

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

Учебное пособие

Ю. В. Иванов

**Автоматизация проектирования устройств захвата электронных компонентов для автоматической сборки электронной аппаратуры**

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

Издательство 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 устройств захвата электронных компонентов для автоматической сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.- 21 с.**

ISBN 5-7038-2167-3

Рассмотрены устройства захвата электронных компонентов (УЗ), применяемые при автоматической сборке электронных модулей, методика комплексного расчета УЗ на точность, надежность, производительность, стоимость а также алгоритм и программное обеспечение автоматизированного проектирования УЗ.

Материал пособия направлен на повышение эффективности сборочного оборудования производства электронной аппаратуры за счет уменьшения трудоемкости разработки УЗ 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. Библиогр. 5 назв.

УДК 658.52.01.56

ББК 32.965

**Юрий Викторович Иванов**

**Автоматизация проектирования устройств захвата 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. 0,85. Уел. печ. л. 0,75. Уч.-изд. л.0,7. Тираж 300 экз. Заказ №8

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

ISBN 5-7038-2167-3

© Типография МГТУ им. Н. Э. Баумана

## Введение

Устройства захвата (УЗ) вместе с другими видами технологического оснащения СТО [автоматическими загрузочными устройствами электронных компонентов (ЭК) и деталей, накопителями печатных плат]; схваты (ЗУ) сборочных роботов, сборочными головками с простыми приводами; координатными системами со следящими приводами; приспособлениями для точной фиксации плат в зоне сборки; устройствами для загрузки, выгрузки плат и готовых электронных модулей (ЭМ, ячеек ЭЯ)], оборудованием (АТО), промышленными роботами (ПР) необходимы для автоматизации сборки электронных модулей (ЭМ).

УЗ могут быть частью сборочных головок АТО или применяться как отдельные устройства (инструмент, хват робота ПР). УЗ непосредственно взаимодействуют с объектом (базовой деталью, ЭМ, ячейкой, компонентом ЭК). УЗ предназначено для захвата объекта, удержания его в процессе перемещения, ориентации, сборки, поэтому они должны надежно удерживать объект не нарушая его положения, не разрушая его поверхности. УЗ должны соответствовать размерам и геометрии объекта; обладать нужной грузоподъемностью, усилием, моментом; обеспечивать надежный захват, удержание объекта во время разгона, торможения манипулятора, точность и стабильность базирования объекта, физическую сохранность объекта (недопустимость повреждения поверхности или разрушения объекта); быть инвариантным к размерам и форме данной группы или класса объекта.

Основными характеристиками УЗ для их выбора являются: усилие, максимальные размеры в раскрытом состоянии, минимальные размеры в закрытом состоянии, скорость, число захватных элементов; наличие на них датчиков; критичность УЗ к неточности расположения объекта (координатное расположение и ориентация на плоскости или в пространстве); габариты; масса; удобство и автоматизация смены. Чем полнее эти требования обеспечиваются, тем меньше нужно применять в сборке вспомогательных устройств (позиционеров, кантователей, устройств поштучной выдачи и др.), тем проще и дешевле сборка. Захват объекта, манипулирование и установка его в новое положение должны быть выполнены без потери ориентации и точности положения. Во многом на это влияет способ захвата. В зависимости от объекта и условий его перемещения различают несколько способов захвата: охватом; частичным зажимом; захватом объекта с внутренней стороны, захватом с наружной стороны за края, углы; захватом плоскостью и призмой по диаметру; двумя призмами; с использованием вакуума, эластичных элементов и др. Идеальным считается способ, при котором объект охвачен со всех сторон. При этом силам ускорения, воздействующим на объект, противостоит реакция грейферного устройства. Однако такой способ реализовать удастся не всегда (например, для захвата изделий, ориентированных и установленных в направляющих элементах). Для объектов, имеющих значительную длину, применяют способ частичного захвата (объекту оставляется одна степень свободы). При этом смещение объекта компенсируется силами зажима и трения (для хрупких деталей в этом направлении предусмотрен упор). Наличие на объекте выступов или пазов упрощает базирование. Во многих случаях объекты захватываются двумя противоположными грейферными зажимами, обеспечивающими достаточное зажимное усилие. Правильно выбирая точки зажима и форму зажимных губок (лапок, кулачков) удастся надежно зафиксировать объект в УЗ. Однако для точного базирования еще необходимо, чтобы объект имел точно обработанную поверхность.

Захват всасыванием применяют для тонких и легких деталей (компонентов), причем захват происходит только с одной стороны; удержание происходит за счет сил вакуума. При этом захватываемая поверхность объекта должна быть гладкой, не иметь отверстий, раковин. Захват с помощью резиновых вакуумных присосок менее критичен к неточности расположения объекта; он при захвате объекта самоустанавливается. Захват деталей (компонентов) сложной формы возможен также с помощью вакуума и сопрягающего эластичного элемента (губки), близкого по форме к объекту.

### Типы устройств захвата

Устройства захвата отличаются большим разнообразием конструктивных и схемных решений: по принципу действия (механические, вакуумные, с эластичными элементами и струйные); по типу привода зажима (пневматические, гидравлические, магнитные, электроприводные); по наличию в УЗ элементов компенсации положения объекта (без элементов, с элементами компенсации); по числу рабочих позиций захвата (одно-, двух-, и многопозиционные); по характеру крепления УЗ к манипулятору (головке) (несменяемые, сменяемые, быстросменяемые, автоматически сменяемые); по наличию элементов адаптации (без элементов адаптации, с элементами адаптации - с тактильными, сенсорными, фото- и другими датчиками, позволяющими приблизительно или точно определить форму, расположение и ориентацию объектов). При частой смене объектов производства применяют быстросменяемые УЗ, у которых присоединительные и базовые поверхности унифицированы, а конструкция крепления позволяет быструю замену одного УЗ на другой (например, крепление в виде байонетного замка). В ГАСК нужны автоматически сменяемые УЗ с электрическим или пневматическим приводом зажимного механизма. Гидравлический привод создает трудности обеспечения герметичности соединения с источником питания в условиях автоматической замены УЗ.

