

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

БУДНЯК Збигнев

УДК 621.757.06-52(043.3

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ  
ДЕТАЛЕЙ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ ВРАЩЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИХ  
ЗАКЛИНИВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук,  
профессор ГУСЕВ Алексей Алексеевич

Москва – 1983

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ . . . . .	5
ГЛАВА I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ ВРАЩЕНИЯ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. . . . .	9
I.1. Введение . . . . .	9
I.2. Анализ условий, влияющих на процесс автоматичес- кого соединения по поверхностям вращения. . . . .	9
I.2.1. Геометрическая точность звеньев системы СПИД. . . . .	10
I.2.2. Базирование соединяемых деталей . . . . .	23
I.2.3. Режимы технологического процесса соединения деталей . . . . .	30
I.3. Обеспечение достижения точности совпадения осей посадочных поверхностей соединяемых деталей . . . . .	41
I.3.1. Сборочные устройства для соединения деталей по поверхностям вращения . . . . .	42
I.3.1.1. Сборочные механизмы, не имеющие компенсаторов. . . . .	44
I.3.1.2. Сборочные механизмы с компенсаторами . . . . .	45
I.4. Задачи исследования . . . . .	57
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ ВРАЩЕНИЯ . . . . .	61
2.1. Математическая модель процесса соединения деталей при односточечном контакте их сопрягаемых поверхностей . . . . .	63
2.1.1. Дифференциация математической модели процесса соединения деталей . . . . .	65
2.1.1.1. Алгоритм решения системы дифференциальных уравнений с помощью ЭВМ . . . . .	71



2.2. Исследование условий автоматического соединения деталей по поверхностям вращения . . . . .	88
2.2.1. Условия заклинивания деталей на первом этапе их соединения . . . . .	90
2.2.2. Условия заклинивания деталей на втором этапе их соединения . . . . .	91
2.3. Выводы . . . . .	100
ГЛАВА 3. ИСЛЕДОВАНИЕ СВЯЗЕЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ ВРАЩЕНИЯ . . . . .	102
3.1. Исследование процесса соединения деталей при нежесткой связи между устанавливаемой деталью и рабочим инструментом . . . . .	103
3.1.1. Аналитический расчет основных параметров соединения деталей . . . . .	108
3.1.2. Расчет силы удара в первоначальный момент соединения деталей . . . . .	115
3.2. Исследование условий соединения деталей с использованием направляющих элементов . . . . .	118
3.3. Исследование условий автоматического соединения деталей с использованием механизма, удерживающего устанавливаемую деталь в процессе сборки . . . . .	132
3.4. Обеспечение автоматического соединения деталей по поверхностям вращения . . . . .	146
3.5. Выводы . . . . .	158
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РАЗРАБОТАННЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЙ . . . . .	161
4.1. Экспериментальная проверка сборочного процесса на первом этапе соединения деталей . . . . .	161

4.2.Проверка условий заклинивания соединяемых деталей . . . . .	166
4.3.Проверка закона управления силами и жесткостью базирующих и других устройств . . . . .	167
ГЛАВА 5.ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ И ЭКОНОМИ- ЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ . . . . .	180
ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .	186
ЛИТЕРАТУРА . . . . .	189
ПРИЛОЖЕНИЕ I . . . . .	196
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 . . . . .	209
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 . . . . .	215
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 . . . . .	224
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 . . . . .	233
ПРИЛОЖЕНИЕ 6 . . . . .	243
ПРИЛОЖЕНИЕ 7 . . . . .	263
ПРИЛОЖЕНИЕ 8 . . . . .	270
ПРИЛОЖЕНИЕ 9 . . . . .	278
ПРИЛОЖЕНИЕ 10 . . . . .	280
ПРИЛОЖЕНИЕ 11 . . . . .	283

## В В Е Д Е Н И Е

В структуре технологических процессов производства изделий машиностроения наибольший удельный вес занимают обработка заготовок резанием и сборка изделий. Трудоемкость узловой и общей сборки составляет в среднем около 30% всей трудоемкости изготовления изделий [ 36, 50 ]. В массовом и крупносерийном производствах эта доля меньше, а в единичном и мелкосерийном, где выполняется большой объем пригоночных работ, трудоемкость сборки нередко достигает 40% [ табл. 1 и 2 ].

Из данных таблиц видно, что ручная сборка до сих пор доминирует даже в высокомеханизированной автомобильной промышленности. В настоящее время наблюдается тенденция дальнейшего удельного роста трудоемкости сборочных работ в общих трудозатратах на изготовление изделий.

Существенно сократить трудоемкость сборочных процессов, обеспечить качество изделий и повысить производительность при изготовлении изделий можно за счет автоматизации, однако как показывает опыт советских и зарубежных организаций и предприятий, автоматизация сборочных процессов вызывает значительные трудности. В СССР автоматизировано лишь около 6 % от всего объема работ, а в США приблизительно 10 % и то только в условиях массового производства.

В изделиях машиностроения имеется большое количество разнообразных соединений деталей, причем около 35 ÷ 40 % деталей соединяются по цилиндрическим поверхностям и 6 ÷ 7 % по коническим [ 36 ]. Если учесть и детали, сопрягаемые по сочетанию цилиндрических и конических с плоскими поверхностями, а также существующую тенденцию на замену шлицевых и шпоночных соединений на



Т а б л и ц а I

Распределение сборочных работ по отдельным отраслям машиностроения и приборостроения в СССР и США

Отрасль машиностроения	Объем сборочных работ в % от общей трудоемкости изгот. изделий		Состав сборочных работ, % к их объему (С С С Р)	
	С С С Р	С Ш А	механизи- рванные	ручные
Тяжелое машиностроение	30 ÷ 35		15 ÷ 20	80 ÷ 85
Станкостроение	25 ÷ 30	~15	22 ÷ 25	75 ÷ 78
Автомобилестроение	18 ÷ 20	~35	50 ÷ 55	45 ÷ 50
Тракторное и сельскохозяйственное машиностроение	20 ÷ 25	25	40 ÷ 50	50 ÷ 60
Электромашиностроение	35 ÷ 40	—	25 ÷ 30	70 ÷ 75
Строительное и дорожное машиностроение	25 ÷ 30	—	35 ÷ 40	60 ÷ 65
Приборостроение	45,3	—	12	88
Часовая промышленность	45	—	16,2	83,8

Т а б л и ц а 2

Распределение сборочных работ по типам производств СССР

Тип производства	Доля сборочных работ в общей трудоемкости изготовления машин, %
Массовое и крупносерийное	25 ÷ 30
Серийное	25 ÷ 35
Индивидуальное и мелкосерийное	35 ÷ 40

детали с поверхностями вращения, то удельный вес этих соединений составит значительную величину -  $50 \div 60$  % от общего количества.

Доминирующим видом деталей, сопрягаемых по поверхностям вращения, являются соединения с гарантированным зазором. В приборостроении удельный вес такого вида соединений составляет около 80 % [ 36 ].

Наиболее трудоемкими элементами сборочного процесса являются этапы относительной ориентации и соединения деталей. Анализ технологических процессов на ряде приборостроительных заводов СССР показал, что среднее значение трудоемкости сборочной операции распределяется следующим образом: подача деталей - 10,5 %, соединение - 55,6 %, закрепление - 25,1 % и транспортирование - 8,7 % [ 49 ].

Трудности автоматизации сборочных процессов при соединении деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором заключаются в том, что часто происходит заклинивание соединяемых деталей. Вследствие чего коэффициент использования сборочных машин нередко слишком мал - около  $35 \div 42$  % [ 42,60 ].

Учитывая необходимость решения социальных задач: исключение монотонных и тяжелых работ, а также все изложенное выше, исследование процессов автоматического соединения деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором является актуальной проблемой современного этапа развития технологии машиностроения.

Для решения поставленной задачи необходимо вскрыть и описать закономерности, действующие в процессе автоматического соединения деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором с тем, чтобы обеспечить создание технологической оснастки автоматического сборочного оборудования с технически обоснованными требованиями, гарантирующими сборку изделий без заклинивания.

Проведенные исследования позволили вскрыть закономерности образования комплекса взаимозависимых связей, — размерных, кинематических, динамических и свойств материалов — действующих в процессе соединения деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором. Найденные закономерности образования связей позволили дать математическое описание этого процесса, определить условия автоматической сборки в зависимости от условий заклинивания.

На защиту выносятся следующие основные результаты:

I. Вскрыты и описаны взаимосвязи, действующие в процессе автоматического соединения деталей при нежестком базировании одной из них, при ее скольжении по фаскам и образующим поверхностям сопряженной детали, тем самым установлена взаимосвязь между геометрическими параметрами соединяемых деталей (диаметры, размеры фасок, длина устанавливаемой детали и др.) и технологическими параметрами процесса (скорость, сборочная сила и др.), физико-механическими свойствами соединяемых деталей.

II. Найденны условия автоматического соединения деталей без их заклинивания с учетом трения в соединении, места приложения сборочной силы, ее величины и направления, а также зазора в соединении.

III. Познанные закономерности образования связей дают возможность: выявить возможность автоматического соединения деталей; назначить технические требования на все звенья системы СПИД; выбрать режимы сборочного процесса; определить жесткость базирующих и других устройств системы СПИД.

Основные результаты работы нашли практическое применение при проектировании автоматических гибких сборочных комплексов при выявлении технической возможности автоматической установки деталей в шасси магнитофонов и при расчете режимов сборочного процесса.



# ГЛАВА I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ ВРАЩЕНИЯ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

## I.1. Введение

Автоматизация процесса сборки, в том числе соединения деталей, сопрягаемых по поверхностям вращения, является актуальной проблемой машиностроения, приборостроения и других отраслей народного хозяйства СССР и всех промышленно развитых стран мира.

Проблеме разработки сборочных процессов и создания автоматизированного оборудования посвящены труды профессоров, докторов технических наук Б.С.Балакшина, А.А.Гусева, И.М.Болесова, В.С.Корсакова, М.П.Новикова, А.Н.Рабиновича, доцентов, кандидатов технических наук А.В.Воронина, А.Г.Герасимова, В.К.Замятина, В.А.Яхимовича и зарубежных ученых van Brussela, J. Volmera, P. Jacobi, J.L. Nevinsa, B. Shimano, R.D. Schrafta и др.

Благодаря научному вкладу ученых и самоотверженному труду работников промышленности в последние годы достигнуты значительные успехи в СССР и других странах, однако в целом проблема автоматизации сборки, в том числе соединения деталей, сопрягаемых по поверхностям вращения, остается еще не решенной. Особенно большие трудности возникают при соединении деталей.

## I.2. Анализ условий, влияющих на процесс автоматического соединения деталей по поверхностям вращения

Целесообразность применения сборочной машины во многом определяется ее фактической производительностью, которая зависит от частоты отказов при работе и длительности их устранения. Причины отказов различны. Основные из них заключаются в несоответствии параметров исполнительного механизма сборочной машины параметрам,

требуемым по условиям соединения конкретных сборочных единиц.

При создании исполнительных механизмов сборочных машин исходными данными должны быть геометрические и силовые (динамические) параметры, определяемые на основе анализа кинематики образования сборочных единиц. Для деталей, соединяемых по коническим и цилиндрическим поверхностям, эта кинематика процесса соединения показана на рис. I.1 и I.2.

На процесс автоматического соединения деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором, влияют различные факторы, основные из них можно разделить на три группы [ 8 ]:

1) связанные с геометрической точностью звеньев системы СПИД;

2) связанные с выбором баз для обеспечения достижения требуемой точности относительного положения соединяемых деталей;

3) связанные с силовыми факторами, возникающими в системе СПИД, в том числе и в зоне контакта соединяемых деталей изделия.

В процессе соединения эти факторы часто возникают и действуют совместно.

