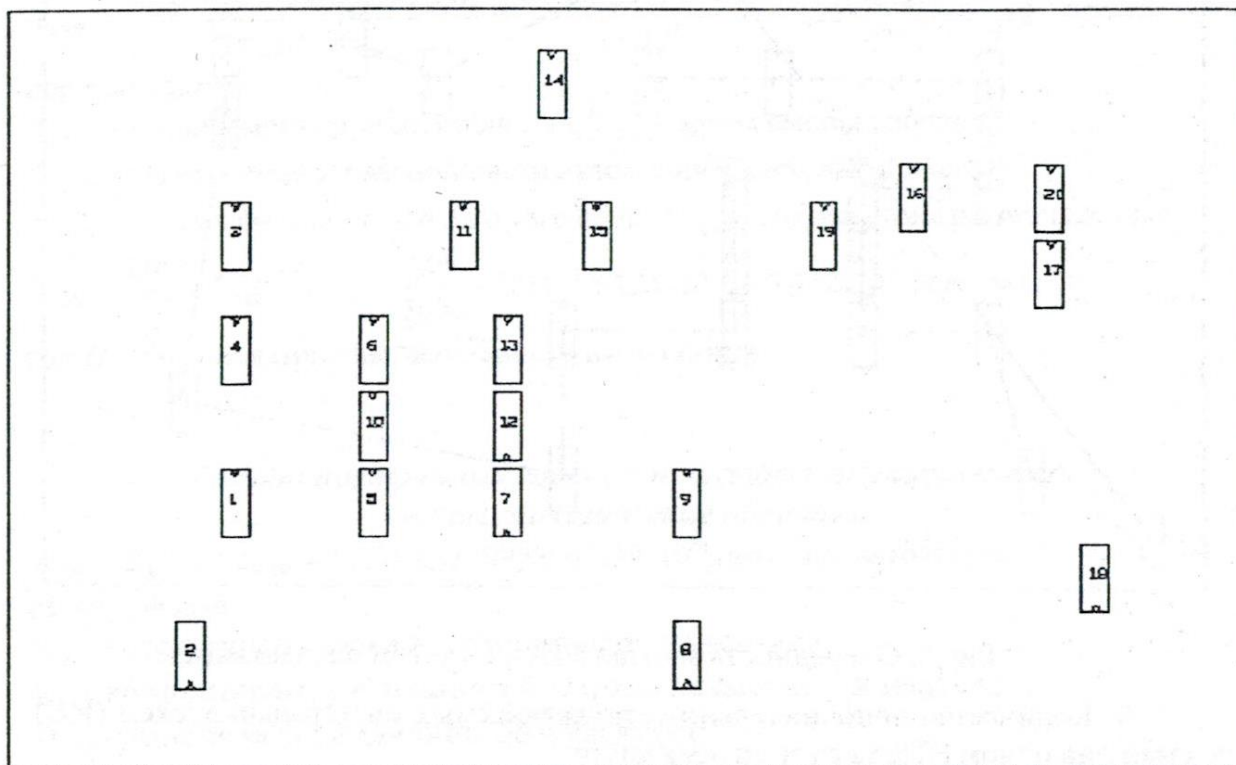
4. Экономия времени при сборке 1-ого ЭМ за счет оптимизации:

$$\Delta t_{\text{1 ИС}} = \frac{L_{\text{неопт}} - L_{\text{опт}}}{V_{\text{кс}}} = \frac{2,151 - 0,76}{0,25} = 5,564 \frac{\text{с}}{\text{ЭМ}},$$

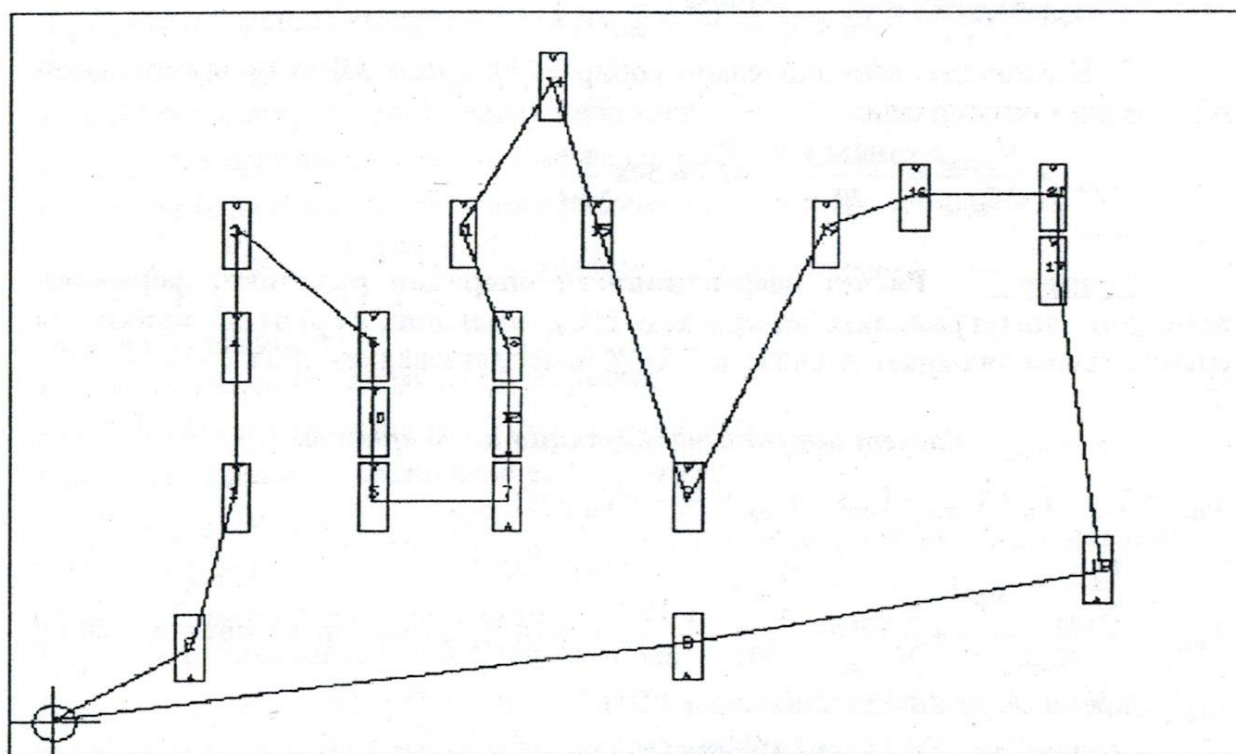
где $L_{\text{неопт}}$ - неоптимальный путь, $L_{\text{опт}}$ - оптимальный путь, $V_{\text{кс}} = 15 \frac{\text{м}}{\text{мин}} = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

5. Экономия времени за смену при оптимизации:

$$\Delta T_{\text{ЭМСМ}} = \Delta t_{\text{1 ИС}} \cdot N_{\text{ЭМСМ}} = 5,564 \cdot 1575 = 8763,3 \frac{\text{с}}{\text{см}}$$



а



б

Рис. 5. Собираемый электронный модуль
 а – расположение ИС₂ на плате; б – очередность установки ИС₂ без оптимизации

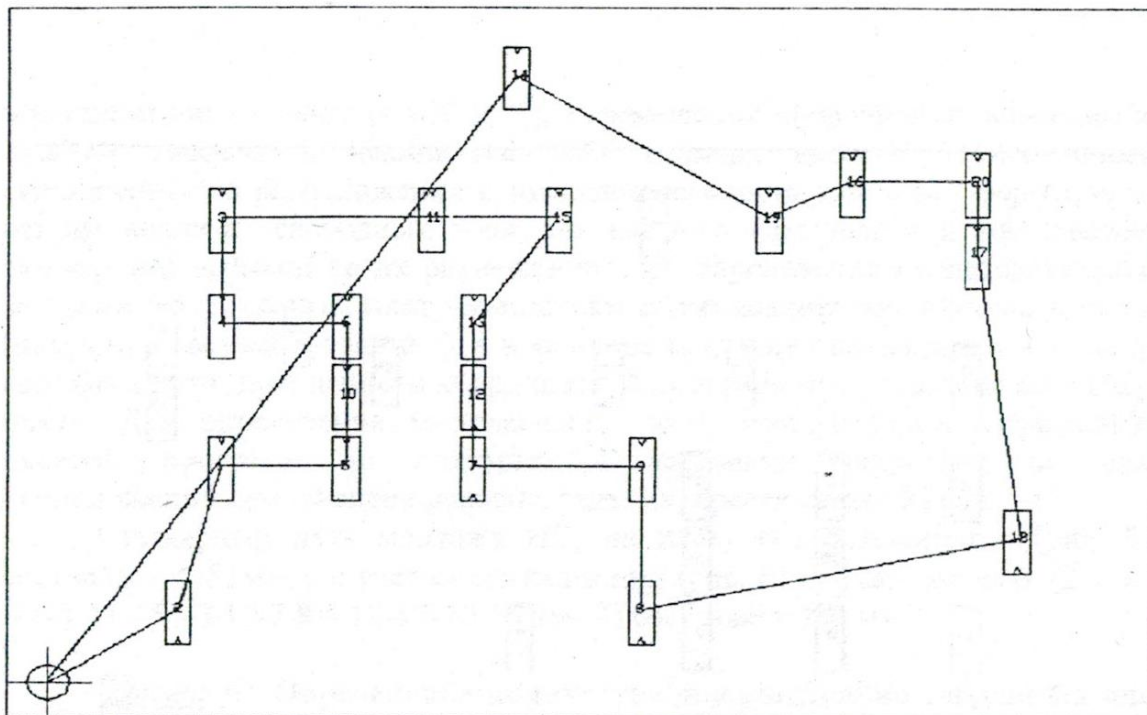


Рис.6. Очередность монтажа ИС₂ с учетом оптимизации

6. Количество дополнительно устанавливаемых интегральных схем (ИС) за смену на одном РТК за счет оптимизации:

$$N_{\text{ИССМ}} = \frac{\Delta T_{\text{ЭСМ}}}{T_{1\text{ИС}}} = \frac{8763,3}{0,8} = 10954,1 \frac{\text{ис}}{\text{см}}$$

