

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

Ю. В. Иванов

**Проектирование простых роботизированных комплексов сборки
электронной аппаратуры**

*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 Проектирование простых роботизированных комплексов сборки
электронной аппаратуры: Учебное пособие - М : МГТУ им Н.Э. Баумана,
2004,- 44 с.

Рассмотрены принципы построения и методика проектирования простых роботизированных комплексов, реализующих 1-2 технологические операции автоматизированной сборки электронной аппаратуры

Материал пособия направлен на повышение эффективности сборочного оборудования производства электронной аппаратуры за счет повышения уровня его автоматизации, объединения его в комплекс и автоматизации технологической подготовки

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

Илл. 14. Библиогр. 34 назв.

УДК 658.52.01.56
ББК 32.965

Юрий Викторович Иванов

**Проектирование простых роботизированных комплексов сборки
электронной аппаратуры**

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. 1,2. Усл. печ. л. 1,05. Уч.-изд. л.0,95. Тираж 300 экз.
Заказ № 536

Типография МГТУ им. Н. Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004

Введение

Простые комплексы ГПМ, РТК и СбЦ сборки электронных модулей (ЭМ) являются гибкими высоко автоматизированными технологическими средствами сборки электронной аппаратуры [электронных модулей (ЭМ)] и представляют собой простые автоматизированные сборочные комплексы (простые АСБК), выполняющие, как правило, одну технологическую операцию. В ГАСК они используются как элементы структур ГАСК.

ГПМ – есть гибкий производственный модуль, включающий единицу технологического оборудования, накопителя плат; устройства фиксации платы, их поштучной загрузки/выгрузки и систему ЧПУ, способный длительное время функционировать автоматически автономно или в составе более сложного комплекса. ГПМ обладает свойством программной переналадки при изменении выпускаемых изделий. В состав ГПМ монтажа интегральных микросхем во втором корпусе ИС₂ (например, рис. 1 а) входят: 3 - автомат с ЧПУ (ДПВ) монтажа ИС₂, 1 – элеваторный накопитель плат, 2 – автооператор поштучной загрузки платы. В место установки очередного ЭК перемещается плата координатным столом.

Робото-технический комплекс (РТК) – это совокупность оборудования, промышленного робота (ПР), средств технологического оснащения, управляемая системой ЧПУ и способная длительное время функционировать автоматически автономно или в составе более сложного комплекса. При смене выпускаемого изделия РТК программно переналаживается на выпуск нового изделия. РТК монтажа ИС₂ (например, рис. 1 б) содержит: 1 - автомат с ЧПУ (КП 1671) монтажа ИС₂, 2 – вспомогательный робот (Гном 52) поштучной загрузки платы, 3 - элеваторный накопитель плат. Основой РТК монтажа и пайки интегральных микросхем с планарными выводами ИС₄ (рис.1 в) является: 2 - автомат с ЧПУ монтажа и пайки ИС₄ (АРПМ), робот 3 осуществляет поштучную загрузку плат из накопителя 1. В РТК (рис. 1 б, в) в место установки ЭК перемещается плата.

Сборочный центр (СбЦ) представляет собой более универсальный, более гибкий вид технологических средств сборки (например, рис. 5 г). Он построен на основе сборочного промышленного робота (ПР с количеством степеней подвижности 4-6), средств технологического оснащения (систем обеспечения компонентами, платами, инструментом) и микропроцессорной СЧПУ. СбЦ может длительное время работать автоматически автономно или в составе более сложного комплекса. При смене выпускаемых изделий СбЦ программно переналаживаем. СбЦ для DIP монтажа (например, Cadratic рис. 5 д) имеет два манипулятора. Верхний 5 несет блок монтажных головок, нижний – блок головок подрезки/подгибки. При установке очередного компонента ЭК перемещаются манипуляторы с головками. При этом плата неподвижна (она установлена в устройстве 7). Компоненты находятся в питателях 2, 3, 4.

В ГПМ собственно сборку осуществляет технологический автомат с ЧПУ (Ачпу или Асп специальный), а загрузку/выгрузку платы - автооператор или простой робот ПР. В РТК I сборочную операцию выполняет технологический автомат, а в РТК II – сборочный робот. Загрузку/выгрузку платы в РТКИ и РТКII осуществляют простые роботы ПР (с двумя-тремя степенями подвижности). В СбЦ сборку выполняет сборочный робот, а загрузку/выгрузку – простой или сборочный роботы.

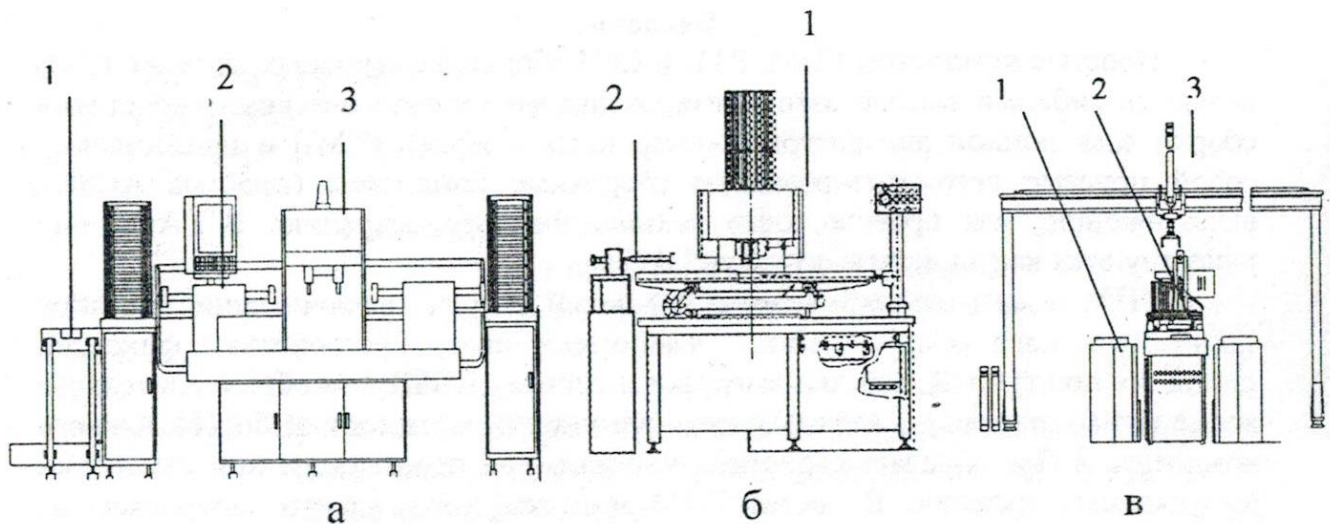


Рис.1. Примеры гибких производственных модулей и простых роботизированных комплексов монтажа электронных компонентов на плату

Принципы построения ГПМ, РТК и СБЦ

1. Адаптация изделий ЭМ (см. также [21] к условиям сборки в ГАСК [дробление ЭА на модули, в том числе электронные (ЭМ); в ЭМ деление компонентов ЭК на группы и др.]; 2. Автоматизированный оптимальный или рациональный техпроцесс сборки ЭМ (индивидуальный на каждый тип ЭМ; не синхронизирован по сборки, количество требуемого оборудования, обслуживающих рабочих, занимаемую площадь, производственные расходы, увеличить производительность комплекса, получить документацию на оптимальную структуру ГАСК [с указанием марок, количества, места расположения оборудования, оснастки, маршрутной и операционной технологией].

Для этого потребовались новые методы: метод синтеза (указанный выше) и метод технико-экономической оценки эффективности принимаемых технологических решений. Проектирование с оптимизацией было выполнено на основе оптимальных технологических (переходов, операций) и транспортных операций, подструктур и компоновки оборудования. Оно стало возможным благодаря корректно поставленным задачам проектирования на каждом этапе, обоснованно выбранным методам оптимизации, критериям оценки, ограничениям.

Принципы построения роботизированных комплексов сборки ЭМ

Классификация ГПМ, РТК и СБЦ

Согласно предложенной классификации (рис.2) простые автоматизированные сборочные комплексы АСБК производства ЭМ можно условно разделить по следующим признакам: виду выполняемой технологической операции; устройству, выполняющему технологическую операцию; устройству, осуществляющему загрузку/выгрузку платы; устройству выбора места установки очередного ЭК; виду монтажной системы;

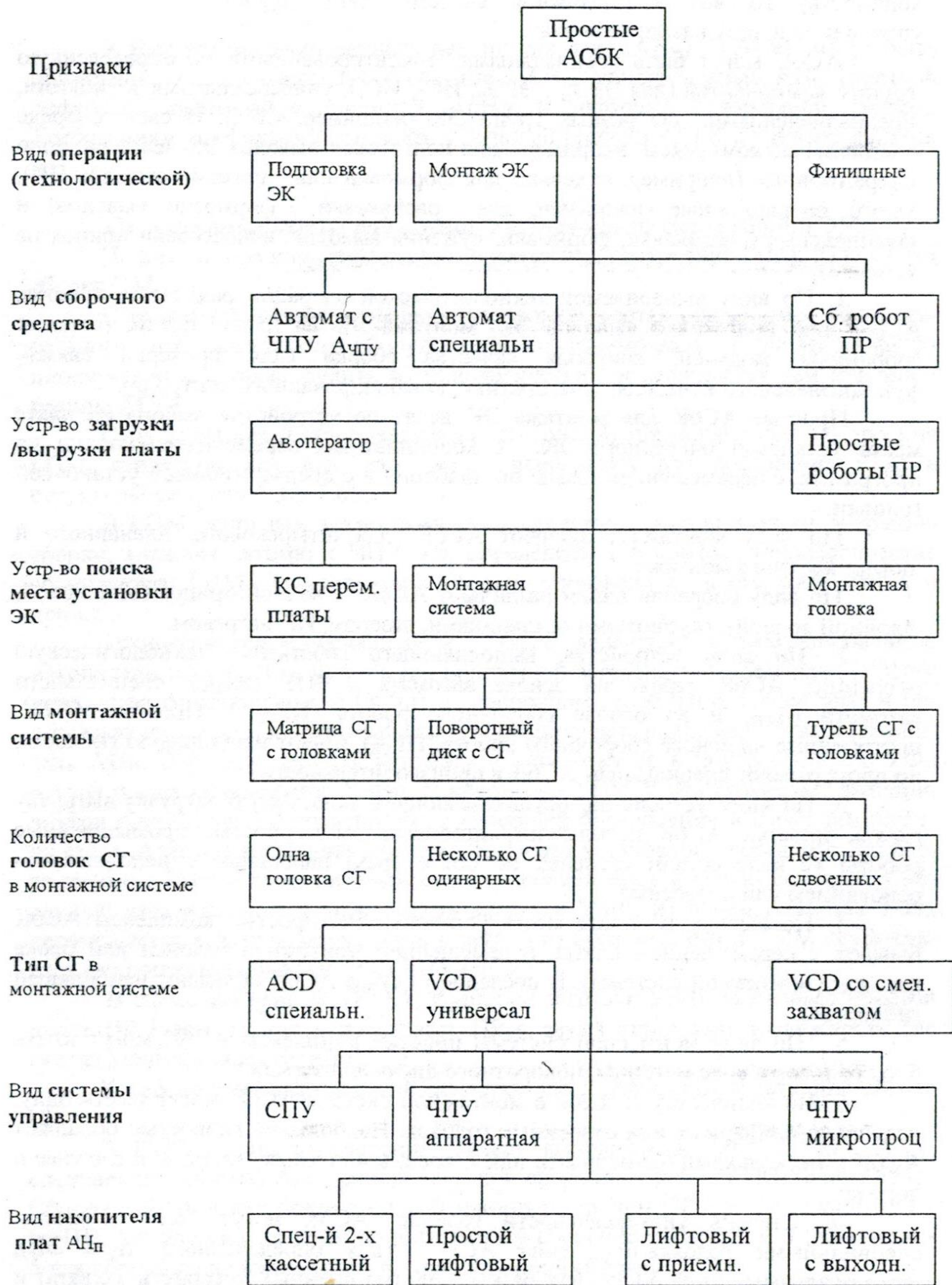


Рис. 2. Классификация простых автоматизированных комплексов сборки ЭМ

количеству головок в монтажной системе; типу головок; виду системы управления и виду накопителя плат.

АСБК могут быть специальными, ориентированными на определенную группу компонентов (для ЭРЭ₀, ЭРЭ_р, ИС₂, ИС₄), универсальными и гибкими, предназначенными для разных групп ЭК (например, СБЦ). В свою очередь специальные комплексы, например, для подготовки выводов ЭК делят на: одно операционные (например, отдельно для формовки или лужения выводов ЭК), много операционные (например, для распаковки, формовки выводов) и комплексные (распаковки, формовки, лужения выводов, напрессовки припоя на выводы).

1. По виду выполняемой технологической операции различают простые АСБК для: подготовки выводов ЭК, монтажа ЭК на плату, пайки, отмывки собранных модулей, контроля качества сборки (для проверки связей, функционального контроля, диагностики, комбинированного контроля).

Простые АСБК для монтажа ЭК делят по устройству выбора на плате места установки очередного ЭК: с координатным перемещением платы по программе, с перемещением платы по шаблону и с предварительной установкой головки.

По виду монтажа различают АСБК: для штырькового, планарного и поверхностного монтажа.

По виду операции пайки различают АСБК с волной припоя (одинарной, двойной волной); групповыми паяльниками, лазером, ИК нагревом.

2. По виду устройства, выполняющего собственно технологическую операцию, АСБК строят на основе автомата с ЧПУ (А_{чпу}), специального автомата (А_{сп}) и на основе сборочного робота (ПР_{сб}). Простые АСБК, построенные на основе сборочного робота (ПР_{сб}), имеют наибольшую гибкость, но проигрывают специальным АСБК в производительности.

3. По виду устройства, осуществляющего поштучную загрузку/выгрузку платы, простые АСБК используют автооператоры и простые промышленные роботы (с количеством степеней не более трех) напольные с неподвижным основанием или подвесные.

4. По выбору на плате места установки ЭК простые комплексы АСБК бывают с перемещением платы, перемещением монтажной головки или блока головок (монтажной системы). В последнем случае АСБК обладают наибольшей гибкостью.

5. По виду монтажной системы простые комплексы АСБК могут иметь блок головок в виде матрицы, поворотного диска или турели.

6. По количеству головок в монтажной системе АСБК могут иметь одну, несколько одинарных или сдвоенных головок. Наибольшей гибкостью обладают АСБК с несколькими одинарными или сдвоенными головками, но они сложнее и дороже.

7. Степень универсальности головок. АСБК могут быть оснащены специальными головками типа АСД (для определенного типа ЭК), универсальными типа VCD (для разных ЭК без сменных устройств захвата) и головками со сменными присосками (устройствами захвата). Наибольшая гибкость – у АСБК с головками типа VCD и со сменными устройствами захвата.

8. Тип системы управления. В АСБК может быть применена система программного управления СПУ (не числового); система ЧПУ (аппаратная) и

система ЧПУ (микропроцессорная). Наибольшую гибкость имеют АСБК с микропроцессорной СЧПУ.

9. Вид автоматизированного накопителя плат (АН_п). В АСБК могут быть применены: специальные 2-х кассетные АН_п, универсальные АН_п (простой лифтовый, лифтовый с приемной частью и лифтовый с выходной частью). Требованиям унификации отвечают в большей степени АСБК с универсальными АН_п.

Структурные схемы роботизированных комплексов сборки ЭМ

На рис. 3 представлены структурные схемы построения ГПМ, РТК и СБЦ сборки ЭМ.

Структурные схемы позволяют установить состав основного и вспомогательного технологического оборудования, его взаимосвязь и принципы функционирования, а также судить о технологических возможностях той или иной группы АСБК.

Структуры «а» и «б» и частично «в» (рис. 3) применяют для построения ГПМ; структуры «г», «д», «з», «е» используют для построения РТК; а структуры «ж», «и» - для СБЦ.

В ГПМ основным технологическим средством, выполняющим операцию сборки, является автомат с ЧПУ. Он определяет, в основном, технологические возможности ГПМ (трудоемкость сборки, производительность, надежность и проч.).