### I.2.1. Геометрическая точность звеньев системы СПИД

Для решения задач относительной ориентации соединяемых деталей на позиции сборки с требуемой точностью необходимо, прежде всего, определить условия их соединения. В реальных условиях, вследствие неточности (погрешности) изготовления и закрепления соединяемых деталей изделия других составляющих звеньев: технологической оснастки, сборочного оборудования, погрешностей его настройки соединяемые детали сборочных единиц на рабочей позиции будут иметь смещения и повороты в пространстве, являющиеся основной причиной отказов при сборке изделий. Автоматическое соединение деталей будет возможно лишь в том случае, если суммарные по-

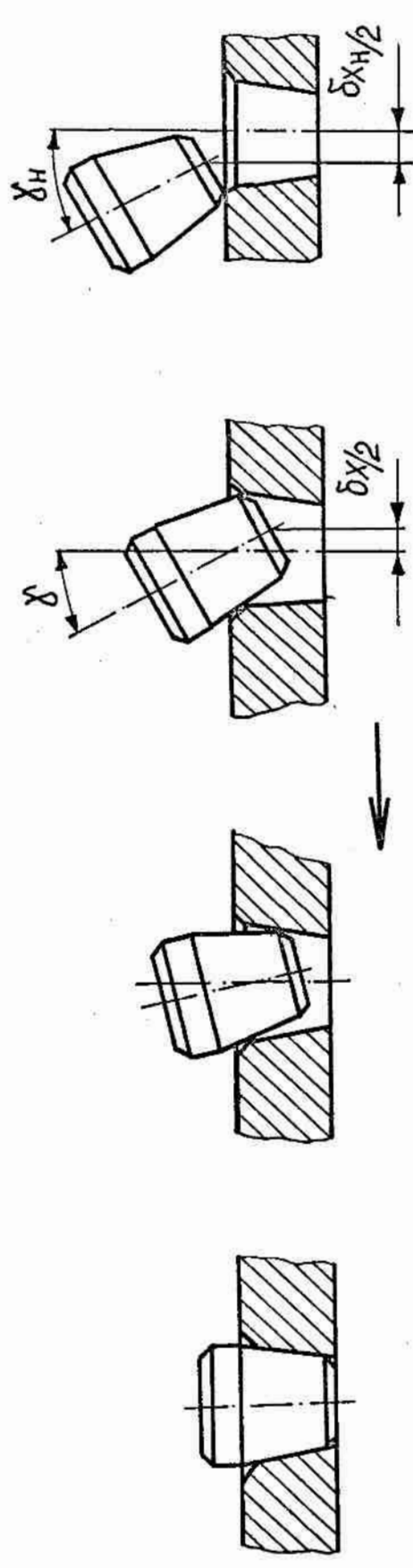


Рис. 1.1. Последовательность соединения деталей по коническим поверхностям [17]  
 $\delta_{H/2}, \delta_H$  - допуски на относительное смещение и перекос соединяемых  
деталей в первоначальный момент

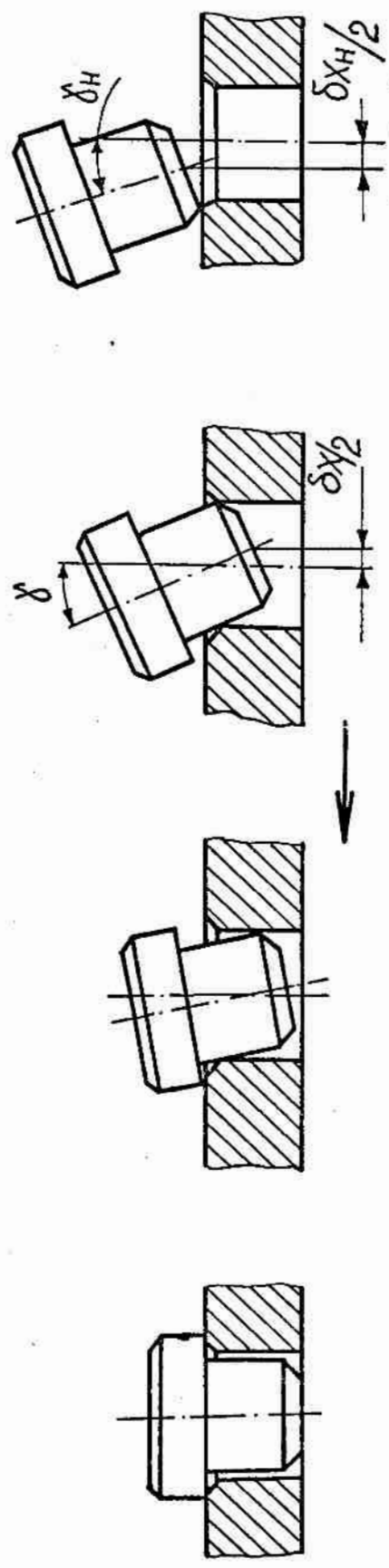


Рис. 1.2. Последовательность соединения деталей по цилиндрическим поверхностям [17]



грешности относительной ориентации в пространстве соединяемых деталей будут меньше допустимых их смещений и поворотов

$$\omega_{\Delta} \leq \delta x_i / 2 \quad (I.1.)$$

где  $\omega_{\Delta}$  - суммарная погрешность относительного смещения осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей;  $\delta x_i / 2$  - максимально допустимая величина смещения осей их сопрягаемых поверхностей, при которой должно обеспечиваться безотказное соединение всех годных деталей.

Величина суммарной погрешности  $\omega_{\Delta}$  характеризует точность совмещения осей соединяемых деталей, обеспечиваемую автоматической сборочной машиной. Значение величины погрешности  $\omega_{\Delta}$  зависит от точности относительного положения исполнительных поверхностей автоматической сборочной машины, точности изготовления сопрягаемых и базовых поверхностей соединяемых деталей и их относительного положения. Определение  $\omega_{\Delta}$  основано на решении пространственной размерной задачи системы СПИД, где  $\Delta$  является суммарным замыкающим звеном размерных цепей А, Б,  $\alpha$  и  $\beta$  (рис. I.3).

При сборке деталей, соединяемых по поверхностям вращения, нахождение суммарной погрешности замыкающего звена  $\Delta$  в общем виде основано на определении погрешностей замыкающих (исходных) звеньев  $A_{\Delta}$ ,  $B_{\Delta}$ ,  $\alpha_{\Delta}$ ,  $\beta_{\Delta}$ .

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \quad (I.2.)$$

$$B_{\Delta} = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 \quad (I.3.)$$

$$\alpha_{\Delta} = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 \quad (I.4.)$$

$$\beta_{\Delta} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5 \quad (I.5.)$$

где  $\delta_{A_{\Delta}}$ ,  $\delta_{B_{\Delta}}$ ;  $\delta_{\alpha_{\Delta}} = 2 |\alpha_i|$ ,  $\delta_{\beta_{\Delta}} = 2 |\beta_i|$

допуски и отклонения исходных звеньев размерных цепей А, Б,

$\alpha$ ,  $\beta$ ;  $A_1, A_5, B_1, B_5, \delta_{A_1}, \delta_{A_5}, \delta_{B_1}, \delta_{B_5}$  - расстояние (размер) и допуски на расстояние между сопрягаемыми и ба-



зскими поверхностями вала (индекс 1) или втулки (индекс 2), предусмотренные рабочими чертежами деталей;

$\alpha_1, \alpha_5, \beta_1, \beta_5, \delta\alpha_1, \delta\alpha_5, \delta\beta_1, \delta\beta_5$  - относительный поворот и допуск на относительный поворот сопрягаемых и базовых поверхностей вала или втулки, предусмотренные, как правило, рабочими чертежами деталей;

$A_2, A_4, B_2, B_4, \delta A_2, \delta A_4, \dots$  - расстояние и допуск на смещение базовой поверхности вала (индекс 2) или втулки (индекс 4) при установке на базирующие устройства сборочной машины;

$\alpha_2, \alpha_4, \beta_2, \beta_4, \delta\alpha_2, \dots$  - относительный поворот и допуск на поворот базовой поверхности вала или втулки при установке на базирующие устройства сборочной машины;

$A_3, B_3, \delta A_3, \delta B_3$  - расстояние и допуск на расстояние между исполнительными поверхностями базирующих устройств сборочной машины;

$\alpha_3, \beta_3, \delta\alpha_3, \delta\beta_3$  - относительный поворот и допуск на относительный поворот исполнительных поверхностей базирующих устройств сборочной машины.

Двумя первыми уравнениями (I.2.) и (I.3.) определяются расстояния  $A_\Delta$  и  $B_\Delta$  оси вала относительно оси втулки, третьим (I.4.) и четвертым (I.5.) - их относительные повороты  $\alpha_\Delta$  и  $\beta_\Delta$ .

Относительное осевое положение деталей определяется размерной цепью

$$B_\Delta = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 \quad (I.6.)$$

где:  $B_1 \div B_5$  - составляющие звенья цепи B.

В случае соединения деталей по поверхностям вращения, значение  $B_\Delta$  не оказывает существенного влияния на обеспечение достижения совпадения осей соединяемых поверхностей деталей, поэтому



в дальнейшем не будем учитывать [17, 33].

Суммарное значение  $\omega_{\Delta}$  зависит от четырех составляющих:  $\omega_{A\Delta}$ ;  $\omega_{B\Delta}$ ;  $\omega_{\alpha\Delta}$ ;  $\omega_{\beta\Delta}$ . В этом случае суммарную погрешность  $\omega_{\Delta}$  с учетом погрешностей поворота соединяемых деталей можно рассчитать по формуле (I.7.)

$$\omega_{\Delta} \sqrt{\omega_{A\Delta}^2 + \omega_{B\Delta}^2} + \omega_{\gamma\Delta} \quad (I.7.)$$

где:  $\omega_{\gamma\Delta}$  - суммарное относительное смещение осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей, вызванное их перекосом на угол  $\gamma$

$$\omega_{\gamma\Delta} = \text{arc tg} \sqrt{\text{tg}^2 \alpha_{\Delta} + \text{tg}^2 \beta_{\Delta}} \quad (I.8.)$$

Для расчета суммарного значения  $\omega_{\Delta}$  по методу максимума и минимума

$$\omega_{\Delta} = \omega_{\Delta y} + \omega_{\Delta H} + \omega_{\Delta \phi} + \omega_{\Delta ab} + \omega_{\Delta z} + \omega_{\Delta z'} + \omega_{\Delta u} + \omega_{\Delta T} + \omega_{\gamma\Delta} \quad (I.9.)$$

где:  $\omega_{\Delta y}$  - погрешность принятой схемы относительной ориентации соединяемых деталей на сборочной позиции (эти погрешности связаны с погрешностью базирования и погрешностью изготовления соединяемых деталей - см. разд. I.3.);  $\omega_{\Delta H}$  - погрешность настройки базирующих устройств (технологической оснастки) элементов сборочной машины;  $\omega_{\Delta \phi}$  - погрешность фиксации транспортного устройства сборочной машины;  $\omega_{\Delta ab}$  - погрешность, вызываемая геометрическими неточностями сборочной машины;  $\omega_{\Delta z}$  и  $\omega_{\Delta z'}$  - соответственно погрешности закрепления базовой и присоединяемой детали;  $\omega_{\Delta u}$  - погрешность, обуславливаемая износом исполнительных поверхностей базирующих устройств машины между двумя последовательными поднастройками;  $\omega_{\Delta T}$  - погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы СПИД (соединяемые детали, приспособления, инструмент, сборочная сила).

Формула (I.9.) учитывает погрешности установки (частично  $\omega_{\Delta y}$  и  $\omega_{\gamma\Delta}$ ,  $\omega_{\Delta \phi}$ ,  $\omega_{\Delta z}$ ,  $\omega_{\Delta z'}$ ); погрешности статической настройки системы СПИД ( $\omega_{\Delta H}$ , частично  $\omega_{\Delta y}$ ,  $\omega_{\Delta ab}$ , частично  $\omega_{\gamma\Delta}$ ), а также погрешности

динамической настройки системы СПИД ( $\omega_{\Delta u}$ ,  $\omega_{\Delta t}$  и частично  $\omega_{\Delta}$ ).

Суммарная погрешность, как это уже было отмечено ранее (см. формулу (I.1.)), не должна превышать допустимого значения  $\delta x_i/2$ , которое является функцией многих параметров сборочного процесса [21] (рис. I.4.).

$$\delta x_i/2 = f(D_A, d_B, C_A, C_B, D_F, \delta_L, l_t, l_\phi, l_a, l_f, R_Z, R_{Z'}, \gamma_n, \varepsilon, J_n, F, F_{z'}, V_u) \quad (I.10)$$

где:  $(D_A - d_B)_{\min}$  - минимальный диаметральный зазор в соединении;  $(D_A - d_B)_{\max}$  - максимальный зазор;  $C_A$  и  $C_B$  - высота заходных фасок базовой и присоединяемой деталей;  $l_t$  и  $l_\phi$  - расстояния между началом посадочной цилиндрической поверхности базовой детали и торцом базирующего ориентирующего устройства;  $l_a$  - расстояние между торцом присоединяемой детали и досылателем;  $l_f$  - расстояние вдоль оси устанавливаемой детали от ее контактирующего торца до места контакта ее на диаметре  $D_F$  сборочным инструментом, воздействующим на нее сосредоточенным усилием  $F$ ;  $R_Z$  и  $R_{Z'}$  - шероховатость сопрягаемых поверхностей базовой и присоединяемой деталей;  $J_n$  - жесткость системы СПИД в направлении оси  $X$ ;  $V_u$  - скорость поступательного движения устанавливаемой детали;  $F_{z'}$  - сила закрепления присоединяемой детали к базирующему устройству;  $\varepsilon$  - угол наклона оси посадочной поверхности отверстия базовой детали от линии действия гравитационного поля;  $\gamma_n$

Максимальное значение допустимого смещения  $\delta x_i/2$  обеспечивается при определенных силовых и скоростных параметрах сборочного процесса и определенных характеристиках (геометрических и жесткостных) и связях звеньев системы СПИД.