7. Количество дополнительно собираемых ячеек ЭЯ за смену на одном АТО за счет оптимизации:

$$N_{\text{ЭЭЯ}} = \frac{N_{\text{ИССМ}}}{N_{\text{ЭКЭЯ}}} = \frac{10954,1}{20} = 547,7 \approx 548 \frac{\text{ЭМ}}{\text{см}}$$

Пример 7. Расчет эффективности операции рихтовки, формовки выводов интегральных микросхем ИС₂, имеющих гарантию пайки, на специальном автомате АА6025 в ГАСК (с использованием табл. 1 - 6)

Расчет штучно-калькуляционного времени

$$T_{\text{ШК}} = T_{\text{О}} + T_{\text{В}} + T_{\text{ОТД}} + T_{\text{ОБС}} + T_{\text{ПЕР}} = \frac{1,05}{Q} + T_{\text{ОБС}} + T_{\text{ПЕР}},$$

$$T_{\text{ОБС}} = \frac{t_{\text{ЭКПП}}}{N_{\text{КПП}}} + t_{\text{ЗПП}} + \frac{t_{\text{САНЭК}}}{N_{\text{ЭКАН}}} = \frac{0}{20} + 0 + \frac{1 \cdot 10^{-2}}{500} = 2 \cdot 10^{-5} [\text{час/эк}] - \text{время обслуживания};$$

$t_{\text{ЭКПП}}$ - время загрузки одной кассеты с ПП;

$N_{\text{КПП}}$ - количество плат в одной кассете;

$t_{\text{ЗПП}}$ - время загрузки одной платы (ПП); $N_{\text{ЭКЭМ}}$ - компонентов на ячейке;

$t_{\text{САНЭК}}$ - время смены автоматического накопителя компонентов;

$N_{\text{ЭКАН}}$ - количество компонентов в накопителе;

$$T_{\text{ПЕР}} = \frac{T_{\text{СПР}} + T_{\text{СТ}} + T_{\text{СБАН}} + T_{\text{СНПР}}}{N_{\text{ЭКЭМ}} \cdot N_{\text{ЭМ}}} = \frac{0 + 0 + 25 \cdot 10^{-2} + 0}{20 \cdot 10^4} = 1,25 \cdot 10^{-6} [\text{час} / \text{эк}] - \text{время}$$

переналадки;

$T_{\text{СПР}}$ - время смены приспособления; $T_{\text{СТ}}$ - время смены головки;

$T_{\text{СБАН}}$ - время смены базовой части автоматического накопителя;

$T_{\text{СНПР}}$ - время смены носителя программы; $N_{\text{ЭМ}}$ - годовая программа выпуска;

$$T_{\text{ШК}} = \frac{1,05}{Q} + T_{\text{ОБС}} + T_{\text{ПЕР}} = \frac{1,05}{3000} + 2 \cdot 10^{-5} + 1,25 \cdot 10^{-6} = 3,712 \cdot 10^{-4} [\text{час} / \text{эк}],$$

где Q - часовая производительность по паспорту.

Расчет постоянных годовых производственных затрат на технологические операции

$K_{\text{ОБ}} = E_{\text{Н}} \cdot K_1 \cdot C_{\text{ОБ}} = 0,167 \cdot 1,13 \cdot 18000 = 3,39 \cdot 10^3 [\text{руб} / \text{год}]$ - затраты на оборудование;

$E_{\text{Н}}$ - коэффициент срока эксплуатации оборудования;

K_1 - коэффициент, учитывающий затраты на доставку и монтаж;

$C_{\text{ОБ}}$ - рыночная цена единицы оборудования;

$$K_{\text{ПЛ}} = C_{\text{АРПЛ}} \cdot S_{\text{ОБ}} \cdot \gamma + C_{\text{АСПЛ}} \cdot S_{\text{ПР}} \cdot n_{\text{Р}} = 200 \cdot 1,04 \cdot 5 + 200 \cdot 0,7 \cdot 0,25 = 1,075 \cdot 10^3 [\text{руб} / \text{год}]$$

- затраты на производственные и служебные площади;

$C_{\text{АРПЛ}}$ - цена аренды квадратного метра производственных площадей;

$S_{\text{ОБ}}$ - площадь единицы оборудования;

γ - коэффициент дополнительных площадей;

$C_{\text{АСПЛ}}$ - цена аренды квадратного метра служебных площадей;

$S_{\text{ПР}}$ - служебная площадь на одного рабочего; $n_{\text{Р}}$ - количество рабочих.

$$Q_{\text{Ч}} = \frac{K_3 \cdot \rho \cdot K_{\text{ПТ}}}{T_{\text{ШК}}} = \frac{0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,99}{3,712 \cdot 10^{-4}} = 2,352 \cdot 10^3 [\text{эк} / \text{час}] - \text{часовая}$$

производительность;

K_3 - коэффициент фактической загрузки;

ρ - коэффициент готовности оборудования к работе;

$K_{\text{ПТ}}$ - коэффициент технологических потерь.

$$N_{\text{ОБ}} = \frac{N_{\text{ЭКЭМ}} \cdot N_{\text{ЭМ}} \cdot N_{\text{А}}}{Q_{\text{Ч}} \cdot F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 50}{2,352 \cdot 10^3 \cdot 4100} = 1,037 \Rightarrow N_{\text{ОБ}} = 1 [\text{шт}] - \text{количество}$$

единиц оборудования данного типа;

$F_{\text{ГЭФ}}$ - эффективный годовой фонд времени;

$K_{\text{ГОП}} = (K_{\text{ОБ}} + K_{\text{ПЛ}}) \cdot n_{\text{ОБ}} = (3,39 \cdot 10^3 + 1,075 \cdot 10^3) \cdot 1 = 4,465 \cdot 10^3 [\text{руб} / \text{год}]$ - суммарные

годовые постоянные затраты на технологические операции.

Расчет переменных годовых производственных затрат на технологические операции

$C_3 = K_{\text{Д}} \cdot \varphi \cdot n_{\text{Р}} = 1,7 \cdot 0,67 \cdot 0,25 = 0,285 [\text{руб} / \text{ч}]$ - затраты на зарплату;

$K_{\text{Д}}$ - коэффициент доплат к основной зарплате; φ - часовая ставка рабочего.

$$C_{\text{об}} = \frac{(C_{\text{м}} \cdot R_{\text{м}} + C_{\text{э}} \cdot R_{\text{э}}) \cdot \mu}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{(30,6 \cdot 7 + 7,7 \cdot 2) \cdot 1,2}{4100} = 0,067 [\text{руб/ч}] - \text{затраты}$$

на оборудование;

$C_{\text{м}}$ - годовые затраты на механическую часть оборудования;

$R_{\text{м}}$ - единицы ремонтной сложности механической части оборудования;

$C_{\text{э}}$ - годовые затраты на электрическую часть оборудования;

$R_{\text{э}}$ - единицы ремонтной сложности электрической части оборудования;

μ - повышающий коэффициент класса точности.

$$C_{\text{пу}} = \frac{C_{\text{пу}}}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{0}{4100} = 0 [\text{руб/ч}] - \text{затраты на эксплуатацию программного}$$

управления;

$C_{\text{пу}}$ - цена программного управления.

$$C_{\text{эл}} = \frac{C_{\text{квтч}} \cdot N_{\Sigma} \cdot K_{\text{ам}} \cdot K_{\text{ав}} \cdot K_{\text{л}}}{\eta} = \frac{0,04 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 1,05}{0,9} = 0,021 [\text{руб/ч}] - \text{затраты на}$$

электроэнергию;

$C_{\text{квтч}}$ - цена 1 кВт-часа электроэнергии;

N_{Σ} - суммарная мощность электроустановки;

$K_{\text{ам}}$ - коэффициент загрузки оборудования по мощности;

