

Московский государственный технический университет  
им. Н. Э. Баумана

---

Ю. В. Иванов

**Автоматизация проектирования загрузочных устройств  
электронных компонентов для автоматизированной сборки электронной  
аппаратуры**

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

МГТУ им. Н.Э. Баумана

2002

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

Ю. В. Иванов

И18 Автоматизация проектирования загрузочных устройств электронных компонентов для автоматизированной сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002,- 33 с.

ISBN 5-7038-2167-3

Рассмотрены автоматические загрузочные устройства (АЗУ), применяемые при сборке электронных модулей, методика комплексного расчета АЗУ на точность, надежность, производительность, стоимость а также алгоритм и программное обеспечение автоматизированного проектирования АЗУ.

Материал пособия направлен на повышение эффективности сборочного оборудования производства электронной аппаратуры за счет уменьшения трудоемкости разработки АЗУ путем автоматизации их проектирования.

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 ЭВА\РЭА . Илл. 7. Табл. 1. Библиогр. 7 назв.

УДК 658.52.01.56

ББК 32.965

Юрий Викторович Иванов

Автоматизация проектирования загрузочных устройств электронных компонентов для автоматизированной сборки электронной аппаратуры

Редактор О. И. Королева

Корректор Г.С. Беляева

Подписано в печать 06.11. Формат 60x84/16. Бумага офсетная.

Печ. л. 1,42. Усл. печ. л. 1,35. Уч.-изд. л. 1,3. Тираж 300 экз. Заказ N<±9г .

МГТУ им. Н. Э. Баумана  
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

ISBN 5-7038-2167-3

© Типография МГТУ им. Н. Э. Баумана



## Работа № 8. Автоматизированное проектирование АЗУ

Автоматические загрузочные устройства (АЗУ) для электронных компонентов (ЭК) выполняют накопление, ориентацию, отделение и поштучную выдачу ЭК в место захвата его сборочной головкой. По виду объекта (типа ЭК) различают АЗУ для электрорадиоэлементов (ЭРЭ), интегральных микросхем со штырьковыми выводами (ИС2), интегральных микросхем с планарными выводами (ИС4), компонентов поверхностного монтажа (SMD), деталей электронной аппаратуры (ЭА).

По степени универсальности их делят на специальные, специализированные и универсальные.

Рассмотрим наиболее распространенные в производстве ЭА АЗУ.

### Специальные и специализированные АЗУ

#### Кассетные АЗУ для электронных компонентов

Кассетные АЗУ относятся к специализированным автоматическим устройствам и предназначены для накопления, комплектации и поштучной выдачи электронных компонентов ЭК (интегральных микросхем ИС, блоков резисторов). Они содержат: кассеты, объединенные в блоки, пеналы, магазины; механизмы поштучного отделения; транспортные устройства. Чаще всего используют трубчатые кассеты, где ИС одного типа и одинаковой ориентации по ключу расположены столбцом торец к торцу; механизмы поштучного отделения - электромагнитные или механического действия. В качестве транспортных устройств применяют: наклонный лоток, линейный транспортер, каретку, барабан или карусель.

Кассетные АЗУ с наклонным лотком (рис. 1 а) предназначены для накопления, комплектации и поштучной выдачи микросхем ИС2. Здесь трубчатые кассеты 1 объединены наклонным лотком 2. По команде от системы ЧПУ срабатывает устройство поштучного отделения 3 той кассеты, где находится нужная в данный момент ИС. Она выпадает из кассеты на наклонный лоток и под действием собственного веса скользит к месту выдачи - упору 4.

Кассетные АЗУ с линейным транспортером (рис. 1, б) предназначены для накопления, комплектации и поштучной выдачи микросхем ИС2. Трубчатые кассеты 2, в которых находятся микросхемы со штырьковыми выводами ИС 2, объединены в блоки с помощью планок 1. По команде системы ЧПУ у той кассеты, где расположены нужные ИС, срабатывает электромагнитное устройство поштучного отделения. ИС выпадает из кассеты на транспортер и доставляется им к месту выдачи СГ (до упора).

Кассетные АЗУ пенального типа с кареткой (рис. 1 г) предназначены для накопления, комплектации и поштучной выдачи микросхем ИС2. Трубчатые кассеты с ИС 2 здесь объединены в пеналы 3, которые установлены на каретку 5. Каретка имеет индивидуальный привод 1 линейного перемещения. По команде от системы ЧПУ каретка перемещается так, что кассета и пенал с нужной ИС останавливается в зоне выдачи ИС. Срабатывает механическое устройство поштучного отделения нижней кассеты пенала и под действием сжатого воздуха ИС выталкивается из кассеты до упора.

Кассетные АЗУ барабанного типа (рис. 1 д) предназначены для накопления и поштучной выдачи микросхем с планарными выводами ИС. Микросхемы ИС лежат автономно на полках кассет этажерочного типа. Кассеты 4 закреплены по периферии барабана 1. По команде от системы ЧПУ привод 6 поворачивает барабан до тех пор, пока код планки 5 не совпадет с кодом, записанным в управляющей программе УТП



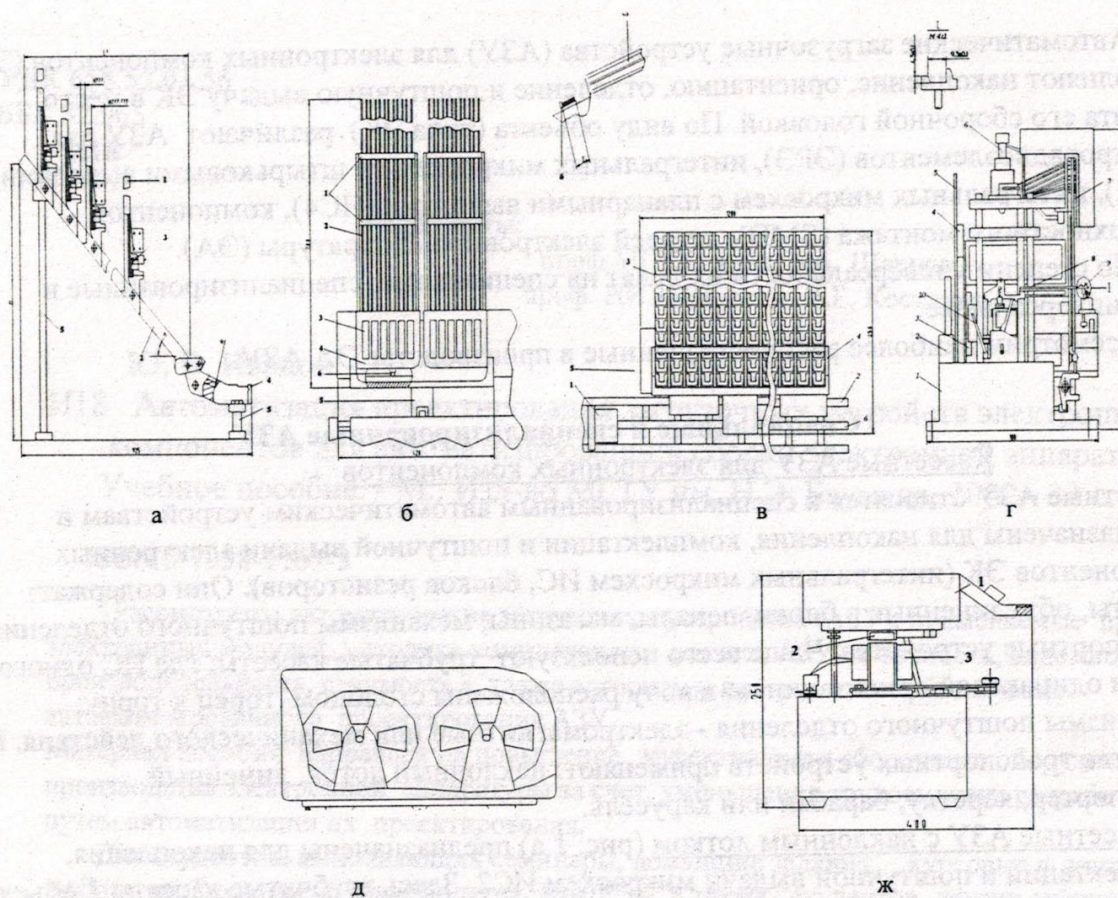


Рис. 1. Примеры загрузочных устройств монтажных автоматов сборки ЭЯ:

а - с наклонным лотком, б - с ленточным транспортером, в - с кареткой (для ИС2);  
 г - барабанный (для ИС4); для ЭРЭ (д - ленточного типа); ж - вибробункерный

нужными ИС останавливается в положении выгрузки. ИС выталкивается механизмом 8 на ориентирующий стол 9. Последний при необходимости ориентации поворачивает ИС на 90 градусов по часовой или против часовой стрелки. Захват ИС, транспортировку в зону монтажа и установку на плату выполняет манипулятор с вакуумным захватом.

#### Специальные АЗУ

Из специальных АЗУ в производстве ЭА получили распространение дисковые, крючковые, секторные, трубчатые бункерные АЗУ (БЗУ). Свое название они получили по типу ориентирующего устройства. Дисковые БЗУ предназначены для деталей типа валик (гладких, ступенчатых); крючковые - для деталей типа втулка, колпачок; секторные - для деталей со шляпками типа гвоздь; трубчатые - для деталей типа шайба (подробно о таких БЗУ см. [ 2]).



### Универсальные АЗУ

К универсальным АЗУ относятся вибробункерные загрузочные устройства (ВБЗУ). Универсальность ВБЗУ достигается за счет вибрационного движения компонентов по лотку, которое позволяет перемещать и сравнительно просто ориентировать различные по конфигурации и размерам компоненты. Ориентация может выполняться как контактно механическими средствами (упоры, вырезы), так и бесконтактно электромагнитными или магнитоэлектрическими средствами. Первые обеспечивают пассивную ориентацию, при которой неправильно расположенные детали сбрасываются с лотка, вторые - активную (неправильно расположенные детали поворачиваются по заданному закону, не разрежая потока деталей).

В зависимости от типа привода различают ВБЗУ с объединенным и отдельным вибрационным приводами.

Наибольшее распространение получили ВБЗУ с объединенным приводом [1, 2, 7]. Применяются различные варианты ВБЗУ с объединенным приводом, которые различаются количеством вибраторов, схемой питания привода; видом чаши (цилиндрическая, коническая). ВБЗУ с прямым подключением в сеть применяют для устройств с диаметром чаши до 200+250 мм; с выпрямителем - при диаметрах чаши более 250 мм.

Для сложных по конструкции изделий (объектов производства), а также для получения большей производительности применяют ВБЗУ с отдельным приводом, у которых за счет наличия управляемой горизонтальной составляющей движущей силы (отдельный вибропривод) скорость безотрывного движения изделий по лотку достигает 1,2- 2,5 м/с, тогда как в ВБЗУ с объединенным приводом она составляет 0,25 - 0,3 м/с.

### Методика проектирования СТО

Для проектирования специального технологического оснащения (СТО) сборки электронного модуля ЭМ необходимы:

- 1) чертеж печатной платы (ПП) и электронных компонентов (ЭК), устанавливаемых на ПП на данной операции (с размерами и допусками);
- 2) операционную карту сборки ЭМ;
- 3) годовую программу выпуска ЭМ и номенклатуру;
- 4) альбомы (справочники) типовых конструкций СТО;
- 5) паспортные данные на сборочный станок для данной операции;
- 6) данные о стоимости типовых СТО.

При проектировании СТО разрабатывают или выбирают структурную схему, схему базирования, материалы, элементы, приводы; выполняют расчеты: конструктивных параметров, энергетический, на точность, надежность, производительность, стоимость; сравнивают результаты с допустимыми значениями; определяют основные характеристики механизмов ориентации, захвата, накопления, фиксации, привода. По результатам проектирования разрабатывают конструкторскую документацию (КД), изготавливают СТО в металле, выполняют наладку и сдают в производство. При автоматизированном проектировании эти действия выполняют с максимальным использованием ЭВМ. На основе сведений об изделии, ТЗ, результатов предварительных расчетов, базы данных по СТО и его элементов разработчик выбирает вид и тип (структуру) СТО.

Основными этапами проектирования СТО являются: 1. Выбор типового или разработка индивидуального СТО по структурной схеме;

2. Анализ СТО на соответствие требованиям ТЗ по технологическому назначению, точности, надежности, производительности, стоимости (выполнение расчетов и сопоставление результатов с допустимыми);



### 3. Выпуск документации КД на СТО.

Проектирование СТО рассмотрим на примере автоматического грузозачерпывающего устройства с лотком (рис. 1 а) для интегральных микросхем (ИС<sub>2</sub>) со штырьковыми выводами АЗУ<sub>ИС2</sub>.