Технологическим оснащением здесь являются: автоматизированные накопители плат (АН_п), устройства поштучной загрузки/выгрузки плат (УЗВп), устройства фиксации платы (УФп) на сборочном столе. Накопление плат и поштучную их выдачу в ритме работы АТО выполняет, например, левый накопитель АН_п. Доставку платы к автомату и установку ее в приспособление УФп осуществляет автооператор УЗВп. В некоторых ГПМ УЗВп совмещает функции внутри операционного транспорта с функцией базирования и фиксации платы на столе. Автомат выполняет монтаж ЭК. Перед установкой очередного ЭК плата вместе с УФп и координатным столом перемещается в новую позицию. Собранный узел извлекается устройством загрузки УЗВп из приспособления УФп, перемещается к АН_п и загружается в него. Управление работой ГПМ осуществляет микропроцессорная система ЧПУ (ЛСУ).

В схеме «в» (рис.3) (РТК1) функцию загрузки УЗВп выполняет простой робот ПР [здесь можно использовать ПР с двумя степенями подвижности (не считая зажим/разжим схвата)].

К перечню технологической оснастки здесь добавляют схваты для работа ПР.

В РТК1 основную операцию может выполнять автомат с ЧПУ А_{чпу}, специальный автомат А_{сп} (схемы «г») или сборочный робот РТКII (схема «д»). Сборочный ПР имеет более сложный манипулятор, чем ПР для загрузки/выгрузки ПП. Количество степеней подвижности у сборочного ПР более 3 (обычно 4 - 5 для сборки на плоскости и 5 - 6 - для объемной сборки).

Технологической оснасткой в РТК1 являются: АН_п, УФп, схваты для ПР. Если сборку выполняет ПР (РТКII), то еще добавляются для разных ЭК сборочные головки СГ, АЗУэк и накопитель для головок СГ. В этом случае РТКII приобретает большую гибкость и способность устанавливать разные компонен

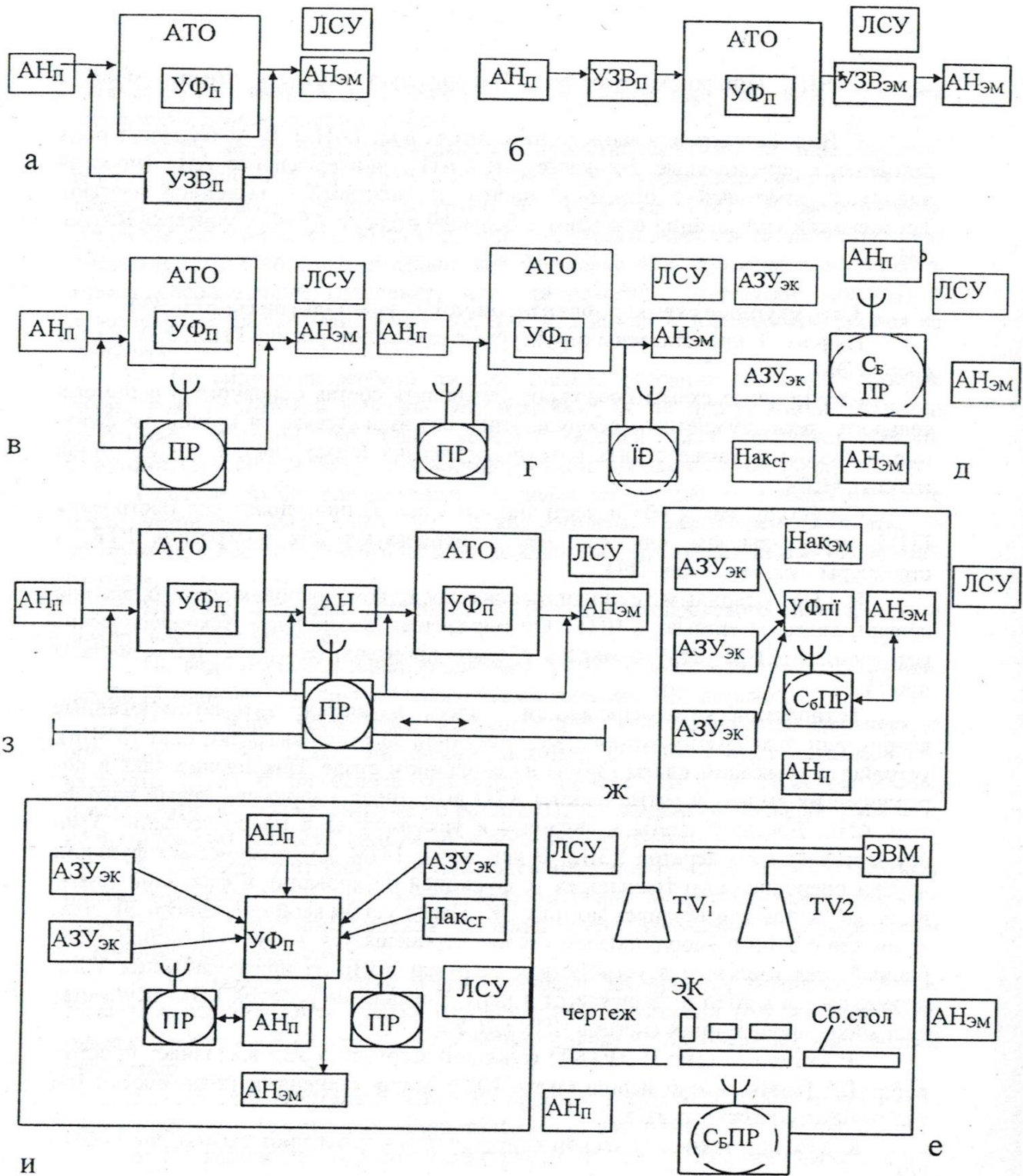


Рис. 3. Структурные схемы ГПМ, РТК, СБЦ

АТО - сборочное автоматизированное оборудование с ЧПУ; ЛСУ - локальная мк. процессорная система ЧПУ; УФ_п, УЗВ_п - устройства соответственно фиксации и загрузки плат; АН_п, АН_{эм} - накопители плат, ячеек; АЗУ_{эк} - загрузочное устройство ЭК; ПР и С_б ПР - вспомогатели и сборочный роботы; АЗУ_{эк} - загрузочное устройство электронных компонентов

ты на одном рабочем месте, но проигрывает в трудоемкости и производительности. Управляет работой РТК ЛСУ.

В сборочном центре СбЦ основную технологическую операцию выполняет сборочный робот (схемы «ж», «и»). Сборочный робот (ПР_{Сб}) может иметь один или два манипулятора. С двумя манипуляторами возможна не только плоская, но и объемная сборка. Для увеличения гибкости и производительности на манипуляторе робота ПР_{Сб} могут устанавливаться не одна, а несколько головок [блок сборочных головок (1...6 СГ), каждая из которых настраивается на определенную группу компонентов]. Количество головок определяет количество типов компонентов, которые можно устанавливать на данном СбЦ без его переналадки.

В случае наладки головок на один компонент повышается производительность за счет группового перемещения ЭК в зону установки (собственно захват и монтаж каждого ЭК с точной подводкой к месту монтажа осуществляется последовательно).

Технологической оснасткой СбЦ являются: УЗВп, УФп, различные СГ, АЗУэк.

Работой СбЦ управляет система ЛСУ. Схемы «а», «в» и «ж» предпочтительны для процессов, где длительность собственно сборки или монтажа значительно превышает длительность вспомогательной операции по загрузке/выгрузке платы ПП.

Схемы «б», «г», «и» (рис. 3) предпочтительны для процессов, где трудоемкость собственно сборки соизмерима с трудоемкостью загрузки/выгрузки платы ПП.

На рис. 4, 5 показаны примеры компоновок ГПМ, РТК и СбЦ монтажа компонентов ЭК, а на рис. 6 - РТК подготовки компонентов к сборке, пайки и отмывки собранных изделий (ЭМ). РТК (рис. 4 а) монтажа микросхем ИС₂ построен на основе автомата с ЧПУ ДПВ 1 (Japan), обслуживается роботом 2, который поштучно загружает платы из накопителя 3. РТК (рис. 4 б) монтажа ИС₂ использует автомат 1 с ЧПУ (КП 1671), простые роботы 2 и накопители плат 3. РТК (рис. 4 в, г) также построены на основе автоматов 1 с ЧПУ (соответственно ГГМ2. 249.005 монтажа ИС₂ и ГГМ1.149.002 монтажа ЭРЭ₀), которые обслуживают подвесные роботы 2. СбЦ (рис. 4 д, е, з) построены на основе серийных СбЦ [Sigma (Itali), Cadratic (France) и Marc], которые обслуживают простые напольные роботы 2. В ГПМ (рис. 4 ж) монтажа ЭРЭ₀ применен автомат с ЧПУ (RTI, Japan). ГПМ выполняет следующие функции: накопление плат (ПП); поштучное отделение ПП; захват ее автооператором и доставку на координатный стол (КС) в зону сборки; накопление ИС₂, комплектование (выбор) пенала с данными микросхемами, поштучное отделение ИС₂; перемещение ее в зону действия укладочной головки; захват ИС₂ головкой; ориентация ИС₂ в плоскости монтажа; перемещение платы в координату монтажа ИС₂; перемещение головки на плату; заталкивание выводов ИС₂ в соответствующие монтажные отверстия; установку всех запланированных ИС₂; удаление собранного узла из зоны сборки; укладку его в кассету.

На рис. 5 показаны примеры комплексов РТК и СбЦ монтажа компонентов ЭК, построенные на основе сборочных роботов соответственно: Puma (рис. 5 а), Skilam (рис. 5 б), Bosh (рис. 5 в), Sigma (рис. 5 г), Cadratic (рис. 5 д) и МРЛ-901п. На рис. 6 приведены примеры РТК монтажа ИС₄ (рис. 5 а - на

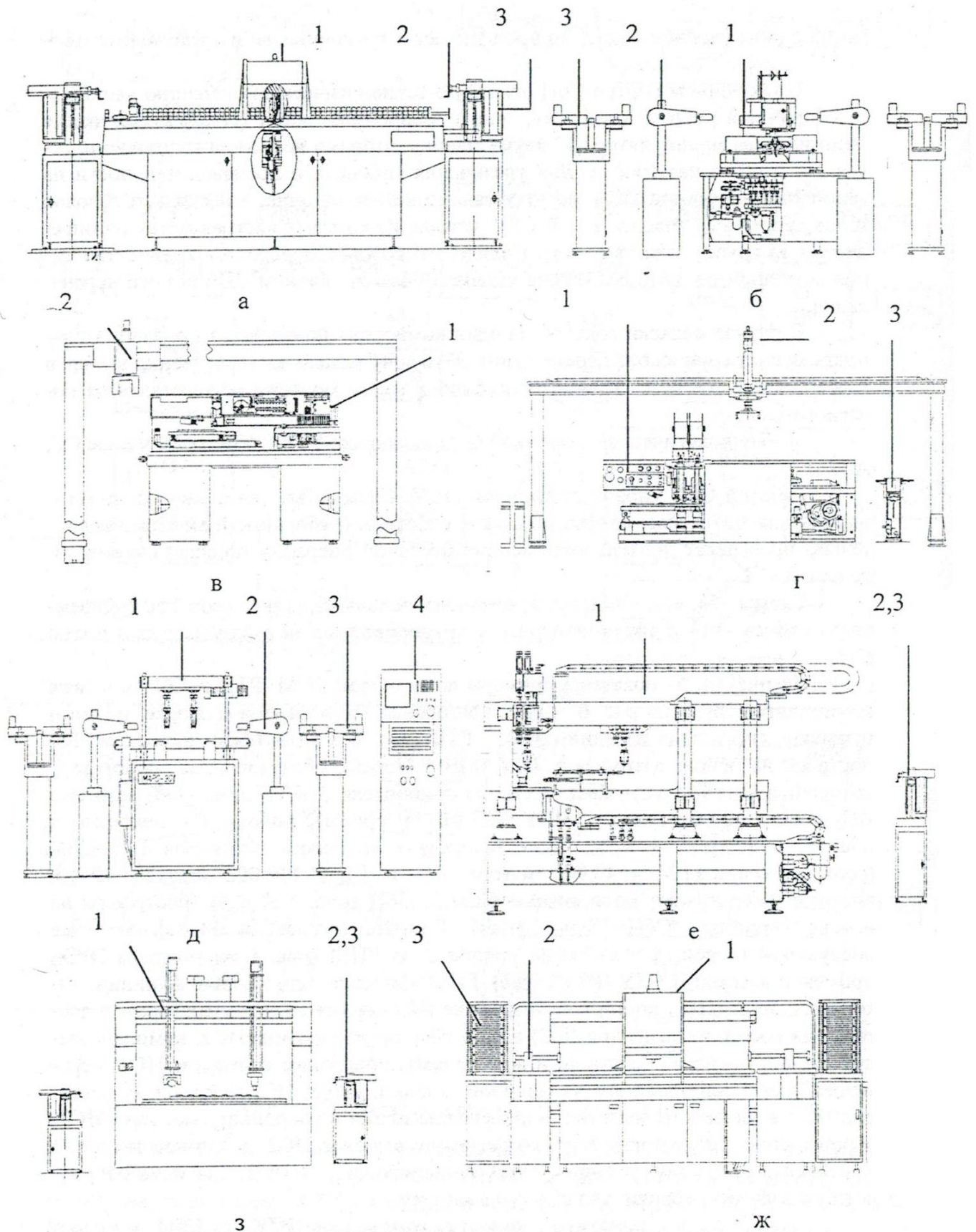


Рис.4. Примеры простых автоматизированных комплексов монтажа компонентов ЭК

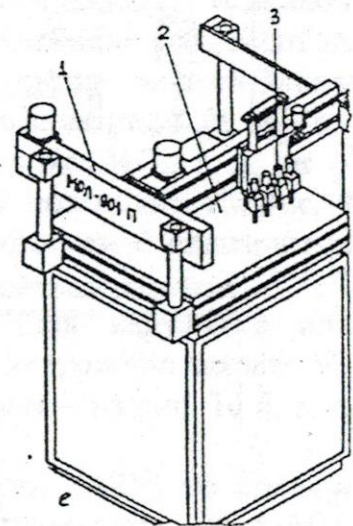
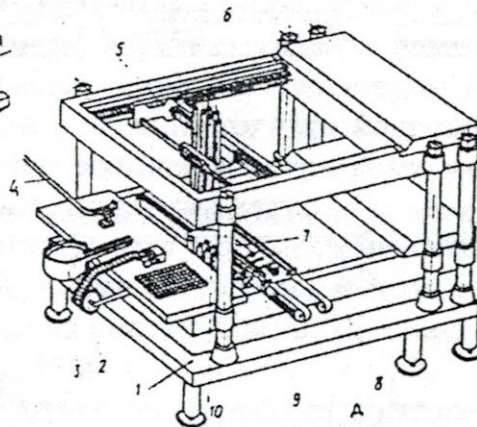
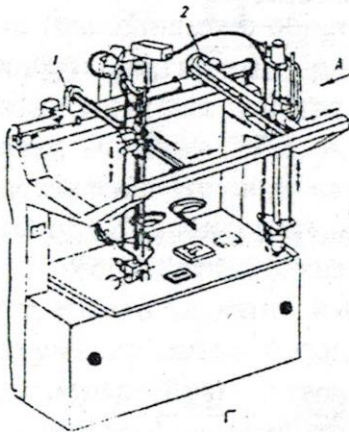
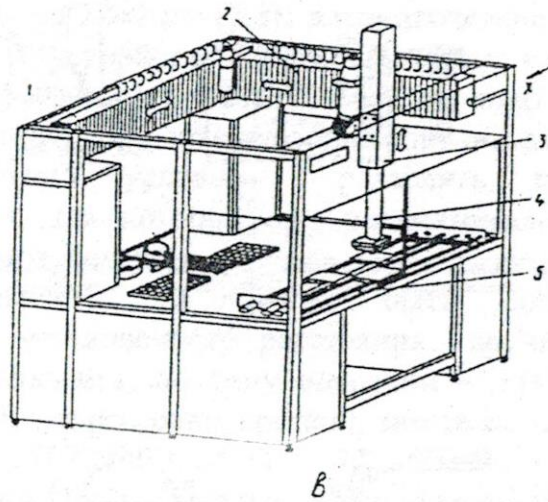
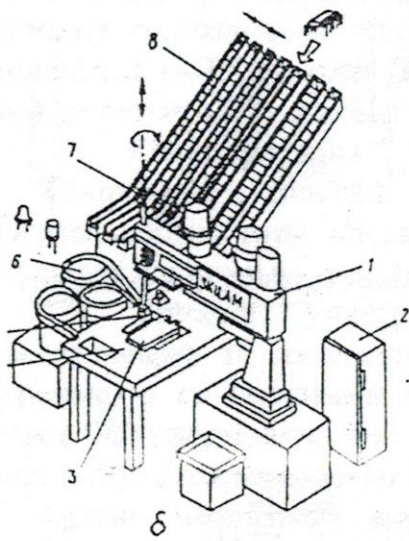
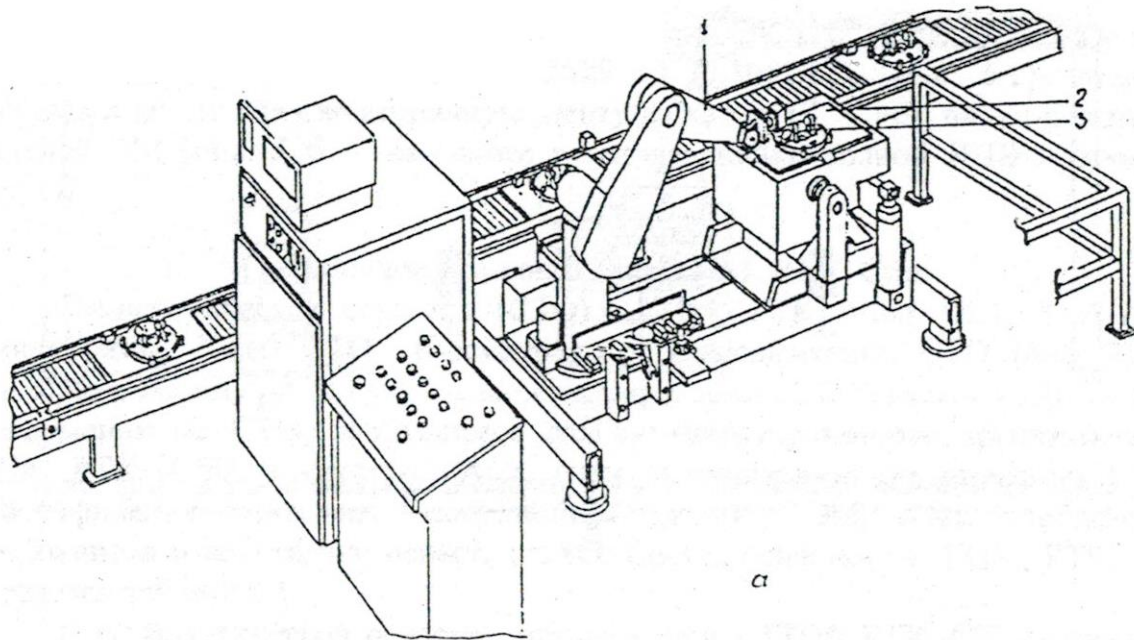