$K_{\text{ав}}$ - коэффициент загрузки оборудования по времени;

$K_{\text{л}}$ - коэффициент потерь в сети;

η - коэффициент полезного действия оборудования.

$$C_{\text{ам}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot a}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{18000 \cdot 0,2}{4100} = 0,878 [\text{руб/ч}] - \text{затраты на амортизацию};$$

$C_{\text{об}}$ - рыночная цена единицы оборудования;

a - коэффициент амортизационных отчислений;

$$C_{\text{осн}} = \frac{\Sigma K_{\text{пр}}}{Z_{\text{осн}} \cdot F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{0}{2 \cdot 4100} = 0 [\text{руб/ч}] - \text{затраты на оснастку};$$

$\Sigma K_{\text{пр}}$ - суммарные затраты на приобретение оснастки;

$Z_{\text{осн}}$ - количество лет эксплуатации оснастки.

$$C_{\text{пл}} = \frac{C_{\text{эплл}} \cdot S_{\text{об}} \cdot \gamma}{F_{\text{ГЭФ}}} + \frac{C_{\text{эспл}} \cdot S_{\text{пр}} \cdot n_{\text{р}}}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{20 \cdot 1,04 \cdot 5}{4100} + \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 0,25}{4100} = 0,026 [\text{руб/ч}]$$

- затраты на эксплуатацию площадей;

- $C_{\text{эплл}}$ - цена эксплуатации

одного квадратного метра производственных площадей в год.

$S_{\text{об}}$ - площадь, занимаемая одной единицей оборудования;

γ - коэффициент дополнительных площадей;

$C_{\text{эспл}}$ - цена эксплуатации одного квадратного метра служебных площадей в год;

$S_{\text{пр}}$ - служебная площадь, приходящаяся на одного рабочего;

$C_{\text{ц}} = 0,4 \cdot C_{\text{з}} = 0,4 \cdot 0,285 = 0,114 [\text{руб/ч} \cdot \text{эк}]$ - цеховые расходы.

$$C = C_{\text{з}} + C_{\text{об}} + C_{\text{пу}} + C_{\text{эл}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{осн}} + C_{\text{пл}} + C_{\text{ц}} =$$

$$= 0,285 + 0,067 + 0 + 0,021 + 0,878 + 0 + 0,026 + 0,114 = 1,391 [\text{руб/ч}]$$

$$C_{УТП} = \frac{Z_{МПР} \cdot t_{р1УТП}}{F_{МЭФ} \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ}} = \frac{250 \cdot 1}{192 \cdot 20 \cdot 10^4} = 6,51 \cdot 10^{-6} [\text{руб/эк}] - \text{затраты на подготовку}$$

УТП;

$Z_{МПР}$ - месячная зарплата разработчика УТП;

$t_{р1УТП}$ - время разработки одной управляющей программы.

$$C_{БР} = \frac{N_{БР} \cdot \frac{C_{ЗРЕМ}}{F_{МЭЭ}} \cdot t_{ИСП1ЭЭ} + 0,9 \cdot n_{БР} \cdot C_{1ЭК} \cdot N_{ЭКЭМ}}{N_{ЭКЭМ}} =$$

$$= \frac{0,01 \cdot \frac{250}{192} \cdot 0,05 + 0,9 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 20}{20} = 0,018 [\text{руб/эк}]$$

$N_{БР}$ - процент бракованных ячеек;

$C_{ЗРЕМ}$ - месячная зарплата ремонтника;

$t_{ИСП1ЭЭ}$ - время исправления одной ячейки;

$n_{БР}$ - процент бракованных ЭК;

$C_{1ЭК}$ - цена одного ЭК;

$F_{МЭЭФ}$ - эффективный фонд времени за месяц.

$$C_{1ЭК} = \frac{1}{n_{ОП}} \cdot \left(\frac{C_{1ЭК} \cdot N_{ЭКЭМ} + C_{1ПП}}{N_{ЭКЭМ}} \right) = \frac{1}{7} \cdot \left(\frac{2 \cdot 20 + 8}{20} \right) = 0,35 [\text{руб/эк}]$$

$n_{ОП}$ - количество операций в ТП; $C_{1ПП}$ - цена одной ПП.

$$C'_{ГОП} = (C \cdot T_{ШК} + C_{УТП} + C_{БР} + C_{1ЭК}) \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ} \cdot N_A =$$

$$(1,391 \cdot 3,712 \cdot 10^{-4} + 6,51 \cdot 10^{-6} + 0,018 + 0,35) \cdot 20 \cdot 10^4 \cdot 50 = 3,68 \cdot 10^6 [\text{руб/год}]$$

$$K_{НЕЗ} = 0,3 \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ} \cdot \left(C_{1ЭК} + \frac{C'_{ГОП}}{2 \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ}} \right) \cdot \frac{\sigma}{n_{ОП}} =$$

$$= 0,3 \cdot 20 \cdot 10^4 \cdot \left(0,24 + \frac{3,68 \cdot 10^6}{2 \cdot 20 \cdot 10^4} \right) \cdot \frac{1,1}{7} = 8,91 \cdot 10^4 [\text{руб/год}]$$

- количество связанных

незавершенным производством средств;

σ - коэффициент, учитывающий интервал времени незавершенного производства.

$C_{ГОП} = C'_{ГОП} + K_{НЕЗ} = 3,68 \cdot 10^6 + 8,91310^4 = 3,69 \cdot 10^6 [\text{руб/год}]$ - годовые переменные затраты на технологические операции.

$Q_{ГОП} = Q_{ч} \cdot F_{ГЭФ} \cdot N_{ОБ} = 2,352 \cdot 10^3 \cdot 4100 \cdot 1 = 9,643 \cdot 10^6 [\text{эк/год}]$ - годовая производительность оборудования.

$K_{ТР} = 0,2 \cdot K_{ГОП} = 0,2 \cdot 4,465 \cdot 10^3 = 0,893 \cdot 10^3 [\text{руб/год}]$ - постоянные годовые транспортные затраты.

$C_{ТР} = 0,2 \cdot C_{ГОП} = 0,2 \cdot 3,69 \cdot 10^6 = 7,38 \cdot 10^5 [\text{руб/год}]$ - переменные годовые транспортные затраты;

$$P_{ОП} = \frac{Q_{ГОП}}{(K_{ГОП} + K_{ТР} + C_{ГОП} + C_{ТР})} = \frac{9,643 \cdot 10^6}{(4,465 \cdot 10^3 + 0,893 \cdot 10^3 + 3,69 \cdot 10^6 + 7,738 \cdot 10^5)} = 2,16 \left[\frac{\text{эк}}{\text{руб}} \right]$$

- комплексный показатель эффективности операции.

Пример 8. Расчет эффективности операции флюсования и лужения выводов (не имеющих гарантии пайки) интегральных микросхем ИС₂ на специальном автомате ГМ2.339.007 ГАСК (с использованием табл. 1 - 6)

Расчет штучно-калькуляционного времени

$$T_{\text{ШК}} = T_0 + T_B + T_{\text{отд}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{пер}} = \frac{1,05}{Q} + T_{\text{обс}} + T_{\text{пер}},$$

$$T_{\text{обс}} = \frac{\frac{t_{\text{ЭКПП}} + t_{\text{ЗПП}}}{N_{\text{КПП}}} + t_{\text{ЗПП}}}{N_{\text{ЭКЭМ}}} + \frac{t_{\text{САНЭК}}}{N_{\text{ЭКАН}}} = \frac{0}{10} + \frac{0}{500} = 2 \cdot 10^{-5} [\text{час/эк}]$$

- время на обслуживание АТО.

$$T_{\text{пер}} = \frac{T_{\text{СПР}} + T_{\text{СГ}} + T_{\text{СБАН}} + T_{\text{СНПР}}}{N_{\text{ЭКЭМ}} \cdot N_{\text{ЭМ}}} = \frac{0 + 0 + 25 \cdot 10^{-2} + 0}{10 \cdot 10^4} = 2,5 \cdot 10^{-6} [\text{час/эк}]$$

- время на переналадку АТО.

$$T_{\text{ШК}} = \frac{1,05}{Q} + T_{\text{обс}} + T_{\text{пер}} = \frac{1,05}{1200} + 2 \cdot 10^{-5} + 2,5 \cdot 10^{-6} = 8,975 \cdot 10^{-4} [\text{час/эк}]$$

Расчет постоянных годовых производственных затрат на технологические операции

$$K_{\text{об}} = E_H \cdot K_1 \cdot C_{\text{об}} = 0,167 \cdot 1,13 \cdot 20000 = 3,77 \cdot 10^3 [\text{руб/год}]$$

- затраты на оборудование.

$$K_{\text{пл}} = C_{\text{АПЛ}} \cdot S_{\text{об}} \cdot \gamma + C_{\text{АСПЛ}} \cdot S_{\text{пр}} \cdot n_p = 200 \cdot 0,5 \cdot 5 + 200 \cdot 0,7 \cdot 0,25 = 535 [\text{руб/год}]$$

- затраты на производственные и служебные площади.

$$Q_{\text{ч}} = \frac{K_3 \cdot \rho \cdot K_{\text{пл}}}{T_{\text{ШК}}} = \frac{0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,99}{8,975 \cdot 10^{-4}} = 972,903 [\text{эк/час}]$$

- часовая производительность.

$$N_{\text{об}} = \frac{N_{\text{ЭКЭМ}} \cdot N_{\text{ЭМ}} \cdot N_A}{Q_{\text{ч}} \cdot F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{20 \cdot 10^4 \cdot 50}{972,903 \cdot 4100} = 2,51 \Rightarrow n_{\text{об}} = 3 [\text{шт}]$$

- количество

единиц оборудования данного типа;

$$K_{\text{гоп}} = (K_{\text{об}} + K_{\text{пл}}) \cdot N_{\text{об}} = (3,77 \cdot 10^3 + 535) \cdot 3 = 1,29 \cdot 10^4 [\text{руб/год}]$$

- суммарные годовые постоянные затраты на технологические операции.