#### Конструктивные параметры АЗУ<sub>ИС2</sub>

При расчете конструктивных параметров АЗУ<sub>ИС2</sub> определяют параметры кассеты и лотка (расчетную схему см. в табл. 1). Для расчета параметров кассеты необходимо иметь в качестве исходных параметры ИС<sub>2</sub> [длину (l<sub>ИС</sub>), ширину корпуса (b<sub>кисппп</sub>), высоту корпуса (h<sub>кис</sub>), длину выводов (l<sub>в</sub>), угол отгиба выводов (γ), количество ИС<sub>2</sub> в кассете (n<sub>иск</sub>)].

При расчете определяют: длину (L<sub>к</sub> = l<sub>ИС</sub> · n<sub>иск</sub>), ширину (B<sub>к</sub> = b<sub>ис</sub> + 1...1,5, где b<sub>ис</sub> = b<sub>кис</sub> + 2 · sin γ · l<sub>в</sub> + 0,5), высоту кассеты (H<sub>к</sub> =  $\frac{h_{кис}}{2} + l_{в} \sin \gamma + 1...1,5$ ) и параметры лотка {угол наклона (α = 40...45°), угол изгиба криволинейной части (φ<sub>кр</sub>), радиус изгиба криволинейной части (R<sub>кр</sub>), длина прямолинейной части (L<sub>пр</sub>), коэффициент трения поверхности лотка (f<sub>тр</sub>) [2]}.

Длина линейной части лотка равна:  $L_{л} = \frac{H_{к} n_{к}}{\cos \alpha}$  (1),

зазор между ИС и стенкой лотка:  $\Delta l = b_{ис} \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{l_{ис}}{b_{ис}}\right)^2}}{\sqrt{1 + f_{тр}^2}} - l_{ис}$  (2),

ширина лотка: B<sub>л</sub> = b<sub>ис</sub> + Δl,

длина дуги криволинейной части лотка:  $L_{кр} = \frac{2\pi R_{кр}}{360} \cdot \varphi_{кр}$  (3),

количество ИС в АЗУ: N<sub>ис</sub> = n<sub>к</sub> · n<sub>иск</sub>.

#### Обеспечение точности АЗУ<sub>ИС2</sub>

Расчет на точность АЗУ<sub>ИС2</sub> [точность позиционирования ИС в конце лотка (в месте захвата ИС сборочной головкой)]. Движение ИС в конце лотка останавливается упором, поэтому на точность позиционирования ИС кроме точности изготовления корпуса ИС и лотка влияет точность изготовления и установки упора.

Обоснование выбора метода обеспечения точности СТО подробно рассмотрено в [8].

В погрешности совмещения (δ<sub>с</sub>) выводов ЭК с элементами платы при сборке ЭЯ различные составляющие погрешности сгруппированы по принадлежности к собираемому изделию, его элементам, узлам сборочного оборудования и оснастки (СТО). Рассмотрим их отдельно.

Погрешность изготовления (подготовки) компонента ЭК δ<sub>изгЭК</sub>. При нормальном законе распределения погрешностей δ<sub>изгЭК</sub>:

$$z_3^{\Gamma'_{ivl}^{(p)}} = \delta_{изгЭК} = \sqrt{\delta_{смЭК}^2 + \delta_{деФВ}^2} \quad (4)$$

[при законах распределения погрешностей, отличающихся от нормального:

$$z_3^{\Gamma'_{ivl}^{(p)}} = \delta_{изгЭК} = \frac{1}{3} \sqrt{\lambda^2 \delta_{смЭК}^2 + \lambda^2 \delta_{деФВ}^2 + \delta_{деФВ}^2} \quad (5),$$



где  $\delta_{\text{смЭК}}$  – погрешность смещения выводов элемента относительно его корпуса;  $\delta_{\text{деФВ}}$  – погрешность, связанная с деформацией выводов ЭК;  $\lambda_i$  – коэффициенты относительного рассеивания соответствующих погрешностей].

Погрешность ( $\delta_{\text{АЗУ}}$ ) нахождения ИС<sub>2</sub> (в зоне захвата головкой (СГ) определена так: при нормальном законе распределения погрешностей

$$\delta_{\text{АЗУ}} = \sqrt{\delta_{\text{заз}}^2 + \delta_{\text{Вис}}^2 + \delta_{\text{Lис}}^2 + \delta_{\text{Вуп}}^2 + \delta_{\text{уст.уп}}^2 + \delta_{\text{изн.Вл}}^2 + \delta_{\text{изн.Зл}}^2} \quad (6),$$

при законах распределения погрешностей, отличающихся от нормального

$$\delta_{\text{АЗУ}} = \frac{1}{3} \sqrt{\lambda_{\text{заз}}^2 \delta_{\text{заз}}^2 + \lambda_{\text{Вис}}^2 \delta_{\text{Вис}}^2 + \lambda_{\text{Lис}}^2 \delta_{\text{Lис}}^2 + \lambda_{\text{Вуп}}^2 \delta_{\text{Вуп}}^2 + \lambda_{\text{уст.уп}}^2 \delta_{\text{уст.уп}}^2 + \lambda_{\text{изн.Вл}}^2 \delta_{\text{изн.Вл}}^2 + \lambda_{\text{изн.Зл}}^2 \delta_{\text{изн.Зл}}^2} \quad (7)$$

{где:  $\delta_{\text{Вис}}^2$ ,  $\delta_{\text{Lис}}^2$  – допуск на изготовление корпуса ИС по ширине и длине корпуса;

$\delta_{\text{Вуп}}$  – допуск на ширину упора;  $\delta_{\text{уст.уп}}$  – допуск на установку упора;  $\delta_{\text{изн.В}}$  – допуск на ширину лотка с учетом его износа;  $\delta_{\text{изн.З}}$  – допуск на высоту лотка с учетом его износа (износ покрытия);  $\delta_{\text{заз}}$  – зазор между корпусом ИС и стенками лотка}.

### Надежность АЗУ

Надежность АЗУ<sub>ИС2</sub> определим по  $\lambda$ - характеристикам (среднему времени наработки на отказ  $T_{\text{ср}}$ , интенсивности отказов и вероятности безотказной работы). Обоснование выбора метода обеспечения надежности СТО подробно рассмотрено в [8].

$$\text{Интенсивность отказов АЗУ: } \lambda_{\text{АЗУ}} = \frac{1}{T_{\text{л}}} + \frac{1}{T_{\text{к}}} + \frac{1}{T_{\text{эл.упр.}}} + \frac{1}{T_{\text{кр}}} \quad (8)$$

( $T_{\text{л}}$ ,  $T_{\text{к}}$ ,  $T_{\text{эл.упр.}}$ ,  $T_{\text{кр}}$  – время допустимого износа лотка, кассеты, элементов управления и крепежных элементов);

$$\text{расчетная вероятность безотказной работы АЗУ: } P(T) = e^{-\lambda_{\text{АЗУ}} \cdot T} \quad (9),$$

$$\text{средняя расчетная наработка на отказ АЗУ: } T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{АЗУ}}} \quad (10)$$

### Производительность (временная характеристика) АЗУ

$$\text{Расчетное время выборки ИС: } t_{\text{в}} = t_{\text{эмо}} + t_{\text{пад}} + t_{\text{накл}} + t_{\text{кр}} + t_{\text{пр}} \quad (11)$$

( $t_{\text{эмо}}$ ,  $t_{\text{пад}}$ ,  $t_{\text{накл}}$ ,  $t_{\text{кр}}$ ,  $t_{\text{пр}}$  – время срабатывания механизма поштучного отделения, падения ИС на лоток, время движения ИС по наклонной части лотка, – по скругленной части, – по прямолинейной части лотка)

$$\text{время выпадения ИС из кассеты на лоток: } t_{\text{пад}} = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (12)$$

( $h$  – высота расположения блока электромагнитных отсекателей над лотком,  $g$  – ускорение свободного падения),

$$\text{скорость движения ИС в конце наклонной части лотка: } v_{\text{накл}} = \sqrt{2gl_{\text{накл}}(1 - f_{\text{тр}} \text{ctg} \alpha)} \quad (13),$$

$$\text{время движения ИС по наклонной части лотка: } t_{\text{накл}} = \sqrt{\frac{2l_{\text{накл}}}{g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}} \quad (14),$$



радиус изгиба криволинейной части лотка:

$$R_{кр} = \frac{v_{накл}}{2gL_{накл} \sin \alpha \left( e^{-2f_{тр}\varphi} + A \cos \varphi + B \sin \varphi \right)} - \frac{A}{2gL_{накл} \sin \alpha} \quad (15)$$

[коэффициент  $A = -2f_{тр}$ , коэффициент  $B = -2R_{кр}gf_{тр}$ , коэффициент  $C = 2R_{кр}g$ , длина дуги криволинейной части лотка  $L_{кр} = \frac{2\pi R_{кр}}{360} \cdot \varphi_{кр}$ ), углы разбиения криволинейной

$$\text{части лотка } \varphi_i = \varphi_{кр} - i \frac{\varphi_{кр}}{m}, i = \overline{1, m}; \quad \varphi_{кр} = \varphi_0 \quad (16)],$$

скорость движения ИС по участкам разбиения криволинейной части лотка:

$$v_i = \sqrt{v_{i-1}^2 \cdot e^{A(\varphi_i - \varphi_{i-1})} + \frac{1}{1+A^2} \times \left[ (-B-AC) \cdot (\sin \varphi_i - e^{-A(\varphi_i - \varphi_{i-1})} \sin \varphi_{i-1}) + (C-AB) \cdot (\cos \varphi_i - e^{A(\varphi_i - \varphi_{i-1})} \cos \varphi_{i-1}) \right]} \quad (17)$$

$$v_0 = v_{накл},$$

$$\text{время движения ИС по криволинейной части лотка: } t_{кр} = 2R_{кр} \frac{\varphi_{кр}}{m} \sum_{i=1}^m \left( \frac{1}{v_{i-1} + v_i} \right) \quad (18),$$

$$\text{скорость движения ИС в конце прямолинейной части лотка: } v_{пр} = \sqrt{v_{кр}^2 - 2gf_{тр}L_{пр}} \quad (19),$$

$$\text{время движения ИС по прямолинейной части лотка: } t_{пр} = \frac{v_{кр} - \sqrt{v_{кр}^2 - 2gf_{тр}L_{пр}}}{f_{тр}g} \quad (20).$$

### Оценка стоимости АЗУ

Расчет годовых затрат на АЗУ:

в случае вновь разрабатываемой модели АЗУ

$$C_{осн} = \left( \frac{C_{пр} \cdot T_{пр} + C_{сб} \cdot T_{сб}}{F_{м.эф.}} + C_{накл} \right) \cdot (K_a + K_{экс}) \quad (21);$$

в случае покупной модели СТО:

$$C_{осн} = \frac{K_{осн}}{Z_{осн} \cdot F_{г.эф.}} \quad (22)$$

где:  $C_{пр}$  - денежные затраты на проектирование СТО,  $T_{пр}$  - затраты времени на проектирование СТО,  $C_{сб}$  - денежные затраты на сборку СТО,  $T_{сб}$  - затраты времени на сборку СТО,  $K_a$  - коэффициент амортизации,  $K_{экс}$  - коэффициент эксплуатации, учитывающий годовые затраты на ремонт, уход и хранение,  $C_{накл}$  - накладные расходы,  $K_{осн}$  - стоимость покупной оснастки.

Расчеты характеристик других АЗУ выполняются аналогично приведенным выше для АЗУ с лотком (отличаются расчеты конструктивных параметров, силовые и временные, которые приведены ниже в таблице.



Таблица 1.