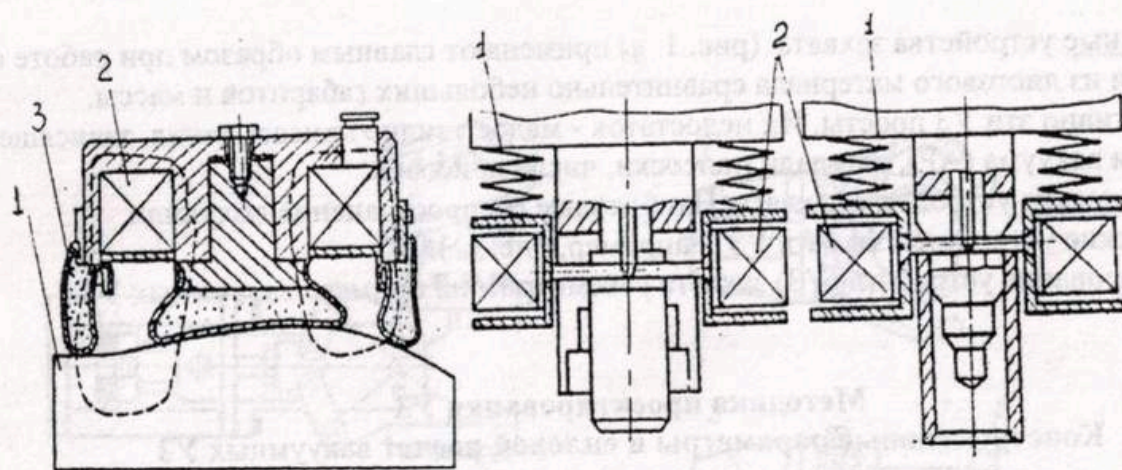
Для обычных условий широко применяют пневматический привод; пневматический в сочетании с простыми механизмами (клин, рычаг и др.). При больших усилиях зажима используют гидравлический привод. Он обеспечивает плавность срабатывания (без удара), не требует смазки; по условиям стерильности имеет ограниченное применение.

УЗ с эластичными камерами (губками) удерживают предметы на основе деформации камеры под действием давления воздуха (или жидкости). Оно в некоторой степени позволяет компенсировать погрешность расположения объекта. Среди них выделяют оболочковые и кольцевые УЗ [3]. Такие УЗ применяют для хрупких объектов, объектов неправильной формы и небольшой массы или имеющих отклонения формы и размеров от заданных. Объект может удерживаться как за наружную, так и внутреннюю поверхности.

Струйные устройства захвата представляют собой мало изученный класс. Удержание ЭК здесь обеспечивается вакуумом, получаемым за счет ижекции воздушного потока.

Струйные УЗ бывают одно-, двух-, и многопальцевые. Первые УЗ применяют для ЭК простой формы, малой массы; вторые и третьи - для компонентов более тяжелых и с более сложной формой.

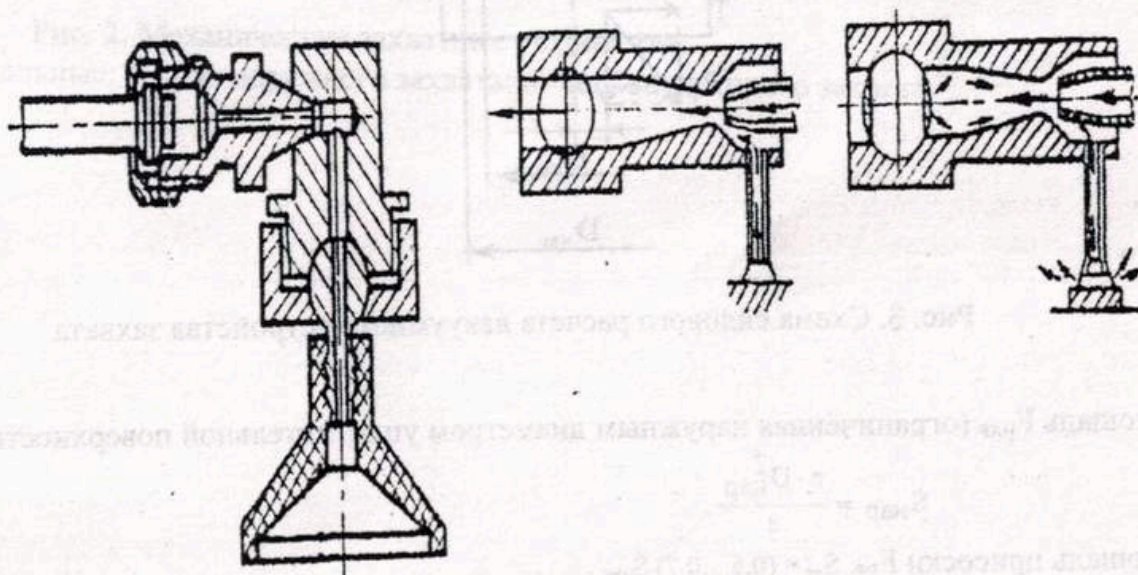
Магнитные устройства захвата (рис. 1 б) применяют для объектов из металла. Она бывают с электрическими и постоянными магнитами. Наиболее распространены УЗ с электромагнитами. Для них характерны: большая сила удержания  $F_y$ , быстроедействие и



а

б

в



г

д

ж

Рис.1. Типы устройств захвата компонентов сборки:  
 а - эл магнитных с эластичными губками; б, в - эл магнитных с пружинами; г -  
 вакуумных; д и ж - струйных

простота конструкции. Для надежного захвата поверхность изделия должна быть чистой.

Вакуумные устройства захвата (рис. 1 г) применяют главным образом при работе с изделиями из листового материала сравнительно небольших габаритов и массы. Конструктивно эти УЗ просты. Их недостаток - малое усилие присасывания, зависящее от степени вакуума ( $\Delta p$ ), площади присоски, числа присосок

Механические устройства захвата. Наибольшее распространение получили механические устройства захвата УЗ (например, рис. 2).

Проектирование устройств (УЗ) захвата рассмотрим на примере вакуумных УЗ.

### Методика проектирования УЗ Конструктивные параметры и силовой расчет вакуумных УЗ

В этом расчете определяют: площадь УЗ  $F_{\text{нар}}$ , площадь присоски  $F_{\text{пр}}$ , внутренний и средний диаметры присоски  $D_{\text{вн}}$  и  $D_{\text{ср}}$ , перепад давления  $\Delta p$ , остаточное давление  $p_{\text{к}}$ ; удерживающую силу  $F_y$ .

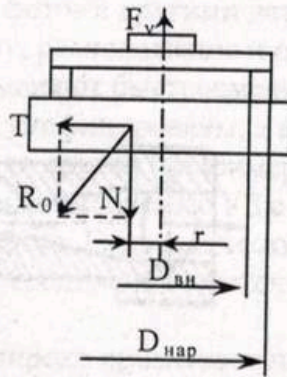


Рис. 3. Схема силового расчета вакуумного устройства захвата

Площадь  $F_{\text{нар}}$  (ограниченная наружным диаметром уплотнительной поверхности):

$$S_{\text{нар}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{нар}}^2}{4} \quad (1)$$

площадь присоски  $F_{\text{пр}}$ :  $S_{\text{пр}} = (0,6 \dots 0,7) \cdot S_{\text{нар}}$  (2)

диаметры присоски: внутренний  $D_{\text{вн}} = \sqrt{D_{\text{нар}}^2 - \frac{4S_{\text{пр}}}{\pi}}$  (3)

средний  $D_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{вн}} + D_{\text{нар}}}{2}$  (4)

перепад давления:  $\Delta p = \frac{m_{\text{и}}}{n_{\text{пр}} S_{\text{пр}}} \left( 1 + \frac{a \cos \theta}{g} \right) \cdot \left( 1 + \frac{4r}{D_{\text{ср}}} \right)$  (5)

( $m_{\text{и}}$  - масса изделия,  $n_{\text{пр}}$  - количество присосок,  $a$  - линейное ускорение УЗ,  $g$  - ускорение свободного падения,  $r$  - смещение центра масс объекта относительно центральной оси УЗ).