Расчет переменных годовых производственных затрат на технологические операции

$$C_3 = K_d \cdot \varphi \cdot n_p = 1,7 \cdot 0,67 \cdot 0,25 = 0,285 [\text{руб/час}]$$

- затраты на зарплату.

$$C_{\text{об}} = \frac{(C_M \cdot R_M + C_3 \cdot R_3) \cdot \mu}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{(30,6 \cdot 7 + 7,7 \cdot 2) \cdot 1,2}{4100} = 0,067 [\text{руб/час}]$$

- затраты на эксплуатацию оборудования.

эксплуатацию оборудования.

$$C_{\text{пу}} = \frac{C_{\text{пу}}}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{0}{4100} = 0 [\text{руб/час}]$$

- затраты на эксплуатацию программного управления.

$$C_{эл} = \frac{C_{1КВНЧ} \cdot N_{\Sigma} \cdot K_{ам} \cdot K_{ав} \cdot K_l}{\eta} = \frac{0,04 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 1,05}{0,9} = 0,028 [\text{руб/час}] - \text{затраты на электроэнергию.}$$

$$C_{ам} = \frac{C_{об} \cdot a}{F_{ГЭФ}} = \frac{20000 \cdot 0,2}{4100} = 0,976 [\text{руб/час}] - \text{затраты на амортизацию.}$$

$$C_{осн} = \frac{\Sigma K_{пр}}{Z_{осн} \cdot F_{ГЭФ}} = \frac{0}{2 \cdot 4100} = 0 [\text{руб/час}] - \text{затраты на оснастку.}$$

$$C_{пл} = \frac{C_{эпл} \cdot S_{об} \cdot \gamma}{F_{ГЭФ}} + \frac{C_{эспл} \cdot S_{пр} \cdot n_p}{F_{ГЭФ}} = \frac{20 \cdot 0,5 \cdot 5}{4100} + \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 0,25}{4100} = 0,013 [\text{руб/час}] -$$

затраты на эксплуатацию площадей;

$$C_{ц} = 0,4 \cdot C_{з} = 0,4 \cdot 0,285 = 0,114 [\text{руб/час}] - \text{цеховые расходы;}$$

$$C = C_{з} + C_{об} + C_{пу} + C_{эл} + C_{ам} + C_{осн} + C_{пл} + C_{ц} = 0,285 + 0,067 + 0 + 0,028 + 0,976 + 0 + 0,013 + 0,114 = 1,483 [\text{руб/час}]$$

$$C_{ути} = \frac{3_{МПР} \cdot t_{р1ути}}{F_{МЭФ} \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ}} = \frac{250 \cdot 1}{192 \cdot 20 \cdot 10^4} = 6,5 \cdot 10^{-6} [\text{руб/эк}] - \text{затраты на подготовку УТП.}$$

$$C_{бр} = \frac{N_{бр} \cdot \frac{C_{зрем}}{F_{МЭФ}} \cdot t_{исп1э} + 0,9 \cdot n_{бр} \cdot C_{1эк} \cdot N_{ЭКЭМ}}{N_{ЭКЭМ}} = \frac{0,01 \cdot \frac{250}{192} \cdot 0,05 + 0,9 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 20}{20} = 0,018 [\text{руб/эк}]$$

$$C_{1эк} = \frac{1}{n_{оп}} \cdot \left(\frac{C_{1эк} \cdot N_{ЭКЭМ} + C_{1пл}}{N_{ЭКЭМ}} \right) = \frac{1}{7} \cdot \left(\frac{2 \cdot 20 + 8}{20} \right) = 0,34 [\text{руб/эк}]$$

$$C'_{гоп} = (C \cdot T_{шк} + C_{ути} + C_{бр} + C_{1эк}) \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ} \cdot N_A = (1,483 \cdot 8,975 \cdot 10^{-4} + 6,5 \cdot 10^{-6} + 0,018 + 0,34) \cdot 20 \cdot 10^4 \cdot 50 = 3,58 \cdot 10^6 [\text{руб/год}]$$

$$K_{нез} = 0,3 \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ} \cdot \left(C_{1эк} + \frac{C'_{гоп}}{2 \cdot N_{ЭКЭМ} \cdot N_{ЭМ}} \right) \cdot \frac{\sigma}{n_{оп}} = 0,3 \cdot 20 \cdot 10^4 \cdot \left(0,34 + \frac{1,4 \cdot 10^7}{2 \cdot 20 \cdot 10^4} \right) \cdot \frac{1,1}{10} = 1,3 \cdot 10^6 [\text{руб/год}] - \text{количество связанных}$$

незавершенным производством средств.

$$C_{гоп} = C'_{гоп} + K_{нез} = 3,58 \cdot 10^6 + 1,3 \cdot 10^6 = 4,88 \cdot 10^6 [\text{руб/год}] - \text{годовые переменные затраты на технологические операции.}$$

$$Q_{гоп} = Q_{ч} \cdot F_{ГЭФ} \cdot N_{об} = 9,729 \cdot 10^3 \cdot 4100 \cdot 3 = 1,197 \cdot 10^7 [\text{эк/год}] - \text{годовая производительность оборудования;}$$

$$K_{тр} = 0,2 \cdot K_{гоп} = 0,2 \cdot 1,29 \cdot 10^4 = 2,58 \cdot 10^3 [\text{руб/год}] - \text{постоянные годовые транспортные затраты;}$$

$$C_{тр} = 0,2 \cdot C_{гоп} = 0,2 \cdot 4,88 \cdot 10^6 = 0,976 \cdot 10^6 [\text{руб/год}] - \text{переменные годовые транспортные затраты.}$$

$$P_{оп} = \frac{Q_{гоп}}{(K_{гоп} + K_{тр} + C_{гоп} + C_{тр})} = \frac{1,197 \cdot 10^7}{(1,29 \cdot 10^4 + 2,58 \cdot 10^3 + 1,53 \cdot 10^7 + 3,06 \cdot 10^6)} = 2,04 \left[\frac{\text{ЭК}}{\text{руб}} \right]$$

- комплексный показатель эффективности операции.

Компоновка РТК - привязка оборудования РТК в цеху должна исключить наложение одних единиц оборудования (АТО) на другие, исключить наложение АТО на транспортные пути и др. запрещенные места (колонны, коммуникации) а также учитывать особенности конкретного участка цеха (расположение средств вентиляции, колонн, дверей, проемов, оконных рам, коммуникаций).

III. Проектирование технологического оснащения РТК.

Выбор операции с $R_{оп} = R_{оп\max}$ позволяет предварительно определить структуру технологической оснастки. Уточнение структуры и параметров оснастки происходят при расчете ее конструкции, силовом расчете, расчете точности, производительности, стоимости. Методики расчета оснастки в зависимости от типа и вида оснастки приведены в литературе [6, 7, 8, 9, 10].

Пример 9. Расчет устройства захвата ИС₂. На рис. 7 показана сборочная головка монтажа интегральных микросхем во втором корпусе ИС₂. При захвате микросхемы ИС₂ сжатый воздух через штуцер 3 подается в пневмоцилиндр 4. При этом поршень опускается; происходит разжим губок 5 схвата. Головка со схватом опускается на определенное программой расстояние, подача воздуха прекращается. Верхняя полость пневмоцилиндра соединяется с атмосферой. Поршень под действием воздуха вместе с клином 6 поднимается и происходит закрытие губок 5, которые захватывают ИС. При установке ИС на плату головка опускается. Выводы ИС попадают в монтажные отверстия платы. Воздух через штуцер поступает в верхнюю полость цилиндра. При этом поршень вместе с клином опускается, губки разжимаются, освобождая ИС. Одновременно через толкатель 7 и клин 6 осуществляется воздействие на ножки ИС, которые досылаются до упора. Схема расчета головки представлена на рис. 8 [Л.10].