Рис. 5. Примеры РТК и СБЦ монтажа компонентов ЭК на плату

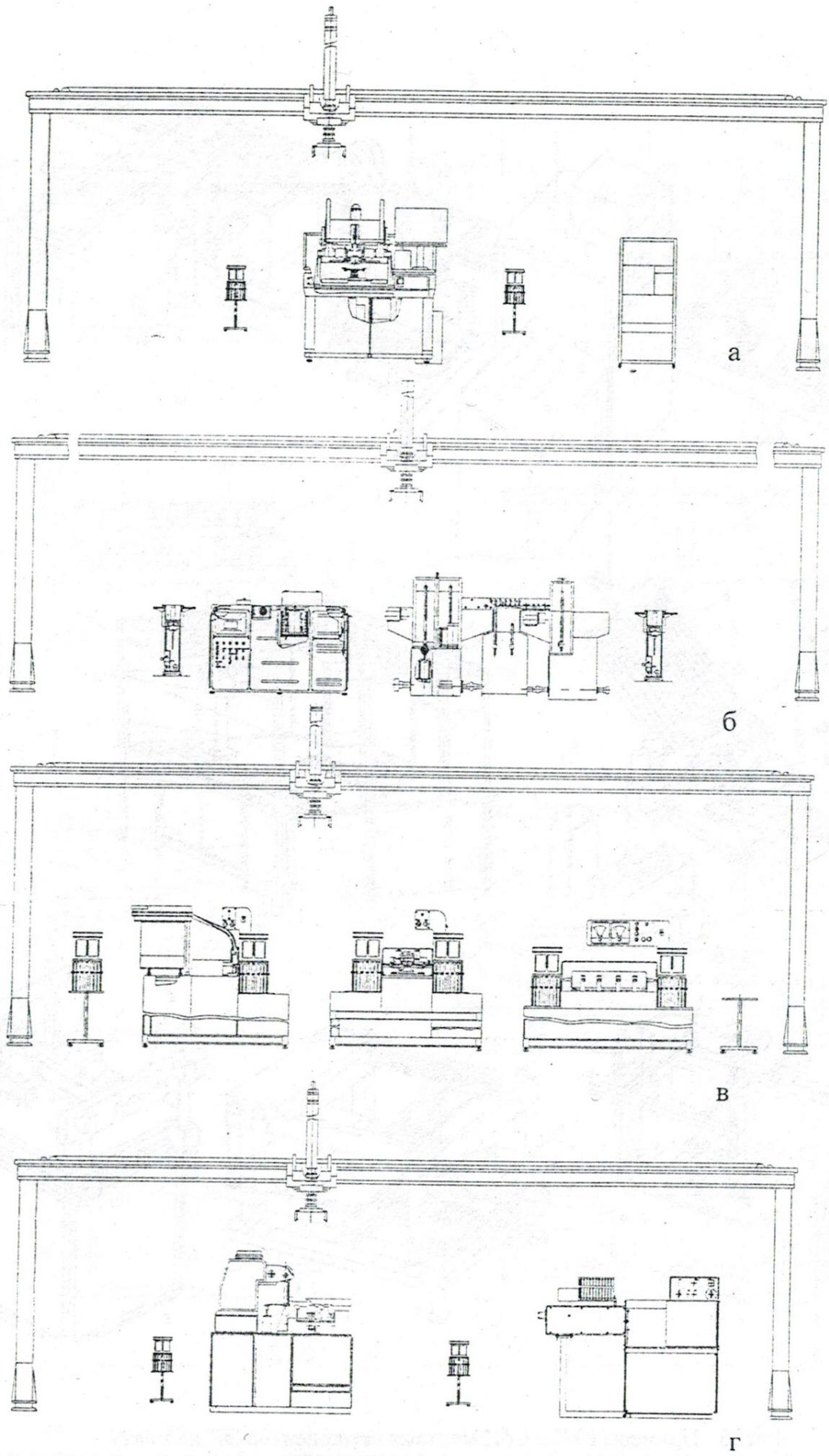


Рис.6. Примеры РТК подготовки ЭК, пайки и отмывки модулей ЭМ

основе автомата с ЧПУ АСП-901), подготовки ЭК [ИС₄ (рис. 6 в) на основе специальных автоматов ГГ 2628, ГГ 2629, ГГ 2630; ЭРЭ₀ (рис. 6 г)- лужения выводов и вклеивания во вторичную ленту из кассет ГГ 1740], пайки и отмывки модулей ЭМ [рис. 5 б - на основе установок пайки волной ЛПВ и отмывки Прима].

Технологическая оснастка ГПМ, РТК, Сбц.

Технологическая оснастка (СТО) ГПМ, РТК, Сбц [Л.1, 3, 7-10] - разнообразна. Виды СТО рассмотрены в классификации СТО (рис. 7), а примеры СТО - на рис 8 - 14. Целью классификации СТО является упорядочение информации об СТО, необходимое для автоматизированного проектирования ГПМ, РТК, Сбц и структур ГАСК (при формализованном описании СТО). Классификация учитывает особенности изделий ЭМ, плат, электронных компонентов и собственно оснастки СТО. Состав оснастки в ГПМ, РТК, Сбц определен таблицей 1.

К технологической оснастке, применяемой в ГПМ, РТК, Сбц, относятся: сборочные головки (СГ); устройства захвата (УЗ); автоматические накопители компонентов (АЗУ_{ЭК}), плат (АН_п); устройства фиксации платы в зоне сборки (УФ_п), простые обслуживающие роботы загрузки или выгрузки платы (УЗВ_п).

Классификация СТО выполнена по следующим признакам.

Сборочные головки можно условно разделить по степени универсальности, типу операции, для которой они предназначены, и типу компонента, с которым они взаимодействуют.

По степени универсальности СГ могут быть специальными, универсальными (с изменением установочного расстояния вручную или по программе) и со сменными присосками; по типу операции - для подготовки выводов ЭК (формовки, лужения, напрессовки припоя), монтажа, пайки; типу компонентов (для микросхем ИС₂, ИС₄, ЭРЭ, SMD).

Среди монтажных головок есть верхние, выполняющие установку компонента на плату, и нижние (для DIP монтажа), закрепляющие компонент на плате (выполняют с обратной монтажу стороны платы подрезку лишней длины вывода и подгибку). Примеры верхних головок показаны на рис.8 (а, б, в - головки монтажа интегральных микросхем во втором корпусе ИС₂; г, д, ж - головки монтажа ЭРЭ; и, к - нижние головки подрезки/ подгибки). На рис. 9 представлены головки пайки выводов интегральных микросхем с планарными выводами ИС₄ к контактными площадкам платы.

Устройства захвата делятся на механические (для наружного или внутреннего захвата), вакуумные и электромагнитные. Устройства захвата УЗ вакуумного типа показаны на рис. 10 а, ж, и; механические - на рис. 10 б, в, г, з; автооператоры - на рис. 10 д.

Автоматические загрузочные устройства компонентов (АЗУ) по степени универсальности разделены на: специальные (дисковые, крючковые, секторные, трубчатые), специализированные - кассетно-магазинные (с наклонным лотком, с ленточным транспортером, с кареткой); карусельные; барабанные и универсальные (вибробункерные с объединенным или отдельным приводами); по типу АЗУ - на магазинные, кассетно-магазинные, бункерно-магазинные и ленточные [одно ленточные и много ленточные (линейные, карусельные)], а также вибротроки и ящечные накопители. Примеры АЗУ приведены на рис. 11