Остаточное давление в камере присосок:  $p_{\text{в}} = p_{\text{а}} - \Delta p$  (6)

Удерживающая сила:  $F_y = k_{\text{р}} \cdot S_{\text{пр}} \cdot \Delta p$  (7)

( $p_{\text{а}}$  - атмосферное давление  $p_{\text{а}} = 0,1 \text{ МПа}$ )

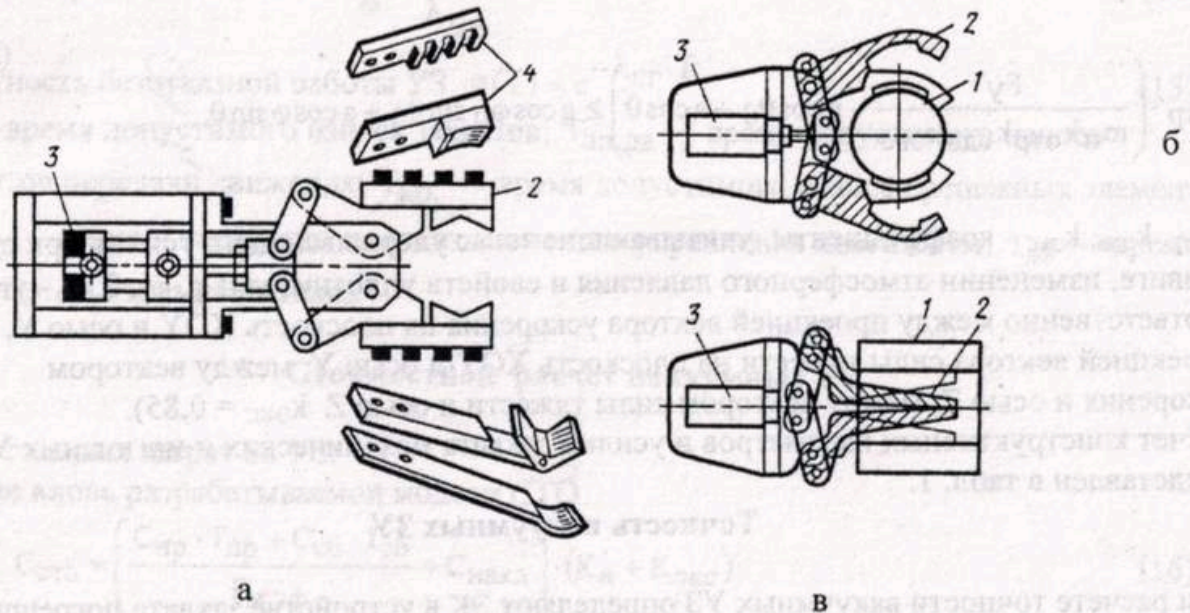


Рис. 2. Механические хватные устройства:  
 а - универсальные; б - для наружного захвата; в - для внутреннего захвата

*захват*

Проверка достаточности удерживающей силы для удержания объекта УЗ:

$$\left\{ \begin{aligned} f_{\text{тр}} \cdot \left( \frac{F_y}{m_{\text{и}} k_{\text{отр}} k_{\text{сдв}} k_{\text{экс}}} - g \cos \theta_0 + a \cos \theta \right) &\geq g \sin \varphi_0 \sin \theta_0 + a \sin \varphi \sin \theta; \\ f_{\text{тр}} \cdot \left( \frac{F_y}{m_{\text{и}} k_{\text{отр}} k_{\text{сдв}} k_{\text{экс}}} - g \cos \theta_0 + a \cos \theta \right) &\geq g \cos \varphi_0 \sin \theta_0 + a \cos \varphi \sin \theta. \end{aligned} \right. \quad (8)$$

( $k_{\text{отр}}$ ,  $k_{\text{сдв}}$ ,  $k_{\text{экс}}$  - коэффициенты, учитывающие запас удерживающего усилия при отрыве, сдвиге, изменении атмосферного давления и свойств уплотнителя;  $\varphi$ ,  $\varphi_0$ ,  $\theta$ ,  $\theta_0$  - углы соответственно между проекцией вектора ускорения на плоскость ХОУ и осью У, между проекцией вектора силы тяжести на плоскость ХОУ и осью У, между вектором ускорения и осью Z, между вектором силы тяжести и осью Z  $k_{\text{экс}} = 0,85$ ). Расчет конструктивных параметров и усилий захвата механических и магнитных УЗ представлен в табл. 1.

### Точность вакуумных ЗУ

При расчете точности вакуумных УЗ определяют ЭК в устройстве захвата погрешность положения компонента  $\delta_{\text{зб.ЭК}}$ , которая также зависит от точности АЗУ:

при нормальном законе распределения погрешностей:

$$\delta_{\text{зб.ЭК}} = \sqrt{\delta_{\text{бАЗУ}}^2 + \delta_{\text{з.ЭК}}^2 + \delta_{\text{бЗУ}}^2} \quad (9)$$

при законах распределения погрешностей, отличающихся от нормального:

$$\delta_{\text{зб.ЭК}} = \frac{1}{3} \sqrt{\lambda_{\text{бАЗУ}}^2 \delta_{\text{бАЗУ}}^2 + \lambda_{\text{з.ЭК}}^2 \delta_{\text{з.ЭК}}^2 + \lambda_{\text{бЗУ}}^2 \delta_{\text{бЗУ}}^2} \quad (10)$$

Погрешность положения компонента в зоне его захвата УЗ:

при нормальном законе распределения погрешностей:

$$\delta_{\text{УЗ}} = \sqrt{\delta_{\text{АЗУ}}^2 + \delta_{\text{изг.УЗ}}^2 + \delta_{\text{баз.ЭК УЗ}}^2} \quad (11)$$

при законах распределения погрешностей, отличающихся от нормального:

$$\delta_{\text{УЗ}} = \sqrt{\lambda_{\text{АЗУ}}^2 \delta_{\text{АЗУ}}^2 + \lambda_{\text{изг.УЗ}}^2 \delta_{\text{изг.УЗ}}^2 + \lambda_{\text{баз.ЭК УЗ}}^2 \delta_{\text{баз.ЭК УЗ}}^2} \quad (12)$$

[ $\delta_{\text{АЗУ}}$ ,  $\lambda_{\text{АЗУ}}$  -- погрешность положения компонента в зоне захвата его УЗ (погрешность АЗУ);  $\delta_{\text{изг.УЗ}}$ ,  $\lambda_{\text{изг.УЗ}}$  - погрешность изготовления УЗ и его положения относительно корпуса сборочной головки, коэффициент относительного рассеивания погрешности;  $\delta_{\text{баз.ЭК УЗ}}$ ,  $\lambda_{\text{баз.ЭК УЗ}}$  - погрешность положения компонента ЭК в УЗ и ее коэффициент относительного рассеивания].