Усилие удержания микросхемы F_y :

$$F_{y1} = F_{y2} = G \cdot \frac{K}{\mu} \cdot \left(1 + \frac{A}{g}\right),$$

где $F_{y1,2}$ - усилие удержания ИС, $G = mg$ - вес ИС₂, $K = 1,05 \dots 2$ - коэффициент запаса, $\mu = 0,1 \dots 0,15$ - коэффициент трения, $A = (1,5 \dots 2) \cdot g$ - линейное ускорение.

Подставляя числовые значения, получаем:

$$F_y = 0,005 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,05}{0,15} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot g}{g}\right) = 1,03 \text{ Н}$$

Найдем $F_{тр}$ (усилие пружины) и P из равенства сил и моментов:

$$\Sigma F: mg + P - F_{тр} \cdot \cos \alpha - F_y = 0$$

$$\Sigma M_A: (P + mg) \cdot d + F_{тр} \cdot \sin \alpha \cdot e - F_y \cdot c = 0$$

Коэффициенты $a=4$ мм, $b=6$ мм, $d=12$ мм, $c=18$ мм, $e=2$ мм, $\alpha=30^\circ$ - конструктивные параметры.

$$F_{тр} = \mu \cdot P$$

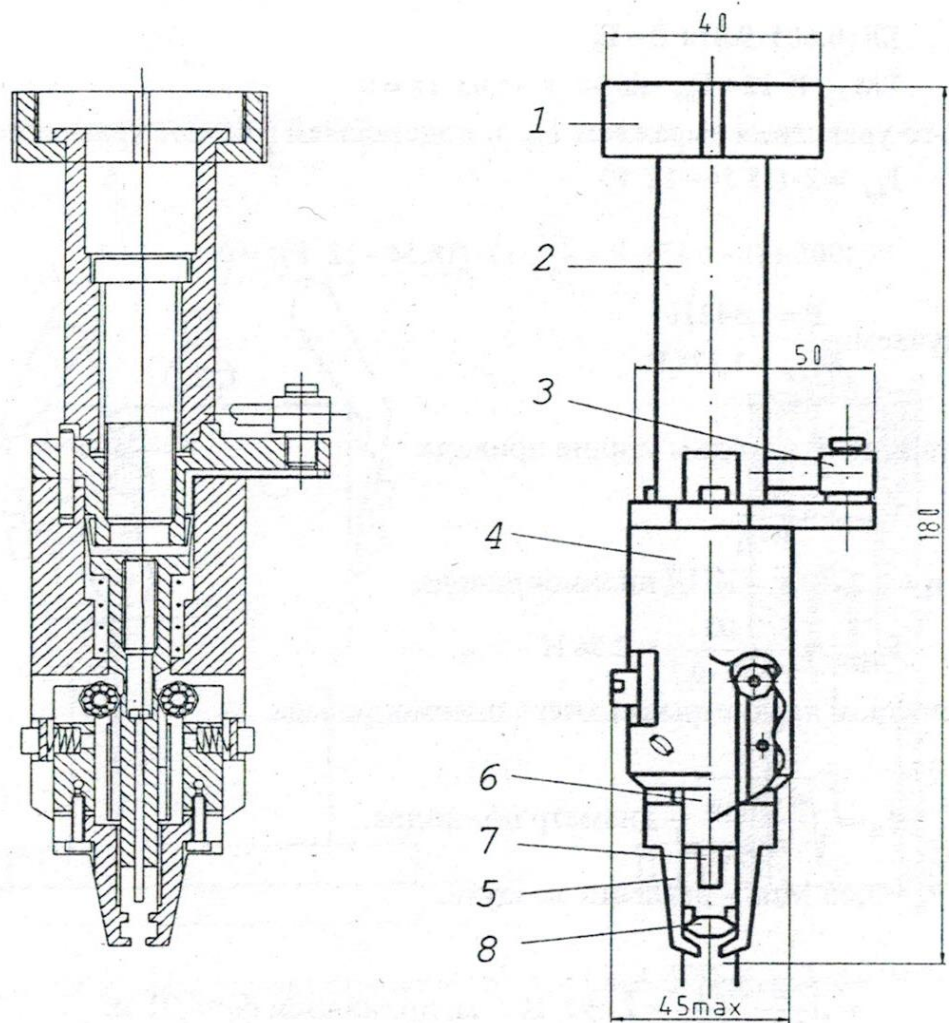


Рис. 7. Сборочная головка монтажа микросхем ИС₂

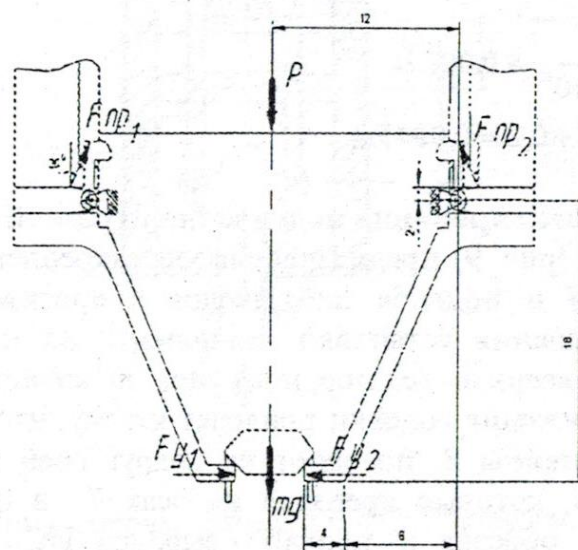


Рис. 8. Расчетная схема устройства захвата микросхем.

$$\Sigma F: 0.005 \cdot 9.81 + P - F_{\text{ГР}} \cdot \cos 30 - 0.15 \cdot P = 0$$

$$\Sigma M_A: P \cdot 12 + F_{\text{ГР}} \cdot \sin 30 \cdot 2 - 1.03 \cdot 18 = 0$$

из 2-го уравнения выражаем $F_{\text{ГР}}$ и подставляем в первое уравнение:

$$F_{\text{ГР}} = 2 \cdot (18.54 - 12 \cdot P)$$

$$0.04905 + (1 - 0.15) \cdot P - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \{2 \cdot (18.54 - 12 \cdot P)\} = 0$$

$$P = 1.342 \text{ Н}$$

Получаем: $F_{\text{ГР}} = 1.374 \text{ Н}$

По усилию P находим усилие привода:

$$F_{\text{ПРИВ}} = \frac{F_y}{P \cdot \eta},$$

где $\eta = 0.2 - 0.3$ – КПД пневмопривода.

$$F_{\text{ПРИВ}} = \frac{1.03}{1.342 \cdot 0.3} = 2.56 \text{ Н}$$

Рассчитаем параметры верхнего пневмопривода:

$$d_{\text{Ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{ПРИВ}}}{\pi \cdot P_{\text{В}}}} \text{ – диаметр цилиндра.}$$

где $P_{\text{В}} = 0.45 \text{ Мпа}$ – давление воздуха.

$$d_{\text{Ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.56}{3.14 \cdot 0.45}} = 2.692 \cdot 10^{-3} \text{ м, принимаем } d_{\text{Ц}} = 0.01 \text{ м.}$$

$$d_{\text{ШТ}} = d_{\text{Р}} + (0.1 \dots 0.2) \text{ мм – диаметр штока привода,}$$

где $d_{\text{Р}}$ – диаметр резьбы на штоке.

$$d_{\text{Р}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_y}{\pi \cdot [\sigma]_{\text{Р}}}}$$

$$d_{\text{Р}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.03}{3.14 \cdot 1.30 \cdot 10^6}} = 0.001 \text{ м}$$

принимаем $d_{\text{ШТ}} = 0.004 + 0.2 = 0.0045 \text{ м}$

Пример 10. Проектирование подгибочно-отрезной головки. Гибочно-отрезная головка СГ_H (рис. 9) предназначена для закрепления компонентов на плате путем подрезки и подгиба их выводов с противоположной монтажу стороны. После завершения установки компонента на плату головка СГ_H начинает подниматься вверх до тех пор, пока упор не коснется нижней стороны платы. Дальнейшее движение головки приведет к тому, что от упора планка 3, воздействуя на кронштейны 8, повернет их вокруг осей 9. Вместе с ними повернутся ролики 16, которые крепятся на осях 7 в корпусе 5. Лапки 1 сойдутся. Произойдет обрезка и подгиб выводов ИС_2 . Кронштейны, под действием пружин 2 вернуться в исходное положение. Головка займет исходное положение. Расчетная схема головки представлена на рис. 10 [Л.10].