Расчет конструктивных параметров СТО

Название параметра	Расчетная формула	Расчетная схема
<b>I. Специализированные (кассетные) АЗУ</b>		
Одноручьева трубчатая кассета (предварительный расчет)		
<i>Исходные данные:</i>		
<b>Параметры ИС</b> - длина - ширина корпуса - высота корпуса - длина выводов - угол отгиба выводов - количество ИС в кассете	$l_{ис}$ $b_{киспп}$ $h_{кис}$ $l_{в}$ $\gamma$ $n_{иск}$	
<i>Расчет:</i>		
- длина кассеты - ширина ИС - ширина кассеты - высота кассеты	$L_к = l_{ис} \cdot n_{иск}$ $b_{ис} = b_{кис} + 2 \cdot \sin \gamma \cdot l_{в} + 0,5$ $B_к = b_{ис} + 1 \dots 1,5$ $H_к = \frac{h_{кис}}{2} + l_{в} \sin \gamma + 1 \dots 1,5$	
<b>1. АЗУ с лотком</b>		
<i>Исходные данные:</i>		
<b>Параметры кассеты</b> - высота - количество кассет в АЗУ - количество ИС в кассете  <b>Параметры ИС</b> длина ширина  <b>Параметры лотка</b> - угол наклона - угол изгиба криволинейной части - радиус изгиба криволинейной части - длина прямолинейной части  <b>Прочие параметры</b> - коэффициент трения при движении детали по поверхности лотка	$H_к$ $n_к$ $n_{иск}$  $l_{ис}$ $b_{ис}$  $\alpha = 40 \dots 45^\circ$ $\varphi_{кр}$ $R_{кр}$ $L_{пр}$  $f_{тр}$	
<i>Расчет:</i>		
- длина линейной части лотка	$L_{л} = \frac{H_к n_к}{\cos \alpha}$	



Таблица 1 (продолжение)

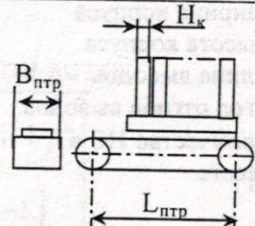
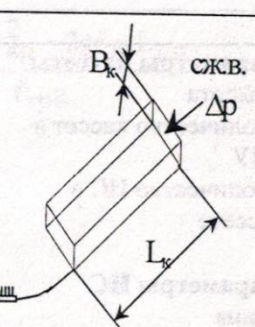
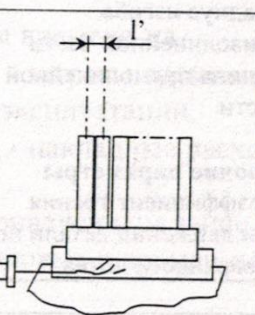
<ul style="list-style-type: none"> <li>- зазор между ИС и стенкой лотка</li> </ul>	$\Delta l = b_{ис} \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{l_{ис}}{b_{ис}}\right)^2}}{\sqrt{1 + f_{пр}^2}} - l_{ис}$	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ширина лотка</li> <li>- длина дуги криволинейной части лотка</li> </ul>	$B_{л} = b_{ис} + \Delta l$ $L_{кр} = \frac{2\pi R_{кр}}{360} \cdot \varphi_{кр}$	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- количество ИС в АЗУ</li> </ul>	$N_{ис} = n_{к} \cdot n_{иск}$	
<b>2. АЗУ с транспортером</b>		
<i>Исходные данные:</i>		
<p><b>Параметры кассеты</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- высота</li> <li>- ширина</li> <li>- количество кассет в АЗУ</li> <li>- количество ИС в кассете</li> </ul>	$H_{к}$ $B_{к}$ $n_{к}$ $n_{иск}$	
<i>Расчет:</i>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- длина ленточного транспортера</li> </ul>	$L_{лтр} = H_{к} \cdot n_{к} + (1 \dots 1,5)$	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ширина ленточного транспортера</li> </ul>	$B_{лтр} = B_{к} + (1 \dots 1,5)$	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- количество ИС в АЗУ</li> </ul>	$N_{ис} = n_{к} \cdot n_{иск}$	
<b>3. АЗУ с пневмотрактором</b>		
<i>Исходные данные:</i>		
<p><b>Параметры кассеты</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- длина</li> <li>- ширина</li> </ul>	$L_{к}$ $B_{к}$	
<i>Расчет:</i>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- длина пневмотракта</li> <li>- ширина ленточного транспортера</li> </ul>	$L_{птр} = L_{к} + (1 \dots 1,5)$ $B_{птр} = B_{к}$	
<b>4. АЗУ с кареткой</b>		
<i>Исходные данные:</i>		
<p><b>Параметры кассеты</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- длина</li> <li>- ширина</li> <li>- количество кассет в пенале</li> <li>- количество пеналов в АЗУ</li> <li>- количество ИС в кассете</li> </ul>	$L_{к}$ $B_{к}$ $n_{к}$ $n_{пен}$ $n_{иск}$	
<i>Расчет:</i>		



Таблица 1 (продолжение)

<ul style="list-style-type: none"> <li>- длина каретки</li> <li>- ширина каретки</li> <li>- величина хода каретки по оси x</li> <li>- количество ИС в АЗУ</li> </ul>	$L_{кар} = B_k \cdot n_{пен} + (1 \dots 1,5)$ $B_{кар} = L_k$ $L_x = 1,2 \cdot L_{кар}$ $N_{ис} = n_{пен} \cdot n_k \cdot n_{иск}$	
<b>5. АЗУ с барабаном</b>		
<i>Исходные данные:</i>		
<b>Параметры кассеты</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ширина</li> <li>- количество кассет в АЗУ</li> <li>- количество ИС в кассете</li> </ul>	$B_k$ $n_k$ $n_{иск}$	
<i>Расчет:</i>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- радиус поворотного барабана</li> <li>- количество ИС в АЗУ</li> </ul>	$R_б = \frac{B_k}{2 \sin\left(\frac{180}{n_k}\right)}$ $N_{ис} = n_k \cdot n_{иск}$	
<b>II. Специальные (бункерные) АЗУ</b>		
<b>1. Секторное АЗУ</b>		
<i>Исходные данные:</i>		
<b>Параметры детали</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- диаметр</li> <li>- расстояние до центра тяжести</li> </ul>	$d_n$ $b$	
<b>Параметры сектора</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- толщина стенок сектора</li> <li>- глубина опускания сектора ниже горизонтальной плоскости</li> </ul>	$h = 1,5 \dots 2,5 \text{ мм}$ $h_2$	
<i>Расчет:</i>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- длина паза сектора</li> <li>- ширина паза сектора</li> <li>- угол наклона сектора в крайнем верхнем к горизонту положении</li> <li>- угол перебега сектора</li> </ul>	$L = (10 \dots 20) \cdot d_n$ $B = 1,1 \cdot d_n$ $\alpha_1 = \arctg\left(\frac{d_n}{2b}\right)$ $\Delta = \arcsin\left(\frac{h_2}{L}\right)$	
<b>2. Шиберное АЗУ</b>		
<i>Исходные данные:</i>		
<b>Параметры детали</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- длина</li> <li>- внутренний диаметр</li> </ul>	$l_n$ $d_{н\text{ вн}}$	
<b>Параметры шибера</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- угол скоса</li> </ul>	$\alpha_1 = 45^\circ$	
<i>Расчет:</i>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- длина той части приемника, на которую</li> </ul>	$L_{пр} = (8 \dots 10) \cdot l_n$	



Таблица 1 (продолжение)

поступают заготовки из шибера		
- ширина скошенной части шибера	$b = (2,5 \dots 3,0) \cdot d_{и\text{ вн}}$	
- толщина шибера	$a_1 = b \cdot \cos \alpha_1$	
- ширина шибера	$L_1 = L_{пр} \cdot \cos \alpha$	
<b>3. Крючковое АЗУ</b> ( $l_{и} \leq 70$ ; $d_{и\text{ вн}} \geq 6$ ; $d_{и\text{ нар}} \leq 20$ ; $t_{и} \geq 0,3$ )		
<i>Исходные данные:</i>		
<b>Параметры детали</b>		
- длина	$l_{и}$	
- внутренний диаметр	$d_{и\text{ вн}}$	
- наружный диаметр	$d_{и\text{ нар}}$	
- толщина стенок	$t_{и}$	
<b>Параметры крючков</b>		
- диаметр по крючкам	$D$	
- зазор	$\Delta l$	
<i>Расчет:</i>		
- диаметр стержня крючка	$\delta = (0,4 \dots 0,6) \cdot d_{и\text{ вн}}$	
- длина загнутой части крючка	$L = (1,2 \dots 1,3) \cdot l_{и}$	
- шаг карманов	$s = L + \delta + \Delta l + l_{и}$	
- число крючков	$z = \frac{180}{\arcsin\left(\frac{L}{D}\right) + \arcsin\left(\frac{\delta}{D}\right) + \arcsin\left(\frac{\Delta l}{D}\right) + \arcsin\left(\frac{l_{и}}{D}\right)}$	
- размер окна приемника	$B = \frac{4d_{и\text{ нар}}^2 + 4Dd_{и\text{ нар}} + l_{и}^2}{4D + 4d_{и\text{ нар}}}$	
<b>4. Карманчиковые АЗУ</b>		
а) С расположением карманов по хорде ( $l_{и} \leq 80$ ; $d_{и} \leq 15$ ; $2,5 \leq \frac{l_{и}}{d_{и}} \leq 4,5$ )		
<i>Исходные данные:</i>		
<b>Параметры детали</b>		
- длина	$l_{и}$	
- диаметр	$d_{и}$	
<b>Параметры карманов рабочего диска</b>		
- толщина перегородки между карманами	$\delta$	
<b>Прочие параметры</b>		
- коэффициент трения при движении детали по поверхности диска	$f_{тр}$	
- коэффициент надежности	$n_1 = 1,2 \dots 1,5$	
<i>Расчет:</i>		
- диаметр рабочего диска	$D = (8 \dots 15) \cdot l_{и}$	
- толщина рабочего диска	$H_d = (0,8 \dots 0,9) \cdot d_{и}$	



Таблица 1 (продолжение)

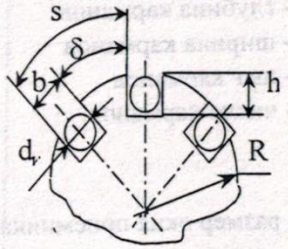
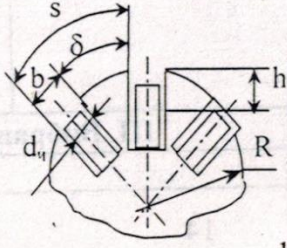
<ul style="list-style-type: none"> <li>- длина карманов</li> <li>- глубина карманов</li> <li>- шаг карманов</li> <li>- число карманов</li> <li>- размер окна приемника</li> </ul>	$L = l_n + 0,5d_n$ $b = (0,9...1) \cdot d_n$ $s = L + \delta$ $z = \frac{180}{\arcsin\left(\frac{L}{D}\right) + \arcsin\left(\frac{\delta}{D}\right)}$ $B = n_1 \sqrt{\frac{l_n^2 - d_n^2}{1 + f_{тр}^2}}$	
<p><b>б) С расположением карманов перпендикулярно плоскости диска</b></p> <p><math>(l_n \leq 50; 15 \leq d_n \leq 20; 1,25 \leq \frac{l_n}{d_n} \leq 3,0)</math></p> <p><i>Исходные данные:</i></p>		
<p><b>Параметры детали</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- длина</li> <li>- диаметр</li> </ul> <p><b>Параметры карманов рабочего диска</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- толщина перегородки между карманами</li> </ul> <p><b>Прочие параметры</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- коэффициент трения при движении детали по поверхности диска</li> <li>- коэффициент надежности</li> </ul>	$l_n$ $d_n$  $\delta$  $f_{тр}$  $n_1 = 1,2...1,5$	
<p><i>Расчет:</i></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- диаметр рабочего диска</li> <li>- толщина рабочего диска</li> <li>- длина карманов</li> <li>- глубина карманов</li> <li>- шаг карманов</li> <li>- число карманов</li> <li>- размер окна приемника</li> </ul>	$D = (8...15) \cdot l_n$ $H_d = (0,8...0,9) \cdot d_n$ $L = 1,6 \cdot d_n \text{ при } \frac{l_n}{d_n} \leq 1,6;$ $d_n < L < 1,6 \cdot d_n \text{ при } \frac{l_n}{d_n} > 1,6;$ $b = (0,9...1) \cdot l_n$ $s = L + \delta$ $z = \frac{180}{\arcsin\left(\frac{L}{D}\right) + \arcsin\left(\frac{\delta}{D}\right)}$ $B = n_1 \sqrt{\frac{l_n^2 - d_n^2}{1 + f_{тр}^2}}$	
<p><b>в) С расположением карманов по радиусу диска</b> <math>(l_n \leq 80; d_n \leq 15; 2,0 \leq \frac{l_n}{d_n} \leq 3,5)</math></p> <p><i>Исходные данные:</i></p>		
<p><b>Параметры детали</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- длина</li> <li>- диаметр</li> </ul> <p><b>Параметры карманов рабочего диска</b></p>	$l_n$ $d_n$	



Таблица 1 (продолжение)