Расчет на точность механических и магнитных УЗ аналогичен рассмотренному.

### Надежность вакуумных УЗ

Рассчитывают лямда - характеристики УЗ: интенсивность отказов  $\lambda$ , среднее время наработки на отказ  $T_{\text{ср}}$  и вероятность безотказной работы  $P(T)$ .



$$\text{Интенсивность отказов } \lambda : \lambda_{\text{УЗ}} = \frac{1}{T_3} + \frac{1}{T_{\text{эл.дв}}} + \frac{1}{T_{\text{кр.}}} + \frac{1}{T_{\text{эл.упр.}}} + \frac{1}{T_{\text{дв}}} \quad (13)$$

$$\text{Средняя наработка на отказ } T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{УЗ}}} \quad (14)$$

$$\text{Вероятность безотказной работы УЗ } p(T) = e^{-\lambda_{\text{сг}} \cdot T} \quad (15)$$

( $T_3$  — время допустимого износа захватов;  $T_{\text{эл.дв}}$  — время допустимого износа элементов передачи движения;  $T_{\text{кр.}}$  — время допустимого износа крепежных элементов;  $T_{\text{эл.упр.}}$  — время наработки на отказ элементов управления двигателем;  $T_{\text{дв}}$  — время наработки на отказ двигателя).

### Стоимостной расчет вакуумных УЗ

Расчет годовых затрат на УЗ:  
в случае вновь разрабатываемой модели СТО

$$C_{\text{сто}} = \left( \frac{C_{\text{пр}} \cdot T_{\text{пр}} + C_{\text{сб}} \cdot T_{\text{сб}}}{F_{\text{м.эф.}}} + C_{\text{накл}} \right) \cdot (K_{\text{а}} + K_{\text{экс}}) \quad (16)$$

в случае покупной модели СТО

$$C_{\text{сто}} = \frac{K_{\text{осн}}}{Z_{\text{осн}} \cdot F_{\text{г.эф}}} \quad (17)$$

*C<sub>пр</sub> - , T<sub>пр</sub> , C<sub>сб</sub> - , T<sub>сб</sub> , C<sub>накл</sub> - , K<sub>а</sub> - , K<sub>экс</sub>*  
**Автоматизация проектирования устройств захвата**

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.

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 тандеме с оборудованием по результатам проектирования и оптимизации операции сборки по комплексному показателю эффективности  $P_{\text{оп макс}}$ ).

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

Таблица 1.

## Расчет конструктивных параметров и усилий устройств захвата

Название параметра	Расчетная формула	Расчетная схема
<i>Исходные данные:</i>		
<b>Параметры объекта</b> - масса - диаметр  <b>Параметры схвата</b> - длины рычагов - угол наклона рычага 3 - диаметр шарниров - угол трения в шарнирах  - ширина захватного органа  <b>Параметры взаимодействия схвата и объекта</b> - коэффициент трения между схватом и объектом - угол между вектором ускорения и осью симметрии объекта - угол между вектором силы тяжести и осью симметрии объекта  <b>Прочие параметры</b> - модуль упругости материала захватного органа - модуль упругости материала объекта - модуль упругости воздуха	$m_n$ $d_n$  $l_1, l_2, l_3$ $\alpha$ $d_{ш}$ $\rho = 1^\circ 10''$ в случае использования подшипников скольжения; $\rho = 3^\circ$ в случае использования подшипников качения; $l_3$  $f_{тр}$  $\theta$ $\theta_0$  $E_3$ $E_n$ $E_a$	
<i>Расчет:</i>		
- кинематическое передаточное отношение - силовое передаточное отношение  - КПД механизма  - вес объекта - инерционная сила - сила сопротивления	$i_s = \frac{\alpha \cdot l_2}{l_1}$ для рычажного механизма.  $i_p = \frac{l_1}{l_2 \cdot \alpha} \cdot \frac{1}{1 + \frac{d_{ш}}{l_3} \cdot \alpha} \cdot \frac{1}{1 + \frac{d_{ш}}{2l_1} \cdot \alpha}$ для рычажного механизма.  $\eta = i_s \cdot i_p$ — общая формула. $\eta = 0,9$ для клинового механизма; $\eta = 0,9 \dots 0,95$ для рычажного механизма; $\eta = 0,94$ для реечного механизма;  $F_d = m_n \cdot g$ $F_n = m_n \cdot a = 2m_n \cdot g$ $F_a = S_n \cdot E_n$	

Таблица 1 (продолжение)

<p>воздуха</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проекция равнодействующей всех сил, приложенных к объекту, на ось симметрии объекта</li> <li>- контактные силы</li> </ul> <p>- определение силы захвата по значению контактных сил</p> <p>- усилие привода</p> <p>- приведенный модуль упругости</p> <p>- проверка на контактные напряжения</p>	$F_{\Sigma} = k \cdot [F_d \cdot \cos \theta_0 + (F_n + F_s) \cdot \cos \theta]$ $N_i = F_s \frac{\sin \varphi [\sin \varphi_j - \sin \varphi_k - f_{TP} (\cos \varphi_j - \cos \varphi_k)] - \frac{\cos \varphi (1 - f_{TP}^2) \sin(\varphi_j - \varphi_k)}{f_{TP}}}{(1 - f_{TP}^2) [\sin(\varphi_1 - \varphi_2) + \sin(\varphi_2 - \varphi_3)] + \sin(\varphi_3 + \varphi_1)}$ <p><math>i, j, k = 1, 2, 3; i \neq j \neq k.</math></p> <p><math>F_s = N_i</math> для плоских губок;  <math>F_s = 2 \cdot N_i \cdot \cos \alpha</math> для клиновидных губок и т. д.</p> $F_{np} \geq \frac{2M_j \cos \alpha}{l_1 \eta}$ $E_{np} = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}$ $\sigma = 0,0418 \sqrt{\frac{2N_i E_{np}}{l_3 d_n}} \leq [\sigma]_{доп}$	
---	--	--