В трудах [11, 12, 14, 17, 33 и других] разработаны необходимые условия для обеспечения соединения деталей по поверхностям

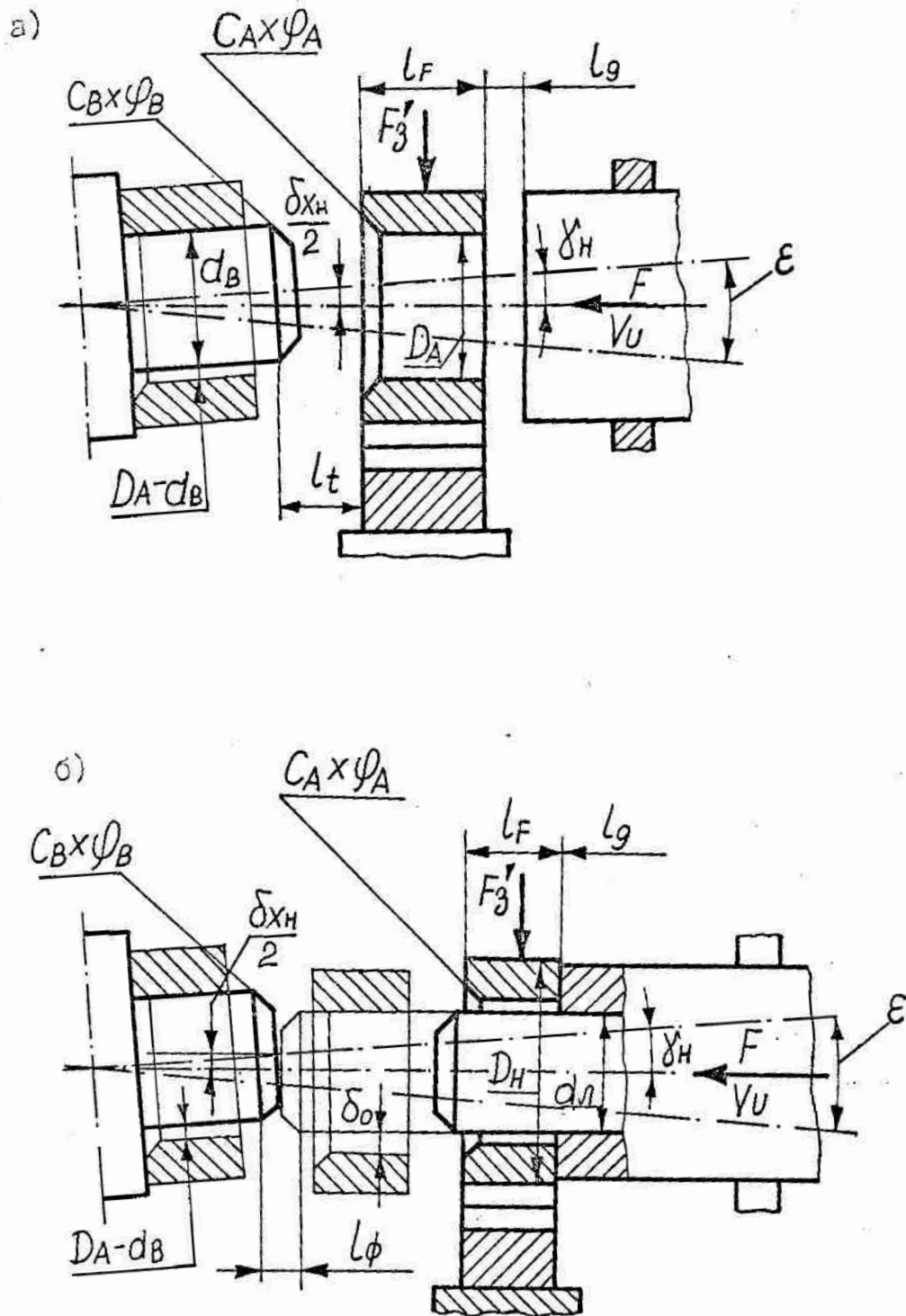


Рис. I.4. Схема сборочной позиции:  
а - механизм без ловителя; б - механизм с ловителем

вращения. Эти условия найдены, исходя из геометрических параметров соединяемых деталей, и даны ограничения по величине силы и скорости установки деталей.

При сборке соединений деталей по поверхностям вращения можно принять за допустимый угол - угол скрещивания осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей  $\gamma_i$ , а за допустимое относительное их смещение величину

$$\delta X_i = \sqrt{\delta x_i^2 + \delta y_i^2} \quad (I.II.)$$

где:  $\delta X_i$  - допуск на относительное смещение сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей в  $i$ -й момент сборки соединения (см. рис. I.5).

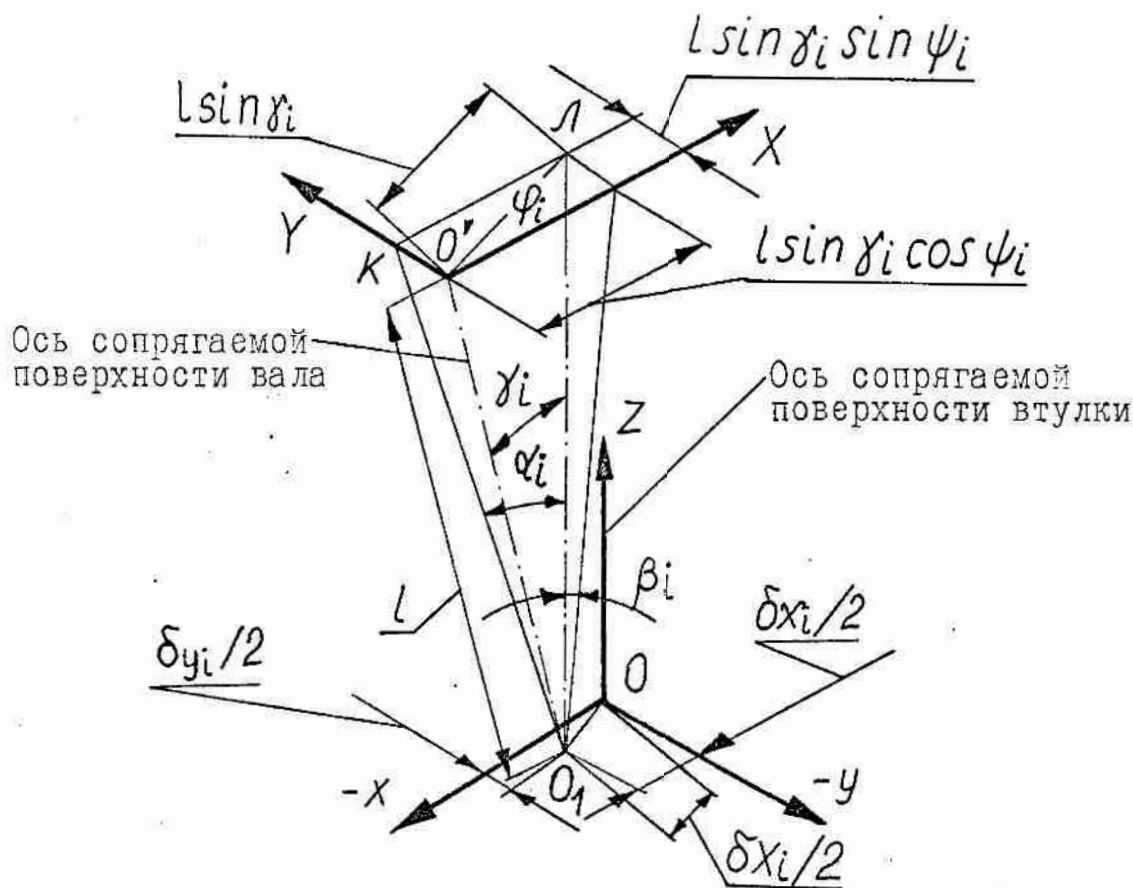


Рис. I.5. Схема для установления взаимосвязи между допусками исходных звеньев системы СПИД

Следовательно, количество искомым неизвестных будет три:  $\delta x_i$ ,  $y_i$ , а также при необходимости  $\delta z_H$  (допуск на относительное осевое положение деталей в первоначальный момент их сборки) [ II ].

Согласно методике, представленной в работе [ II ] и других проф. Гусева А.А., необходимые условия сборки для достижения точности совпадения осей соединяемых поверхностей вращения деталей  $\delta x_i$  и  $y_i$  при аксиальном способе сборки находят из уравнения (I.II.) и др. Это соответствует предельно допустимому относительному положению деталей в первоначальный момент их соединения, когда край торца вала только начинает касаться края фаски втулки, а его ось располагается относительно оси отверстия втулки на расстоянии (рис. I.6 а)

$$0,5\delta x_H = 0,5 D_A + C_A \cdot \operatorname{tg} \varphi_A - (0,5 d_B - C_B \cdot \operatorname{tg} \varphi_B) \cdot \cos \gamma_H \quad (I.I2.)$$

где:  $\delta x_H$  - допуск на относительное смещение осей сопрягаемых поверхностей деталей в первоначальный момент сборки соединения;

$D_A$  - максимальный диаметральный размер конусного отверстия втулки, изготовленного по нижнему предельному отклонению;

$\varphi_A, \varphi_B$  - угол заходной фаски у вала и в отверстии втулки;  $d_B$  - минимальный диаметральный размер конической посадочной ступени вала, изготовленной по верхнему предельному отклонению.

В первоначальный момент сборки соединения координата  $Z_H = z_H$ , связывающая начало системы вала с опорной системой, принадлежащей втулке, может быть найдена по формуле (см. рис. I.6 а)

$$Z_H = (0,5 d_B - C_B \cdot \operatorname{tg} \varphi_B) \cdot \sin \gamma_H \quad (I.I3.)$$

Допустимый угол скрещивания осей сопрягаемых поверхностей деталей в этот момент сборки соединения  $\gamma_H$  во избежание их заклинивания не должен быть больше угла  $\gamma$ , соответствующего моменту их центрирования (рис. I.6 б)



$$|\gamma_n| \leq |\gamma| \quad (I.14.)$$

Значение угла  $\gamma$  зависит от соотношения размеров и формы сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей.

Условия сборки деталей, соединяемых по коническим поверхностям и цилиндрическим поверхностям с гарантированным зазором по мере установки вала или втулки (увеличение значения координаты  $Z$ ) будут изменяться, т.е. (см. рис. I.6 в)  $\sphericalangle II \sphericalangle$

$$\gamma' = \varphi_k - \text{arcctg}(D_A/A - \text{tg}\varphi_k) + \arccos [d_B \cdot \cos\varphi_k / \sqrt{A^2 + (D_A - \text{tg}\varphi_k)^2}] \quad (I.15.)$$

$$0,5\delta X = 0,5D_A - A \cdot \sin\varphi_k - 0,5d_B \cdot \cos\gamma' - C_B \cdot \sin|\gamma| \quad (I.16.)$$

$$\text{где } A = -Z' - C_A - 0,5d_B \cdot \sin|\gamma'| - C_B \cdot \cos\gamma' \quad (I.17.)$$

Из уравнений (I.15. ÷ I.17.) можно получить частные значения углов  $\gamma'$  и  $\delta X'$ . При  $A = L_p$  (где  $L_p$  - длина посадочной ступени) допуски  $\delta X'$  и  $\gamma'$  соответствуют их значениям в собранном соединении.

Численные значения найденных по этой методике  $\sphericalangle II \sphericalangle$  условий сборки для цилиндрических соединений деталей приведены в таблицах работы  $\sphericalangle II \sphericalangle$ .