Определим усилие, необходимое для отрезки одного вывода:

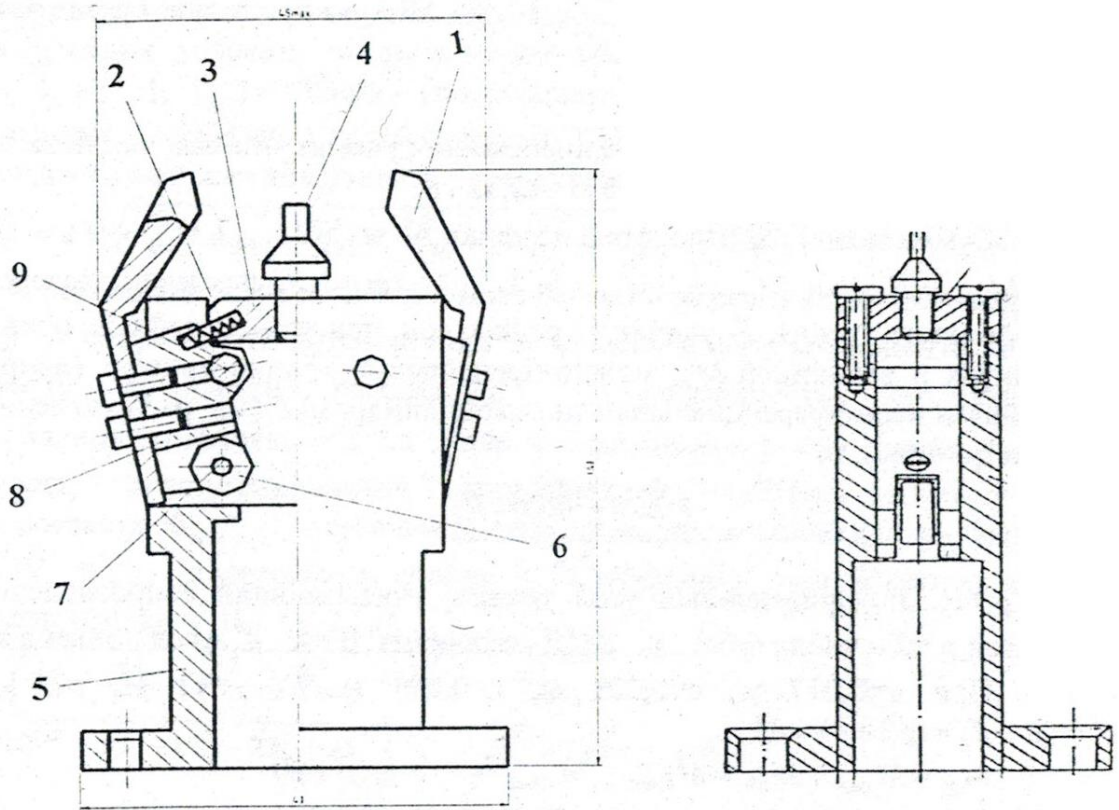


Рис.9. Сборочная головка отрезки и подгибки выводов микросхем ИС₂

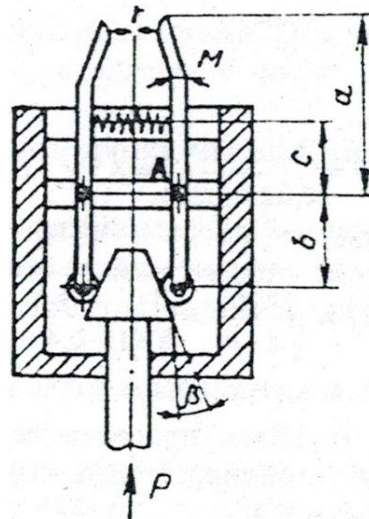


Рис 10. Расчетная схема головки отрезки и подгибки выводов микросхем ИС₂

$$F_{\text{ОБР}} = S_{\text{В}} \cdot \tau_{\text{СР}},$$

где $S_{\text{В}} = 0,5 \times 0,3 = 0,15 \text{ мм}^2$, $\tau_{\text{СР}} = (10 \dots 20) \text{ МПа}$ – напряжение среза материала вывода.

$$F'_{\text{ОБР}} = 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^6 = 3 \text{ Н}$$

Усилие отрезки выводов микросхемы с учетом угла заточки ножей:

$$F_{\text{ОБР}} = F'_{\text{ОБР}} \cdot 7 \cdot \text{tg}30 = 3 \cdot 7 \cdot 0,577 = 12,12 \text{ Н}$$

Сумма моментов относительно точки А: $M_{\Sigma} = M_{\text{ОБР}} + M_{\text{ПР}} + M_{\text{ТР}}$

где: $M_{\text{ОБР}} = F_{\text{ОБР}} \cdot a$, $M_{\text{ПР}} \cdot c$, $M_{\text{ТР}} = m \cdot k_{\text{ТР}} \cdot F \cdot r$ ($m = 1,57$ для малых зазоров, $k_{\text{ТР}}$ – коэффициент трения, F – усилие, r – радиус оси; при этом силой сопротивления в шарнирах и величиной $M_{\text{ТР}}$ можно пренебречь). Усилие привода (например, с линейным недифференциальным пневмоцилиндром) P (т.к. расположение губок симметричное), то:

$$P = \frac{2 \cdot \sum M_{\Sigma} \cdot \text{tg}(\rho + \beta)}{b \cdot \eta},$$

где: $\rho = 1 \dots 3^{\circ}$ – приведенный угол трения, учитывающий сопротивление осей рычагов, $n = 2$ – число губок, η – КПД механизма, $\beta = 4 \dots 8^{\circ}$ – угол подъема клина.

При $a = 0,017 \text{ м}$, $b = 0,021 \text{ м}$, $c = 0,003 \text{ м}$, $F_{\text{ПР}} = 12 \text{ Н}$, $\rho = 1$, $\beta = 4^{\circ}$, $\text{tg}(\rho + \beta) = \text{tg}(1 + 4) = 0,1$

$$M_{\Sigma} = M_{\text{ОБР}} + M_{\text{ПР}} = M_{\text{ПРИВ}}, \quad M_{\text{ПРИВ}} = P \cdot b \cdot \text{tg}(\rho + \beta)$$

$$M_{\Sigma} = M_{\text{ОБР}} + M_{\text{ПР}} = 12,12 \cdot 0,017 + 12 \cdot 0,003 = 0,242 \text{ Нм}$$

$$\text{КПД } \eta = \eta_{\text{ПРИВ}} \cdot \eta_{\text{ШАРНИ}}$$

где $\eta_{\text{ПРИВ}} = 0,2 \dots 0,3$ – КПД пневмоцилиндра, $\eta_{\text{РМЕХ}} = \prod_{i=1}^n \eta_{i \text{ шарн}}$ – КПД рычажного

механизма, $\eta_{i \text{ шарн}} = 0,95$ – КПД каждого шарнира в рычажном механизме.

$$\eta = 0,3 \cdot (0,95 \cdot 0,95) = 0,271$$

$$P = \gamma \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n M_{\Sigma} \cdot \text{tg}(\rho + \beta)}{b \cdot \eta} = \frac{2 \cdot 0,242 \cdot 0,1}{0,021 \cdot 0,271} = 8,5 \text{ н} \cdot P_{\text{МАХ}} = k_3 \cdot P$$

для $k_3 = 1,2$ $P_{\text{МАХ}} = 1,2 \cdot 8,5 = 10,2 \text{ н}$

$$\text{Диаметр пневмоцилиндра } d_w = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot p_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,5}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 10^6}} = 0,0052 \text{ м}$$

где: $p_{\text{В}}$ – давление сжатого воздуха $0,4 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$. Принимаем $d_{\text{Ц}} = 0,01 \text{ м}$, диаметр штока $d_{\text{ШТ}} = 0,0045 \text{ м}$. Шток присоединяется к головке с помощью резьбы $d_{\text{Р}} = 0,004 \text{ м}$; проверим устойчивость штока (по Эйлеру).

$$d_{\text{Р}} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\text{МАХ}}}{\pi \cdot [\sigma]_{\text{Р}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10,2}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 10^6}} = 0,0029 \text{ м} < d_{\text{Р}} = 0,004, \text{ т.е. шток устойчив,}$$

$$[\sigma]_{\text{Р}} = \frac{\sigma_{\text{T}}}{n}$$

где: σ_{T} – предел прочности материала штока, n – коэффициент упрочнения (можно принять $n \approx 1$, $\sigma_{\text{T}} = (1,3 \div 1,5) \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$).

Пример 11. Расчет точности монтажа интегральных микросхем (ИС₂)

Расчет выполним для нормального закона распределения погрешностей. Для обеспечения условий автоматической сборки необходимо выполнение условия: $\delta_c \leq [\delta_c]$, $[\delta_c] = 400 \text{ мкм}$ - (по условию операции пайки) суммарный зазор между выводом ИМС и краем отверстия ПП.