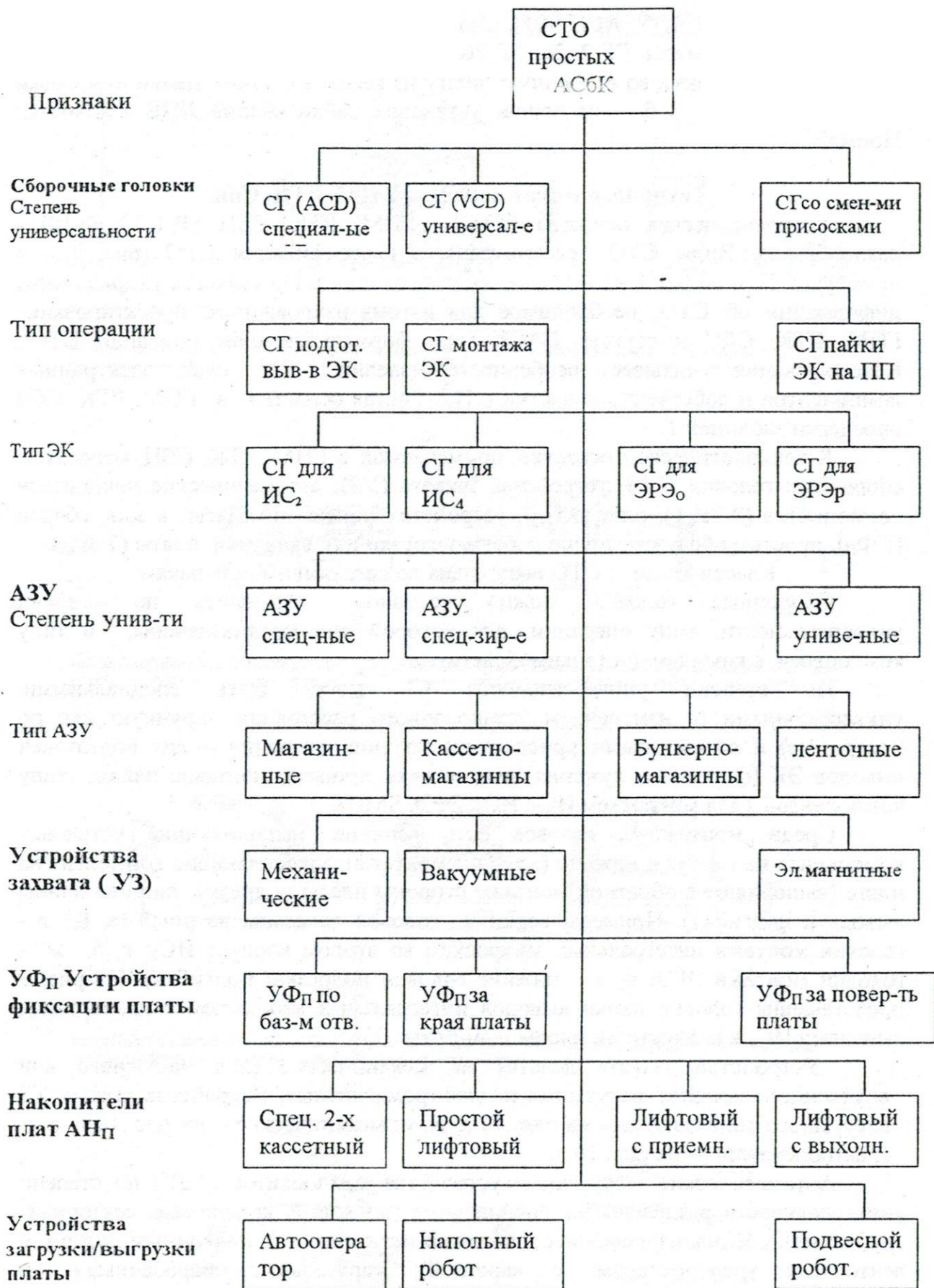


Рис. 7. Классификация технологического оснащения СТО простых АСБК сборки ЭМ

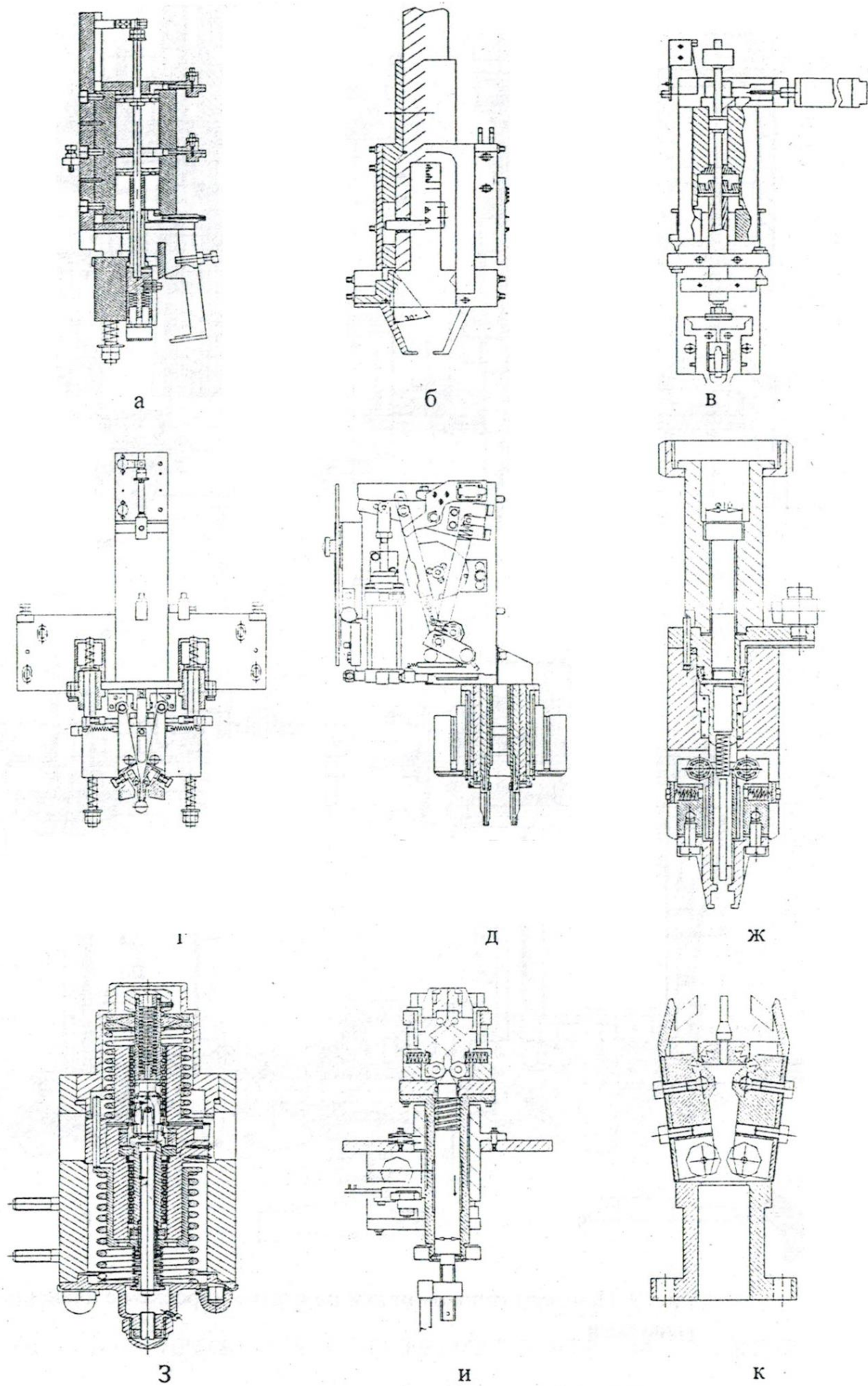
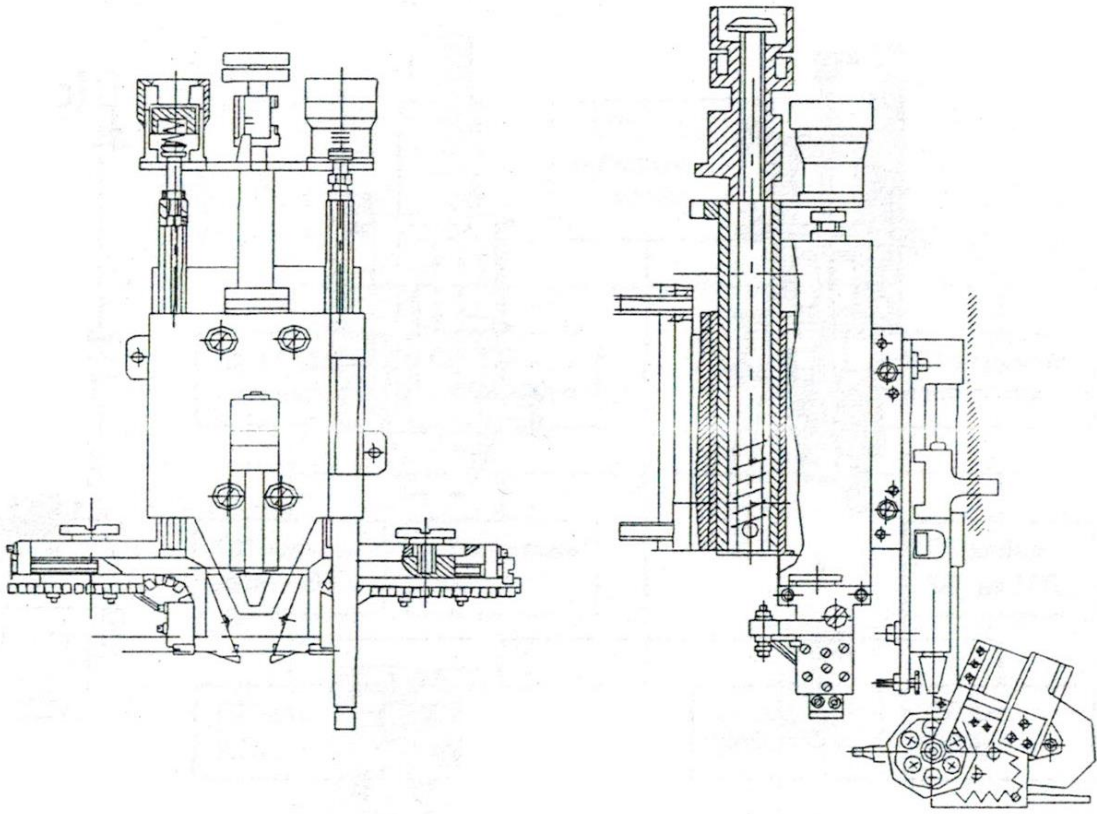
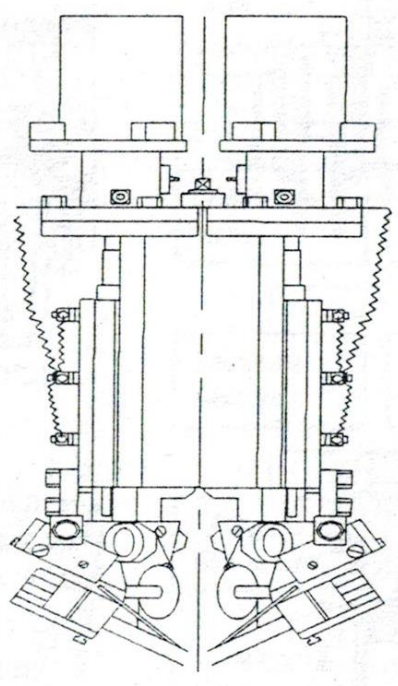


Рис.8. Примеры головок монтажа компонентов ЭК на плату

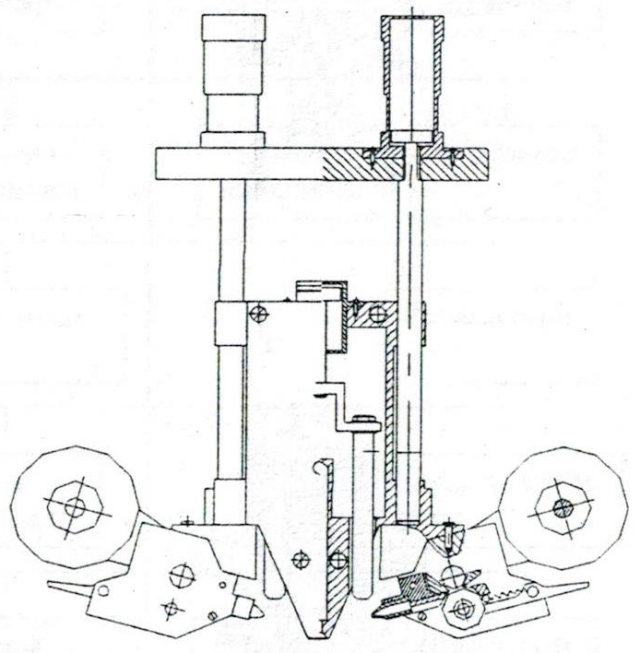


а

б



в



г

Рис. 9. Примеры головок пайки на плату микросхем с планарными выводами

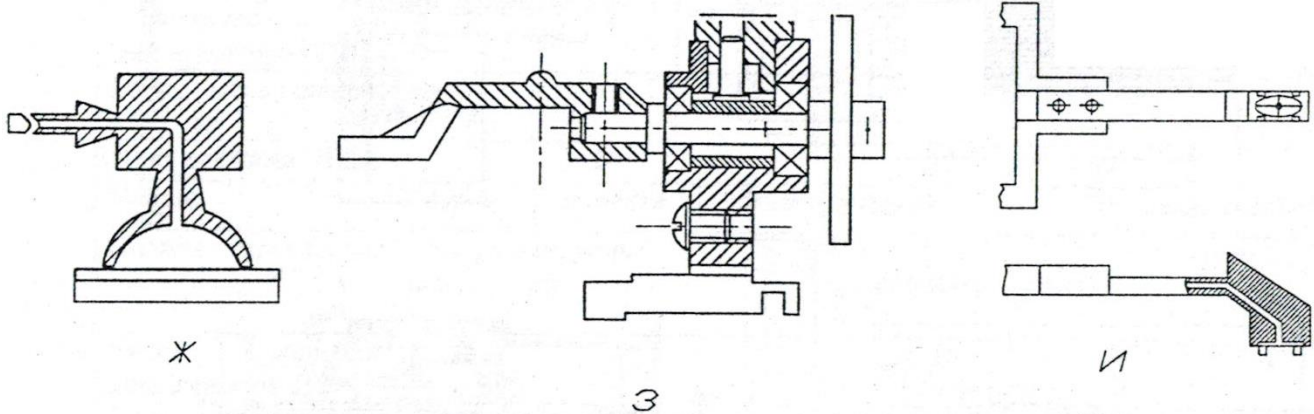
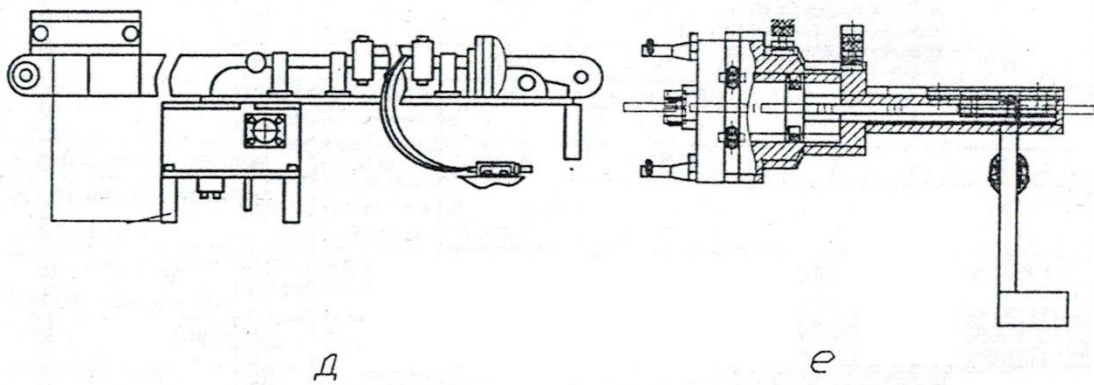
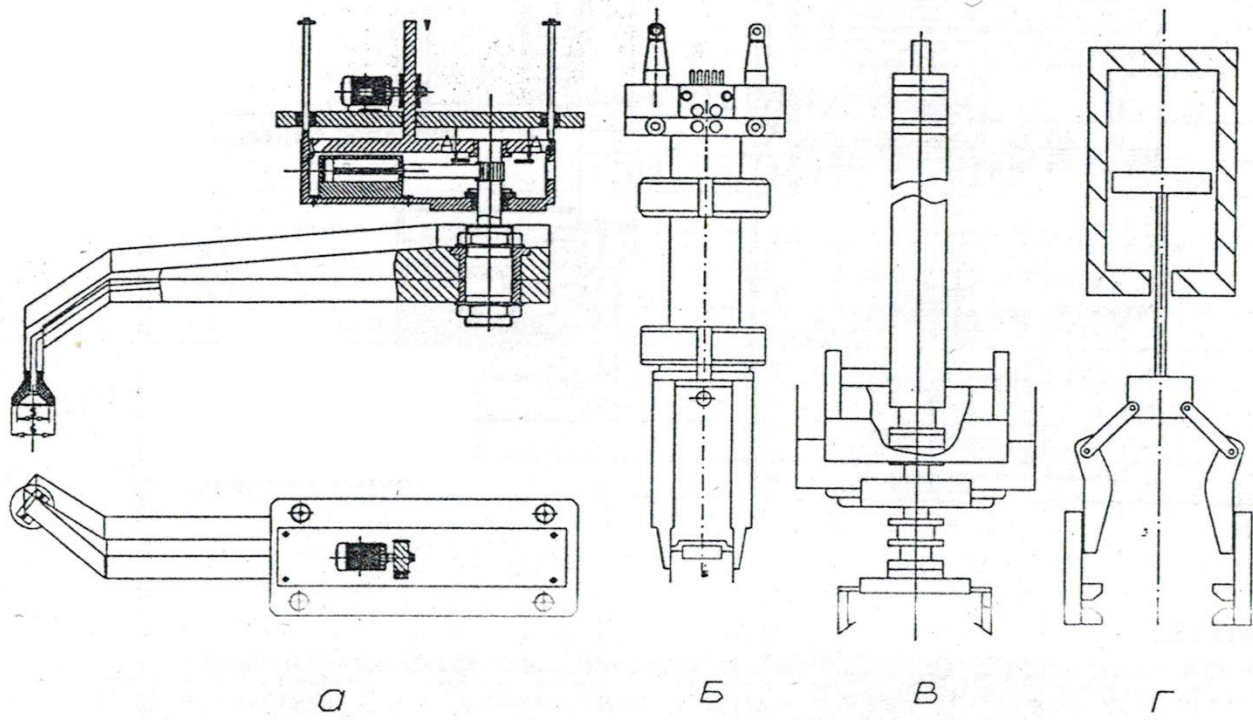


Рис. 10. Примеры автооператоров и захватов

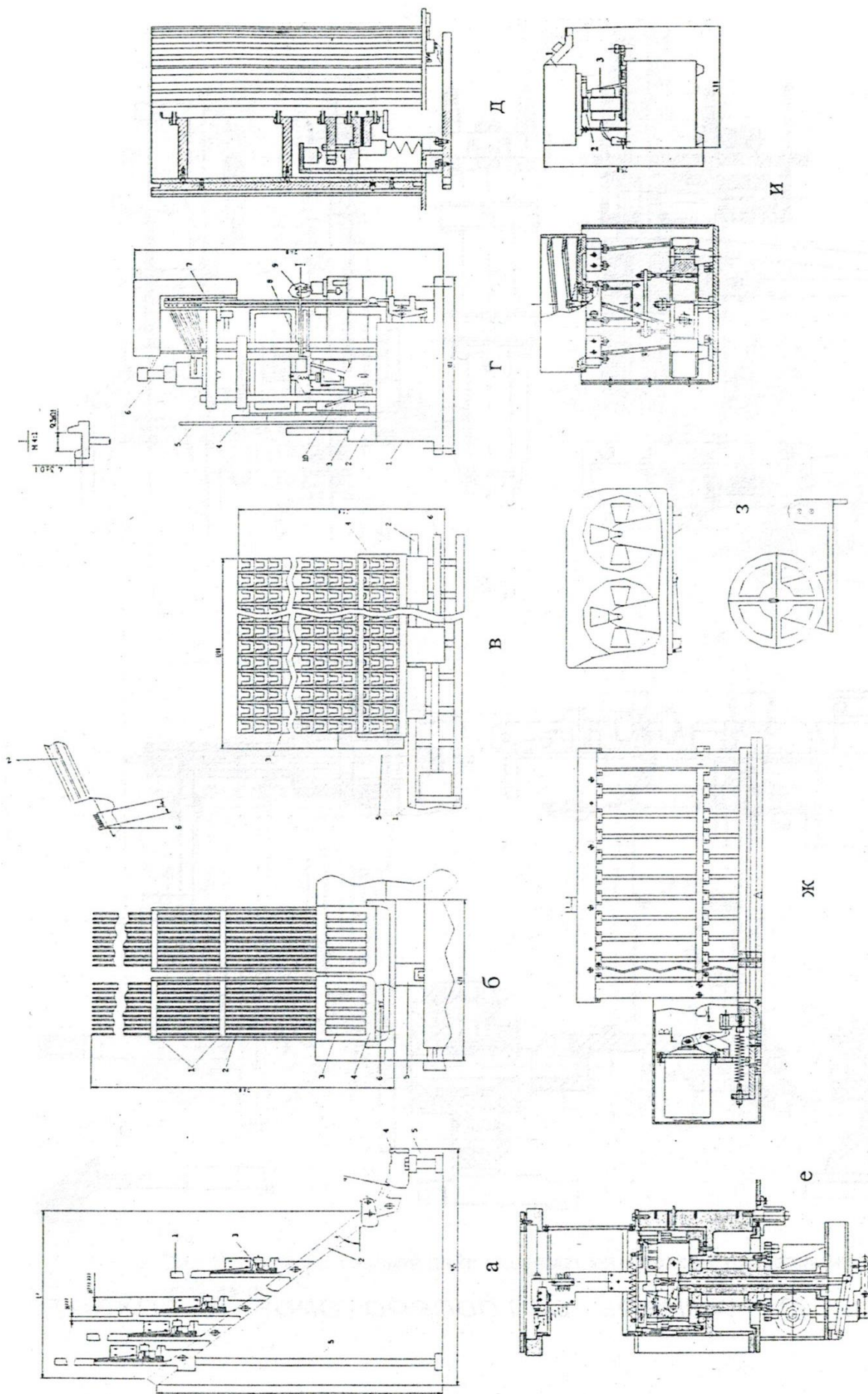


Рис. 11 . Примеры загрузочных устройств автоматов сборки электронных модулей

Таблица 1

Состав СТО в ГПМ, РТК, СБЦ

Название оснастки	Название АСБК			
	ГПМ	РТК	РТКП	СБЦ
СГ	-	-	+	+
АЗУ _{ЭК}	-	-	+	+
АН _П	+	+	+	+
Накопитель инструмента	-	-	+	+
УФП	+	+	+	+
УЗВ _П	+	+	+	+
КС	-	-	-	-
Приемный стол	+	+	+	+