Вычисленные по уравнениям (I.15.) или его частным значениям величины углов  $\gamma$  или  $\gamma'$  не должны превышать предельно допустимых значений  $\gamma_{np}$ , ограниченных соотношением размеров торца вала и длиной его посадочной ступени (рис. I.7).

$$\gamma \leq \gamma_{np} = \text{arc tg} [2L_p / (D_B - d_B)] \quad (I.18.)$$

Из приведенных результатов видно, что для посадок по СТ СЭВ 145-75  $\sphericalangle I7 \sphericalangle$  для  $D_A = 1 \div 100$  мм величина угла  $\gamma$  колеблется в пределах от  $11^\circ 29'$  (для  $D_A = 1$  мм и посадок  $H/d$ ) до  $0^\circ 53'$  (для  $D_A = 100$  мм и посадок  $H/g$ ), а допуск на смещение осей

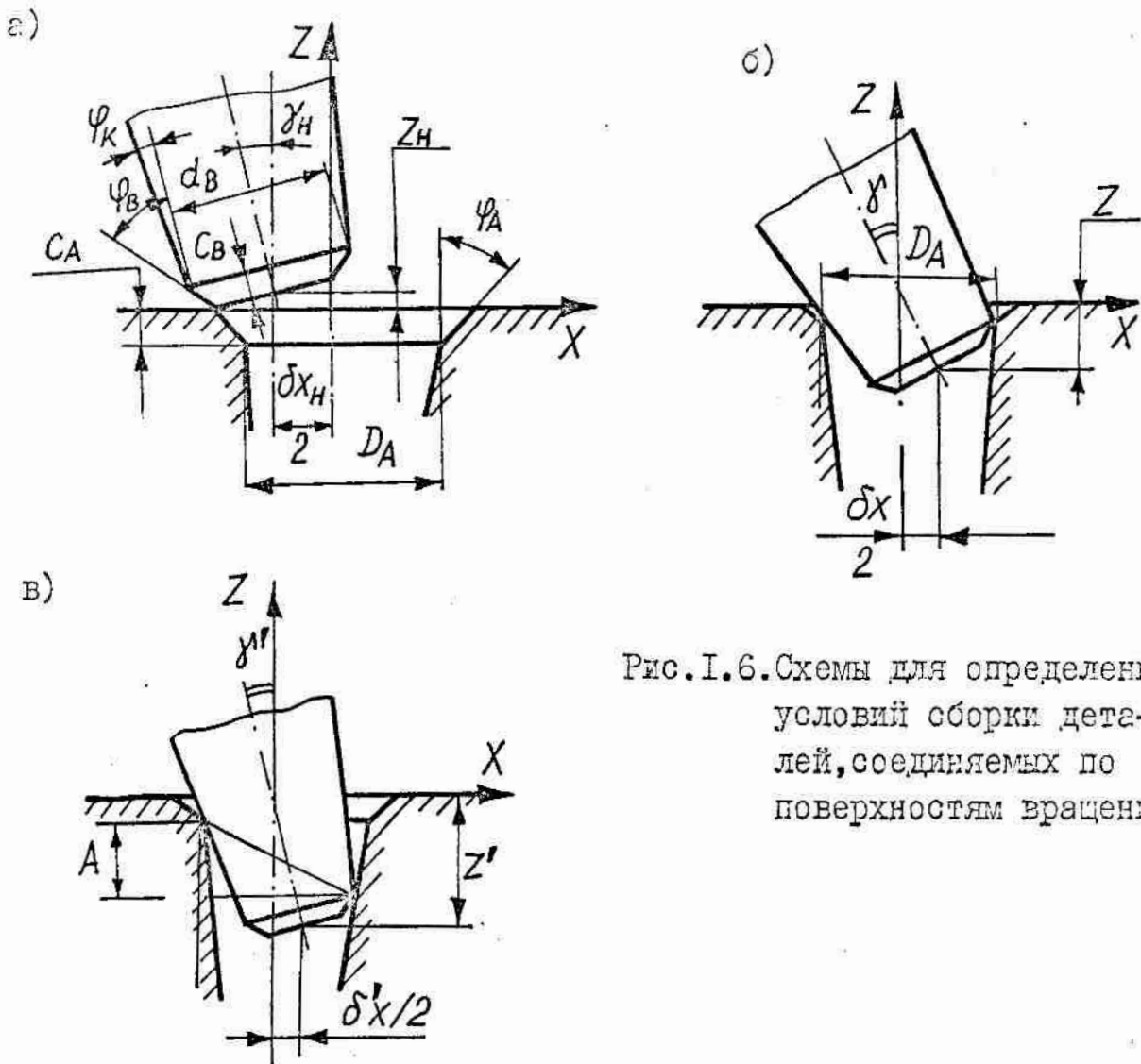


Рис. I.6. Схемы для определения условий сборки деталей, соединяемых по поверхностям вращения

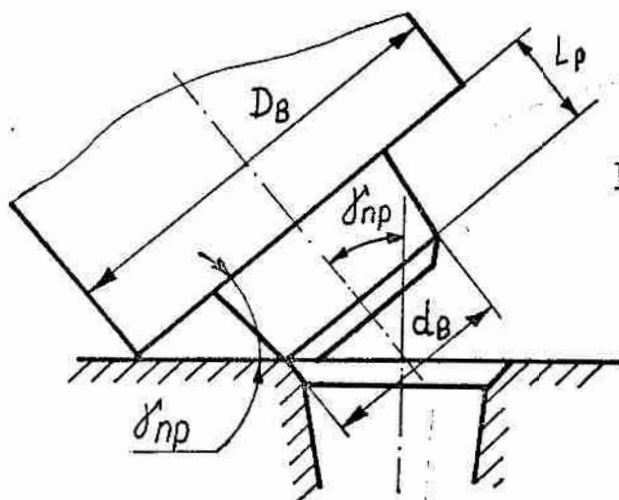


Рис. I.7. Схема для расчета предельно допустимого угла скрещивания осей сопрягаемых поверхностей вращения соединяемых деталей

$0,5 \delta x$  в пределах от 0,001 мм (для  $D_A = 1$  мм и посадок  $H/g$ ) до 0,060 мм (для  $D_A = 100$  мм и посадок  $H/d$ ).

Исходя из подобных соображений другими авторами [ 48 ] были также проведены расчеты допустимых при сборке углов  $\gamma$  и отклонений  $\delta x / 2$  для различных посадок и проведены эксперименты.

Из результатов, приведенных на рис.1.8, а также полученных в работе [ 17 ] видно, что при соединении цилиндрических деталей с гарантированным зазором по посадкам 2-го и 3-го классов точности величины допустимых углов перекосов  $\gamma$  и смещений  $\delta x / 2$  малы. Для решения задачи соединения этих деталей в случае отсутствия компенсаторов и системы поиска потребовалась бы автоматическая сборочная машина с жесткими базирующими устройствами, имеющая чрезвычайно "жесткие" допуски на составляющие звенья системы СПИД. Анализ работы оборудования в производственных условиях показал, что имеющиеся отказы являются в большинстве случаев следствием того, что суммарная погрешность звеньев системы СПИД выходит за пределы допустимых значений  $\delta x_i / 2$  и  $\gamma_i$ , так как не выполняется условие (1.1.).

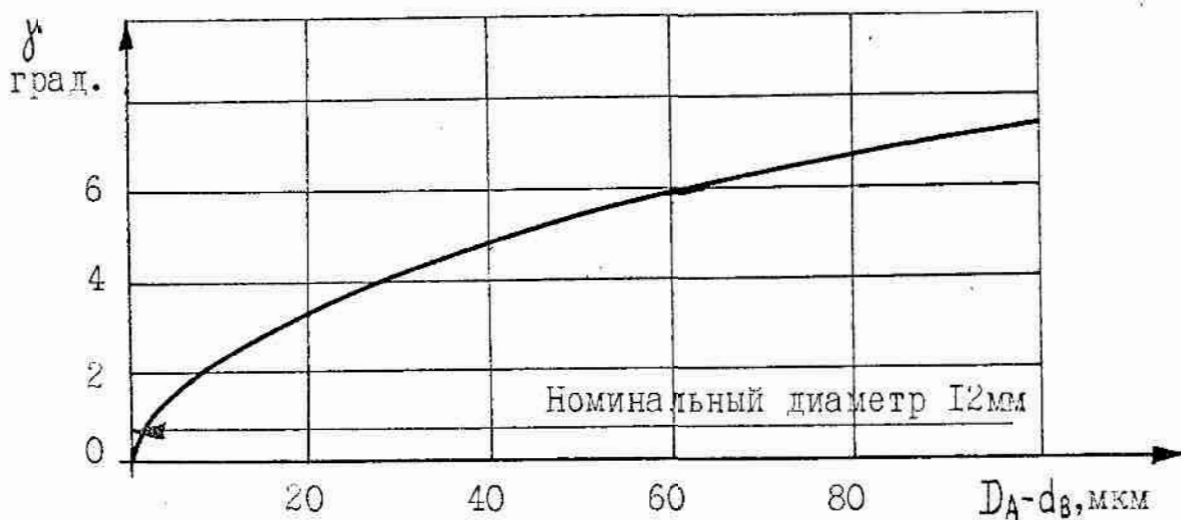


Рис.1.8. График значений допустимых величин углов скрещивания осей сопрягаемых цилиндрических поверхностей деталей в зависимости от зазора в соединении

### 1.2.2. Базирование соединяемых деталей

Процесс автоматической сборки связан с непрерывным изменением базирования соединяемых деталей по пути от загрузочных устройств до соединения и фиксации достигнутого положения в собранном изделии [ 24,26 ]. Наиболее ответственным этапом автоматической сборки является обеспечение относительного положения соединяемых деталей на базирующих устройствах перед их сопряжением. При этом необходимо, чтобы величины погрешностей относительного положения сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей удовлетворяли неравенству (1.1.).

Схемами базирования соединяемых деталей при автоматической сборке могут быть выбраны те из них, которые обеспечивая решение задачи, удовлетворяют условиям сборки и определяют с требуемой точностью положения в пространстве двух и более сопрягаемых деталей относительно друг друга перед их соединением [ 26 ].

Точность относительного положения соединяемых деталей зависит от выбранных схем базирования, характера и состояния исполнительных поверхностей базирующих устройств и их относительного положения. Однако, независимо от иного положения в пространстве исполнительных поверхностей базирующих устройств (вертикального, горизонтального или наклонного положения соединяемых деталей), схемы базирования будут одни и те же. Разница заключается только во взаимодействии сил тяжести соединяемых деталей, сборочных сил и сил трения.

Необходимая точность совпадения осей посадочных поверхностей зависит от исходных (замыкающих) звеньев размерных цепей  $A_{\Delta}$ ,  $B_{\Delta}$ ,  $\alpha_{\Delta}$ ,  $\beta_{\Delta}$  (см.рис.1.3.). В зависимости от точностных характеристик соединяемых деталей и их габаритных размеров,

намеченные задачи могут решаться посредством различных схем базирования.

При решении задач автоматизации сборки деталей с гладкими цилиндрическими поверхностями сопряжения необходимо обеспечить достижение точности совпадения осей их посадочных поверхностей в пространстве и в пределах допусков, установленных условиями их сборки. Наиболее распространенные схемы базирования соединяемых деталей, обеспечивающие совпадение осей и сопряжение цилиндрических поверхностей, представлены в таблице I.1. на рис. I.9.

Откуда видно, что при базировании обеих соединяемых деталей по двойной направляющей базе (схемы I - IV) должно быть обеспечено определенное расстояние между осями базовых поверхностей деталей  $Ч_3$  и их угловое положение  $\delta_3$ . Если одна из деталей базируется по установочной и двойной опорной базам, а другая по двойной направляющей базе (схемы V - VIII, XI, XII), то для их соединения также необходимо обеспечить определенное расстояние  $Ч_3$  и угловое положение деталей  $\delta_3$  только между базовой плоскостью и осью. При базировании деталей по установочным и двойным опорным базам (схема X) для осуществления их сборки нужно, чтобы не превышали определенных значений угол между базовыми поверхностями соединяемых деталей и расстояние между опорными базами [II].

Из рассмотренных общих случаев можно получить частные, когда оси посадочных поверхностей деталей перпендикулярны или параллельны базовой плоскости либо оси.

В результате выбора баз для соединяемых деталей должна быть решена важная задача - установлены максимально возможные допуски на относительное положение исполнительных поверхностей базирующих устройств для вала и втулки, т.е. [I7].



№ схем	λ/a	Двойная направляющая поверхность		Двойная опорная (центрирующая)		Частичная поверхность		Направляющая поверхность		Опорная поверхность	
		Вала	Базовый детали (втулка)	Вала	Втулки	Вала	Втулки	Вала	Втулки	Вала	Втулки
I	>1	Цилиндрическая наружная, т. 1÷4	Цилиндрическая наружная, т. 1÷4					Т. 5,6		Т. 5,6	Т. 5,6'
II	>1	Цилиндрическая наружная, т. 1÷4	Цилиндрическая внутренняя, т. 1÷4					Т. 5,6		Т. 5,6	Т. 5,6'
III	>1	Цилиндрическая наружная, т. 1÷2, и центровая, т. 3, 4	Цилиндрическая внутренняя, т. 1÷4					Т. 5,6		Т. 5,6	Т. 5,6'
IV	>1	Центровые отверстия, т. 1÷4	По схеме III т. 1'÷4'					Т. 5,6		Т. 5,6	Т. 5,6'
V	<1	по схеме I т. 1÷4	Цилиндрическая наружная т. 4,5'		Цилиндрическая наружная т. 4,5'		Торец, т. 1'÷3'	Т. 5,6		Т. 5,6	Т. 6'
VI	<1	по схеме I т. 1÷4	Цилиндрическая внутренняя т. 4,5'		Цилиндрическая внутренняя т. 4,5'		Торец, т. 1'÷3'	Т. 5,6		Т. 5,6	Т. 6'
VII	<1	по схеме III т. 1÷4	Цилиндрическая внутренняя т. 4,5'		Цилиндрическая внутренняя т. 4,5'		Торец, т. 1'÷3'	Т. 5,6		Т. 5,6	Т. 6'
VIII	<1	по схеме IV т. 1÷4	Цилиндрическая внутренняя т. 4,5'		Цилиндрическая внутренняя т. 4,5'		Торец, т. 1'÷3'	Т. 5,6		Т. 5,6	Т. 6'
IX	>1	по схеме I т. 1÷4					Наружная плоская, т. 1'÷3'	Т. 5,6	Наружная плоская, т. 4,5'	Т. 5,6	Т. 6'
X	<1		Наружная цилиндр, т. 4,5			Торцевая поверхность т. 1÷3	Наружная плоская т. 1'÷3'	Т. 6	Цилиндрическая внутр., т. 4,5'	Т. 6	Т. 6'
XI	<1		Цилиндрическая наружная, т. 1'÷4'		Цилиндрическая внутренняя т. 5,6'	Торцевая по схеме X, т. 1÷3		Т. 6		Т. 6	
XII	<1		Цилиндрическая наружная, т. 1'÷4'		Цилиндрическая наружная т. 4,5	Торцевая по схеме X, т. 1÷3					Т. 5,6'