**3. Магнитные**

*Исходные данные:*

<p><b>Параметры схвата</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- высота сердечника</li> <li>- толщина сердечника</li> <li>- толщина латунной части</li> <li>- расстояния</li> <li>- магнитная проницаемость сердечника</li> <li>- магнитная проницаемость латунной части</li> <li>- площадь контакта объекта и схвата</li> </ul>	<p>H</p> <p><math>h_c</math></p> <p><math>h_n</math></p> <p><math>R_k, R, v_1</math></p> <p><math>\mu_c</math></p> <p><math>\mu_n</math></p> <p>S</p>	
<p><b>Параметры объекта</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- толщина</li> <li>- магнитная проницаемость</li> </ul> <p><b>Прочие параметры</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- допустимое значение плотности тока</li> </ul>	<p><math>h_d</math></p> <p><math>\mu_d</math></p> <p><math>j_{доп}</math></p>	

*Расчет:*

<p>- магнитные сопротивления участков прохождения потока</p>	$R_1 = \frac{H - 0,5h_c}{\mu_0 \mu_c \pi v_1^2};$ $R_2 = \frac{R + R_k}{2\mu_0 \mu_c \pi R h_c};$	
--	---	--

Таблица 1 (окончание)

	$R_3 = \frac{H - 0,5h_c}{\mu_0\mu_c\pi(R^2 - R_k^2)};$	
	$R_4 = \frac{h_d}{\mu_0\mu_c\pi(R^2 - R_k^2)};$	
	$R_5 = \frac{h_m}{2\mu_0\mu_d\pi(R^2 - R_k^2)K_n};$	
	$R_6 = \frac{R + R_k}{2\mu_0\mu_d\pi R h_m};$	
	$R_7 = \frac{h_d}{2\mu_0\mu_d\pi v_i^2 K_n};$	
	$R_8 = \frac{h_d}{2\mu_0\mu_c\pi v_i^2};$	
- полное магнитное сопротивление	$R = \sum_{i=1}^8 R_i$	
- площадь контакта объекта и магнита	$S_k = \pi(R^2 - R_k^2 + v_i^2)K_n$	
- количество ампервитков обмотки	$IW = \sqrt{25F \cdot S_k \cdot R^2}$	
- допустимое значение тока	$I = (1,13)^2 \cdot d_{np}^2 \cdot j_{дон}$	
- число витков обмотки	$W = \frac{IW}{I}$	
- высота обмотки	$h_k = \frac{0,8 \cdot d_{np}^2 \cdot W}{\beta_0 C_k}$	

**Алгоритм автоматизированного проектирования СТО** (рис. 4) 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), точносной 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 вакуумных УЗ с для ИС (рис. 5), расчета конструктивных параметров механических УЗ (рис. 7) магнитных УЗ (рис. 6).

#### ***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 (СТО.exe).

#### **Работа с ПО**

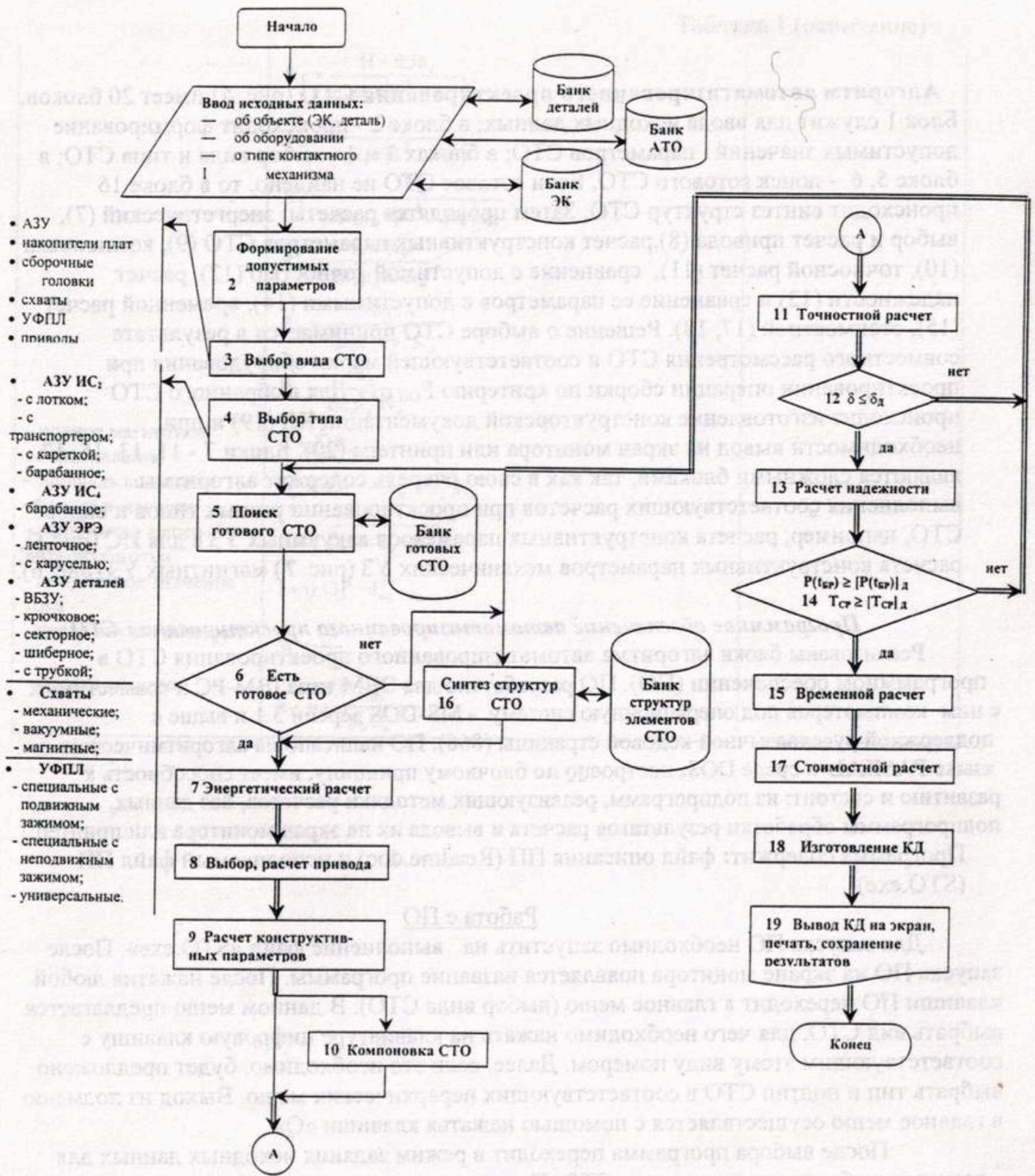
Для запуска ПО необходимо запустить на выполнение файл «СТО.exe». После запуска ПО на экране монитора появляется название программы. После нажатия любой клавиши ПО переходит в главное меню (выбор вида СТО). В данном меню предлагается выбрать вид СТО, для чего необходимо нажать на клавиатуре цифровую 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



- АЗУ
- накопители плат
- сборочные головки
- схваты
- УФПЛ
- приволы
  
- 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
- ВБЗУ;
- крючковое;
- секторное;
- шибрное;
- с трубкой;
  
- Схваты
- механические;
- вакуумные;
- магнитные;
  
- УФПЛ
- специальные с подвижным зажимом;
- специальные с неподвижным зажимом;
- универсальные.