Точность монтажа компонента определяется как:

$$\delta_c = t \cdot \sqrt{\delta_{\Pi}^2 + \delta_{\text{ЭК}}^2 + \delta_{\text{СГ}}^2 + \delta_{\text{УФП}}^2 + \delta_{\text{КСП}}^2 + \delta_{\text{АЗУ}}^2 + \delta_{\text{СТ}}^2},$$

где $\delta_{\text{МО}}$ – погрешность изготовления монтажного отверстия (при производстве ПП); $\delta_{\text{ЭК}}$ – погрешность изготовления устанавливаемого компонента; $\delta_{\text{СГ}}$ – погрешность сборочной головки; $\delta_{\text{УФП}}$ – погрешность изготовления приспособления, установки его на столе и базирования в нем платы; $\delta_{\text{КСП}}$ – погрешность позиционирования координатной системы (вместе с повторяемостью); $\delta_{\text{АЗУ}}$ – погрешность расположения компонента на выходе лотка АЗУ; $\delta_{\text{СТ}}$ – погрешность станка; t – коэффициент риска сборки (при вероятности сборки в 1%. $t = 2,57$):

$$\begin{aligned} \delta_c &= t \cdot \sqrt{\delta_{\Pi}^2 + \delta_{\text{ЭК}}^2 + \delta_{\text{СГ}}^2 + \delta_{\text{УФП}}^2 + \delta_{\text{КСП}}^2 + \delta_{\text{АЗУ}}^2 + \delta_{\text{СТ}}^2} = \\ &= 2,57 \cdot \sqrt{100^2 + 50^2 + 10^2 + 25^2 + 25^2 + 50^2 + 20^2} = 332,6 \text{ [мкм]} \end{aligned}$$

Условие $\delta_c \leq [\delta_c]$ выполнено $\Rightarrow 332,6 \leq [400]$

Значит, операция монтажа соответствует требованиям автоматизированной сборки в ГАСК.

Контрольные вопросы

1. В чем заключена адаптация изделия ЭМ к условиям сборки в ГАСК.
2. Назовите операции, входящие в состав технологического процесса сборки ЭМ в ГАСК.
3. В чем заключается разработка операционной технологии сборки ЭМ в РТК.
4. Каким требованиям должна отвечать операция монтажа ЭК в РТК.
5. Назовите метод оптимизации очередности монтажа ЭК в РТК.
6. Что является критерием при оптимизации очередности монтажа ЭК в РТК.
7. Какие ограничения должны быть учтены при оптимизации очередности монтажа ЭК.
8. Назовите основные характеристики операции монтажа ЭК в РТК.
9. Какие виды информации необходимо определить при разработке управляющей технологической программы монтажа ЭК в РТК.
10. Назовите структуру управляющей технологической программы монтажа ЭК в РТК.

Литература

1. Иванов Ю. В., Лакота Н. А. Гибкая автоматизация производства РЭА с применением микропроцессоров и роботов: Уч. пособие. - М.: Радио и связь, 1987.-464 с.
2. Малов А. Н., Иванов Ю. В. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов: Учебник. - М.: Машиностроение, 1974. - 368 с
3. Иванов Ю. В. Автоматизация сборки в условиях гибкого производства //Обзор ВНИИТЭМР. Серия 6.- 1988,- Выпуск 2. - 42 с.
4. Иванов Ю.В. Автоматизированная разработка управляющих технологических программ монтажа ЭРЭ с оптимизацией их последовательности на автомате с СЧПУ: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2002. -33 с.
5. Иванов Ю.В. Автоматизированная разработка управляющих технологических программ монтажа интегральных микросхем со штырьковыми выводами на автомате с СЧПУ с оптимизацией их очередности: Учеб. пособ. -М.: МГТУ, 2002.-31с.
6. Иванов Ю.В. Автоматизированная разработка управляющих технологических программ монтажа и пайки интегральных микросхем с планарными выводами на автомате с ЧПУ с оптимизацией очередности: Учеб. пособ. -М.: МГТУ, 1993.-21 с.
7. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования специального технологического оснащения гибкого автоматизированного сборочного комплекса производства электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2002. - 53 с.
- 8.Иванов Ю.В. Исследование динамики цифровых моделей следящих приводов координатных систем сборочных автоматов и промышленных роботов с ЧПУ: Учеб. пособие. - М.: МГТУ, 1998. - 32 с.
9. Иванов Ю.В. Проектирование координатных систем с быстродействующими следящими приводами для автоматизации сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2002. - 38 с.
10. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования загрузочных устройств электронных компонентов для автоматизированной сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2002. - 32 с.
- 11.Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования устройств захвата электронных компонентов для автоматической сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2002. - 32 с.
- 12.Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования головок монтажа электронных компонентов для автоматической сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. -М.: МГТУ, 2002. -31с.
- 13.Иванов Ю.В. Проектирование операций сборки, выполняемых на оборудовании с ЧПУ: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 1984. - 32 с.
14. . Автоматизация и механизация сборки и монтажа узлов на печатных платах /А.В. Егунов, БЛ. Жоржолиани, В.Г. Журавский; Под редакцией В.Г. Журавского. - М.: Радио и связь, 1988. - 280 с.
15. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования оптимальных операций сборки электронной аппаратуры на автоматах гибких автоматизированных комплексов: Уч. пособие. - МГТУ, 2004 - 33 с.

16. Иванов Ю.В. Проектирование простых роботизированных комплексов сборки электронной аппаратуры: Уч. пособие. - МГТУ, 2004. 44 с.
17. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования структур гибких автоматизированных сборочных комплексов многономенклатурного производства электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. ^45 с.
18. Иванов Ю.В. Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки электронной аппаратуры в гибких автоматизированных комплексах: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. - 31 с.
19. Иванов Ю.В. Технологические автоматы - основа автоматизированных комплексов сборки электронной аппаратуры структур: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. -41 с.
20. Иванов Ю.В. Обеспечение технологических требований ГАСК в АТО: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. - 52 с.
21. Иванов Ю.В. Автореферат докторской диссертации: Методы и средства проектирования технологических структур гибких автоматизированных сборочных комплексов многономенклатурного производства электронной аппаратуры. - М.: МГТУ , 2003.
22. Иванов Ю.В. Адаптация электронных модулей к условиям сборки в ГАСК: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. - 45 с.
23. Иванов Ю. В. Концептуальная модель автоматизированного проектирования структур ГАСК многономенклатурного производства электронных ячеек //Вестник МГТУ. Приборостроение. - 2001. -№ 2. - С. 58 - 68.
24. Иванов Ю. В. Повышение эффективности сборки изделий //Вестник МГТУ. Машиностроение. - 1995. -№ 4. - С. 66-75.
25. Иванов Ю.В. Увеличение производительности оборудования с электрическим шаговым приводом и микропроцессорной СЧПУ //Вестник МГТУ. Машино строение. - 1995. - № 3. - С. 91 - 96.
26. Ханке Х.И., Фабиан Х. Технология производства радиоэлектронной аппаратуры: Пер. с нем. /Под ред. В.Н. Черняева. - М.: Энергия, 1980. -464 с.
27. 27.. Новиков О.А., Петухов С.И.. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. -М.: Советское радио. 1969.-400 .
28. Иванов Ю.В. Автоматизированная адаптация изделий ЭМ к условиям сборки в ГАСК// Весн. МГТУ. Г1риборст-е.- 2001 .-№ 3].
29. Иванов Ю.В., Курносенко А.Е Специальное программное обеспечение автоматизированной разработки структур ГАСК многономенклатурного производства электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2002. - 37 с.
30. Иванов Ю.В., Курносенко А.Е Оптимизация выбора транспортного оборудования для гибкого автоматизированного комплекса многономенклатурного производства ячеек ЭЯ Проектирование и технология ЭА, № 1,2003, Владимир, Вл. ГТУ
31. Иванов Ю.В., Курносенко А.Е Обеспечение требуемого коэффициента загрузки АТО ГАСК путем оптимизации расписания их запуска при календарном планировании Технологии приборостроения, М , № 2,2003

Приложение

Таблица 1.

Параметры АТО сборки электронных модулей

№ п/п	Наимен. операций	Марка АТО	δ_c , мм	Плата макс. р-ры lхб, мм	Q шт/час	N_{Σ} Кв	Габ. р-ры /пл-дь	Ц $\times 10^3$ руб/ед		
	2	3	4	5			8	9		
1	Распаковка, касетирование ИС ₄	ГГ2628		-	1200	0,5	0,48	8,5		
2		АР 901			1800	0,1	0,5	15		
3	Формовка, обрезка ИС ₄ , касетир.	ГГ2629			1200	0,5	0,45	7,5		
4		АФМ-1			600	2,0	0,55	10		
5	Флюс, лужение. ИС ₄ , касетив.	ГГ 2630			1200	0,6	0,59	6,5		
6	Напресовка припоя ИС ₄ , касетир.	ГГ 2631			1200	0,5	0,43	6,5		
7	Комплексная подгот-ка ИС ₄	ГГ 2632			1200	2,0	1,05	25		
8		ГПК - 1			1200	2	3,6	100		
9	Рихт, форм-ка, ИС ₂ , касетир	АА 6025			3000	1,5	1,04	18		
10	Флюс, луж-е ИС ₂ , касетир.	ГГМ2. 339.007			1200	2	0,5	20		
11	ЭРЭ Програм-е. клеив. из касет	ГГ 1740			2400	0,4	1,12	20		
12		ГГМ1.139.002			1200 0	3,5	6,6	60		
13	ЭРЭ Програм-е. клеив-е. из лент	ГГМ1.139.001			1200 0	1,5	6	60		
14	Флюс, луж, ЭРЭ касетир.	ГГМ2.339.002			400	0,8	0,72	6		
15	Коор. монтаж и пайка ИС ₄	УСПА – 1			400x400	1000	2,5	1,04	70	
16		ГПК (ГПМ)			400x400	1200	3,0	6,0	100	
17		АРПМ $\delta_{КС}$	0,02		250x250	400	0,7 5	1,7x 1,06 3,15	50	
19		Sigma (Сбц) $\delta_{Поз.Кс}$	0,1		550x410	400	2	6,65	80	
20		п/а ГГ2633 $\delta_{КС}$	0,1		250x250	250	0,6	1,1	15	
		МРЛ-901п $\delta_{П.Кс}$	0,05							
21		МЛСП901 (АРМ)			400x400	100	1	4,5	35	
22		РМ			457x457	70	0,4	1,2	2	
23		Координатный монтаж ИС ₂	КП 1671 $\delta_{Поз.Кс}$	0,05		450x450	3500	1,1	4,3	50
24			2СМ (ГПМ)			250x250	2600	1,5	6	110
25	АА 6032 (6028) $\delta_{КС}$		0,01		260x260	2160	1,5	2,5	47	
26	АА 6036				560x360	2400	1,5	2,5	47	
27	3 СМ (ГПМ)				250x250	2600	1,6	6,0	110	
28	ГГМ1.149.005 $\delta_{КС}$		0,01		250x250	1600	1,5	1,05	50	
29	Sigma (Сбц) $\delta_{П.Кс}$		0,1		550x410	1500	2	6,65	80	