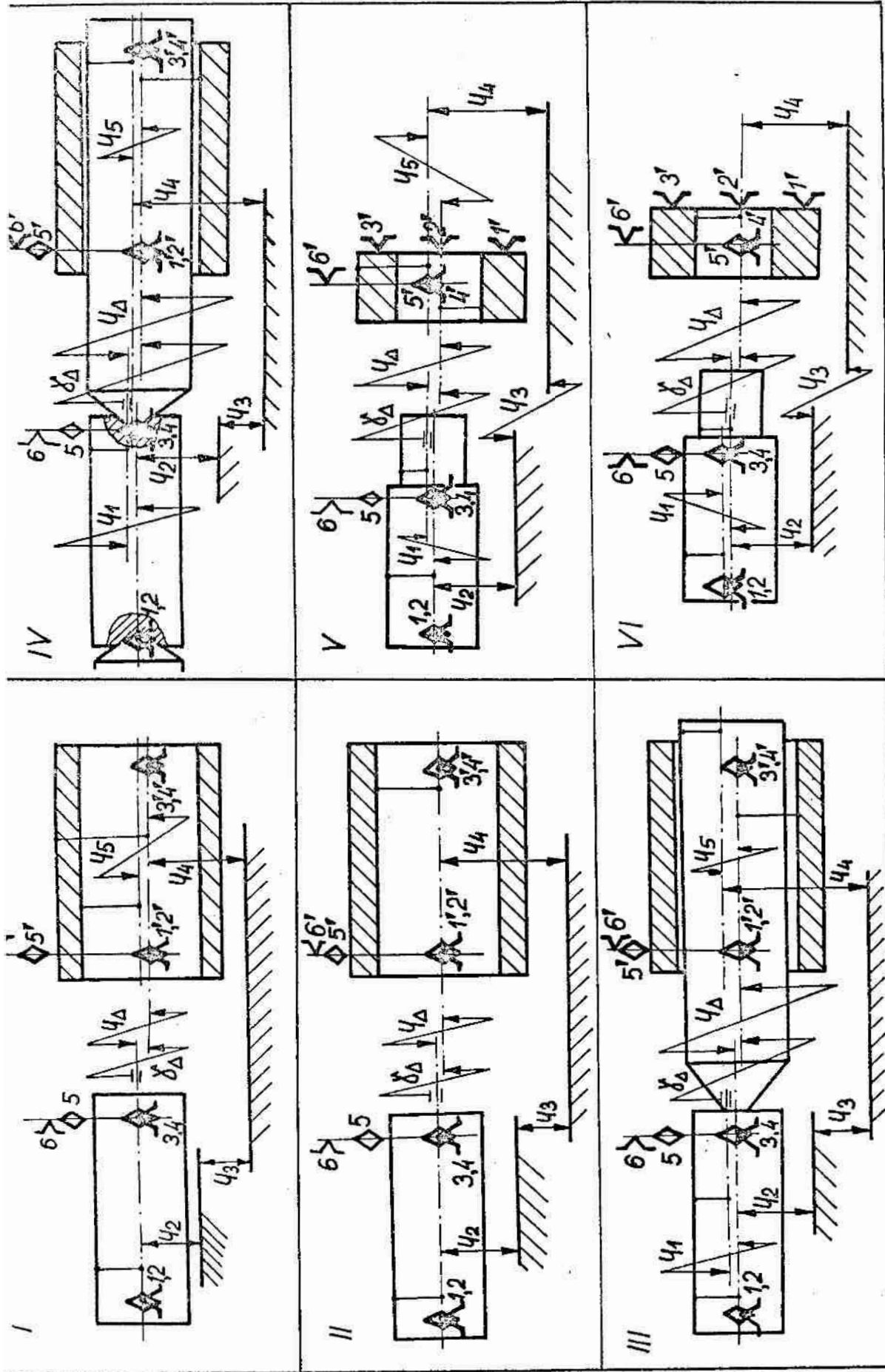


Рис. I.9./продолжение см.стр.27/

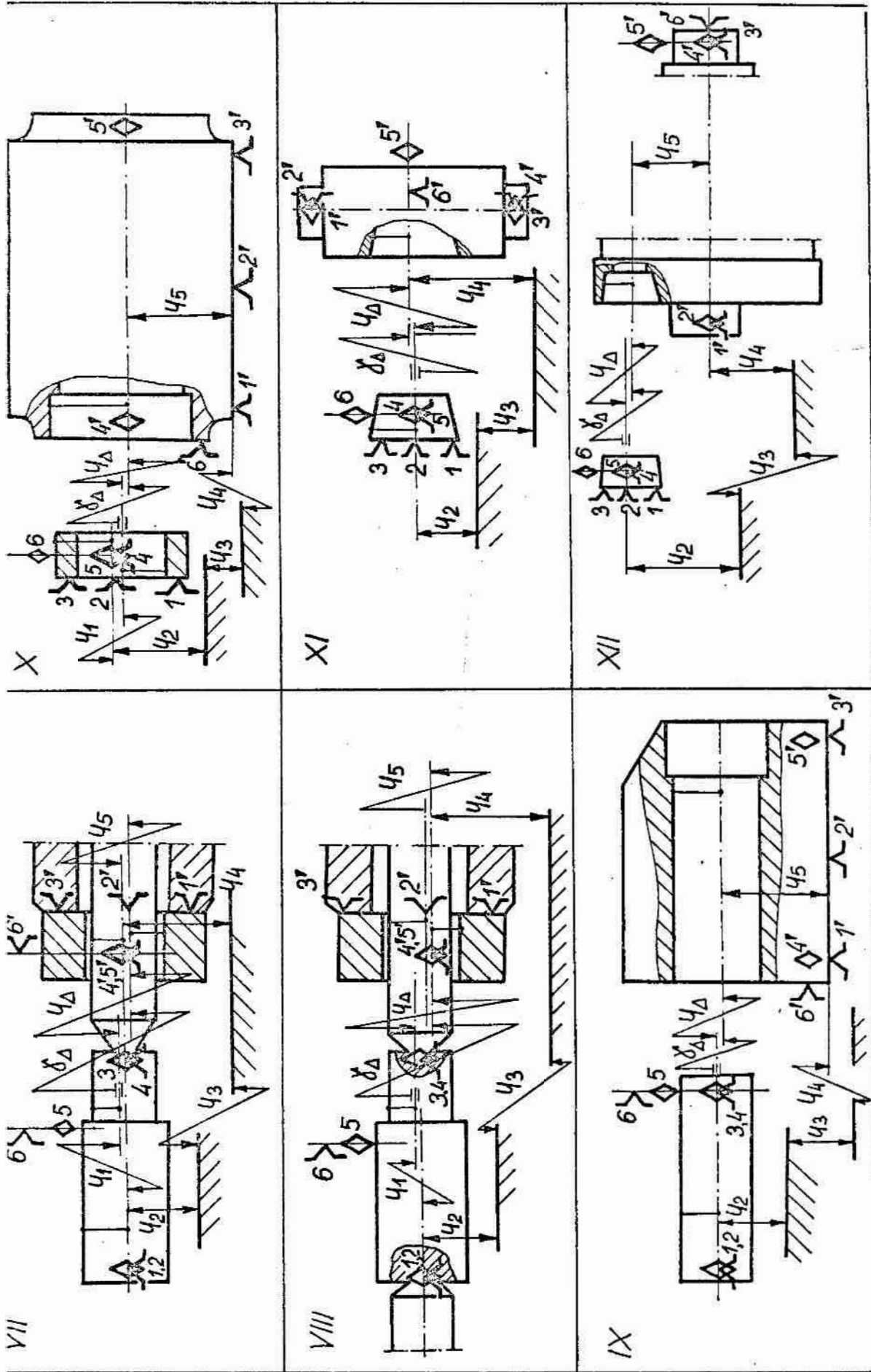


Рис. I.9. Схемы базирования деталей при сборке соединений для обеспечения достигнутой точности совпадения осей их сопрягаемых поверхностей и осевого положения деталей

$$\delta x_3 = \max; \delta y_3 = \max; \delta \alpha_3 = \max, \delta \beta_3 = \max, \quad (I.19.)$$

или  $\delta X_3 = \max$  и  $\delta \gamma_3 = \max$

Учитывая формулы (I.2.) ÷ (I.5.); (I.9.); (I.12.), можно записать

$$\delta x_3 = \delta A_3 = \delta A_\Delta - \delta A_1 - \delta A_2 - \delta A_4 - \delta A_5;$$

$$\delta y_3 = \delta B_3 = \delta B_\Delta - \delta B_1 - \delta B_2 - \delta B_4 - \delta B_5.$$

Для выполнения поставленной задачи /см. уравнения (I.19.)/, сумма допусков на относительное положение посадочных и базовых поверхностей вала и втулки и достигаемая точность базирования этих соединяемых деталей должна быть минимальной [ I7 ].

$$\left. \begin{aligned} \delta A_1 + \delta A_2 + \delta A_4 + \delta A_5 &= \min \\ \delta B_1 + \delta B_2 + \delta B_4 + \delta B_5 &= \min \end{aligned} \right\} \quad (I.20.)$$

Минимальная сумма соответствующих допусков  $\delta A_1, \delta A_2, \dots, \delta A_5, \dots$  и  $\delta B_5$  составляющих звеньев размерных цепей и цепей относительных поворотов, связывающих положения сопрягаемых и базовых поверхностей деталей, может быть найдена на основе выбора одного из возможных вариантов базирования соединяемых деталей. Таким образом, следует осуществлять выбор рациональных схем базирования соединяемых деталей. Однако очевидно, что допуски  $\delta A_1, \delta A_5, \delta B_1, \delta B_5, \dots$  имеют наименьшую величину тогда, когда в качестве базовых поверхностей деталей используют поверхности, расположенные с наибольшей точностью относительно посадочных поверхностей. Эти допуски, а также близкие к нулевым значениям допуски  $\delta A_2, \delta A_4, \delta \alpha_2, \delta \alpha_4, \dots$ , не будут оказывать влияние на процесс соединения деталей, если при базировании осуществлять их центрирование непосредственно по посадочным поверхностям (см. схему VII и VIII на рис. I.9.) [ 3, II, 22, 26 и другие ].

Часто обеспечить такое базирование для обеих соединяемых деталей не представляется возможным, и поэтому при сборке изделия в качестве баз для корпусной детали или втулки обычно следует использовать ее основные базы. Для вала с целью сохранения единства баз целесообразно использовать либо технологические базы, которые уже применялись при механической обработке (см. схему VШ на рис. I.9., где использованы центровые отверстия деталей), либо те поверхности детали, которые обрабатывали на станке вместе с посадочной ступенью с одной установки (таких поверхностей у деталей обычно немного).

Желательно базирование присоединяемых деталей для достижения точности совпадения осей посадочных поверхностей осуществлять по двойной направляющей базе. Это, в первую очередь, необходимо для сборки изделий, когда требуется присоединение нескольких деталей с разных сторон базовой детали или одновременная их установка с одной стороны. Если это возможно, исходя из конструктивных размеров и точностных параметров соединяемых деталей, то базовую деталь - корпус или вал - устанавливают и закрепляют на жесткие опоры базирующих устройств приспособления. Необходимое для соединения деталей относительные перемещения и повороты будут обеспечиваться за счет упругих опор базирующих устройств (инструмента) устанавливаемой детали.

При выборе баз для обеспечения достижения требуемой точности относительного осевого положения соединяемых деталей желательно при сборке иметь в качестве баз те их поверхности, между которыми задан размер в соединении. Если использовать эти поверхности не удастся, то в качестве баз должны быть выбраны поверхности, расположенные с наибольшей точностью относительно заданных. Выбор способа сборки соединений, базовой детали и места



расположения опорных точек для соединяемых деталей дает возможность рассчитать точность их базирования.

Точность базирования деталей составляет лишь некоторую часть точности их установки, которая зависит также от колебания сил закрепления и физико-механических свойств соединяемых деталей и базирующих устройств сборочной машины.

Величина сил закрепления каждой детали зависит от действующих в процессе сил и моментов. Поэтому расчет сил закрепления соединяемых деталей и точности их установки надо начинать с расчета режимов технологического процесса, определения направления действия сил и величины сборочной силы.

### 1.2.3. Режимы технологического процесса соединения деталей

Для осуществления сборочного процесса необходимы определенные динамические связи. В процессе автоматической сборки изделий сборочные устройства оказывают на соединяемые детали силовые, температурные и физико-химические воздействия. В процессе соединения деталей основные действующие силы это: сборочная сила  $F$ , сила закрепления деталей  $F_{зак}$  и силы массы - инерционные силы  $F_{ин}$ . Эти силы воздействуют на сопрягаемые и другие поверхности соединяемых деталей и на систему СПИД в целом.