- толщина перегородки между карманами	$\delta$	
<b>Прочие параметры</b> - коэффициент трения при движении детали по поверхности диска - коэффициент надежности	$f_{тр}$ $n_1 = 1,2 \dots 1,5$	
<i>Расчет:</i>		
- диаметр рабочего диска - толщина рабочего диска - глубина карманов - ширина карманов - шаг карманов - число карманов	$D = (8 \dots 15) \cdot l_n$ $H_d = (0,8 \dots 0,9) \cdot d_n$ $L = l_n + 0,5 \cdot d_n$ $b = (1,4 \dots 1,6) \cdot d_n$ $s = L + \delta$ $z = \frac{180}{\arcsin\left(\frac{L}{D}\right) + \arcsin\left(\frac{\delta}{D}\right)}$	
- размер окна приемника	$B = n_1 \frac{2d_n}{1 + f_{тр}^2}$	
<b>5. АЗУ с вращающейся трубкой</b> $\left( l_n \leq 60; d_n \leq 20; 1,1 \leq \frac{l_n}{d_n} \leq 3,5 \right)$		
<i>Исходные данные:</i>		
<b>Параметры детали</b> - длина - диаметр	$l_n$ $d_n$	
<b>Параметры бункера</b> - угол уклона конуса основания днища - угол конуса насадки	$\alpha_d = 45 \dots 60^\circ$ $\alpha_n = 45^\circ$	
<b>Прочие параметры</b> - коэффициент трения при движении детали по поверхности диска - коэффициент надежности	$f_{тр}$ $n_1 = 0,9 \dots 0,95$	
<i>Расчет:</i>		
- угол трения скольжения заготовок по днищу - угол наклона конуса кожуха бункера - диаметр отверстия в трубке	$\rho = \arctg(f_{тр})$ $\alpha_k = 90^\circ - 2 \cdot \rho$ $D = d_n \sqrt{\frac{\left(\frac{l_n}{d_n}\right)^2 + 1}{1 + f_{тр}^2}} \cdot n_1$ при $\frac{l_n}{d_n} \leq 2,4$ ; $D = 2 \cdot d_n \cdot n_1$ при $\frac{l_n}{d_n} > 2,4$ .	
<b>III. Вибрационное бункерное загрузочное устройство (ВБЗУ)</b>		
<i>1. Расчет параметров чаши</i>		



Таблица 1 (продолжение)

Исходные данные:		
<p><b>Параметры детали</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- длина</li> <li>- диаметр (для цилиндрических деталей)</li> <li>- ширина (для плоских деталей либо деталей сложной формы)</li> <li>- толщина (для плоских деталей либо деталей сложной формы)</li> </ul>	<p><math>l_n</math> (из временного расчета)</p> <p><math>d_n</math> (из временного расчета)</p> <p><math>b_n</math> (из временного расчета)</p> <p><math>\delta_n</math> (из временного расчета)</p>	
<p><b>Параметры чаши</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- период времени между заполнениями чаши</li> <li>- угол подъема спирального лотка</li> <li>- толщина стенки чаши</li> <li>- толщина лотка</li> <li>- зазор между деталью и направляющим буртиком</li> <li>- угол конуса</li> </ul>	<p><math>T</math></p> <p><math>\beta = 0,5 \dots 3^\circ</math></p> <p><math>\delta_c = 1 \dots 3</math> мм</p> <p><math>\delta_n = 1 \dots 3</math> мм</p> <p><math>a = 0,5 \dots 2</math> мм; при отсутствии буртика <math>a = 0</math>.</p> <p><math>\gamma_0 = 150 \dots 170^\circ</math></p>	
<p><b>Прочие параметры</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- средняя производительность ВБЗУ</li> <li>- средняя скорость движения изделий по лотку</li> <li>- коэффициент трения между изделием и материалом лотка</li> </ul>	<p><math>Q_{cp}</math> (из временного расчета)</p> <p><math>v_{cp}</math> (из временного расчета)</p> <p><math>f_{тр}</math></p>	
Расчет:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- объем изделия</li> <li>- максимальная высота изделия на лотке</li> <li>- последний шаг спирали</li> <li>- высота заполнения чаши</li> <li>- объем загружаемой партии изделий</li> <li>- внутренний диаметр чаши</li> </ul>	<p><math>V_n = \frac{\pi d_n^2}{4} l_n</math> для цилиндрических деталей;</p> <p><math>V_n = l_n \cdot b_n \cdot \delta_n</math> для плоских деталей;</p> <p><math>V_n</math> задается вручную для деталей сложной формы.</p> <p><math>d_{max} = d_n</math> для цилиндрических деталей;</p> <p><math>d_{max} = b_n</math> для плоских деталей;</p> <p><math>d_{max}</math> задается вручную для деталей сложной формы.</p> <p><math>h = 1,5 d_{max} + \delta_n</math></p> <p><math>H_p = 2,5 \cdot h</math></p> <p><math>V_d = \frac{\pi D_{вн}^2}{4} H_p</math></p> <p><math>D_{вн1} = (5 \dots 8) \cdot l_n</math>;</p> <p><math>D_{вн2} = 3 \sqrt{\frac{V_d Q_{cp} T}{\pi H_p}}</math></p>	



Таблица 1 (продолжение)

<p>- наружный диаметр чаши</p> <p>- выбор D из стандартного ряда в соответствии с расчетным значением (округление до ближайшего большего целого)</p> <p>- ширина лотка</p>	<p><math>D_{вн} = \max(D_{вн1}, D_{вн2})</math>.</p> <p><math>D = D_{вн} + 2\delta_c</math></p> <p><math>D = 63, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800 \dots (\text{мм})</math>.</p>	
<p>- средний диаметр движения деталей по лотку</p> <p>- шаг подъема спирального лотка</p> <p>- выбор t из стандартного ряда в соответствии с расчетным значением (округление до ближайшего большего целого)</p> <p>- параметр k</p>	<p><math>b_l = d_{и} + a + \sqrt{D_{вн}^2 - l_{и}^2}</math> для цилиндрических деталей;</p> <p><math>b_l = b_{и} + a + \sqrt{D_{вн}^2 - l_{и}^2}</math> для плоских деталей либо деталей сложной формы.</p> <p><math>D_{ср} = D_{вн} - b_l</math></p> <p><math>t = \pi D_{ср} \operatorname{tg} \beta</math></p> <p><math>t = 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 32, 36, 38 \dots (\text{мм})</math>.</p>	
<p>- проверка шага подъема спирального лотка на однослойность</p>	<p><math>k = \frac{\sqrt{\left(\frac{l_{и}}{d_{\max}}\right)^2 + 1}}{\sqrt{f_{тр}^2 + 1}}</math> для <math>\left(\frac{l_{и}}{d_{и}}\right) = 1 \dots 1,5</math>;</p> <p><math>k = 1,5</math> для других случаев.</p>	
<p>- полная высота чаши</p> <p>- диаметр конуса чаши</p> <p>- толщина днища чаши</p>	<p><math>t \leq k d_{\max} + \delta_l</math>.</p> <p>Если условие не выполнено, следует уменьшить угол подъема спирального лотка <math>\beta</math> и повторить расчет.</p> <p><math>H = H_p + h</math></p> <p><math>D_k = D_{вн} - 2 \cdot b_l</math></p> <p><math>H_d = 0,5 \cdot D_{вн}</math></p>	
<p><b>2. Расчет углов (бросания, направления колебаний, наклона пружинных подвесок)</b></p>		
<p style="text-align: center;"><i>Исходные данные:</i></p>		
<p><b>Питание</b></p>	<p>от сети либо с однополупериодным выпрямителем</p>	
<p><b>Режим работы (движение изделий по лотку)</b></p> <p>- без заметного отрыва, плавное</p> <p>- с подбрасыванием</p>	<p><math>R_0 = 1 \dots 1,16</math></p> <p><math>R_0 = 1,16 \dots 1,7</math></p>	
<p><b>Прочие параметры</b></p> <p>- коэффициент восстановления</p>	<p><math>k_v</math></p>	



Таблица 1 (продолжение)

<i>Расчет:</i>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- радиус верхней заделки пружинных подвесок.</li> <li>- частота вынужденных колебаний</li> </ul>	$r = (0,75 \dots 0,9) \frac{D_{cp}}{2}$ $v_b = 100 \text{ Гц при питании от сети;}$ $v_b = 50 \text{ Гц при питании с однополупериодным выпрямителем.}$	
а) Для случая $R_0 = 1 \dots 1,16$ .		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- коэффициент, учитывающий снижение средней скорости движения изделий относительно максимальной скорости лотка</li> </ul>	$k_v = (0,18 \dots 0,2) R_0 \left(1 - \frac{tg\beta}{f}\right) \cdot \left[1 + \left(1 - \frac{1}{R_0}\right)^2\right]$	
б) Для случая $R_0 = 1,16 \dots 1,7$ .		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- коэффициент</li> <li>- коэффициент, учитывающий снижение средней скорости движения изделий относительно максимальной скорости лотка</li> </ul>	$k_c = 1 - \frac{k_b}{2}$ $k_v = k_c \left(1 - \frac{1}{R_0^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{tg\beta}{f} R_0^2\right)$	
Общая часть расчета.		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- угол бросания</li> <li>- угол направления колебаний</li> <li>- угол наклона пружинных подвесок</li> </ul>	$\alpha - \beta = \arctg \frac{R_0 g \cos\beta \cdot k_v}{2\pi v_b v_{cp}}$ $\alpha = \alpha - \beta + \beta$ $\psi = \arctg \frac{R_{cp} tg\alpha}{r}$	
<b>3. Расчет колебательной системы</b>		
<i>Исходные данные:</i>		
<p><b>Масса</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- верхней части ВБЗУ</li> <li>- отношение масс верхней и нижней части ВБЗУ</li> <li>- масса детали</li> </ul> <p><b>Параметры стержней</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вид</li> <li>- длина</li> <li>- отношение ширины к длине (для стержней прямоугольного сечения)</li> <li>- количество</li> <li>- плотность материала</li> <li>- модуль упругости пружинной стали</li> <li>- предел выносливости пружинной стали</li> </ul>	$m_b$ $\frac{m_b}{m_n} = 0,15 \dots 0,3$ $m_n$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- круглого сечения;</li> <li>- прямоугольного сечения</li> </ul> $l_{ст}$ $k_{ст} = \frac{b_{ст}}{h_{ст}} = 8 \dots 15$ $n_{ст}$ $\rho_{ст}$ $E$ $[\sigma_{-1}]$	



Таблица 1 (продолжение)

<b>Прочие параметры</b>		
- коэффициент	$k_0 = 1,05 \dots 1,1$ для легких деталей; $k_0 = 1,08 \dots 1,15$ для тяжелых деталей;	
<i>Расчет:</i>		
- частота собственных колебаний вибросистемы (предварительно) - коэффициент, учитывающий влияние скручивания пружинного стержня на его жесткость	$v = k_0 \cdot v_b$  $\tau_{кр} = 1 + \frac{1}{15} \left( \frac{l_{ст}}{r} \right)^2 (\cos^2 \psi + 0,313 \sin^2 2\psi)$ для круглых стержней;  $\tau_{кр} = 1 + \frac{1}{48} \left( \frac{l_{ст}}{r} \right)^2 \left[ \left( \frac{b_{ст}}{h_{ст}} \right)^2 \sin^2 2\psi + 6,4 \left( 1 - 0,63 \frac{h_{ст}}{b_{ст}} \right) \cos^2 \psi \right]$	
- приведенная масса ВБЗУ	для стержней прямоугольного сечения. $m_{пр} = \frac{m_b m_n}{m_b + m_n}$	
а) Для круглых стержней.		
- диаметр стержней	$d_{ст} = 2 \cdot \sqrt[4]{\frac{4\pi^2 v^2 l_{ст}^3 m_{пр}}{3nE\tau_{кр}}}$	
б) Для стержней прямоугольного сечения.		
- толщина стержня	$h = \sqrt[4]{\frac{4\pi^2 v^2 l_{ст}^3 m_{пр}}{nE \left( \frac{b_{ст}}{h_{ст}} \right) \tau_{кр}}}$	
- ширина стержня	$b_{ст} = k_{ст} \cdot h_{ст}$	
Общая часть расчета.		
- масса стержней	$m_{ст} = \rho_{ст} \frac{\pi \cdot d_{ст}^2}{4} \cdot l_{ст}$ для круглых стержней; $m_{ст} = \rho_{ст} \cdot b_{ст} \cdot h_{ст} \cdot l_{ст}$ для стержней прямоугольного сечения.	
- осевой момент инерции стержня	$I_0 = \frac{m_{ст} d_{ст}^2}{64}$ для круглых стержней; $I_0 = \frac{m_{ст} (h_{ст}^2 + b_{ст}^2)}{12}$ для стержней прямоугольного сечения.	
- жесткость стержней	$C = n_{ст} \frac{12 \cdot E \cdot I_0}{l_{ст}^3} \tau_{кр}$	
- собственная частота колебательной системы	$v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{m_{пр}}}$	
- количество деталей, засыпанных в чашу	$n_n = \frac{V_d}{V_n}$	
- масса деталей, засыпанных в чашу	$G_n = n_n \cdot m_n$	
- амплитуда колебаний лотка	$A = \frac{v_{ср}}{2\pi v_b \cos(\alpha - \beta) k_v}$	