Таблица 2

Основные технические характеристики сборочных центров монтажа компонентов

Характеристика	Cadratic, Sornel (France)			Sigma,		МРЛ-901П	МАРС901
	590	базовая	745	А	В		
Максимальное перемещение, мм:				2800	1400	550	550
Х	110	400	600				
У	250	400	600		410	350	300
Z	25;50;100	50	25;50;100		410	125	125
Количество головок	до 6	до 6	до 8		2	4	2
Количество установ. ЭК за цикл	до 6	до 6	до 8		2	-	-
Точность позиционирования (мм)	±0,025	±0,05	±0,025		±0,1	±0,05	±0,005
Угол поворота головок, град.	-	до 360	-	±180/90	±60/90	-	-
Количество манипуляторов ПР	2	2	2		2	1	1
Макс. масса головки с ЭК, кг	5	10	15		10	2,5	-
Цикл монтажа ЭК, с	20				10	0,5	-
Привод	Шагов.	Эл. механ.	Электрический		Эл. механический		
Система управления	Программируемый контроллер			СЧПУ (на мини ЭВМ)		2Р22 (микропроц. СЧПУ)	
Число степеней подвижности ПР	4			16		4	4
Габаритные размеры L, B, H, мм	300, 2300, 2000			1300	700	1385, 700	1385, 575
					560	575	1440
Масса, кг		2000		1000	750	350	480

[для микросхем ИС₂ (с наклонным лотком рис. 11а, с ленточным транспортером рис. 11 б, с кареткой рис. 11 в, барабанные рис. 11 д, вибробункерные рис. 11 и); микросхем ИС₄ (барабанные рис. 11 г и е); ЭРЭ (кассетно-магазинные рис. 11 ж, ленточные рис. 11 з, вибробункерные рис. 11 и)].

Накопители плат АН_п делят на индивидуальные или групповые; в свою очередь индивидуальные накопители – на специальные двух кассетные (и их приводы продольной, поперечной и вертикальной подачи рис. 12 е) и специализированные одно кассетные (например, рис. 12 в - г). Последние делятся на простые лифтовые (например, рис. 12 в), лифтовые с приемным устройством (например, рис. 12 г) и лифтовые с выходным устройством (например, рис. 12 б) справа рис. 12 б и промежуточные АН_п (рис. 12 в).

Устройства фиксации платы (УФ_п) предназначены для установки (базирования) и закрепления платы в момент сборки изделия. По виду базирования платы их можно разделить – на УФ_п с установкой на базовые отверстия, за края платы или за толщину. УФ_п могут быть одноместными (рис. 13 а, б, г - ж) и много местными (рис. 13 в).

Устройства загрузки/выгрузки платы можно разделить на устройства с автооператором (например, рис. 14 а), с роботом напольного типа (например, рис. 14 б, в) или с подвесным роботом (например, рис. 14 г, д).

С заводов-изготовителей автоматизированные комплексы ГПМ, РТК и СБЦ поступают к пользователю с разной степенью оснащенности. Для оснащения ГПМ необходимы (табл.1): приспособление для установки платы (Уфп), накопитель плат (АН_п), устройство поштучной загрузки/выгрузки платы (УЗВ_п); для РТК1- УФп, АНп и схват; в РТКII - УФп, АНп, АЗУэк, СГ, Сх и Нсг (накопители для головок СГ и схватов Сх); в СБЦ - АЗУэк, УЗВп, АНп, СГ, Сх, Нсг и Нсх.

Основными техническими характеристиками ГПМ, РТК и СБЦ, по которым их можно выбирать из каталогов, оценивать эффективность и сравнивать между собой, являются: 1) вид собираемого изделия, его максимальные размеры; 2) компоненты ЭК, вид упаковки ЭК при загрузке; 3) перечень функций; 4) трудоемкость сборки, производительность; 5) надежность; 6) выход годных изделий; 7) структурный состав; 8) система ЧПУ, язык программирования; 9) дискретность перемещений и точность позиционирования; 10) максимальное усилие подъема и перемещения инструмента; 11) занимаемая площадь (габариты); 12) суммарная мощность электроустановок; 13) масса; 14) стоимость. Основные технические характеристики серийных СБЦ и РТК приведены в табл.2 и 3.

Требования, предъявляемые ГАСК к простым АСБК

Требования сводятся к следующему: 1) возможность сборки ЭМ из разнотипных компонентов ЭК с максимальной их концентрацией и оптимизацией их очередности; 2) контроль качества сборки; 3) автоматическая диагностика работы оборудования, системы управления и их устройств; 4) наличие программной переналадки при смене выпускаемых изделий; 5) микропроцессорное числовое программное управление; 6) для автоматической работы обеспечение компонентами ЭК, платами, инструментом (головками), устройством поштучной автоматической загрузки/выгрузки платы; обеспечение всех видов сопряжения с другим оборудованием [геометрический (уровень перемещения платы, уровень сборки; присоединительные размеры),

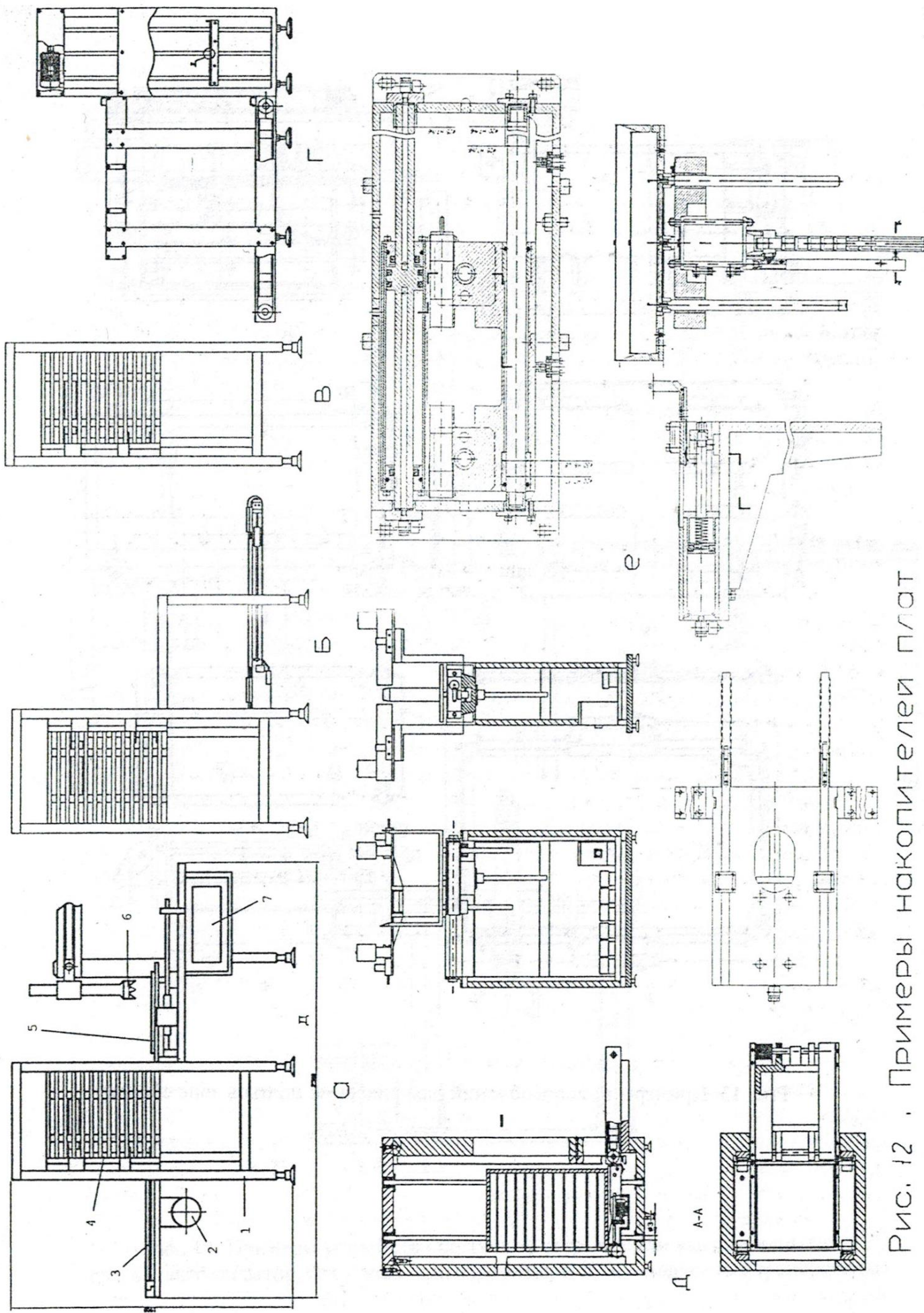


Рис. 12 . Примеры накопителей плат

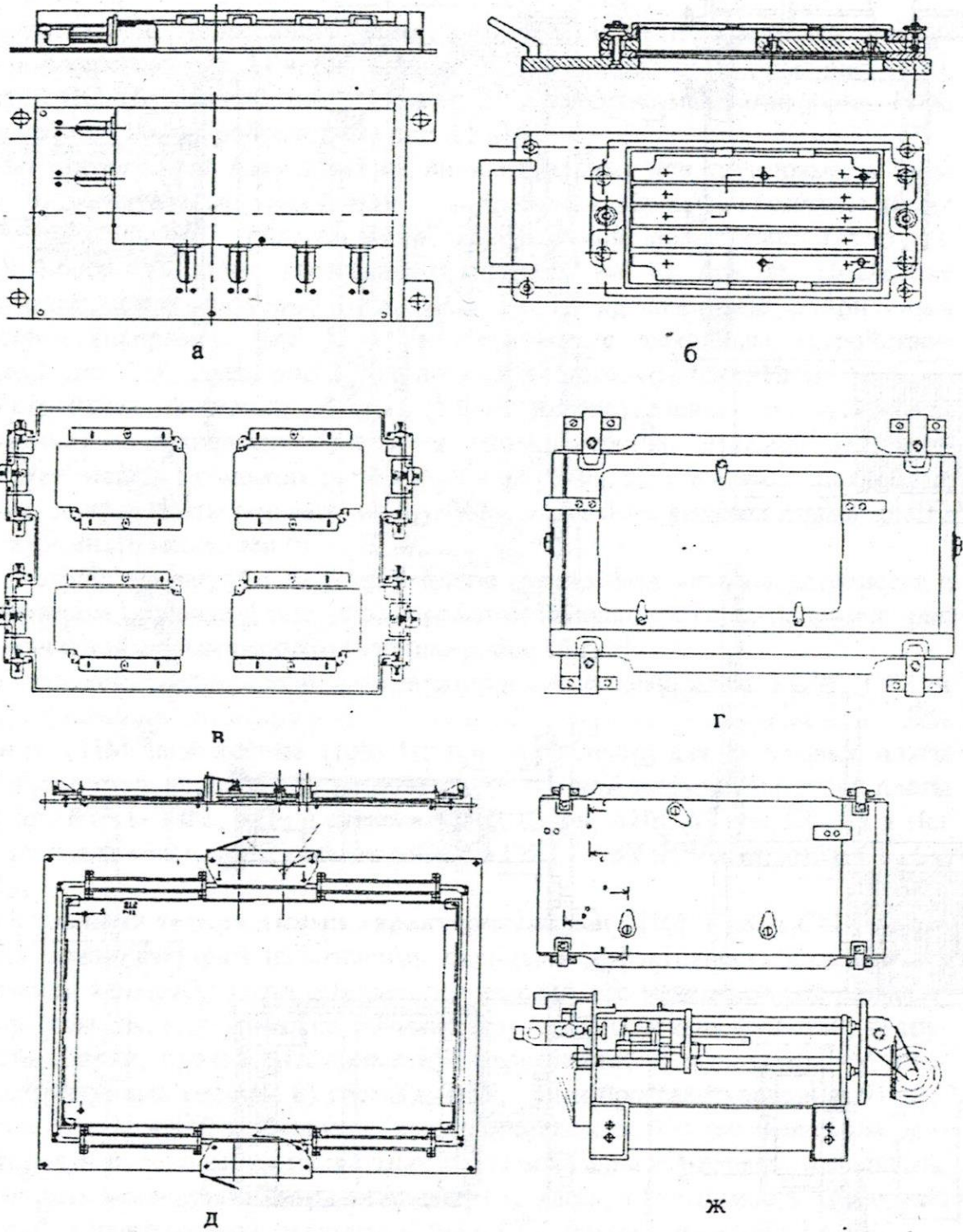


Рис. 13. Примеры приспособлений для фиксации платы в зоне сборки

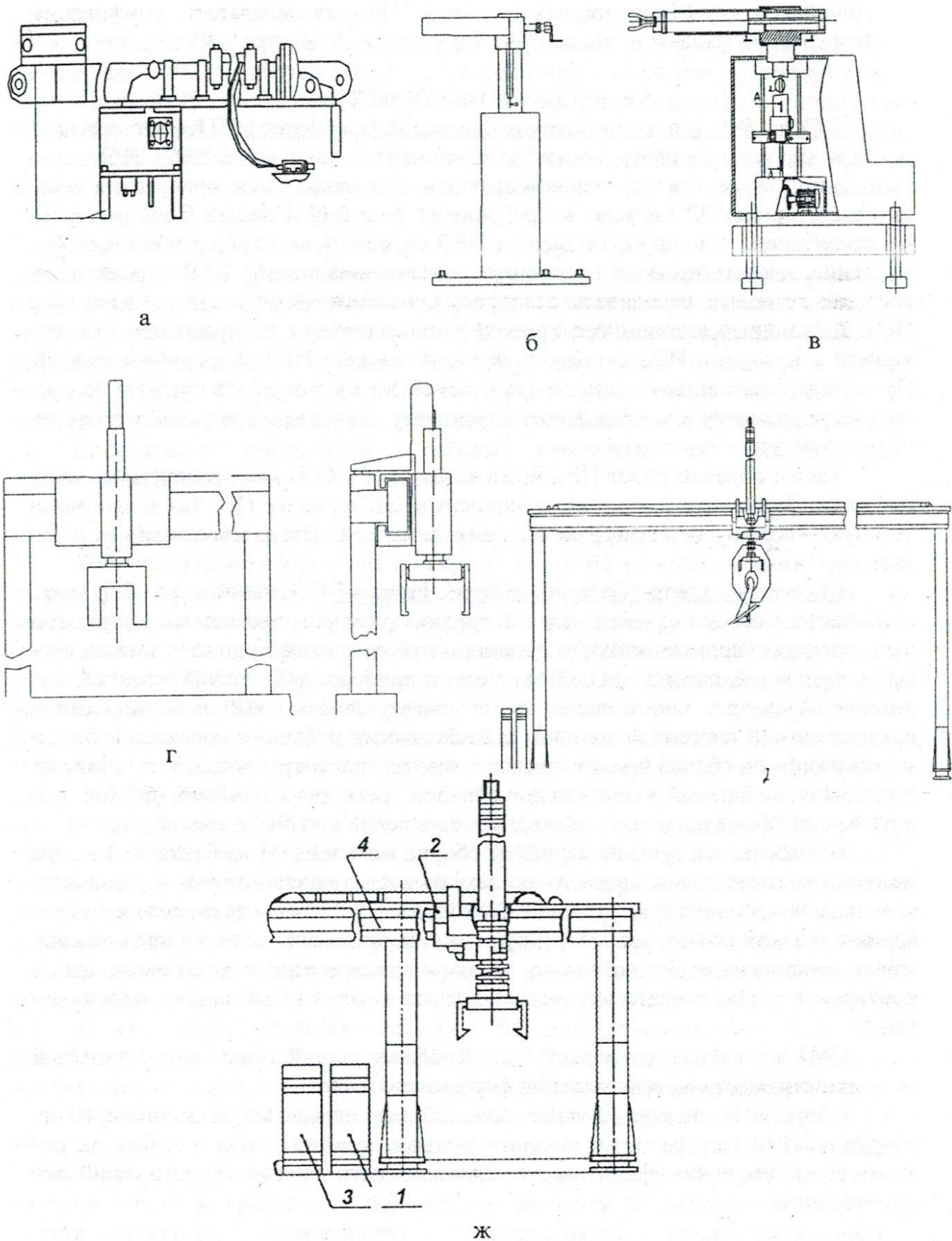


Рис. 14. Примеры устройств поштучной загрузки или выгрузки платы
 где: а – автооператор; б, в – напольные роботы; г, д, ж – подвесные трансроботы

программный, информационный и др.]; 8) максимальная унификация, стандартизация узлов и компонентов оборудования, оснастки.