Для обеспечения качественной сборки соединения и изделия в целом необходимо определить допустимые величины силовых воздействий на составляющие звенья системы СПИД. Эти нагрузки могут быть определены расчетным путем. Для этого нужно иметь схему базирования деталей, знать точки приложения и направления действующих сил, площади взаимодействующих поверхностей, материалы и свойства деталей [25].

В процессе соединения деталей без применения системы автоматического управления все относительные перемещения этих деталей и других элементов системы СПИД осуществляются под действием сборочной силы  $F$  (точнее ее составляющих). Это: нормальные реакции в точках контакта соединяемых деталей с базирующими устройствами и между соединяемыми деталями  $N_1$ ,  $N_2$ , силы трения и др.

Исследование законов изменения динамических параметров процесса соединения деталей по литературным источникам [9, II, 2I, 40] показало, что во всех случаях сделано допущение, что выполнение относительных перемещений осуществляется при минимальной скорости сопряжения  $V_{min}$ , при которой влияние ускорений не оказывает существенного значения на процесс соединения. Правда в ряде случаев найдены законы изменения динамических параметров на основе использования законов теоретической механики, сопротивления материалов, теории упругости и пластичности [17].

Весь процесс сборки деталей, соединяемых по поверхностям вращения с гарантированным зазором, можно разделить на три этапа [9, II, 2I]: первый - перемещение присоединяемой детали до контакта ее с базовой деталью; второй - относительное скольжение деталей по фаскам; третий - сопряжение деталей по их цилиндрическим поверхностям до полной сборки соединения. Деление процесса сборки на ряд этапов необходимо для нахождения лимитирующего этапа, на котором будут наиболее неблагоприятные условия сборки. Это позволит выявить причины отказов в технологической системе СПИД.

На первом этапе соединения существует опасность повреждения деталей при контакте сборочного инструмента с устанавливаемой деталью, размещенной в базирующем устройстве сборочной машины,

а также в первоначальный момент соединения деталей за счет кинетической энергии удара подвижных частей привода, рабочего инструмента и устанавливаемой детали.

Исходя из результатов расчета, приведенных в работах [ II, 2I ] следует, что в первоначальный момент сборки (конец первого этапа) сборочная сила  $F$  и другие силы (нормальная реакция  $N_1$ , сила трения  $\mu N_1$ , нормальные реакции в точках контакта с базирующими устройствами и др.) могут иметь разные значения в зависимости от принятой схемы базирования соединяемых деталей от места приложения и направления действующих сил и моментов и т.д.

В работах [ II, 15 ] для схемы, представленной на рис. I.10, а, определено соотношение между величинами сборочного усилия  $F$  и нормальной реакцией  $N_1$  (формула I.21.), для первоначального этапа соединения деталей.

$$N_1 = \frac{F + G \cdot \cos \varepsilon - j(l_{1-2} + l_{3-4}) \cdot f \cdot \cos^2(|\gamma_H| + \varphi_{к\delta})}{\sin|\varphi| + \mu \cdot \cos \varphi} \quad (I.21.)$$

где:  $G$  - сила тяжести устанавливаемой детали;  $j$  - жесткость упругих опор;  $l_{1-2} = K_X \cdot h_{1-2} / h_{3-4}$ ;  $l_{3-4} = K_X$  - упругие перемещения опор базирующих устройств-компенсаторов;  $h_{1-2}$ ,  $h_{3-4}$  - расстояния от торца базовой детали до места установки соответствующих упругих опор базирующих устройств устанавливаемой детали;  $f$ ,  $f_F$  - коэффициент трения в местах контакта устанавливаемой детали с базирующими устройствами в том числе и с рабочим инструментом;  $\varphi_{к\delta}$  - угол уклона устанавливаемой детали в местах ее базирования, угол  $\varphi_{к\delta}$  следует принимать со знаком плюс при возрастании диаметральных размеров и со знаком минус при их уменьшении;  $\mu$  - коэффициент трения в местах контакта соединяемых деталей;  $\varphi$  - величина угла между направлением действия силы трения и координатной осью  $Z$ .

Значение угла  $\varphi$  зависит от формы поверхностей соединяемых деталей (рис. I.11.). Если устанавливаемый вал будет направляться заходной фаской отверстия детали (рис. I.11,а), то  $\varphi = \varphi_A$ , а если собственной фаской (рис. I.12,б), то  $\varphi = \varphi_B + |\gamma_H|$ . В ряде случаев одна или обе соединяемые детали могут не иметь заходных фасок определенных форм и размеров, тогда силы трения будут действовать вдоль образующих сопрягаемых поверхностей деталей, поэтому  $|\varphi| = |\gamma_H|$ , если они соединяются по цилиндрическим поверхностям, и  $\varphi = \varphi_K$  или  $|\varphi| = |\varphi_K| + |\gamma_H|$ , если их посадка осуществляется по коническим поверхностям.

Определены также необходимые значения жесткости упругих опор, которые должны обеспечить выполнение двух функций - центрировать и удерживать устанавливаемую деталь. В этих работах приведены формулы для определения величины сборочной силы для различных видов компенсации относительных поворотов и смещений.

Отдельные разделы работ [ 9,17 ] посвящены динамическим нагрузкам, возникающим при контакте сборочного инструмента с устанавливаемой деталью, размещенной в базирующем устройстве сборочной машины, а также в первоначальный момент соединения деталей за счет кинетической энергии удара подвижных частей привода, рабочего инструмента и устанавливаемой детали. Инерционные силы могут повредить отдельные звенья системы СПИД [ 9,17,23 ], а также вызвать образование дополнительных погрешностей относительного положения соединяемых деталей, которые могут превысить по величине допустимые значения смещения соединяемых деталей  $\delta X_H / 2$  (формула I.11.) [ 21 ]. Поэтому основной задачей на первом этапе сборочного процесса является ограничение до минимума воздействия инерционных сил.

В работе [ 17 ] изложена методика и формулы, определяющие

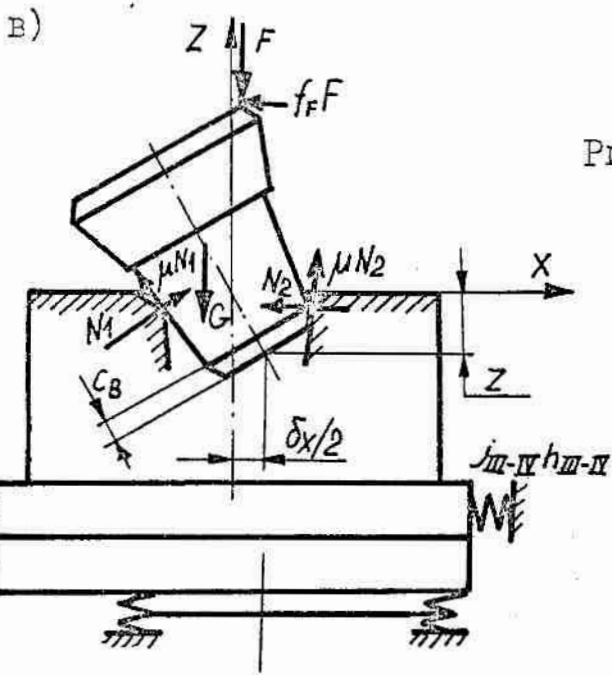
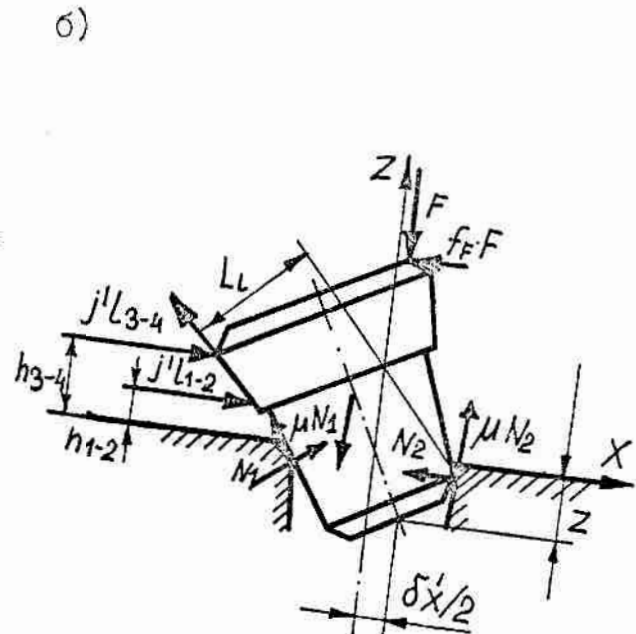
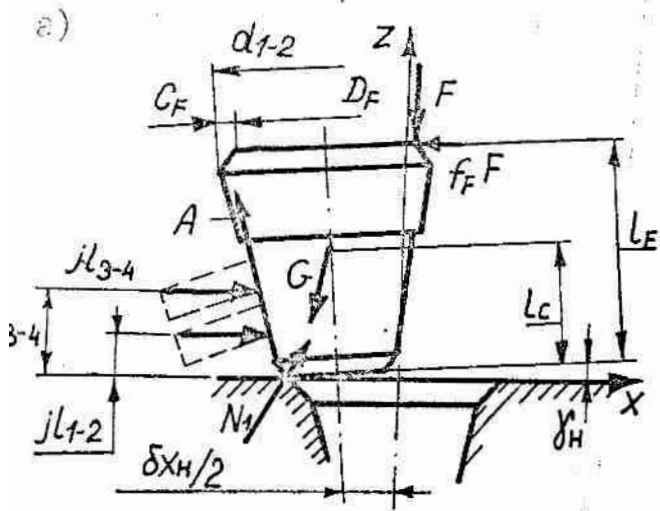


Рис. I. IO. Схема для расчета усилия, необходимого для соединения деталей по коническим и цилиндрическим поверхностям с гарантированным зазором

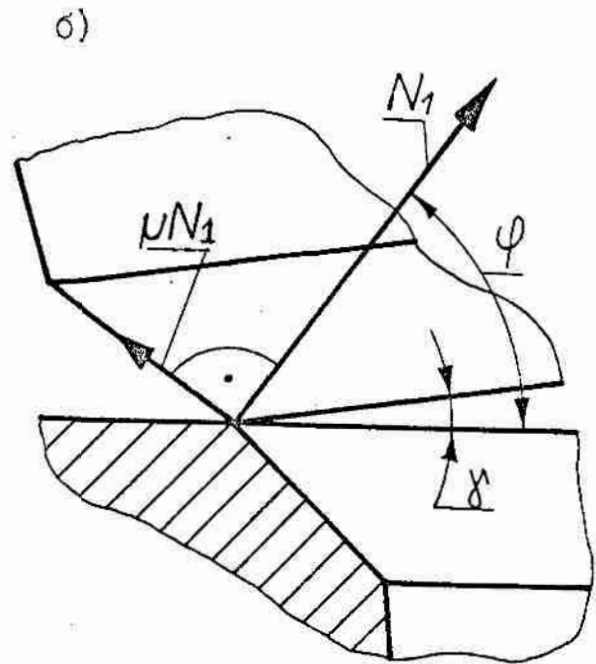
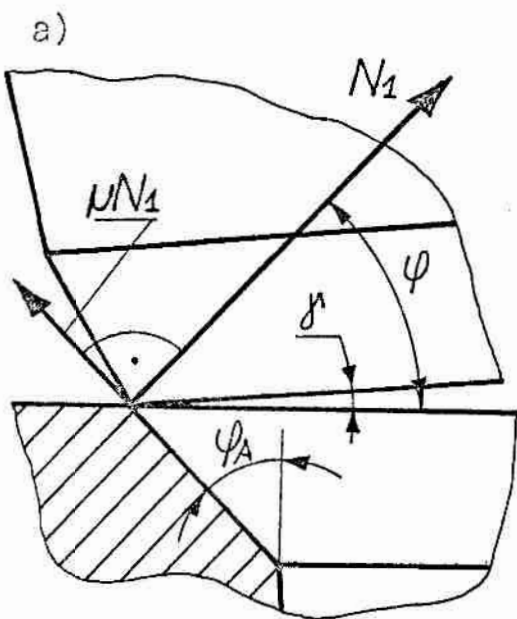


Рис. I. II. Схемы для определения направления реакции в месте контакта соединяемых деталей



параметры процесса сборки. Выходным параметром является допустимая скорость перемещения  $V_0$  устанавливаемой детали при известной энергии единичного удара  $A_y$  для соединяемых деталей.

Проведенные исследования [ 17,21 ] показывают, что необходимо принимать такую скорость соединения, которая до минимума уменьшит воздействие инерционных сил. Это можно осуществить разными мерами в зависимости от схемы базирования соединяемых деталей, их формы, а также положения и конструктивных форм сборочных устройств и других действующих факторов.

После контакта соединяемых деталей, имеющих заходные фаски, и среза (смятия) кромок дальнейшее перемещение устанавливаемой детали характеризуется скольжением одной из них по фаске другой.