Таблица 1 (продолжение)

- относительная амплитуда колебаний приведенной массы - проверка стержней на выносливость	$A_0 = A \frac{r}{R_{CP}} \left( 1 + \frac{m_B}{m_H} \right)$ $[\sigma_{-1}] \geq 16 \frac{m_B + G_H}{\pi n_{CT} d_{CT}^3} l_{CT} \sin \psi + 3E \frac{A_0 d_{CT}}{l_{CT}^2}$ для круглых стержней; $[\sigma_{-1}] \geq \left( 3 \frac{m_B + G_H}{\pi n_{CT} b_{CT} h_{CT}^2} l_{CT} \sin \psi + 6E \frac{A_0 h_{CT}}{l_{CT}^2} \right) \times$ $\times \left( 1 + \frac{1}{12} \frac{b_{CT}}{h_{CT}} \sin^2 \psi \right)$ для стержней прямоугольного сечения. Если условие не выполнено, следует изменить длину стержней и повторить расчет.
<b>4. Расчет параметров электромагнитного вибратора</b>	
Исходные данные:	
<b>Вибраторы установлены:</b>	- нормально к пружинам; - горизонтально; - вертикально;
<b>Параметры электрической сети</b>	
- напряжение	$U_c$
- частота	$f_3$
- коэффициент изменения напряжения	$k_H = 0,75 \dots 1,0$
- допустимое значение плотности тока	$\Delta I = 2 \dots 6 \text{ А/мм}^2$
<b>Прочие параметры</b>	
- число вибраторов	$z$
Расчет:	
- динамический коэффициент	$\lambda = \left[ \left( 1 - \frac{1}{k_V^2} \right) + \frac{0,07}{\pi^2 k_V^3 v_B} \right]^{-1/2}$
- усилие, развиваемое вибраторами	$F = \frac{4\pi^2 v_B^2 m_{np} A k_V}{\lambda}$
а) Вибраторы установлены нормально к пружинам.	
- усилие, развиваемое одним вибратором - амплитуда колебаний одного вибратора	$F' = \frac{F}{z}$ $A' = \frac{A}{z}$
б) Вибраторы установлены вертикально.	
- усилие, развиваемое одним вибратором - амплитуда колебаний одного вибратора	$F' = \frac{F}{z \cdot \sin \psi}$ $A' = \frac{A}{z \cdot \sin \psi}$
в) Вибраторы установлены горизонтально.	
- усилие, развиваемое одним вибратором - амплитуда колебаний одного вибратора	$F' = \frac{F}{z \cdot \cos \psi}$ $A' = \frac{A}{z \cdot \cos \psi}$
Общая часть расчета.	
- расчетное усилие	$F_p = (1,1 \dots 1,15) F'$



Таблица 1 (окончание)

электромагнита	$U_p = k_m \cdot U_c$
- эффективное напряжение	$S_3 = A' + (0,1 \dots 0,5) \cdot 10^{-3}$
- магнитный зазор	$K_\phi = \frac{\sqrt{2F_p}}{0,1S_3}$
- конструктивный фактор	Таблица $B_m = f(K_\phi)$
- максимальное значение индукции	$S = \frac{F_p}{2,01 \cdot 10^6 \cdot B_m^2}$
- сечение магнитопровода	Таблица параметров вибратора $[l_0, l_1, l_2, h, h_1, h_2, l_3, d] = f(S)$ $B = B_m$ при питании от сети; $B = 0,5B_m$ при питании с однополупериодным выпрямителем.
- остальные параметры вибратора	
- приведенное значение индукции	$W = \frac{200\sqrt{2}U_p}{2\pi f_3 BS}$
- число витков	$\omega L_0 = 2\pi v_b \frac{9,8 \cdot 10^{-8} SW}{S_3}$
- индуктивное сопротивление электромагнита	$i_3 = \sqrt{1 + 0,5 \left(\frac{A'}{S_3}\right)^2} \cdot \frac{U_p}{\omega L_0}$ при питании от сети;
- эффективное значение тока	$i_3 = 1,72 \sqrt{1 + 0,4 \left(\frac{A'}{S_3}\right)^2} \cdot \frac{U_p}{\omega L_0}$ при питании с однополупериодным выпрямителем.
- диаметр провода	$d_{np} = \sqrt{\frac{1,27i_3}{\Delta I}}$
- коэффициент заполнения сечения катушки	Таблица $k_{zc} = f(d_{np})$
- расчетное сечение обмотки	$S_k = \frac{\pi d_m^2 W}{4k_{zc}}$

### Автоматизация проектирования СТО

Предложенная методика отличается от существующих [например, 2] автоматизацией, многовариантностью проектирования и комплексным подходом к оценке принимаемых решений при выборе лучшего варианта СТО, что позволило (~ на порядок уменьшить трудоемкость проектирования (проектирование СТО и изготовление КД занимает несколько десятков минут в сравнении с десятками часов) и увеличить эффективность использования СТО и АТО. Так (по данным одного московского машиностроительного завода) создание специального приспособления средней сложности имеет следующую трудоемкость: оформление заказа - 3 часа, проектирование и копирование - 40 часов, изготовление в металле — 110 часов, наладка — 12 часов.

Автоматизированное проектирование СТО сводится к выполнению следующих шагов:

- 1) ввод исходных данных в ЭВМ [данные об изделии, компонентах (размеры ЭМ, тип и количество ЭК, вид монтажа), печатной плате ПП (размеры ПП, диаметр и координаты базовых отверстий), оборудовании, условиях производства (программа выпуска)]; 2)



определение допустимых значений параметров точности, надежности, затрат; 3) выбор вида и типа СТО; 4) поиск готового СТО в банке (БД); 5) синтез структур СТО (если готовый не найден); 6) энергетический расчет; 7) выбор, расчет привода; 8) расчет конструктивных параметров; 9) компоновка СТО; 10) точностной расчет и сравнение результатов с допустимыми значениями (при неудовлетворительном результате отказ от рассматриваемой структуры и переход к рассмотрению другого СТО); 11) расчет надежности и сравнение результатов с допустимыми значениями; 12) временной расчет; 13) стоимостной расчет и сравнение результатов с допустимыми значениями; 14) получение предварительных результатов (окончательный выбор СТО будет сделан в tandem с оборудованием по результатам проектирования и оптимизации операции сборки по комплексному показателю эффективности  $R_{оп\ max}$ ).

Затем разрабатывают конструкторскую документацию (КД), изготавливают СТО в металле, выполняют наладку и сдают в производство.

**Алгоритм автоматизированного проектирования СТО** (рис. 2) имеет 20 блоков. Блок 1 служит для ввода исходных данных; в блоке 2 - происходит формирование допустимых значений параметров СТО; в блоках 3 и 4 - выбор вида и типа СТО; в блоке 5, 6 - поиск готового СТО. Если готовое СТО не найдено, то в блоке 16 происходит синтез структур СТО. Затем проводятся расчеты: энергетический (7), выбор и расчет привода (8), расчет конструктивных параметров СТО (9), компоновка (10), точностной расчет (11), сравнение с допустимой точностью (12), расчет надежности (13) и сравнение ее параметров с допустимыми (14), временной расчет (15), стоимостной (17, 18). Решение о выборе СТО принимается в результате совместного рассмотрения СТО и соответствующей марки оборудования при проектировании операции сборки по критерию  $R_{оп\ max}$ . Для выбранного СТО происходит изготовление конструкторской документации КД (19) и при необходимости вывод на экран монитора или принтера (20). Блоки 7 - 11, 13, 15, 17 являются сложными блоками, так как в свою очередь содержат алгоритмы выполнения соответствующих расчетов при проектировании разных типов и видов СТО, например, расчета конструктивных параметров АЗУ с лотком для ИС (рис.3), расчета конструктивных параметров карманчиковых АЗУ с расположением карманов по хорде (рис. 4) или перпендикулярно плоскости ориентирующего диска (рис. 5). На рис.6 показана блок-схема алгоритма расчета временных характеристик АЗУ с лотком.

#### ***Программное обеспечение автоматизированного проектирования СТО***

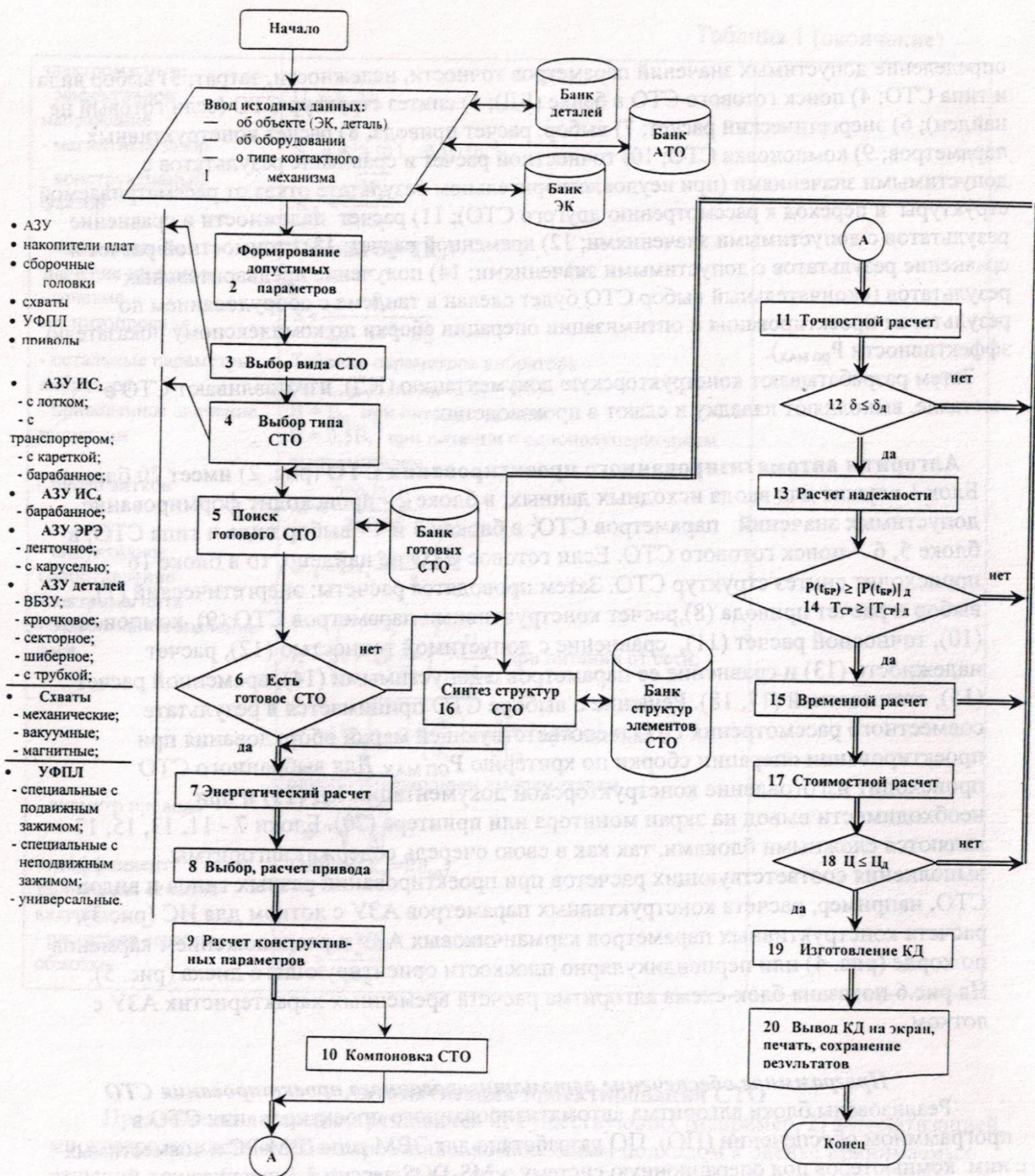
Реализованы блоки алгоритма автоматизированного проектирования СТО в программном обеспечении (ПО). ПО разработано для ЭВМ типа IBM-PC и совместимых с ним компьютеров под операционную систему - MS-DOS версии 3.1 и выше с поддержкой русскоязычной кодовой страницы (866). ПО написано на алгоритмическом языке PASKAL в среде DOS; построено по блочному принципу, имеет способность к развитию и состоит: из подпрограмм, реализующих методики расчетов, баз данных, подпрограммы обработки результатов расчета и вывода их на экран монитора или принтер.