Серийные ГПМ, РТК и СбЦ.

РТК на базе сборочного робота фирмы Skilam (Jhapan). РТК [3] предназначен для монтажа на плату 4-х типов компонентов: микросхем ИС2, ЭРЭ с осевым и не осевым расположением выводов. Для накопления, ориентации и поштучной выдачи ЭРЭ служат вибробункеры (рис.5 б). Каждый ВБЗУ настроен на ориентацию и поштучную выдачу ЭРЭ определенного типа и номинала. Накопление, комплектацию и поштучную выдачу микросхемы ИС2 осуществляет кассетно-лотковый накопитель. Платформа, на которой установлены кассеты с ИС2, с помощью автономного привода устанавливается по программе так, что кассета с нужными ИС2 оказывается в зоне захвата ИС2 сборочной головкой. Последняя с помощью манипулятора перемещает микросхему в нужную по программе координату и устанавливает ее на плату. Плата перед сборкой установлена и закреплена в приспособлении.

Таким образом робот ПР Skilam выполняет в СбЦ как основную технологическую функцию по монтажу компонентов ЭК на плату ПП, так и вспомогательную - по загрузке и выгрузке ПП (накопитель для ПП здесь условно не показан).

Сборочный центр "Cadratic" (Sormel, France) [11]. Cadratic (рис. 5 д) предназначен для сборки изделий малых и средних размеров, применяемых в различных областях промышленности (электронной, радиоэлектронной, электронно-вычислительной, автомобильной, машино- и приборостроительной, военной, медицинской и др.). Он оснащен двумя манипуляторами ПР, работающими в прямоугольной системе координат, и несколькими рабочими головками, поэтому операции по сборке (захват компонентов, их транспортировка, установка, закрепление на базовой детали завинчиванием, расклепкой, гибкой, пайкой или другим способом) могут выполняться одновременно или последовательно.

Возможны следующие варианты сборки модулей ЭМ на Cadratic: 1 - одна монтажная система последовательно захватывает, транспортирует и устанавливает несколько одинаковых компонентов на плату; 2 - несколько головок одновременно захватывают, транспортируют и устанавливают такое же число одинаковых компонентов; 3 - несколько головок одновременно захватывают, транспортируют и последовательно устанавливают несколько различных компонентов.

СбЦ по спецзаказу может быть снабжен устройствами автоматической смены инструмента и распознавания форм изделий.

Сборочный центр Cadratic (рис. 5 д) относится к многоцелевому оборудованию, обладающему высоким уровнем автоматизации и гибкости, поэтому его применение эффективно в условиях многономенклатурного серийного производства.

Проектирование ГПМ, РТК и СбЦ сборки ЭМ

Основными задачами проектирования ГПМ, РТК, СбЦ являются:

1. Анализ ТЗ и исходных данных на сборку электронных модулей (ЭМ);
2. Приспособление (адаптация) ЭМ к условиям автоматизированной сборки в ГПМ, РТК, СбЦ;
3. Разработка технологии сборки ЭМ (деление всего техпроцесса сборки

ЭМ на операции и выбор той операции, для которой разрабатывается данный комплекс); 4. Составление списка марок основных средств сборки ЭМ [для ГПМ-автоматов ($A_{\text{ЧПУ}}$) с ЧПУ, для РТКII - сборочных роботов ($PR_{\text{СБ}}$), для РТКИ - $A_{\text{ЧПУ}}$, для СБЦ – роботов $PR_{\text{СБ}}$]; 5. Составление списка или проектирование технологического оснащения (СТО), необходимых вспомогательных материалов СТО; 6. Разработка альтернативных вариантов операции; 7. Разработка компоновки комплекса (схема расположения основного оборудования; выбор накопителей и места их установки; выбор марки и места установки обслуживающих промышленных роботов, выбор вспомогательного оборудования и материалов); 8. Разработка операционной технологии (выбор схемы базирования, расчеты точности, надежности, энергетические расчеты; определение условий выполнения операции, режимов); 8. Расчет основных характеристик операции (трудоемкость, производительность, производственные затраты); 9. Определение эффективности ($P_{\text{оп}}$) вариантов операции и выбор лучшего ($P_{\text{оп}} = P_{\text{опmax}}$); 10. Уточнение компоновки основного и вспомогательного оборудования; Разработка управляющих программ (УТП); 11. Составление циклограммы работы комплекса; 12. Изготовление технологической документации на работу комплекса.

Особенности технологии сборки ЭМ в ГПМ, РТК и СБЦ.

Для реализации сборки ЭМ в ГПМ, РТК и СБЦ технологический процесс сборки ЭМ [см. также 18] условно дробится на переходы и операций в соответствии с составом типов компонентов ЭК в изделии (установка одного ЭК есть простой переход; монтаж группы однотипных ЭК – сложный переход или операция; для ГПМ и РТКИ - это операция; для РТКII и СБЦ сложный переход). Монтаж компонентов одной группы выполняется последовательно. Очередность монтажа оптимизируется. Выбор места на плате для установки очередного ЭК обеспечивает координатная система, перемещая по программе плату (в АТО) или головку (в РТКII и СБЦ). Для монтажа компонентов ЭК разных групп требуются ГПМ и РТКИ разных моделей, а при сборке в РТК2 и СБЦ требуется лишь смена головки и питателя (АЗУэк) ЭК. Возможность программной смены СГ и АЗУэк позволяет максимально интегрировать циклы монтажа (разнотипные переходы), т.е. на одном РТК2 или СБЦ теоретически можно собрать все изделие ЭМ, включая установку разъемов и других компонентов. Однако на практике этим не всегда пользуются, а часто распределяют сборку ЭМ на несколько РТК и СБЦ для получения более высоких экономических показателей или из-за ограниченности места (в СБЦ) для установки всех АЗУ. При разработке технологии сборки должны быть обеспечены для автоматического монтажа гарантия пайки выводов ЭК и требуемый вид упаковки ЭК.

В рамках задания определяются альтернативные варианты структур ГАСК согласно списку возможных автоматизированных средств сборки (АТО, СТО). Производится расчет точности совмещения выводов ЭК с элементами печатного монтажа платы и сравнение полученных значений с допустимыми. После расчета основных характеристик (трудоемкости, производительности, постоянных и переменных затрат производства, величины незавершенного производства, требуемого количества оборудования, обслуживающих рабочих, занимаемой площади) выполняется сравнение по затратам с допустимыми значениями. Не эффективные варианты отсеиваются [если назначенное серийное

Таблица 3.

Основные технические характеристики серийных комплексов ГПМ

Название ГПМ	Состав ГПМ	Q _п эк/ч	S м ²	Ц _{об} руб*
1	2	3	4	5
1 СМ комплектования ЭР ₀ по программе	Асп переклейки ЭР ₀ (ГТМ1.139.001) Секция загрузки из ленты Секция вклейки, ЛСУ Приемный стол, тара для ленты	1000 0	12	70000 - 80000
2 СМ программно-координатной установки на плату ИС ₂ (201.14-2, 201.16-2)	Ачпу монтажа ИС ₂ (ГТМ1.149.005) 2х кассетный накопитель плат АН _п Робот загрузки плат (Гном- 52) ЛСУ, приемный стол	2600	6	110000
3 СМ программно-координатной установки на плату микросхем ИС ₂ (201.16-5)	Ачпу монтажа ИС ₂ (АА 6028) 2х кассетный накопитель плат АН _п Робот загрузки плат (Гном- 52) ЛСУ, приемный стол	2600	6	110000
4 СМ программно-координатной установки на плату микросхем ИС ₂ (238)	Ачпу монтажа ИС ₂ (в кор 238) 2х кассетный накопитель плат АН _п Робот загрузки плат (Гном- 52) ЛСУ, приемный стол	2600	6	110000
5 СМ программно-координатной установки на плату блоки резисторов БР	Ачпу монтажа ИС ₂ (АА 6028) 2х кассетный накопитель плат АН _п Робот загрузки плат (Гном- 52) ЛСУ, приемный стол	2600	3,5	155000
6 СМ раскладки и пайки микросхем с планарными выводами ИС ₄ (401.14-3, -4)	Ачпу монтажа ИС ₄ (АРПМ) 2х кассетный накопитель плат АН _п Робот загрузки плат (Гном- 52) ЛСУ, приемный стол	480	9,5	108000
7 СМ раскладки и пайки микросхем с планарными выводами ИС ₄ (402.16-1, -2)	Ачпу монтажа ИС ₄ (ГТМ1.149.004) 2х кассетный накопитель плат АН _п Робот загрузки плат (Гном- 52) ЛСУ, приемный стол	1200	6	108000
8 СМ программно-координатной установки на плату ЭР ₀	Ачпу монтажа ЭР ₀ (ГТМ1.149.002-01) 2х кассетный накопитель плат АН _п Робот загрузки плат (Гном- 52) ЛСУ, приемный стол	5000	6	108000
9 СМ программированной сборки ЭМ	Автоматиз. рабочее место (АРМ) 2х кассетный накопитель плат АН _п монитор, приемный стол	800	5	15000
11 СМ автоматизированной пайки волной припоя	Установка пайки волной (ЛПВ-1м) Автомат струйной очистки (ДВМ1.122), ЛСУ, приемный стол 2х кассетный накопитель плат АН _п	60 – 80 эм\ч	28	95000

* Цены даны в масштабе 1991 года

технологическое оборудование АТО и 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]. Подробно разработку технологии сборки ЭМ см. также в [14, 15, 18].

Разработка компоновки ГПМ, РТК и СбЦ. При разработке компоновки комплекса выбирают схему расположения АТО, траекторию транспорта и транспортное оборудование, групповые и индивидуальные накопители (например, накопитель плат) и место их установки; устройства поштучной загрузки/выгрузки платы.

Учитывая, что РТК (ГПМ или СбЦ) являются частью ГАСК, то общая стратегия расположения АТО, траектория и тип основного вида транспорта определены унифицированными структурами ГАСК [17]. За основной вид транспорта принята безрельсовая самоходная тележка (СТл) с линейной траекторией движения. Схема расположения АТО симметричная относительно траектории СТл. В качестве устройства поштучной загрузки/выгрузки платы (например, обслуживающего робота) выбирают напольные и подвесные роботы. Их марка и количество окончательно определяются при проектировании оптимальной структуры ГАСК. На этом же уровне окончательно определяют, как располагать АТО относительно направления движения СТл и начала траектории [склада (АСк)]. Принимая, что единица АТО в плане представляет примерно прямоугольник, то АТО можно располагать параллельно траектории большей, меньшей сторонами или под углом к ней. Последовательность расположения оборудования особенно важна для сборочного АТО (монтажа и пайки). Она зависит от особенностей собираемого изделия ЭМ, вида монтажа и подробно рассмотрена на уровне рекомендаций в Л [17]. Окончательное решение дает оптимальная структура ГАСК.

Расчеты при проектировании РТК, ГПМ, СбЦ Оценка эффективности сборки в ГПМ, РТК, СбЦ

Пример 1. Расчет эффективности операции пайки электронных модулей в РТК ГАСК на базе линии ЛПВ-1м (с использованием табл. 1-6 Л. 14).

Выполняемые операции: пайка волной припоя выводов интегральных микросхем во втором корпусе ИС₂ на печатной плате.

Исходные данные: $Q_{\Pi} = 200$ пм/ч $\approx 200 \times 23 = 4600$ эк/час; $S = 2,88$ м²; $N_{\Sigma} = 12,8$ кВт; $C_{\text{об}} = 9000$ руб; $N_{\text{ЭКЭМ}} = 23$ эк/эм; $N_{\text{ЭМ}} = 10^4$ эм/год; $N_{\text{А}} = 50$ тип эм/год.

Расчет трудоемкости, производительности и требуемого оборудования Штучно-калькуляционное время

$$T_{\text{шк}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}} + T_{\text{отд}} + T_{\text{обс}} = \frac{1,05}{Q_{\Pi}} + T_{\text{обс}},$$

где: Q_{Π} – часовая паспортная производительность автомата; $T_{\text{обс}}$ и $T_{\text{пер}}$ – время на обслуживание и переналадку автомата.

$$T_{\text{ОБС}} = \frac{t_{\text{ЭКПП}} + t_{\text{ЗПП}}}{N_{\text{КПП}}} = \frac{1,67 \cdot 10^{-2}}{20} + 0,28 \cdot 10^{-2} = 1,58 \cdot 10^{-4} [\text{час/эк}] \quad - \quad \text{время}$$

обслуживания;

где: $t_{\text{ЭКПП}}$ - время смены кассеты с платами; $t_{\text{ЗПП}}$ - время загрузки одной платы;

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

$$T_{\text{ШК}} = \frac{1,05}{O} + T_{\text{ОБС}} = \frac{1,05}{4600} + 1,58 \cdot 10^{-4} = 3,86 \cdot 10^{-4} [\text{час/эк}].$$

Производительность

Часовая фактическая производительность

$$Q_{\text{Ч}} = \frac{k_3 \cdot \rho \cdot K_{\text{ТТ}}}{T_{\text{ШК}}} = \frac{0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,99}{3,86 \cdot 10^{-4}} = 2,262 \cdot 10^3 [\text{эк/час}]$$

$Q_{\text{Ч}}$ - часовая фактическая производительность автомата; K_3 - коэффициент загрузки; ρ - коэффициент готовности оборудования к работе; $K_{\text{ТТ}}$ - коэффициент технологических потерь.

$Q_{\text{Г}} = Q_{\text{Ч}} \cdot F_{\text{ГЭФ}} = 2,262 \cdot 10^3 \cdot 4100 = 9,274 \cdot 10^6$ [эк/год] - годовая производительность АТО;

$Q_{\text{ГОП}} = Q_{\text{Ч}} \cdot F_{\text{ГЭФ}} \cdot N_{\text{ОБ}} = 2,262 \cdot 10^3 \cdot 4100 \cdot 2 = 1,85 \cdot 10^7$ [эк/год] - годовая производительность операции.

Требуемое количество единиц оборудования

$$N_{\text{ОБ}} = \frac{N_{\text{ЭКЭМ}} \cdot N_{\text{ЭМ}} \cdot N_{\text{А}}}{Q_{\text{Г}}} = \frac{23 \cdot 10^4 \cdot 50}{9,27 \cdot 10^6} = 1,2 \text{ [ед/год]}, \text{ принимаем 2 единицы}$$

АТО.

Расчет годовых производственных затрат

на технологические операции постоянных:

$$K_{\text{ГОП}} = (K_{\text{ОБ}} + K_{\text{ПЛ}}) \cdot N_{\text{ОБ}}$$

$$K_{\text{ОБ}} = E_{\text{Н}} \cdot K_1 \cdot Ц_{\text{ОБ}} = 0,167 \cdot 1,13 \cdot 9500 = 1,793 \cdot 10^3 [\text{руб/год}]$$

где: $K_{\text{ОБ}}$ и $K_{\text{ПЛ}}$ - затраты, связанные с покупкой оборудования и арендой площадей; $E_{\text{Н}}$ - коэффициент, учитывающий срок эксплуатации оборудования; K_1 - коэффициент, учитывающий налоги при покупке, затраты на доставку, монтаж, ввод в эксплуатацию оборудования; $Ц_{\text{ОБ}}$ - рыночная цена единицы оборудования.