Два первых этапа соединения деталей носят нестабильный характер, а поэтому дифференциальные уравнения будут содержать неизвестные ни по модулю, ни по направлению силы трения [ 18 ]. Только в момент вхождения одной из деталей во внутреннюю поверхность другой векторы сил трения стабилизируются, это имеет место в конце второго (начале третьего) этапа соединения. При этом силы сопротивления (силы трения  $\mu N_1$ ,  $\mu N_2$ ; нормальные реакции  $N_1, N_2$ ) достигают обычно наибольших значений [ 17,21 ]. Если вал устанавливается в наклонное отверстие базовой детали [ 17 ] (рис. I. II, б), то согласно приведенным формулам видно, что при  $(l_F - c_B) \sin |\gamma'| \neq 0,5 D_F - 0,5 d_B \cos \gamma' < D_A$  (где  $D_F$  - диаметр устанавливаемой детали в месте приложения силы  $F$ ) автоматическая сборка соединения будет невозможна без изменения либо места приложения сборочного усилия, либо величины  $\gamma'$  до таких его значений, при которых данное неравенство будет выдержано.

При вертикальном расположении оси посадочной поверхности

отверстия базовой детали, установленной на упругие опоры для сжатия компенсаторов (рис. I.10, в), потребуется дополнительная сборочная сила, величина которой зависит от силы тяжести базовой детали и подвижных частей приспособления.

Для обеспечения процесса автоматической сборки деталей следует ориентироваться на такую стадию изменения сил сопротивления ( $\mu N_1, \mu N_2, N_1, N_2, f_F F$  и др.) в процессе сборки, при которой величина силы  $F$  будет наибольшей. Обычно это третий этап сборки  $[21]$  - период сопряжения деталей по их цилиндрическим поверхностям.

При высокой жесткости системы СПИД максимального значения силы сопротивления достигают на третьем этапе в момент схода присоединяемой детали с базирующего устройства (рис. I.12).

Особое значение при сборке имеет заклинивание деталей, поскольку часто является причиной отказов при работе сборочных машин из-за увеличенных значений углов  $\gamma$  перекосов осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей.

Проблеме определения условий заклинивания деталей посвящены работы ряда исследователей, которые пытались решить ее с различных позиций. Большинство авторов  $[23, 49]$  решало эту задачу с чисто геометрических позиций, считая, что для избежания заклинивания соединяемых деталей угол их перекоса  $\gamma_{доп}$  (рис. I.13) в момент центрирования не должен превышать значения

$$\gamma_{доп} = \arccos(d_B/D_A) \quad (I.22.)$$

При этом не учитывали влияния действующих силовых факторов, возникающих в системе СПИД, а также ряда других геометрических параметров соединяемых деталей и много другого. Это в значительной мере не соответствует действительности о чем свидетельствуют в ряде случаев и результаты экспериментов самих же авторов

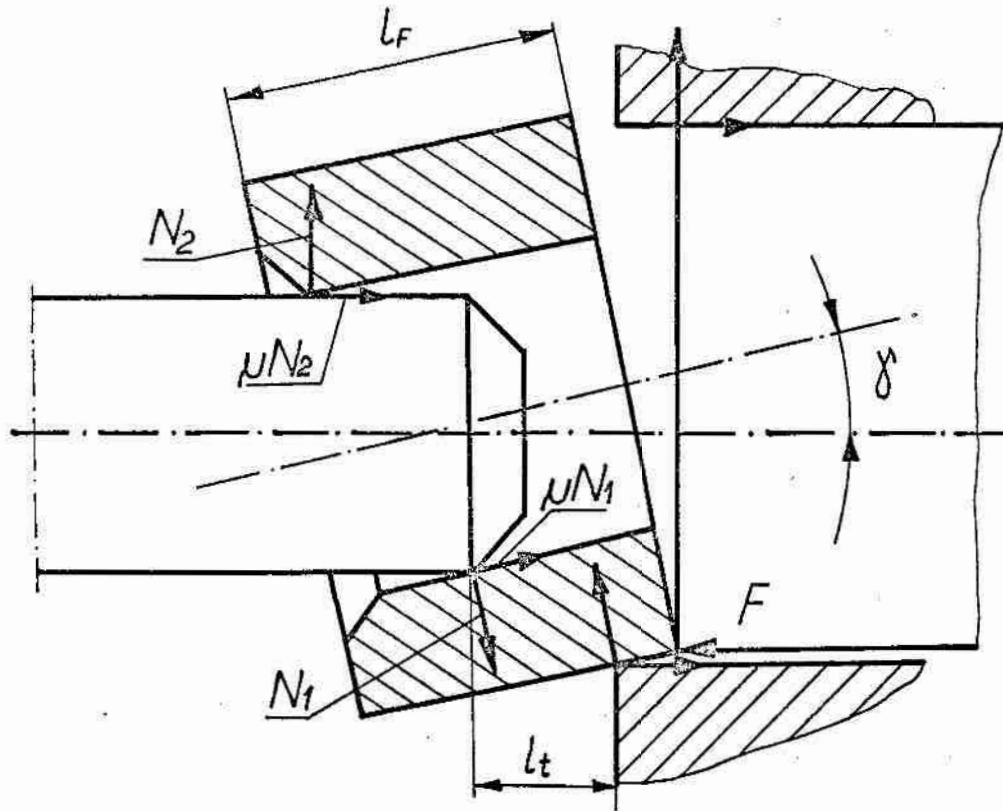


Рис. I. I2. Схема действия реактивных сил, возникающих в процессе соединения деталей

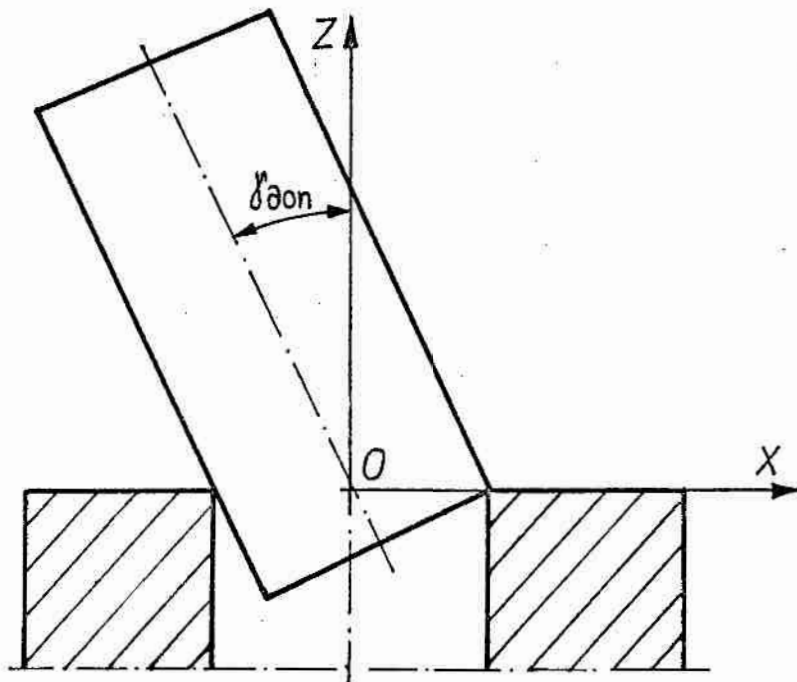


Рис. I. I3. Предельное положение вала при его установке в отверстие втулки

этой теории, поскольку, расхождение результатов теоретических и экспериментальных данных достигают в среднем 100 %.

Другая группа авторов [ 8 ] в своих исследованиях не учитывала сил трения, возникающих в местах контакта соединяемых деталей и определяла "критическую" длину устанавливаемого вала при использовании сборочных механизмов с жесткими связями по выражению (рис. I.14)

$$l_{кр} = \frac{a_k \cdot \sin^3 \gamma \cdot (\operatorname{tg} \beta_k - \cos \gamma) + D_A - d_B \cdot \cos \gamma}{\sin^3 \gamma (1 + \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{ctg} \gamma)} \quad (I.23.)$$

где  $a_k$  - расстояние между местом приложения сборочной силы и образующей вала в плоскости его перемещения;  $\beta_k$  - угол, определяющий приложение сборочной силы.

По их мнению заклинивание при автоматической сборке соединения возникает тогда, когда действительная длина вала превышает "критическую" его длину. Если сборочная сила направлена по касательной к траектории движения вала, то заклинивание не будет иметь место при любой длине вала, поэтому формула (I.23.) справедлива лишь для идеального случая, когда трение в местах контакта соединяемых деталей отсутствует.

Условия заклинивания, разработанные сотрудниками лаборатории Ch. St. Draper (США), не учитывали в полной мере силовые факторы, действующие в процессе соединения деталей [ 61,65 ]. Согласно разработанной ими теории для исключения заклинивания соединяемых цилиндрических деталей в момент их центрирования должно быть выполнено следующее условие:

$$A \geq \mu D_A \quad (I.24.)$$

где  $A$  - величина заглабления вала в отверстии базовой детали.

Однако даже если условие (I.24.) будет выполнено, нет никакой гарантии того, что заклинивание соединяемых деталей будет

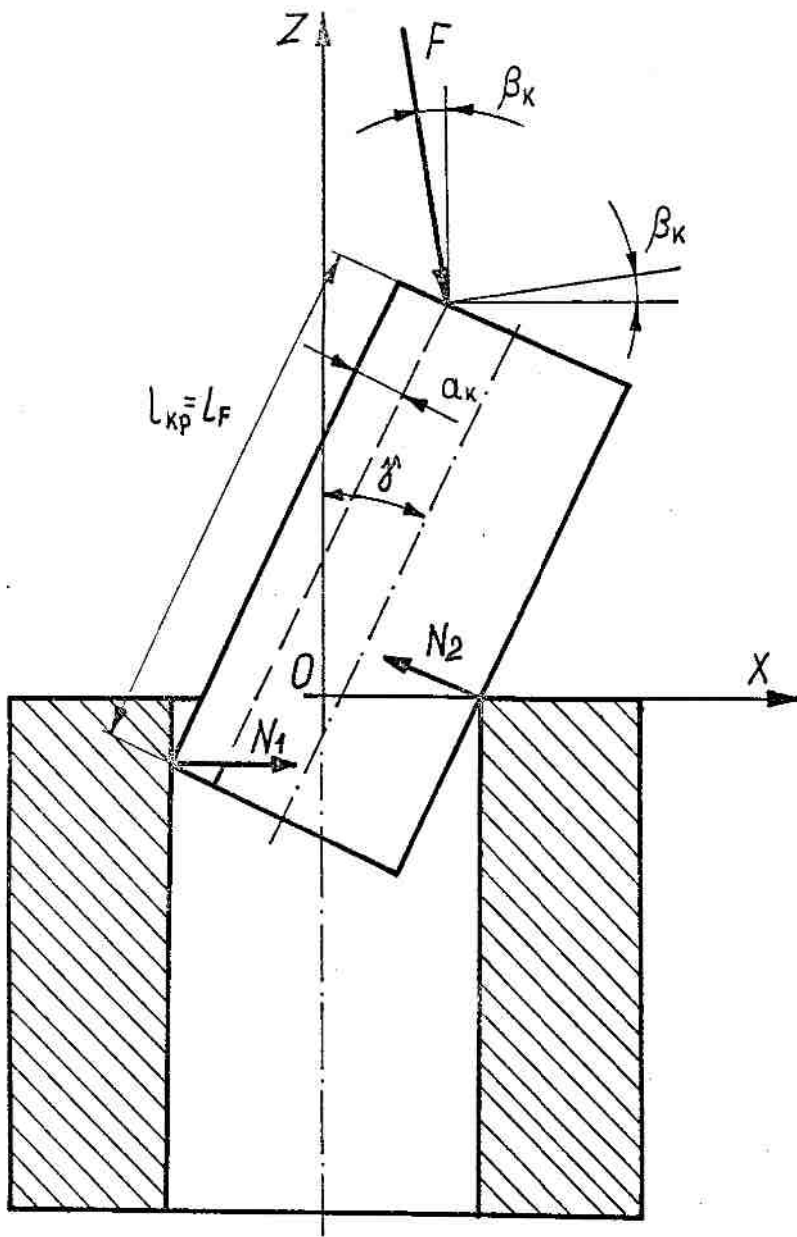


Рис. I. I4. Схема сборки вала со втулкой

исключено, так как это зависит еще и от места приложения сборочной силы, ее величины и направления действия, а формула (I.24.) всего этого не учитывает.

При рассмотрении условий заклинивания деталей авторы не принимали во внимание влияние всей совокупности факторов, действующих в процессе сборки соединений деталей, вследствие чего выбор сборочного оборудования и технические условия на его изготовление пока носят случайный характер, а потому коэффициент использования этого оборудования часто оказывается слишком низким.