Рис. 4. Блок-схема алгоритма автоматизированного проектирования СТО производства электронных модулей

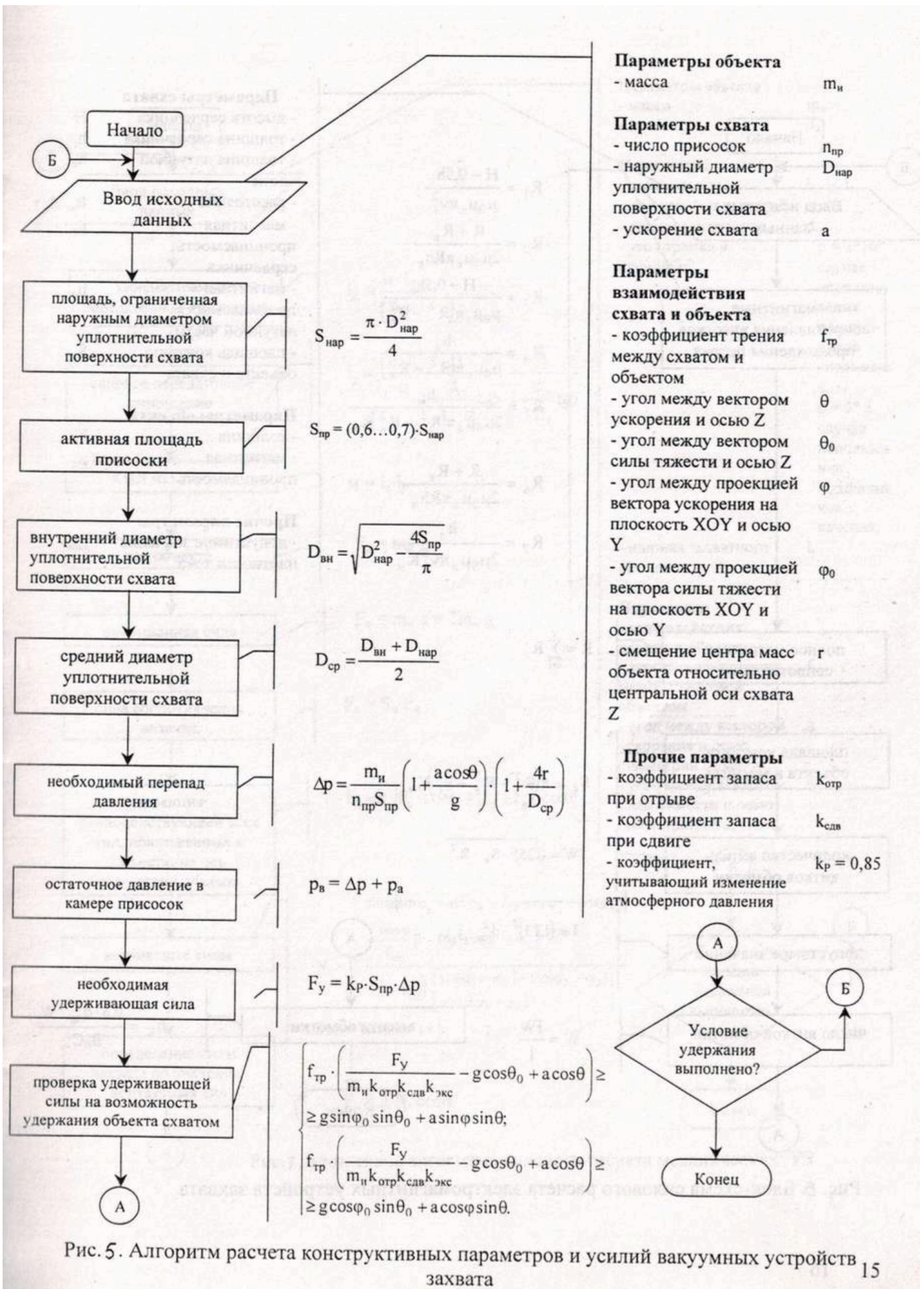


Рис. 5. Алгоритм расчета конструктивных параметров и усилий вакуумных устройств захвата 15