$K_{\text{ПЛ}} = K_{\text{ПЛЛ}} + K_{\text{СПЛ}} = Ц_{\text{АПЛЛ}} \cdot S_{\text{ОБ}} \cdot \gamma + Ц_{\text{АСПЛ}} \cdot S_{\text{СП}} \cdot n_{\text{Р}} = 200 \cdot 2,88 \cdot 5 + 200 \cdot 0,7 \cdot 0,25 = 2,627 \cdot 10^3$ [руб/год], где: $Ц_{\text{АПЛЛ}}$ - цена аренды квадратного метра производственных площадей за год; $S_{\text{ОБ}}$ - площадь единицы оборудования; γ - коэффициент дополнительных площадей; $Ц_{\text{АСПЛ}}$ - цена аренды квадратного метра служебных площадей за год; $S_{\text{СП}}$ - служебная площадь на одного рабочего; $n_{\text{Р}}$ - количество обслуживающих АТО рабочих.

$K_{\text{ГОП}} = (K_{\text{ОБ}} + K_{\text{ПЛ}}) \cdot N_{\text{ОБ}} = (1,793 \cdot 10^3 + 2,627 \cdot 10^3) \cdot 2 = 8,84 \cdot 10^3$ [руб/год]; переменных:

$$C_{\text{ГОП}} = C'_{\text{ГОП}} + K_{\text{НЕЗ}}$$

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

$$C = C_3 + C_{\text{ОБ}} + C_{\text{ЭЛ}} + C_{\text{АМ}} + C_{\text{ОСН}} + C_{\text{ПЛ}} + C_{\text{Ц}}$$

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

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

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

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.

$$C_{\text{ЭЛ}} = \frac{C_{1\text{КВЧ}} \cdot N_{\Sigma} \cdot K_{\text{АМ}} \cdot K_{\text{АВ}} \cdot K_{\text{Л}}}{\eta} = \frac{0,04 \cdot 12,5 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,05}{0,95} = 0,317 \text{ [руб/час]} -$$

затраты на электроэнергию; $C_{1\text{КВЧ}}$ - 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;

$$C_{\text{АМ}} = \frac{C_{\text{ОБ}} \cdot a}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{9500 \cdot 0,2}{4100} = 0,463 \text{ [руб/час]} - \text{затраты на амортизацию; } C_{\text{ОБ}} -$$

рыночная цена единицы оборудования; a - коэффициент амортизационных отчислений;

$$C_{\text{ОСН}} = \frac{\Sigma K_{\text{ПР}}}{Z_{\text{ОСН}} \cdot F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{400}{2 \cdot 4100} = 0,0488 \text{ [руб/час]} - \text{затраты на оснастку; } \Sigma K_{\text{ПР}}$$

- суммарные затраты на приобретение оснастки (стол ПС); $Z_{\text{ОСН}}$ - количество лет эксплуатации оснастки;

$$C_{\text{ПЛ}} = \frac{C_{\text{ЭПЛ}} \cdot S_{\text{ОБ}} \cdot \gamma}{F_{\text{ГЭФ}}} + \frac{C_{\text{ЭСПЛ}} \cdot S_{\text{ПР}} \cdot n_{\text{Р}}}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{20 \cdot 2,88 \cdot 4,5}{4100} + \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 0,25}{4100} = 0,064 \text{ [руб/час]}$$

- затраты на эксплуатацию производственных и служебных площадей; $C_{\text{ЭПЛ}}$ - цена эксплуатации 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;

$$C_{\text{Ц}} = 0,4 \cdot C_3 = 0,4 \cdot 0,285 = 0,114 \text{ [руб/ч \cdot эк]} - \text{цеховые расходы;}$$

$$C = C_3 + C_{\text{ОБ}} + C_{\text{ЭЛ}} + C_{\text{АМ}} + C_{\text{ОСН}} + C_{\text{ПЛ}} + C_{\text{Ц}} = \\ = 0,285 + 0,186 + 0,317 + 0,463 + 0,049 + 0,064 + 0,114 = 1,478 \text{ [руб/час]}$$

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

$$= \frac{0,01 \cdot \frac{250}{192} \cdot 0,05 + 0,9 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 23}{23} = 0,018 [\text{руб/эк}]$$

$N_{БР}$ - процент бракованных ячеек; $C_{ЗРЕМ}$ - месячная зарплата ремонтника; $t_{ИСП1ЭЭ}$ - время исправления одной ячейки; $n_{БР}$ - процент бракованных компонентов ЭК; $C_{1ЭК}$ - цена одного компонента ЭК; $F_{МЭФ}$ - месячный эффективный фонд времени;

$$C_{1ЭК} = \frac{1}{n_{оп}} \cdot \left(\frac{C_{1ЭК} \cdot N_{ЭКЭМ} + C_{1ПП}}{N_{ЭКЭМ}} \right) = \frac{1}{7} \cdot \left(\frac{2 \cdot 23 + 8}{23} \right) = 0,335 [\text{руб/эк}]$$

$C_{1ПП}$ - цена одной платы ПП;

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

$$(1,483 \cdot 3,86 \cdot 10^{-4} + 5,7 \cdot 10^{-4} + 0,016 + 0,335) \cdot 23 \cdot 10^4 \cdot 50 = 4,1 \cdot 10^6 [\text{руб/год}]$$

$K_{НЕЗ}$ - количество связанных незавершенным производством средств:

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

$$= 0,3 \cdot 20 \cdot 10^4 \cdot \left(0,237 + \frac{2,914 \cdot 10^6}{2 \cdot 23 \cdot 10^4} \right) \cdot \frac{1,1}{7} = 6,16 \cdot 10^4 [\text{руб/год}]$$

σ - коэффициент, учитывающий увеличение размера незавершенного производства.

$C_{ГОП} = C'_{ГОП} + K_{НЕЗ} = 4,1 \cdot 10^6 + 6,16 \cdot 10^4 = 4,16 \cdot 10^6 [\text{руб/год}]$ - годовые переменные затраты на технологические операции;

$K_{ТР} = 0,2 \cdot C_{ГОП} = 0,2 \cdot 8,84 \cdot 10^3 = 1,768 \cdot 10^3 [\text{руб/год}]$ - постоянные годовые транспортные затраты;

$C_{ТР} = 0,2 \cdot C_{ГОП} = 0,2 \cdot 4,16 \cdot 10^6 = 0,83 \cdot 10^6 [\text{руб/год}]$ - переменные годовые транспортные затраты;

$$P_{оп} = \frac{Q_{ГОП}}{(K_{ГОП} + C_{ГОП} + K_{ТР} + C_{ТР})} = \frac{1,85 \cdot 10^7}{(8,84 \cdot 10^3 + 4,16 \cdot 10^6 + 1,768 \cdot 10^3 + 0,83 \cdot 10^6)} = 3,71 \text{ эк/руб}]$$

- комплексный показатель эффективности операции.

Пример 2. Расчет эффективности операции отмывки и сушки ЭМ в РТК ГАСК на основе линии Prima (с использованием табл. 1-6 Л. 14).

Выполняемые операции: отмывка, сушка, касетирование электронных модулей (ЭМ) после пайки.

Исходные данные: $Q_{П}=140$ пм/час; $S=1,76$ м²; $N_{\Sigma}=11,5$ кВт; $C_{ОБ}=10\ 000$ руб; $N_{ЭКЭМ}=23$ ис₂/эм, $N_{ЭМ}=10^4$ эм/год; $N_A=50$ тип эм/год; плата $0,38 \times 0,38$ м.

Расчет трудоемкости, производительности и требуемого количества оборудования
Штучно-калькуляционное время

$$T_{ШК} = T_{О} + T_{В} + T_{ОТД} + T_{ОБС} = \frac{1,05}{Q_{П}} + T_{ОБС} ,$$

где: Q_{II} – часовая паспортная производительность автомата; T_{OBS} и T_{PER} – время на обслуживание и переналадку автомата.

$$T_{OBS} = \frac{t_{ЭКПП} + t_{ЗПП}}{N_{КПП}} = \frac{1,67 \cdot 10^{-2} + 0,28 \cdot 10^{-2}}{20} = 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ [час/эк]} - \text{ время обслуживания};$$

где: $t_{ЭКПП}$ – время смены кассеты с платами; $t_{ЗПП}$ – время загрузки одной платы;

$N_{КПП}$ – количество плат в накопителе; $Q_{II} \approx 140 \cdot \frac{1,0}{0,38} \cdot 23 \approx 8474 \text{ эк/час}$

$$T_{ШК} = \frac{1,05}{Q_{II}} + T_{OBS} = \frac{1,05}{8474} + 1,58 \cdot 10^{-4} = 2,82 \cdot 10^{-4} \text{ [час/эк]}.$$

Производительность

Часовая фактическая производительность

$$Q_{Ч} = \frac{k_3 \cdot \rho \cdot K_{III}}{T_{ШК}} = \frac{0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,99}{2,82 \cdot 10^{-4}} = 3,1 \cdot 10^3 \text{ [эк/час]}$$

$Q_{Ч}$, $Q_{Г}$ – часовая и годовая фактическая производительность автомата; K_3 – коэффициент загрузки; ρ – коэффициент готовности оборудования к работе; K_{III} – коэффициент технологических потерь.

$$Q_{Г} = Q_{Ч} \cdot F_{ГЭФ} = 3,1 \cdot 10^3 \cdot 4100 = 1,27 \cdot 10^7 \text{ [эк/год]}$$

$Q_{ГОП} = Q_{Ч} \cdot F_{ГЭФ} \cdot N_{ОБ} = 3,1 \cdot 10^3 \cdot 4100 \cdot 1 = 1,27 \cdot 10^7 \text{ [эк/год]}$ – годовая производительность операции.

Требуемое количество единиц оборудования

$$N_{ОБ} = \frac{N_{ЭКЭЯ} \cdot N_{ЭМ} \cdot N_{А}}{Q_{Г}} = \frac{23 \cdot 10^4 \cdot 50}{1,27 \cdot 10^7} = 0,9 \text{ [ед/год]}, \text{ принимаем 1 единицу АТО.}$$

Расчет годовых производственных затрат на технологические операции постоянных

$$K_{ГОП} = (K_{ОБ} + K_{ПЛ}) \cdot N_{ОБ}$$

$$K_{ОБ} = E_{Н} \cdot K_1 \cdot Ц_{ОБ} = 0,167 \cdot 1,13 \cdot 10\,000 = 1,92 \cdot 10^3 \text{ [руб/год]}$$

где: $K_{ОБ}$ и $K_{ПЛ}$ – затраты, связанные с покупкой оборудования и арендой площадей; $E_{Н}$ – коэффициент, учитывающий срок эксплуатации оборудования; K_1 – коэффициент, учитывающий налоги при покупке, затраты на доставку, монтаж, ввод в эксплуатацию оборудования; $Ц_{ОБ}$ – рыночная цена единицы оборудования.

$K_{ПЛ} = K_{ПЛ} + K_{СПЛ} = Ц_{АРПЛ} \cdot S_{ОБ} \cdot \gamma + Ц_{АСПЛ} \cdot S_{СР} \cdot n_{Р} = 200 \cdot 1,76 \cdot 5 + 200 \cdot 0,7 \cdot 0,25 = 1,795 \cdot 10^3 \text{ [руб/год]}$, где: $Ц_{АРПЛ}$ – цена аренды квадратного метра производственных площадей за год; $S_{ОБ}$ – площадь единицы оборудования; γ – коэффициент дополнительных площадей; $Ц_{АСПЛ}$ – цена аренды квадратного метра служебных площадей за год; $S_{СР}$ – служебная площадь на одного рабочего; $n_{Р}$ – количество обслуживающих АТО рабочих.

$$K_{ГОП} = (K_{ОБ} + K_{ПЛ}) \cdot N_{ОБ} = (1,92 \cdot 10^3 + 1,795 \cdot 10^3) \cdot 1 = 3,715 \cdot 10^3 \text{ [руб/год]};$$

переменных

$$C_{\text{ГОП}} = C'_{\text{ГОП}} + K_{\text{НЕЗ}}$$

$$C'_{\text{ГОП}} = (C \cdot T_{\text{ШК}} + C_{\text{БР}} + C_{\text{ЭК}}) \cdot N_{\text{ЭКМ}} \cdot N_{\text{ЗМ}} \cdot N_{\text{А}}$$

$$C = C_3 + C_{\text{ОБ}} + C_{\text{ЭЛ}} + C_{\text{АМ}} + C_{\text{ОСН}} + C_{\text{ПЛ}} + C_{\text{Ц}}$$

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

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

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

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 - коэффициент, учитывающий класс точности.

$$C_{\text{ЭЛ}} = \frac{C_{\text{КВЧ}} \cdot N_{\Sigma} \cdot K_{\text{АМ}} \cdot K_{\text{АВ}} \cdot K_{\text{Л}}}{\eta} = \frac{0,04 \cdot 11,5 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,05}{0,95} = 0,2847 \text{ [руб/час]} - \text{затраты}$$

на электроэнергию; $C_{\text{КВЧ}}$ - 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;

$$C_{\text{АМ}} = \frac{C_{\text{ОБ}} \cdot a}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{10\,000 \cdot 0,2}{4100} = 0,4878 \text{ [руб/час]} - \text{затраты на амортизацию};$$

$C_{\text{ОБ}}$ - рыночная цена единицы оборудования; a - коэффициент амортизационных отчислений;

$$C_{\text{ОСН}} = \frac{\Sigma K_{\text{ПР}}}{Z_{\text{ОСН}} \cdot F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{400}{2 \cdot 4100} = 0,0488 \text{ [руб/час]} - \text{затраты на оснастку}; \Sigma K_{\text{ПР}}$$

- суммарные затраты на приобретение оснастки (стол ПС); $Z_{\text{ОСН}}$ - количество лет эксплуатации оснастки;

$$C_{\text{ПЛ}} = \frac{C_{\text{ЭПЛ}} \cdot S_{\text{ОБ}} \cdot \gamma}{F_{\text{ГЭФ}}} + \frac{C_{\text{ЭСЛ}} \cdot S_{\text{ПР}} \cdot n_{\text{Р}}}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{20 \cdot 1,76 \cdot 4,5}{4100} + \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 0,25}{4100} = 0,0395 \text{ [руб/час]} -$$

затраты на эксплуатацию производственных и служебных площадей; $C_{\text{ЭПЛ}}$ - цена эксплуатации одного квадратного метра производственных площадей в год; $S_{\text{ОБ}}$ - площадь, занимаемая одной единицей оборудования; γ - коэффициент дополнительных площадей; $C_{\text{ЭСЛ}}$ - цена эксплуатации одного квадратного метра служебных площадей в год; $S_{\text{ПР}}$ - служебная площадь, приходящаяся на одного рабочего;

$$C_{\text{Ц}} = 0,4 \cdot C_3 = 0,4 \cdot 0,285 = 0,114 \text{ [руб/час]} - \text{цеховые расходы};$$

$$C = C_3 + C_{\text{ОБ}} + C_{\text{ЭЛ}} + C_{\text{АМ}} + C_{\text{ОСН}} + C_{\text{ПЛ}} + C_{\text{Ц}} = \\ = 0,285 + 0,186 + 0,2847 + 0,4878 + 0,049 + 0,0395 + 0,114 = 1,446 \text{ [руб/час]}$$

$$C'_{\text{ГОП}} = (C \cdot T_{\text{ШК}} + C_{\text{БР}} + C_{\text{ЭК}}) \cdot N_{\text{ЭКМ}} \cdot N_{\text{ЗМ}} \cdot N_{\text{А}}$$

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

$$= \frac{0,01 \cdot \frac{250}{192} \cdot 0,05 + 0,9 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 23}{23} = 0,016 \text{ [руб/эк]}$$

N_{EP} - процент бракованных изделий; $C_{ЗРЕМ}$ - месячная зарплата ремонтника; $t_{ИСП1ЭЭ}$ - время исправления одного изделия; n_{EP} - процент бракованных компонентов ЭК; $C_{1ЭК}$ - цена одного компонента ЭК; $F_{МЭФ}$ - месячный эффективный фонд времени;

$$C_{1ЭК} = \frac{1}{n_{оп}} \cdot \left(\frac{C_{1ЭК} \cdot N_{ЭКЭМ} + C_{1ПП}}{N_{ЭКЭМ}} \right) = \frac{1}{7} \cdot \left(\frac{2 \cdot 23 + 8}{23} \right) = 0,335 \text{ [руб/эк]}$$

$C_{1ПП}$ - цена одной платы ПП;

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

$$(1,446 \cdot 2,82 \cdot 10^{-4} + 0,016 + 0,335) \cdot 23 \cdot 10^4 \cdot 50 = 4,04 \cdot 10^6 \text{ [руб/год]}$$

$K_{НЕЗ}$ - количество связанных незавершенным производством средств:

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

$$= 0,3 \cdot 23 \cdot 10^4 \cdot \left(0,335 + \frac{4,04 \cdot 10^6}{2 \cdot 23 \cdot 10^4} \right) \cdot \frac{1,1}{7} = 9,88 \cdot 10^5 \text{ [руб/год]}$$

σ - коэффициент, учитывающий увеличение размера незавершенного производства.