30		ДІІВ (гпм) $\delta_{КС}$	0,01	508x381	4500	1,7	3,7x 2,35 /8,8	65
31		5СМ (гпм)		260x260	2600	1,6	6,0	110
32		ГГМ2.249.005 $\delta_{КС}$	0,01	250x250	1800	1,5	1,05	50
33		Cadratic (сбц) $\delta_{П.КС}$	0,025	600x600	2000	4,0	6,9	100
34		Марс-901п (сбц) $\delta_{КС}$	0,005	550x350	1500	2,0	0,84	70
35		п/а УР-6		260x260	1200	0,5	0,8	9,1
36		9 СМ (АРМ)		380x380	800	1,5	5	15
37		РМ		550x550	300	0,4	1,2	2
38	Координатный монтаж ЭРЭ	КП 3601 $\delta_{КС}$	0,01	410x410	3600	1,5	/1,6	45
39		КП 3603 $\delta_{КС}$	0,01	410x410	7200	3,0	165x 1,5x 2,64	55
40		ГГМ1.149.002	0,03	320x320	6000	0,8	1,92	50
41		NM 2025		320x250	8600	2,5	2,96	70
42		NM2051		508x305	7200	2,0	10,6	80
43		ГПМ1 (гпм)		300x250	7200	2	11,4	100
44		NM 2042 (гпм)		580x380	8600	2,5	1,86 x2,1 /4,1	85
45		Cadratic (сбц)	0,025	600x600	2000	4,0	6,9	60
46		Марс-901п (сбц)	0,005	550x350	1500	2,0	0,84	70
47		п/а УР-6		260x260	1500	0,5	0,8	9,1
48		9 СМ (АРМ)		380x380	1000	1,5	5,0	15
49		РМ		550x550	700	0,4	1,2	2
50		Монт. ЭК ншпр	9СМ		380x380	800	1,5	5,0
51	Пайка волной припоя ЭМ	ЛПВ – 1м		x200	200 эм/ч	12, 8	2,88	9,5
52		ГГМ1.135.001		x300	240 эм/ч	12, 5	2,02	10
53		ЛПМ-02		x300	80 эм/ч	12, 8	3,23	8
54		АП- 4		x200	150 эм/ч	12, 3	0,84	4,6
55	Отмывка, сушка ЭМ	Прима-1м		x350	140э эм/ч	11, 5	1,76	10
56		ГГМ3.300.001		x450	16 мп/ч	11, 5	0,58	5
57		Вым1.240.007		x300	120 мп/ч	12	0,6	8
58		Вым1.240.001		x450	16 мп/ч	11, 5	0,58	6
59	Контроль ЭМ	Marconi		457x457	60 эм/ч	3,0	1,8	150
60	Обслуживающий робот	Гном 52			60 эм/ч	1,0	1,0	10
61	Самоходная транспорт- ная тележка	СТ-1			160 эм/ч	2,0	1,15	50

Цифровые модели эксплуатации средств сборки модулей ЭМ

Таблица 2

Парам- ы	$F_{гр}$ ср	K_3	K_T п	$N_{бр}$	ρ	Q_v п шт /г	N_{Σ} кВт	$S_{об}$ м ²	$\Pi_{об}$ ты с.р	$n_{бр}$	$R_{зр}$ яд	Φ	$K_{д}$	$\Pi_{м}$	$R_{м}$	Π_0	R_0	μ	$\Pi_{м}$ у	K_3 ж	K_3 ж	K_1	η	
Тип АТО	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Аштв	403 0	0,8	0,96	0,04	0,95	См. табл. 9					0,01	5	0,67	1,7	30,6	18	7,7	3	1,2	700	0,6	0,8	1,05	0,95
Асп	410 0	0,9	0,99	0,01	0,98						0,01	5	0,67	1,7	30,6	7	7,7	2	1,2	-	0,5	0,6	1,05	0,9
ГПМ	410 п	0,9	0,99	0,01	0,98						0,01	5	0,67	1,7	30,6	20	7,7	3	1,2	900	0,7	0,8	1,05	0,95
Сбц	410 п	0,9	0,9	0,01	0,98						0,01	5	0,67	1,7	30,6	22	7,7	3	1,2	900	0,7	0,8	1,05	0,95
П/А	403 п	0,8	0,88	0,12	0,9						0,02	4	0,6	1,7	30,6	8	7,7	1	1	-	0,5	0,6	1,05	0,9
АРМ	400 п	0,8	0,95	0,05	0,9						0,02	5	0,67	1,7	21	5	5,4	1	1	450	0,5	0,6	1,05	0,95
РМ	400 п	0,8	0,85	0,15	0,9						0,02	6	0,75	1,7	21	1	5,4	0,5	0,5	-	1	1	1,05	0,9

Трудоёмкость элементов цикла АТО (действий)

Таблица 3

Назва ние Операц	$T_{сп}$ час 10^{-2}	$T_{сг}$ час 10^{-2}	$T_{сбан}$ час 10^{-2}	$T_{снпр}$ час 10^{-2}	$t_{зп}$ 10^{-2} час 10^{-2}	$t_{кпп}$ час 10^{-2}	$t_{сан}$ час 10^{-2}	$T_{скул}$ час 10^{-2}	$T_{р1уп}$ час	$T_{инт1Э}$ я час 10^{-2}	$T_{гр1п}$ час
Ручная	25	50	25	5	1,67	8,3	1,6/16	30	1	5	24
Автоматизир.	-	-	-	0,28	0,28	1,67	-	-	10	-	1

Значение коэффициента γ Таблица 4

Занимаемая площадь АТО, м ²	Коэффициент γ
< 2,5	5
2,5 - 5	4,5
5 - 9	4

$K_1=1,13;$
 $\Pi_{1квтч}=0,04$ руб./1квтч;
 $F_{МЭФ}=192; a=0,2; K_H=50;$
 $S_{1P}=0,7$ м²/1р;
 $C_{МЗР}=3_{мпртп}=3_{мпртп}$
 $= 250$ руб./мес
 $C_{ЗРЕМ} = \frac{C_{МЗР}}{F_{МЭФ}} = 1,3$

Стоимость оснастки (СТО) и компонентов*

Таблица 5

Назва ние	ВБЗУ руб/ед	АЗУ _{ис2} руб/ед	АЗУ _{ис4} руб/ед	Пр/пп руб/ед	Анпп руб/ед	Сг эрэ, ис2 руб/ед	Сг ис4 руб/ед	Цэрэ руб/ед	Цис ₂ руб/ед	Цпп руб/ед	Целис руб/ед	Цис ₄ руб/ед
число вое значе ние	400	400	450	200	500	300	500	0,2	2	8	8	4

Название оснастки	Название АСБК			
	ГПМ	РТКІ	РТКІІ	СБЦ
СГ	-	-	+	+
АЗУ _{ЭК}	-	-	+	+
АН _П	+	+	+	+
Накопитель инструмента	-	-	+	+
УФ _П	+	+	+	+
УЗВ _П	+	+	+	+
КС	-	-	-	-

Оглавление

Цель работы	3
Состав и краткое содержание работы	3
Теоретическая часть	6
Адаптация изделия к условиям сборки в РТК	6
Проектирование технологического процесса ГАСК	7
Разработка операционной технологии	9
Примеры расчетов (трудоемкости, производительности, затрат и эффективности)	11
Компоновка РТК	22
Проектирование технологического оснащения РТК	22
Примеры расчетов технологического оснащения	22
Контрольные вопросы	27
Литература	28
Приложения. Унифицированные структуры ГАСК и таблицы	30