Программа содержит: файл описания ПП (Readme.doc) и исполняемый файл ПП (STO.exe).

#### **Работа с ПО**

Для запуска ПО необходимо запустить на выполнение файл «STO.exe». После запуска ПО на экране монитора появляется название программы. После нажатия любой клавиши ПО переходит в главное меню (выбор вида СТО). В данном меню предлагается





- АЗУ
- накопители плат
- сборочные головки
- схваты
- УФПЛ
- приводы
  
- АЗУ ИС<sub>2</sub>
- с лотком;
- с транспортером;
- с кареткой;
- барабанное;
- АЗУ ИС<sub>4</sub>
- барабанное;
- АЗУ ЭРЭ
- ленточное;
- с каруселью;
- АЗУ деталей
- ВЗУ;
- крючковое;
- секторное;
- шиберное;
- с трубкой;
  
- Схваты
- механические;
- вакуумные;
- магнитные;
  
- УФПЛ
- специальные с подвижным зажимом;
- специальные с неподвижным зажимом;
- универсальные.

Рис. 2. Блок-схема алгоритма автоматизированного проектирования СТО производства электронных модулей



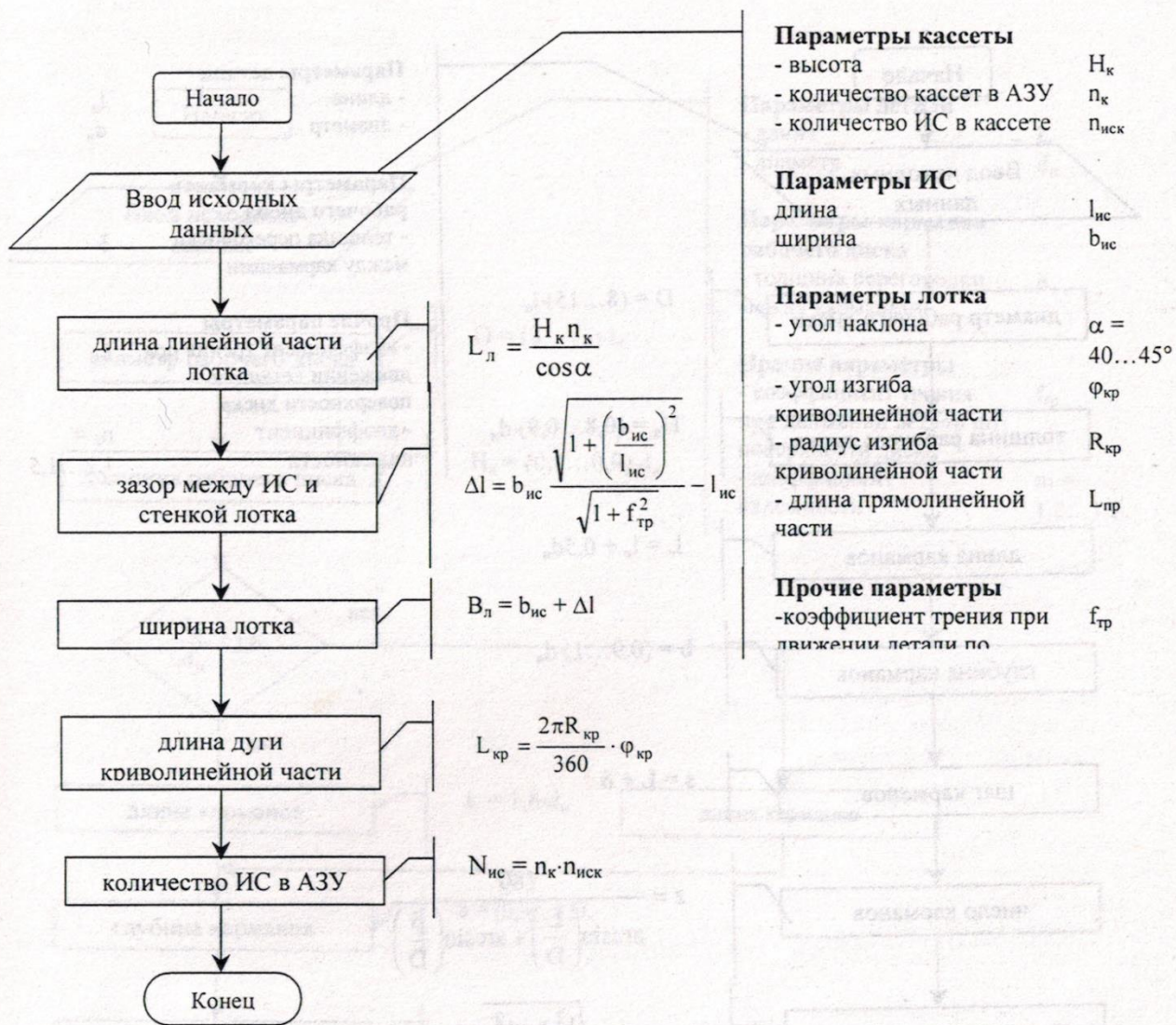


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета конструктивных параметров АЗУ с лотком для интегральных микросхем



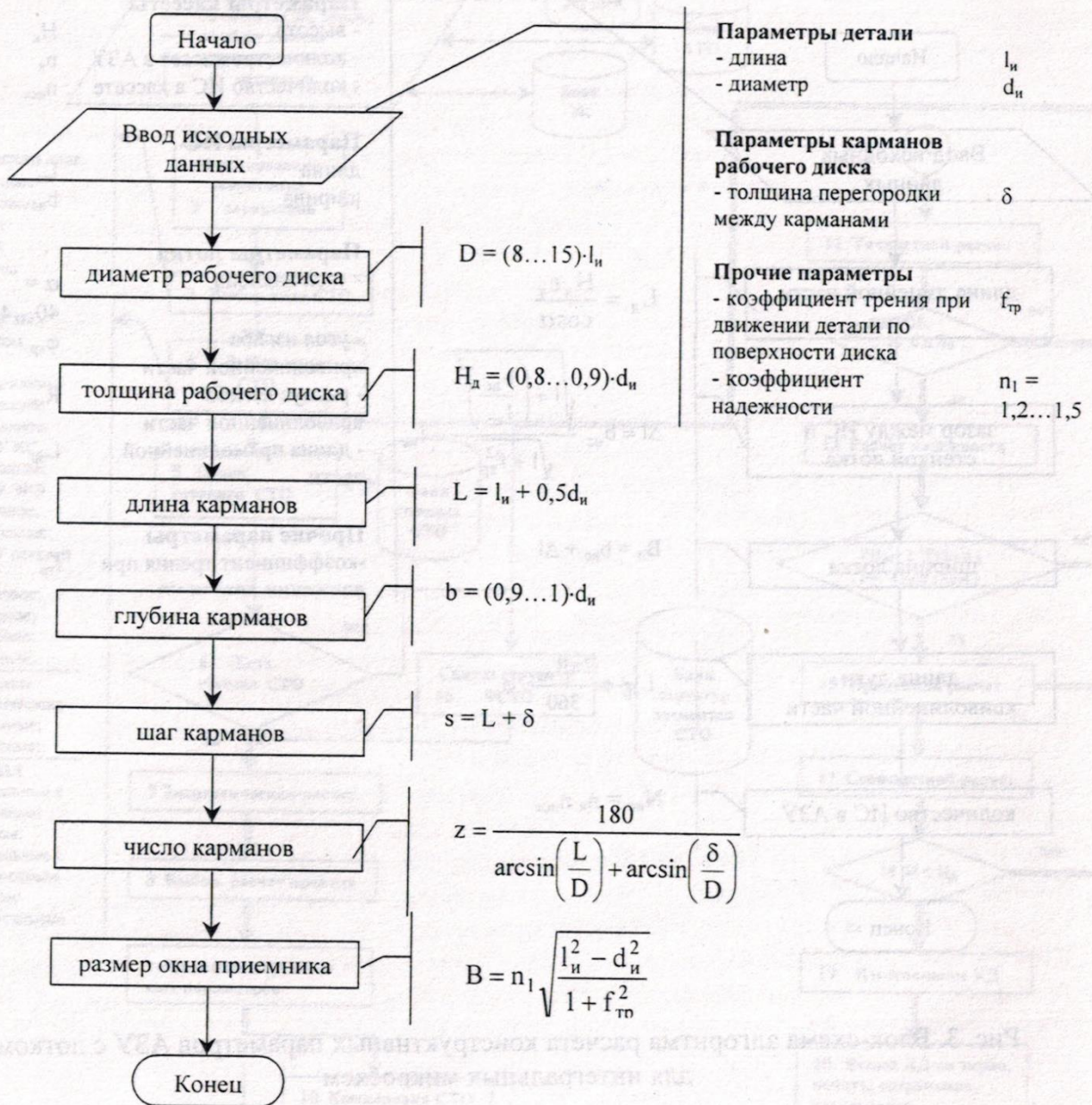


Рис.4. Блок-схема алгоритма расчета конструктивных параметров карманчатых АЗУ с расположением карманов по хорде  $\left( l_n \leq 80; d_n \leq 15; 2,5 \leq \frac{l_n}{d_n} \leq 4,5 \right)$



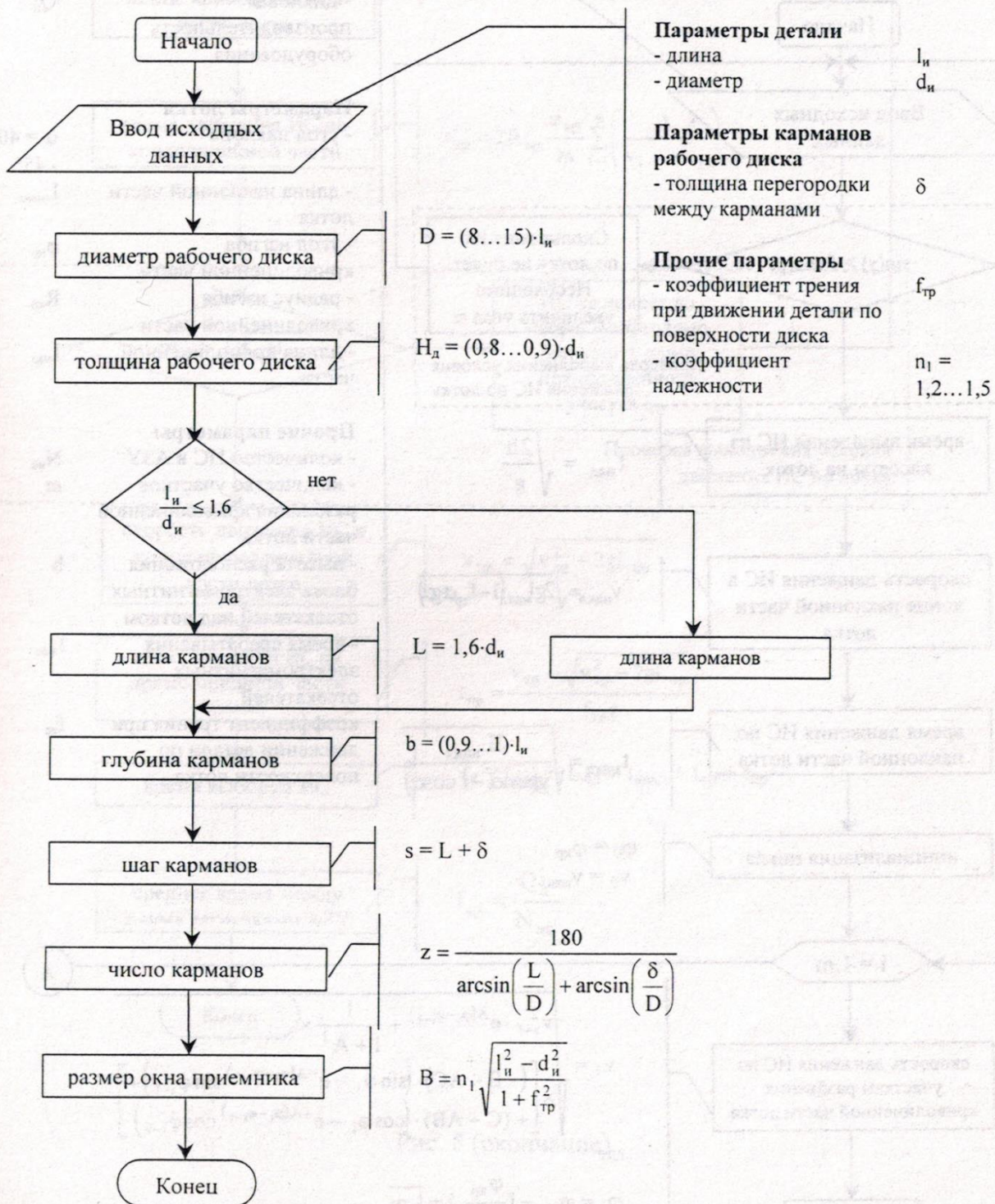


Рис. 5. Блок-схема алгоритма расчета конструктивных параметров карманчиковых АЗУ с расположением карманов перпендикулярно плоскости диска

$$\left( l_n \leq 50; 15 \leq d_n \leq 20; 1,25 \leq \frac{l_n}{d_n} \leq 3,0 \right)$$