$C_{ГОП} = C'_{ГОП} + K_{НЕЗ} = 4,04 \cdot 10^6 + 9,88 \cdot 10^5 = 5,03 \cdot 10^6 \text{ [руб/год]}$ - годовые переменные затраты на технологические операции;

$K_{ТР} = 0,2 \cdot C_{ГОП} = 0,2 \cdot 3,715 \cdot 10^3 = 0,743 \cdot 10^3 \text{ [руб/год]}$ - постоянные годовые транспортные затраты;

$C_{ТР} = 0,2 \cdot C_{ГОП} = 0,2 \cdot 5,039 \cdot 10^6 = 10^6 \text{ [руб/год]}$ - переменные годовые транспортные затраты;

$$P_{оп} = \frac{Q_{ГОП}}{(K_{ГОП} + C_{ГОП} + K_{ТР} + C_{ТР})} = \frac{1,27 \cdot 10^7}{(3,715 \cdot 10^3 + 5,039 \cdot 10^6 + 0,743 \cdot 10^3 + 10^6)} = 2,1 \text{ [эк/руб]}$$

- комплексный показатель эффективности операции.

Пример 3. Расчет эффективности операции контроля ЭМ в РТК ГАСК на основе автомата Magsoni (с использованием табл. 1-6 Л. 14)

Выполняемые операции: контроль, касетирование электронных модулей (ЭМ).

Исходные данные: $Q_{П} = 60 \text{ эм/час} \times 23 \text{ эк/эм} = 1380 \text{ эк/час}$; $S = 1,8 \text{ м}^2$; $N_{\Sigma} = 3,0 \text{ кВт}$; $C_{ОВ} = 150 \text{ 000 руб}$; $N_{ЭКЭМ} = 23 \text{ ис}_2/\text{эм}$; $N_{ЭМ} = 10^4 \text{ эм/год}$; $N_A = 50 \text{ тип эм/год}$.

Расчет трудоемкости, производительности и требуемого количества оборудования

штучно-калькуляционное время

$$T_{ШК} = T_0 + T_В + T_{отд} + T_{обс} = \frac{1,05}{Q_{П}} + T_{обс} ,$$

где: $Q_{\text{П}}$ – часовая паспортная производительность автомата; $T_{\text{ОБС}}$ и $T_{\text{ПЕР}}$ – время на обслуживание и переналадку автомата.

$$T_{\text{ОБС}} = \frac{t_{\text{ЭКПП}} + t_{\text{ЗПП}}}{N_{\text{КПП}}} = \frac{1,67 \cdot 10^{-2}}{20} + \frac{0,28 \cdot 10^{-2}}{23} = 1,58 \cdot 10^{-4} [\text{час/эк}] \quad - \quad \text{время}$$

обслуживания;

где: $t_{\text{ЭКПП}}$ – время смены кассеты с платами; $t_{\text{ЗПП}}$ – время загрузки одной платы; $N_{\text{КПП}}$ – количество плат в накопителе;

$$T_{\text{ШК}} = \frac{1,05}{Q_n} + T_{\text{ОБС}} = \frac{1,05}{1380} + 1,58 \cdot 10^{-4} = 9,19 \cdot 10^{-4} [\text{час/эк}].$$

Производительность

Часовая фактическая производительность

$$Q_{\text{Ч}} = \frac{k_z \cdot \rho \cdot K_{\text{П}}}{T_{\text{ШК}}} = \frac{0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,99}{9,19 \cdot 10^{-4}} = 0,95 \cdot 10^3 [\text{эк/час}]$$

$Q_{\text{Ч}}$, $Q_{\text{Г}}$ – часовая и годовая фактическая производительность автомата; K_z – коэффициент загрузки; ρ – коэффициент готовности оборудования к работе; $K_{\text{П}}$ – коэффициент технологических потерь;

$$Q_{\text{Г}} = Q_{\text{Ч}} \cdot F_{\text{ГЭФ}} = 0,95 \cdot 10^3 \cdot 4100 = 3,89 \cdot 10^6 [\text{эк/год}];$$

$Q_{\text{ГОП}} = Q_{\text{Ч}} \cdot F_{\text{ГЭФ}} \cdot N_{\text{ОБ}} = 0,95 \cdot 10^3 \cdot 4100 \cdot 3 = 1,168 \cdot 10^7 [\text{эк/год}]$ – годовая производительность операции.

Требуемое количество единиц оборудования

$$N_{\text{ОБ}} = \frac{N_{\text{ЭКЭМ}} \cdot N_{\text{ЭМ}} \cdot N_{\text{А}}}{Q_{\text{Г}}} = \frac{23 \cdot 10^4 \cdot 50}{3,89 \cdot 10^6} = 2,956 \cdot [\text{ед/год}], \text{ принимаем 3 единицы}$$

АТО.

Расчет годовых производственных затрат на технологические операции

постоянных

$$K_{\text{ГОП}} = (K_{\text{ОБ}} + K_{\text{ПЛ}}) \cdot N_{\text{ОБ}}$$

$$K_{\text{ОБ}} = E_{\text{Н}} \cdot K_1 \cdot C_{\text{ОБ}} = 0,167 \cdot 1,13 \cdot 150\,000 = 2,83 \cdot 10^4 [\text{руб/год}]$$

где: $K_{\text{ОБ}}$ и $K_{\text{ПЛ}}$ – затраты, связанные с покупкой оборудования и арендой площадей; $E_{\text{Н}}$ – коэффициент, учитывающий срок эксплуатации оборудования; K_1 – коэффициент, учитывающий налоги при покупке, затраты на доставку, монтаж, ввод в эксплуатацию оборудования; $C_{\text{ОБ}}$ – рыночная цена единицы оборудования.

$K_{\text{ПЛ}} = K_{\text{ПЛП}} + K_{\text{СПЛ}} = C_{\text{ПЛП}} \cdot S_{\text{ОБ}} \cdot \gamma + C_{\text{СПЛ}} \cdot S_{\text{Р}} \cdot n_{\text{Р}} = 20018 \cdot 4,5 + 20007 \cdot 0,25 = 1,655 \cdot 10^5 [\text{руб/год}]$
 где: $C_{\text{ПЛП}}$ – цена аренды квадратного метра производственных площадей за год; $S_{\text{ОБ}}$ – площадь единицы оборудования; γ – коэффициент дополнительных площадей; $C_{\text{СПЛ}}$ – цена аренды квадратного метра служебных площадей за год; $S_{\text{Р}}$ – служебная площадь на одного рабочего; $n_{\text{Р}}$ – количество обслуживающих АТО рабочих.

$$K_{\text{ГОП}} = (K_{\text{ОБ}} + K_{\text{ПЛ}}) \cdot N_{\text{ОБ}} = (2,83 \cdot 10^4 + 1,655 \cdot 10^5) \cdot 3 = 1,34 \cdot 10^5 [\text{руб/год}];$$

переменных

$$C_{\text{ГОП}} = C'_{\text{ГОП}} + K_{\text{НЕЗ}}$$

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

$$C = C_3 + C_{\text{ОБ}} + C_{\text{ЭЛ}} + C_{\text{АМ}} + C_{\text{ОСН}} + C_{\text{ПЛ}} + C_{\text{Ц}}$$

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

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

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

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.

$$C_{\text{ЭЛ}} = \frac{C_{1\text{КВЧ}} \cdot N_{\Sigma} \cdot K_{\text{АМ}} \cdot K_{\text{АВ}} \cdot K_{\text{Л}}}{\eta} = \frac{0,04 \cdot 3 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,05}{0,95} = 0,074 \text{ [руб/час]} -$$

затраты на электроэнергию; $C_{1\text{КВЧ}}$ - 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;

$$C_{\text{АМ}} = \frac{C_{\text{ОБ}} \cdot a}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{150\,000 \cdot 0,2}{4100} = 7,317 \text{ [руб/час]} - \text{затраты на амортизацию;}$$

$C_{\text{ОБ}}$ - рыночная цена единицы оборудования; a - коэффициент амортизационных отчислений;

$$C_{\text{ОСН}} = \frac{\Sigma K_{\text{ПР}}}{Z_{\text{ОСН}} \cdot F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{400}{2 \cdot 4100} = 0,0488 \text{ [руб/час]} - \text{затраты на оснастку; } \Sigma K_{\text{ПР}}$$

- суммарные затраты на приобретение оснастки (стол ПС); $Z_{\text{ОСН}}$ - количество лет эксплуатации оснастки;

$$C_{\text{ПЛ}} = \frac{C_{\text{ЭПЛ}} \cdot S_{\text{ОБ}} \cdot \gamma}{F_{\text{ГЭФ}}} + \frac{C_{\text{ЭСПЛ}} \cdot S_{\text{СР}} \cdot n_{\text{Р}}}{F_{\text{ГЭФ}}} = \frac{20 \cdot 1,8 \cdot 4,5}{4100} + \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 0,25}{4100} = 0,3958 \text{ [руб/час]} -$$

затраты на эксплуатацию производственных и служебных площадей; $C_{\text{ЭПЛ}}$ - цена эксплуатации 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; $S_{\text{СР}}$ - служебная площадь, приходящаяся на одного рабочего;

$$C_{\text{Ц}} = 0,4 \cdot C_3 = 0,4 \cdot 0,285 = 0,114 \text{ [руб/час]} - \text{цеховые расходы;}$$

$$C = C_3 + C_{\text{ОБ}} + C_{\text{ЭЛ}} + C_{\text{АМ}} + C_{\text{ОСН}} + C_{\text{ПЛ}} + C_{\text{Ц}} =$$

$$= 0,285 + 0,186 + 7,317 + 0,074 + 0,396 + 0,114 = 8,372 \text{ [руб/час]}$$

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

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

$$= \frac{0,01 \cdot \frac{250}{192} \cdot 0,05 + 0,9 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 23}{23} = 0,016 [\text{руб} / \text{эк}]$$

$N_{БР}$ - процент бракованных ячеек; $C_{ЗРЕМ}$ - месячная зарплата ремонтника; $t_{ИСП1ЭЭ}$ - время исправления одной ячейки; $n_{БР}$ - процент бракованных компонентов ЭК; $C_{1ЭК}$ - цена одного компонента ЭК; $F_{МЭФ}$ - месячный эффективный фонд времени;

$$C_{1ЭК} = \frac{1}{n_{ОП}} \cdot \left(\frac{C_{1ЭК} \cdot N_{ЭКЭМ} + C_{1ПП}}{N_{ЭКЭМ}} \right) = \frac{1}{7} \cdot \left(\frac{2 \cdot 23 + 8}{23} \right) = 0,335 [\text{руб} / \text{эк}]$$

$C_{1ПП}$ - цена одной платы ПП;

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

$$(8,372 \cdot 9,19 \cdot 10^{-4} + 0,016 + 0,2087) \cdot 23 \cdot 10^4 \cdot 50 = 2,67 \cdot 10^6 [\text{руб} / \text{год}]$$

$K_{НЕЗ}$ - количество связанных незавершенным производством средств:

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

$$= 0,3 \cdot 23 \cdot 10^4 \cdot \left(0,335 + \frac{2,67 \cdot 10^6}{2 \cdot 23 \cdot 10^4} \right) \cdot \frac{1,1}{7} = 6,66 \cdot 10^4 [\text{руб} / \text{год}]$$

σ - коэффициент, учитывающий увеличение размера незавершенного производства.

$C_{ГОП} = C'_{ГОП} + K_{НЕЗ} = 2,67 \cdot 10^6 + 6,66 \cdot 10^4 = 2,74 \cdot 10^6 [\text{руб} / \text{год}]$ - годовые переменные затраты на технологические операции;

$K_{ТР} = 0,2 \cdot K_{ГОП} = 0,2 \cdot 1,34 \cdot 10^5 = 0,358 \cdot 10^5 [\text{руб} / \text{год}]$ - постоянные годовые транспортные затраты;

$C_{ТР} = 0,2 \cdot C_{ГОП} = 0,2 \cdot 2,74 \cdot 10^6 = 0,55 \cdot 10^6 [\text{руб} / \text{год}]$ - переменные годовые транспортные затраты.

$$P_{ОП} = \frac{Q_{ГОП}}{(K_{ГОП} + K_{ТР} + C_{ГОП} + C_{ТР})} = \frac{1,168 \cdot 10^7}{(1,34 \cdot 10^5 + 0,358 \cdot 10^5 + 2,74 \cdot 10^6 + 0,55 \cdot 10^6)} = 3,38 [\text{эк} / \text{руб}]$$

- комплексный показатель эффективности операции.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под гибким производственным модулем ГПМ
2. Что понимается под робото-техническим комплексом РТК
3. Что понимается под сборочным центром СБЦ
4. Какие разновидности РТК известны
5. Какие виды оснастки необходимы для автоматической работы ГПМ
6. Какие виды оснастки необходимы для автоматической работы РТК
7. Какие виды оснастки необходимы для автоматической работы СБЦ

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.: МІТУ, 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 пленарными 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.Иванов Ю.В. Курсовая работа по автоматизированному производству электронных систем: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. - 30 с.
- 15.Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования оптимальных операций сборки электронной аппаратуры на автоматах гибких автоматизированных комплексов: Уч. пособие. - МГТУ, 2004 - 47 с.
- 16.Иванов Ю.В. Проектирование простых роботизированных комплексов сборки электронной аппаратуры: Уч. пособие. - МГТУ, 2004. - 44 с.

- 17.Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования сложных роботизированных сборки электронной аппаратуры : Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. - 46 с.
- 18.Иванов Ю.В. Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МПУ, 2004. - 31 с.
- 19.Иванов Ю.В. Технологические автомаги — основа автоматизированных комплексов сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. - 41 с.
- 20.Иванов Ю.В. Обеспечение технологических требований гибкого автоматизированного производства в оборудовании и оснастке сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. - 52 с.
- 21.Иванов Ю.В. Адаптация электронной аппаратуры к условиям сборки в гибких автоматизированных комплексах: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. - 28 с.
- 22.Иванов Ю.В. Автореферат докторской диссертации: Методы и средства проектирования технологических структур гибких автоматизированных сборочных комплексов многономенклатурного производства электронной аппаратуры. - М.: МГТУ, 2003.
- 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. Машиностроение. - 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.Автоматизация и механизация сборки и монтажа узлов на печатных платах/А.В. Егунов, Б.Л. Жоржолиани, В.Г. Журавский; Под редакцией В.Г. Журавского. - М.: Радио и связь, 1988. - 280 с.
- 28.Иванов Ю.В. Автоматизированная адаптация изделий ЭМ к условиям сборки в ГАСК// Весн. МГТУ. I Приборост-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
- 32.Новиков О.А., Петухов С.И.. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. -М.: Советское радио. 1969.-400 с.

Оглавление

Введение	3
Принципы построения ГПМ, РТК и СБЦ	4
Классификация ГПМ, РТК и СБЦ	4
Структурные схемы роботизированных комплексов сборки	7
Технологическая оснастка ГПМ, РТК, СБЦ	13
Серийные ГПМ, РТК, СБЦ	24
Проектирование ГПМ, РТК, СБЦ сборки ЭМ	24
Особенности технологии сборки ЭМ в ГПМ, РТК, СБЦ	25
Разработка компоновки ГПМ, РТК, СБЦ	27
Расчеты при проектировании ГПМ, РТК, СБЦ	27
Примеры расчетов при проектировании ГПМ, РТК, СБЦ	27
Контрольные вопросы	36
Литература	36