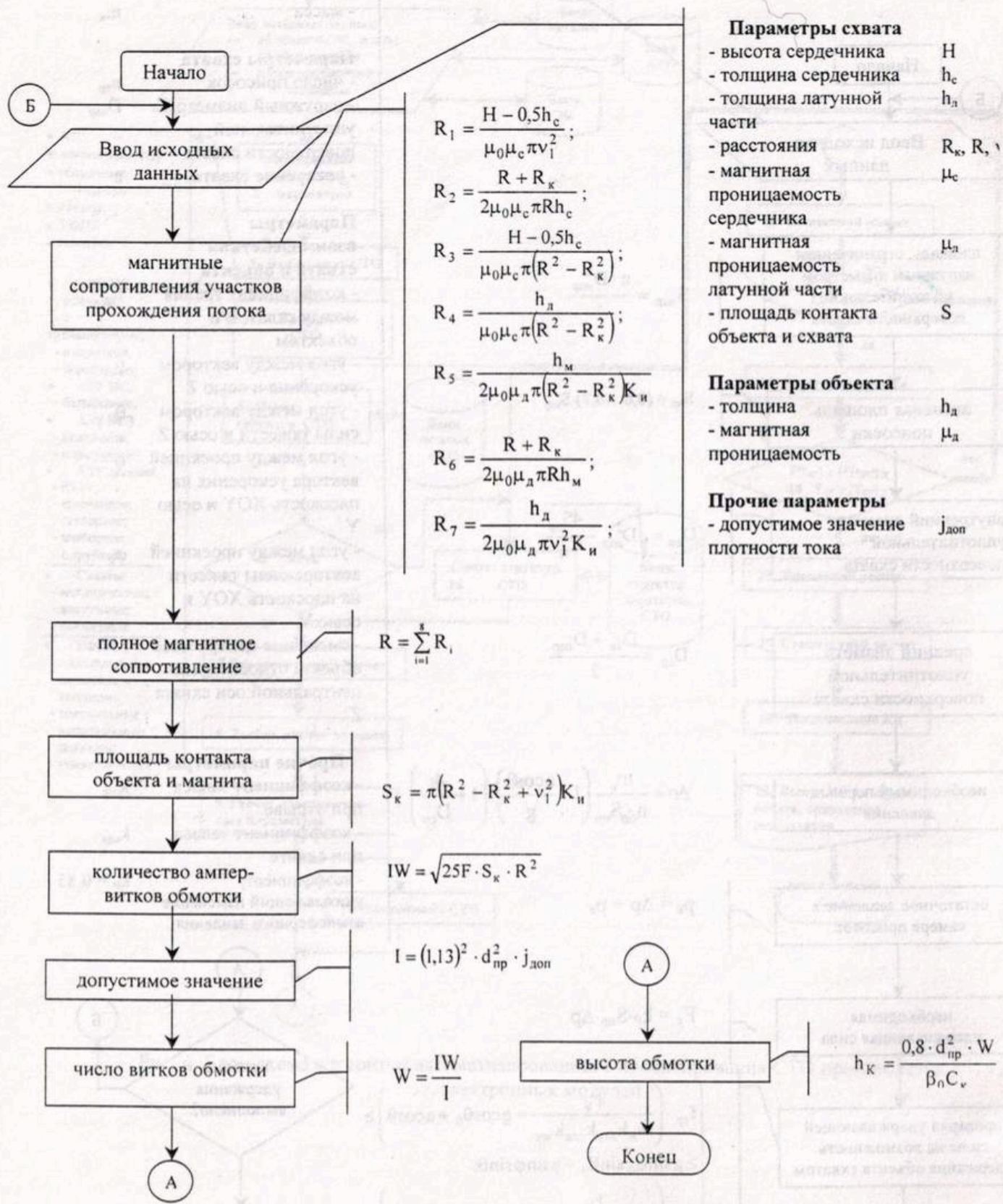
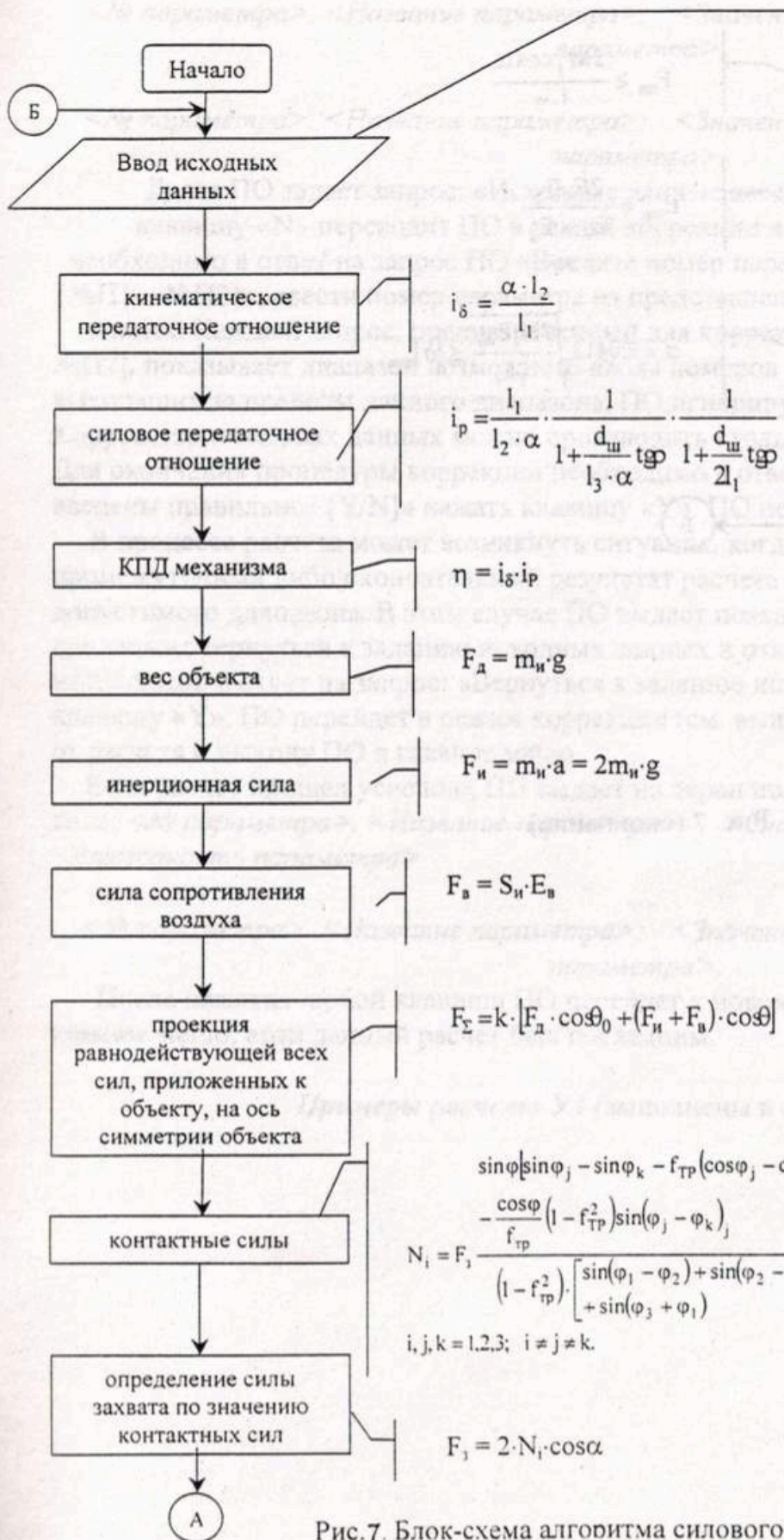


Рис. 6. Блок-схема силового расчета электромагнитных устройств захвата





**Параметры объекта**

- масса  $m_n$
- диаметр  $d_n$

**Параметры схвата**

- длины рычагов  $l_1, l_2, l_3$
- угол наклона рычага 3  $\alpha$
- диаметр шарниров  $d_{ш}$
- угол трения в шарнирах  $\rho = 1^\circ 10''$