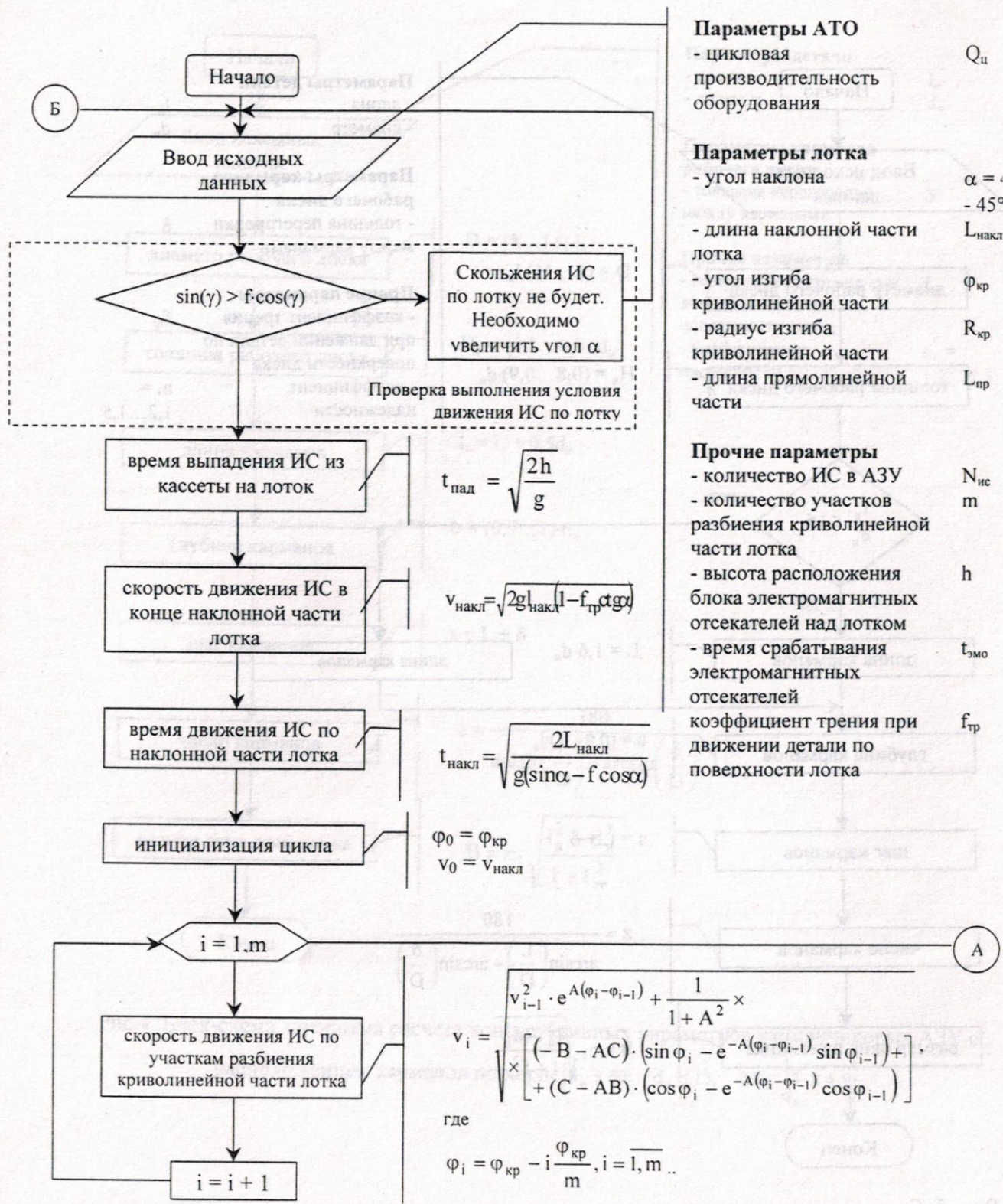


Рис. 5. Блок-схема алгоритма расчета временных характеристик АЗУ с лотком



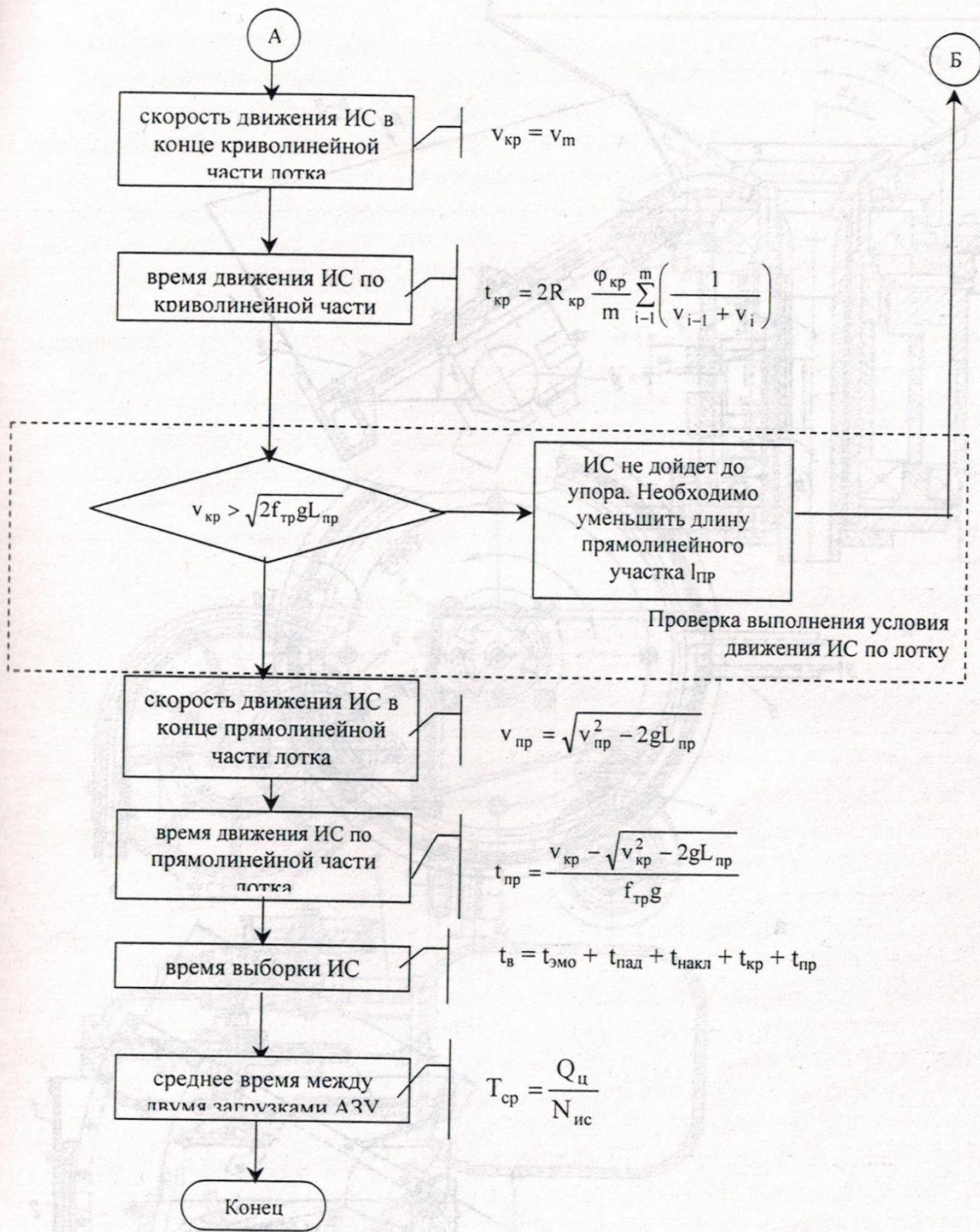


Рис. 5 (окончание)



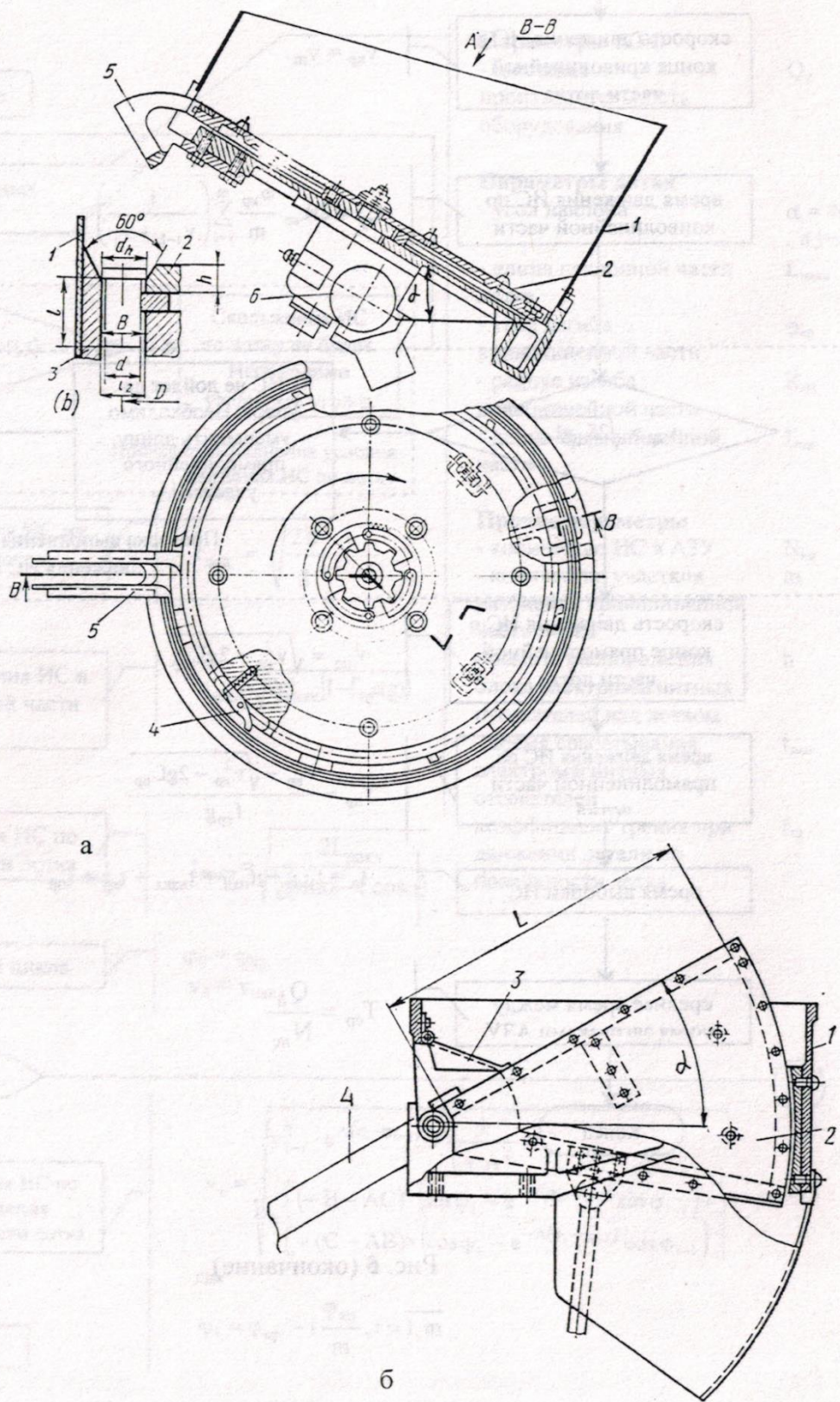
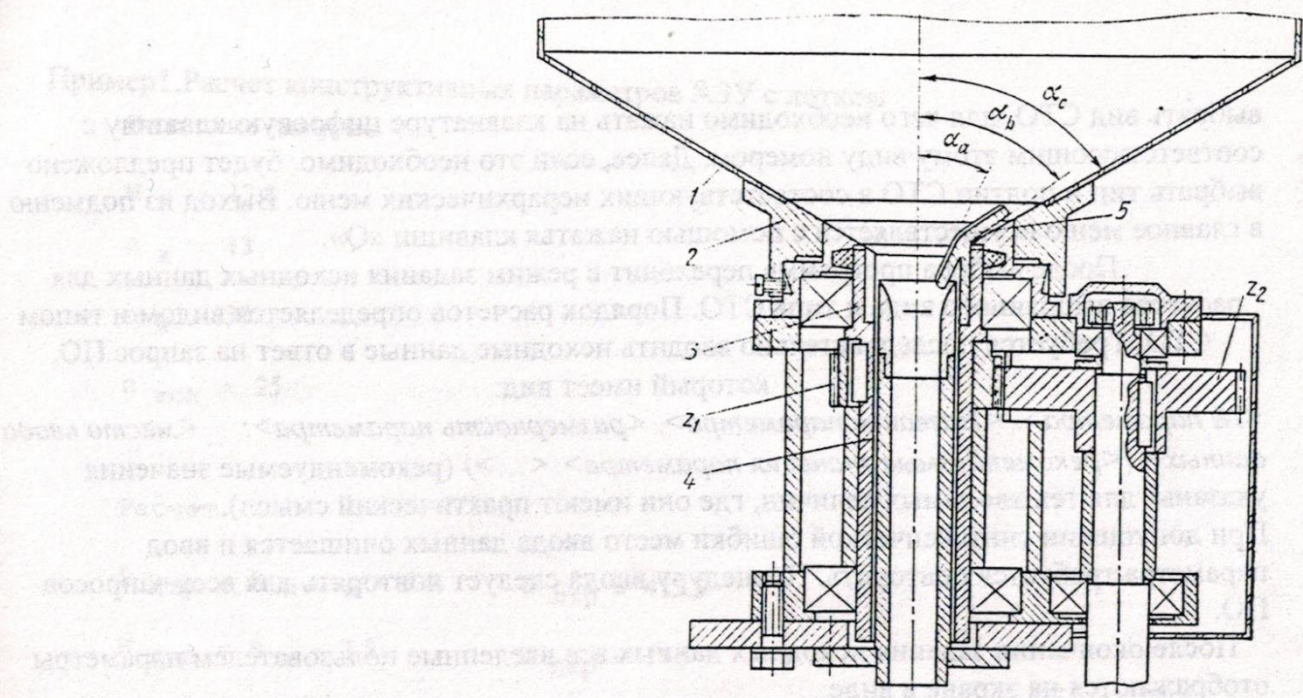
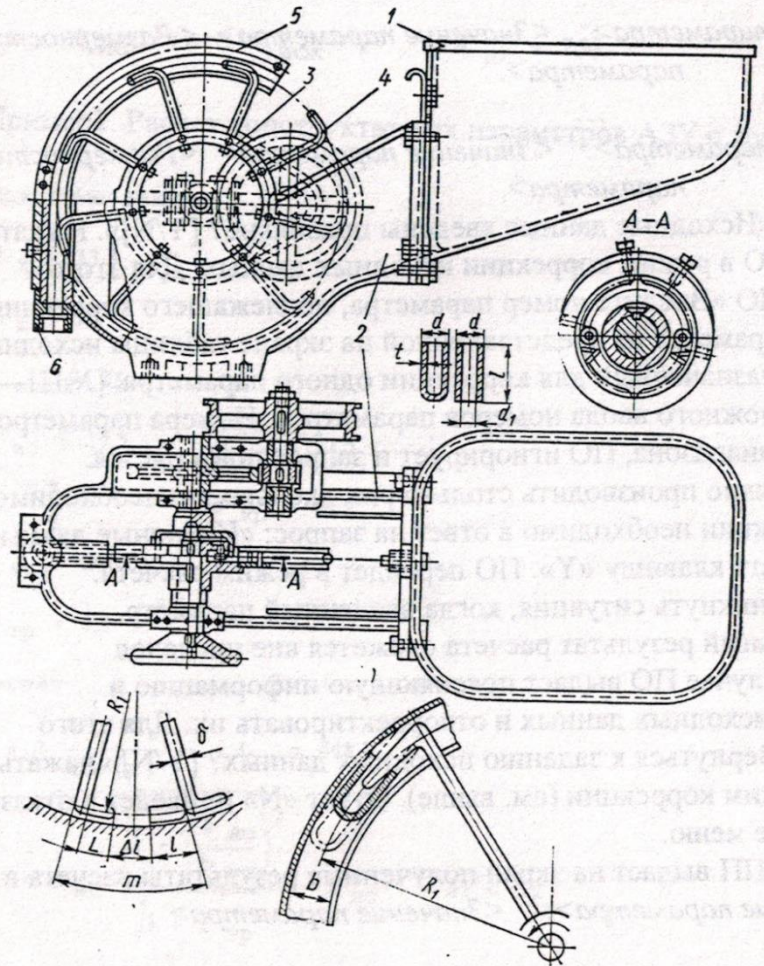


Рис. 7. Примеры специальных автоматических загрузочных устройств:  
 а - дисковое, б - секторное, в - трубчатое, г - крючковое





B



Г

Рис. 7 (окончание)



выбрать вид СТО, для чего необходимо нажать на клавиатуре цифровую клавишу с соответствующим этому виду номером. Далее, если это необходимо, будет предложено выбрать тип и подтип СТО в соответствующих иерархических меню. Выход из подменю в главное меню осуществляется с помощью нажатия клавиши «Q».

После выбора программа переходит в режим задания исходных данных для расчетов выбранного вида и типа СТО. Порядок расчетов определяется видом и типом СТО. Требуется последовательно вводить исходные данные в ответ на запрос ПО, который имеет вид:

*<№ параметра>. <Название параметра>, <размерность параметра>: \_ <место ввода данных> (<рекомендуемые значения параметра>: <...>)* (рекомендуемые значения указаны для тех вводимых величин, где они имеют практический смысл).

При допущении синтаксической ошибки место ввода данных очищается и ввод параметра требуется повторить. Процедуру ввода следует повторять для всех запросов ПО.

После окончания задания исходных данных все введенные пользователем параметры отображаются на экране в виде:

*<№ параметра>. <Название параметра>: <Значение параметра> <Размерность параметра>.*

...  
*<№ параметра>. <Название параметра>: <Значение параметра> <Размерность параметра>.*

Далее ПО задает запрос: «Исходные данные введены правильно? [Y/N]». Нажатие клавишу «N» переводит ПО в режим коррекции исходных данных. Для этого необходимо в ответ на запрос ПО «Введите номер параметра, подлежащего коррекции: [№П1—№П2]», ввести номер параметра из представленной на экране таблицы исходных данных. Каждый запрос, предназначенный для коррекции одного параметра. [№П1—№П2], показывает диапазон возможного ввода номеров параметров. Номера параметров, выходящих за пределы данного диапазона, ПО игнорирует и запрос повторяется. Коррекцию исходных данных можно производить столько раз, сколько это необходимо. Для окончания процедуры коррекции необходимо в ответ на запрос: «Исходные данные введены правильно? [Y/N]» нажать клавишу «Y». ПО перейдет в режим расчета.

В процессе расчета может возникнуть ситуация, когда введенный параметр, промежуточный либо окончательный результат расчета окажется вне пределов допустимого диапазона. В этом случае ПО выдаст поясняющую информацию и предложит вернуться к заданию исходных данных и откорректировать их. Для этого необходимо в ответ на запрос: «Вернуться к заданию исходных данных? [Y/N]» нажать клавишу «Y». ПО перейдет в режим коррекции (см. выше). Ответ «N» приведет к отказу от расчета и выходу ПО в главное меню.

Если расчет прошел успешно, ПО выдаст на экран полученные результаты расчета в виде: *<№ параметра>. <Название параметра>: <Значение параметра> <Размерность параметра>*

....  
*<№ параметра>. <Название параметра>: <Значение параметра> <Размерность параметра>.*

После нажатия любой клавиши ПО перейдет к новому типу расчета либо выйдет в главное меню, если данный расчет был последним.

*Примеры расчета АЗУ (выполнены в среде Mathcad)*



### Пример 1. Расчет конструктивных параметров АЗУ с лотком

Исходные данные

$$H_{\text{к}} = 13.8$$

$$B_{\text{к}} = 13$$

$$n_{\text{к}} = 30$$

$$n_{\text{иск}} = 25$$

Расчет

$$L_{\text{лтр}} = H_{\text{к}} \cdot n_{\text{к}} + 1.5 \quad L_{\text{лтр}} = 415.5$$

$$B_{\text{лтр}} = B_{\text{к}} + 1.5 \quad B_{\text{лтр}} = 14.5$$

$$N_{\text{ис}} = n_{\text{к}} \cdot n_{\text{иск}} \quad N_{\text{ис}} = 750$$

### Пример 2. Расчет конструктивных параметров АЗУ с транспортером

Исходные данные

$$H_{\text{к}} = 13.8$$

$$n_{\text{к}} = 30$$

$$n_{\text{иск}} = 25$$

$$l_{\text{ис}} = 19.5 \quad b_{\text{ис}} = 11.5$$

$$\alpha = \frac{\pi}{8} \quad \phi_{\text{кр}} = 67.5$$

$$R_{\text{кр}} = 200$$

$$f_{\text{тр}} = 0.3$$

Расчет

$$L_{\text{л}} = \frac{H_{\text{к}} \cdot n_{\text{к}}}{\cos(\alpha)} \quad L_{\text{л}} = 448.1$$

$$\Delta l = b_{\text{ис}} \cdot \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{l_{\text{ис}}}{b_{\text{ис}}}\right)^2}}{\sqrt{1 + f_{\text{тр}}^2}} - l_{\text{ис}} \quad \Delta l = 2.2$$

$$B_{\text{л}} = b_{\text{ис}} + \Delta l \quad B_{\text{л}} = 13.7$$

$$L_{\text{кр}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{кр}} \cdot \phi_{\text{кр}}}{360} \quad L_{\text{кр}} = 235.6$$

$$N_{\text{ис}} = n_{\text{к}} \cdot n_{\text{иск}} \quad N_{\text{ис}} = 750$$

$$L_{\text{пр}} = 40 \cdot l_{\text{ис}} \quad L_{\text{пр}} = 780$$



### *Контрольные вопросы*

1. Для чего необходимы АЗУ.
2. Какие Вам известны АЗУ для электронных компонентов по степени универсальности.
3. Какие Вам известны специализированные АЗУ для интегральных микросхем.
4. Назовите этапы проектирования СТО.
5. Какие функции выполняет ЭВМ при автоматизированном проектировании СТО.
6. Какая информация необходима для выбора конструкции или структуры СТО.
7. Какие конструктивные параметры рассчитывают при проектировании АЗУ для ИС.
8. Какие временные параметры рассчитывают при проектировании АЗУ для ИС.
9. От каких факторов зависит точность расположения ИС в выходном лотке АЗУ.

### Литература

1. Иванов Ю. В., Лакота Н. А. Гибкая автоматизация производства РЭА с применением микропроцессоров и роботов: Учебное 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., Скворцов Ю.В. Техничко-экономический анализ средств автоматизации и новой техники в производстве РЭС и ЭВС.- М.: МГТУ, 1990. - 32 с.
5. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1971.-288 с.
6. Камышный Н.И. Автоматизация загрузки станков.- М.: Машиностроение, 1977.- 272 с.
7. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования специального технологического оснащения гибкого автоматизированного сборочного комплекса производства электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2002. - 26 с.



## Содержание

	стр.
Специальные и специализированные АЗУ .....	3
Универсальные АЗУ .....	5
Методика проектирования АЗУ .....	5
Конструктивные параметры АЗУ <sub>ИС2 Л.</sub> .....	6
Обеспечение точности АЗУ <sub>ИС2 Л.</sub> .....	6
Надежность АЗУ <sub>ИС2 Л.</sub> .....	7
Производительность АЗУ <sub>ИС2 Л.</sub> .....	7
Оценка стоимости АЗУ <sub>ИС2 Л.</sub> .....	8
Расчет конструктивных параметров кассетных (АЗУ <sub>ТР</sub> , АЗУ <sub>ТЕЛ</sub> ) и бункерных АЗУ (карманчиковых, крючковых, секторных, шиберных, трубчатых) .....	9
Автоматизация проектирования АЗУ .....	20
Алгоритм автоматизированного проектирования АЗУ .....	21
Программное обеспечение автоматизированного проектирования АЗУ .....	21
Примеры расчета характеристик АЗУ .....	31
Контрольные вопросы .....	32
Литература .....	32