- ширина захватного органа  $l_3$

**Параметры взаимодействия схвата и объекта**

- коэффициент трения между схватом и объектом  $f_{тр}$
- угол между вектором ускорения и осью симметрии объекта  $\theta$
- угол между вектором силы тяжести и осью симметрии объекта  $\theta_0$

$$i_\delta = \frac{\alpha \cdot l_2}{l_1}$$

$$i_p = \frac{l_1}{l_2 \cdot \alpha} \cdot \frac{1}{1 + \frac{d_{ш}}{l_3} \cdot \alpha} \cdot \frac{1}{1 + \frac{d_{ш}}{2l_1} \cdot \alpha}$$

$$\eta = i_\delta \cdot i_p$$

$$F_d = m_n \cdot g$$

$$F_n = m_n \cdot a = 2m_n \cdot g$$

$$F_a = S_n \cdot E_a$$

$$F_\Sigma = k \cdot [F_d \cdot \cos\theta_0 + (F_n + F_a) \cdot \cos\theta]$$

$$N_i = F_j \frac{\sin\varphi [\sin\varphi_j - \sin\varphi_k - f_{тр}(\cos\varphi_j - \cos\varphi_k)] - \frac{\cos\varphi}{f_{тр}} (1 - f_{тр}^2) \sin(\varphi_j - \varphi_k)}{(1 - f_{тр}^2) [\sin(\varphi_1 - \varphi_2) + \sin(\varphi_2 - \varphi_3)] + \sin(\varphi_3 + \varphi_1)}$$

$$i, j, k = 1, 2, 3; i \neq j \neq k.$$

$$F_3 = 2 \cdot N_i \cdot \cos\alpha$$

Рис.7. Блок-схема алгоритма силового расчета механических УЗ

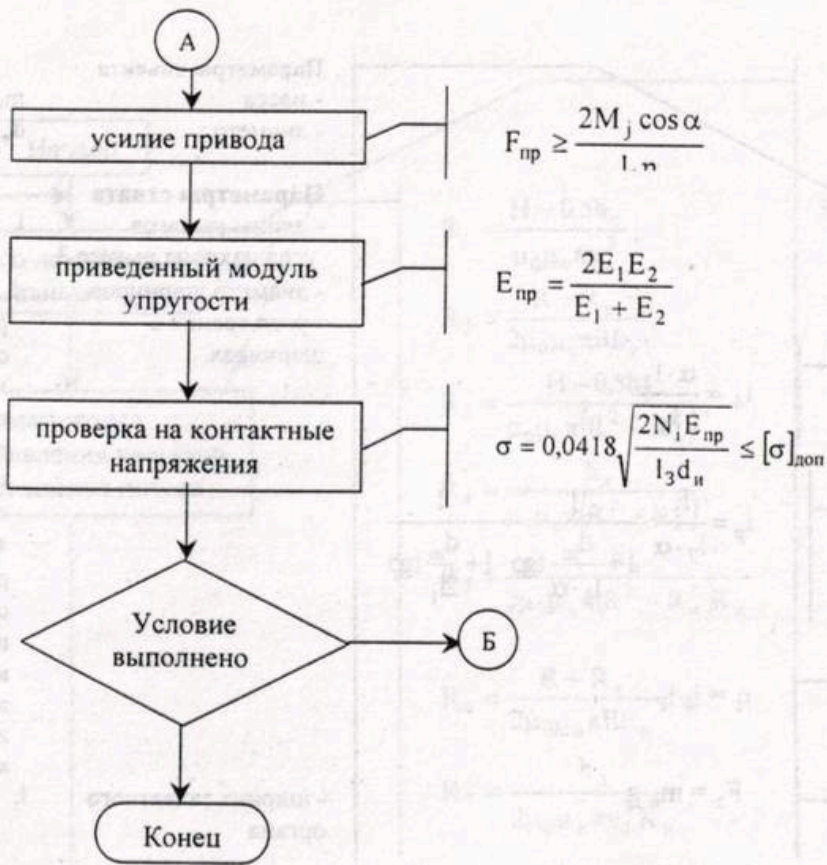


Рис. 7 (окончание)

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, ПП 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 УЗ (выполнены в среде Mathcad)**

$$\Delta p = 152.2$$

$$\text{Исх } p_v = p_a - \Delta p \quad p_v = 1 \cdot 10^5$$

$$m_{\text{г. пр}} = \frac{\rho \cdot V}{\rho_{\text{пр}}} = \frac{\rho \cdot S_{\text{пр}} \cdot l}{\rho_{\text{пр}}} = 9.81 \quad F_y = 0.2$$

$$\frac{F_y}{m_{\text{г. пр}} \cdot k_{\text{отр}} \cdot k_{\text{сдв}}} = g + a \cdot \cos(\theta) = 1.4$$

$$F_y = 0.3$$

$$a \cdot \sin(\theta) = 13.9$$

$$\phi = \frac{\pi}{4} \quad \phi_0 = \frac{\pi}{4}$$

Условия удержания не выполнены. Увеличим перепад давления:

$$\theta_0 = 0 \quad \theta = \frac{\pi}{4}$$

$$\Delta p = 0.35 \cdot 10^5$$

$$F_y = k_{\text{пр}} \cdot S_{\text{пр}} \cdot \Delta p \quad F_y = 40.9$$

$$k_{\text{отр}} = 2 \quad k_{\text{сдв}} = 2$$

$$k_{\text{ф. тр.}} \cdot \left( \frac{F_y}{m_{\text{г. пр}} \cdot k_{\text{отр}} \cdot k_{\text{сдв}}} - g + a \cdot \cos(\theta) \right) = 31.9$$

$$p_a \cdot \sin(\theta) = 13.9$$

Условия удержания выполнены.

$$S_{\text{нар}} = \frac{S_{\text{нар}}}{4 \cdot 10^6} \quad S_{\text{нар}} = 2 \cdot 10^{-3}$$

$$S_{\text{пр}} = 0.7 \cdot S_{\text{нар}} \quad S_{\text{пр}} = 1.4 \cdot 10^{-3}$$

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{\left( \frac{D_{\text{нар}}}{1000} \right)^2 - 4 \cdot \frac{S_{\text{пр}}}{\pi}} \quad D_{\text{вн}} = 0.027$$

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{вн}} + D_{\text{нар}}}{2} \quad D_{\text{ср}} = 25$$

$$\Delta p = \frac{m_{\text{г. пр}}}{\rho_{\text{пр}} \cdot S_{\text{пр}}} \cdot \left( 1 + a \cdot \frac{\cos(\theta)}{g} \right) \cdot \left( 1 + 4 \cdot \frac{r}{D_{\text{ср}}} \right)$$

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего необходимы УЗ.
2. Какие Вам известны УЗ для электронных компонентов.
3. Назовите этапы проектирования УЗ.
4. Какие расчеты выполняют при проектировании УЗ.
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 УЗ.
8. Какие параметры надежности рассчитывают при проектировании УЗ.
9. От каких факторов зависит точность расположения ЭК в УЗ.

### **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. Технико-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.

## Содержание

	стр.
Введение.....	3
Виды устройств захвата.....	4
Методика проектирования устройств захвата.....	6
Конструктивные параметры и силовой расчет вакуумных устройств захвата.....	6
Точность вакуумных устройств захвата.....	8
Надежность вакуумных устройств захвата.....	8
Расчет стоимости вакуумных устройств захвата.....	9
Расчет конструктивных параметров механических и магнитных.....	10
Автоматизация проектирования устройств захвата.....	9
Программное обеспечение автоматизированного проектирования.....	11
Алгоритм автоматизированного проектирования устройств захвата.....	13
Примеры расчета характеристик устройств захвата.....	19
Контрольные вопросы.....	21
Литература.....	21