Важной задачей при сборке соединений деталей с зазором является определение предельной максимальной скорости сборочного процесса, совершаемого движущейся системой, включающей устанавливаемую деталь, рабочий инструмент и другие подвижные части привода, обладающих определенной силой инерции, перемещение которой вызывает пластические деформации сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей (не выше допустимых значений) и стыков технологической системы. Относительно большие силы инерции, вызываемые значительными ускорениями системы, возникают в момент окончания сборки соединения, когда присоединяемая деталь ударяется о базовую. Это объясняется тем [21], что кинетическая энергия движущейся системы в момент удара полностью переходит в потенциальную энергию деформации технологической системы, обладающей в этом направлении относительно высокой жесткостью. Вследствие этого сила удара при некотором значении скорости подвижной системы может превысить допустимую величину, а это приведет к пластическим деформациям стыков технологической системы, нарушению относительного положения исполнительных поверхностей базирующих устройств сборочных машин и преждевременному выходу их из строя. Значение этой силы зависит, главным образом, от конструкции сбо-



рочной машины и ее привода, величины суммарной погрешности  $\omega_{\Delta}$ , скорости и массы движущейся системы, а также от ее жесткости. Ввиду сложности аналитического расчета силы удара целесообразно определять ее экспериментальным путем. Косвенное значение допустимой силы удара можно определить путем определения допустимой скорости сборочного процесса. Эксперименты показывают, что момент появления пластических деформаций стыков технологической системы для сборочных механизмов без компенсаторов наблюдается при скорости поступательного движения устанавливаемой детали свыше 1,1 м/с.

### 1.3. Обеспечение достижения точности совпадения осей посадочных поверхностей соединяемых деталей

Для выявления путей обеспечения достижения точности совпадения осей посадочных поверхностей деталей, соединяемых по поверхностям вращения с гарантированным зазором, можно использовать уже имеющиеся методики [ 6, 9, 17, 28, 34, 35, 44 ], которые позволяют выбрать оптимальную структуру технологической операции, рациональную компоновку автоматической сборочной машины, определить качественные и количественные требования к ее точности и поступающим на сборку деталям, выбрать определенный вид исполнительных механизмов и других устройств сборочной системы. Исходя из представленной в работе [ 17 ] методики, необходимо решить ряд взаимосвязанных задач, а именно: уточнить служебное назначение изделия и отдельных его соединений; разработать варианты последовательности сборки; проверить и, если необходимо, то изменить конструкцию изделия; выявить задачи, которые необходимо решать при сборке каждого соединения, входящего в изделие; для упругих деталей необходимо рассчитать размеры, до которых они могут быть

изменены без нарушения их качества; выбрать способ и рассчитать условия автоматической сборки соединений деталей; предварительно оценить возможность автоматической сборки; выбрать базы для соединяемых деталей и рассчитать точность их базирования и т.д.

Решение этих задач позволяет выяснить техническую и экономическую возможность и целесообразность осуществления и рационального построения технологического процесса автоматической сборки изделий в условиях массового и серийного их производства, а также дает возможность выбрать сборочную машину и разработать качественные и количественные требования к ней и другим сборочным устройствам (в том числе и к адаптивным).

### 1.3.1. Сборочные устройства для соединения деталей по поверхностям вращения

Повышение технологических возможностей сборочных машин может быть обеспечено за счет выбора оптимальной конструкции сборочного механизма и оптимизации параметров процесса сборки.

В зависимости от конструкции, размеров и массы соединяемых деталей, точности ( $\omega_{\Delta}$ ,  $\gamma_{\Delta}$ ) их относительной ориентации на рабочих позициях сборочной машины совмещение и сборка могут осуществляться различными сборочными механизмами (рис.1.15).

В зависимости от вида соединения, конфигурации, размеров и массы соединяемых деталей сборочные механизмы могут иметь большое число конструктивных решений. При этом для сборки конкретных деталей могут быть использованы различные по конструктивному исполнению сборочные механизмы, отличающиеся друг от друга вариантом базирования соединяемых деталей, способом передачи их на базирующие устройства и др.

При выборе конструкции исполнительного механизма для реше-

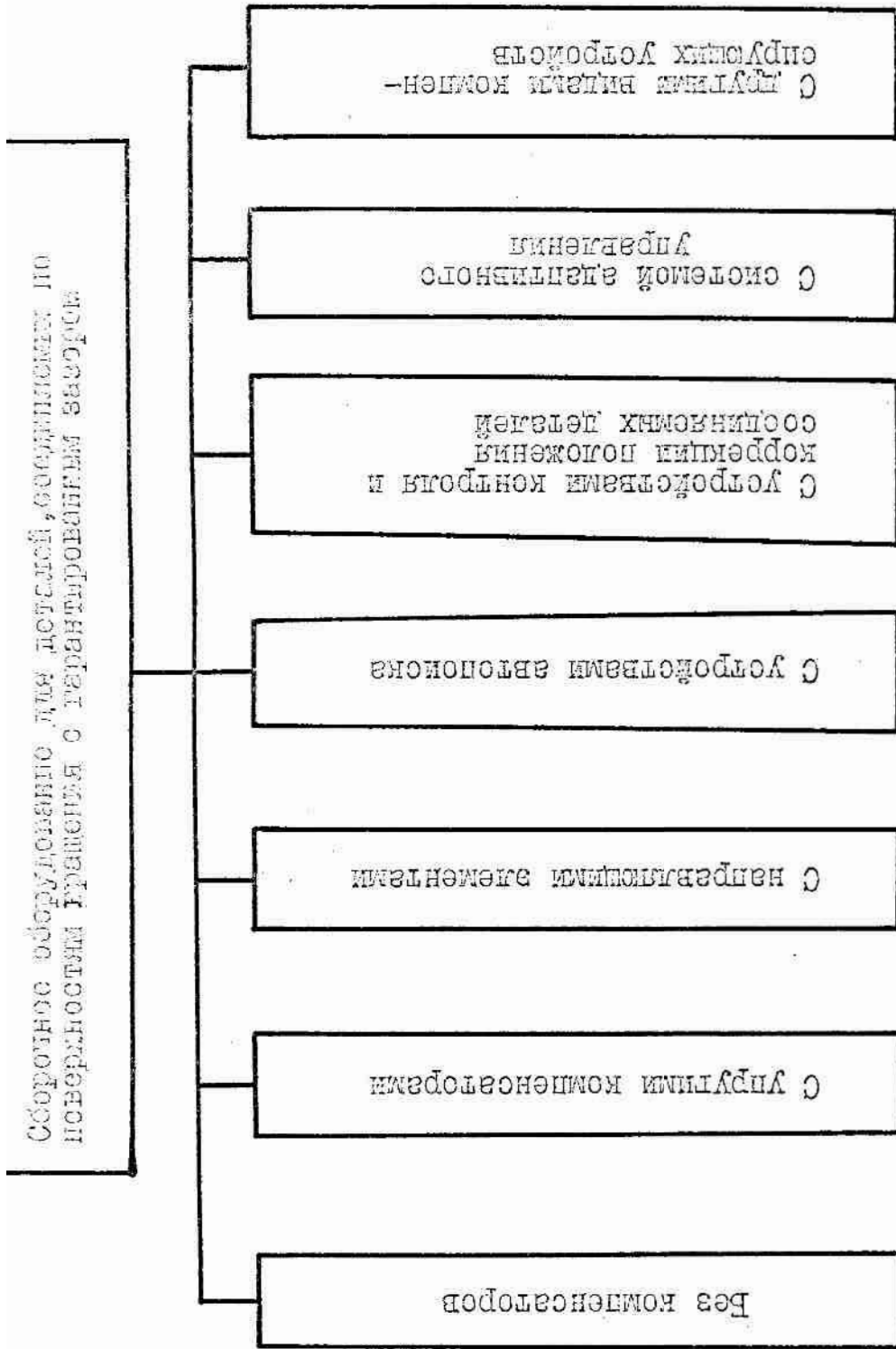


Рис. 1.15. Классификация сборочного оборудования для деталей, соединяемых по поверхности вращения с гарантированным зазором

Для поставленной технологической задачи необходимо стремиться к выбору наиболее простого по устройству и эксплуатации механизма, поскольку применение дополнительных устройств приводит к усложнению конструкции сборочной машины, повышению ее себестоимости и снижению надежности работы.

В настоящее время существуют две принципиальные точки зрения на тенденции развития автоматизации сборки изделий. Одни исследователи предлагают повысить точность сборочного оборудования [43, 59], другие предлагают идти по пути использования адаптивного управления сборочным процессом [59]. Однако окончательного решения пока нет и ученые расходятся во мнении / Hasegawa Y. и Masauki H. (Япония), Nevins J.L. (США)/.

### 1.3.1.1. Сборочные механизмы, не имеющие компенсаторов

Сборочные механизмы, не имеющие компенсаторов и работающие по жесткой программе. К их числу относятся сборочные автоматы, роботы первого поколения (манипуляторы), сборочные механизмы с направляющими элементами и др. В работах [21, 22] рассмотрены сборочные механизмы с принудительным соединением деталей, которые позволяют обеспечить установку деталей любой массы при различных положениях соединяемых деталей в пространстве ( $\varepsilon = 0 \div 180^\circ$ ).

Значение допустимого смещения осей соединяемых деталей  $\delta x_i$  по методу полной взаимозаменяемости можно рассчитать, используя формулу (1.9.). Анализ, проведенный в работах [3, 17, 21] показывает, что погрешность  $\omega_{\Delta y}$  будет меньше в тех механизмах, в которых использован принцип совмещения технологических, сборочных и измерительных баз.

Если пренебречь погрешностями  $\omega_{\Delta z}, \omega_{\Delta z'}, \omega_{\Delta u}, \omega_{\Delta t}$  то на основе данных работы [21] вытекает, что погрешность нас-

грейки может быть от 0,01 до 0,02 мм, погрешность фиксации

$\omega_{\Delta\phi} \cong \pm 0,025$  мм; погрешность  $\omega_{\Delta ab}$  в пределах от 0,01 до 0,02 мм, тогда как погрешность установки  $\omega_{\Delta y}$  составляет самую значительную величину - 0,1 ÷ 0,2 мм. Отсюда следует, что возможности соединения деталей с зазором в 0,2÷0,3 мм и меньше ограничены, так как в большинстве случаев не могут обеспечить качественное соединение деталей из-за возможности их заклинивания.

Поэтому нередко оказывается целесообразным использовать более сложные по конструктивному выполнению сборочные механизмы с направляющими элементами, которые обеспечивают перед сборкой базирование деталей относительно друг друга с необходимой точностью. Однако такие сборочные механизмы не нашли широкого распространения, так как базирование деталей непосредственно по посадочным поверхностям затруднено по техническим причинам.

### 1.3.1.2. Сборочные механизмы с компенсаторами

Значительное повышение технологических возможностей сборочных механизмов можно обеспечить путем компенсации погрешностей первоначального относительного положения соединяемых деталей. Это позволяет значительно увеличить допустимое смещение  $\delta x_i$  и повороты  $\delta_i$  соединяемых деталей в первоначальный момент их сборки.

Компенсацию погрешностей можно осуществить за счет управления положением устанавливаемой детали в процессе сборки либо за счет применения упругих элементов в системе СПИД, которые обеспечивают возможность "наживления" устанавливаемой детали.

Управление можно осуществлять в течении всего периода процесса соединения деталей, либо частично лишь на первоначальном

этапе их соединения — при скольжении соединяемых деталей по фаскам и образующим поверхностям до момента их центрирования. К их числу относятся механизмы с устройствами автопоиска [37]. При этом одна из деталей обычно закрепляется жестко, а вторая получает перемещение в ограниченных границах и возможность самоустанавливаться при случайном совмещении сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей.

Сборка методом "искания" обладает тем недостатком, что процесс совмещения сопрягаемых поверхностей деталей носит случайный характер и поэтому представляет собой событие, подчиняющееся вероятностным законам [52]. Вследствие этого сборка каждой новой сборочной единицы осуществляется в условиях, отличных от предыдущих, что вносит неопределенность в сборочный процесс и ведет к снижению надежности работы автоматической сборочной машины [42].

Условия совмещения деталей можно вести и целенаправленно. Эти условия первоначально были разработаны, а затем развиты в последующих работах (Рабинович А.Н., Яхимович В.А.) [37, 51].

После выхода из загрузочно-транспортных устройств и размещения в схватах базирующих устройств соединяемые детали занимают в пространстве определенные положения. Эти положения характеризуются обычно смещением осей в плоскости  $XOY$  (рис. I.16). Если оси вала 1 и втулки 2 параллельны и центры  $O_1$  и  $O_2$  их проекций на плоскость  $XOY$  отстоят от опорной системы  $XYZO$  на расстояниях  $\bar{r}_1$  и  $\bar{r}_2$ , то для совмещения проекций деталей необходимо, чтобы  $e = O_1O_2 = 0$ , то есть совместить центры  $O_1$  и  $O_2$ . Относительное положение соединяемых деталей в плоскости  $XOY$  может быть любым, поэтому модуль  $e$  смещения и угол  $\varphi_e$ , образованный вектором  $e$  и горизонталью, параллельной оси  $Y$ , могут иметь разные значения. Все это зависит от мно-



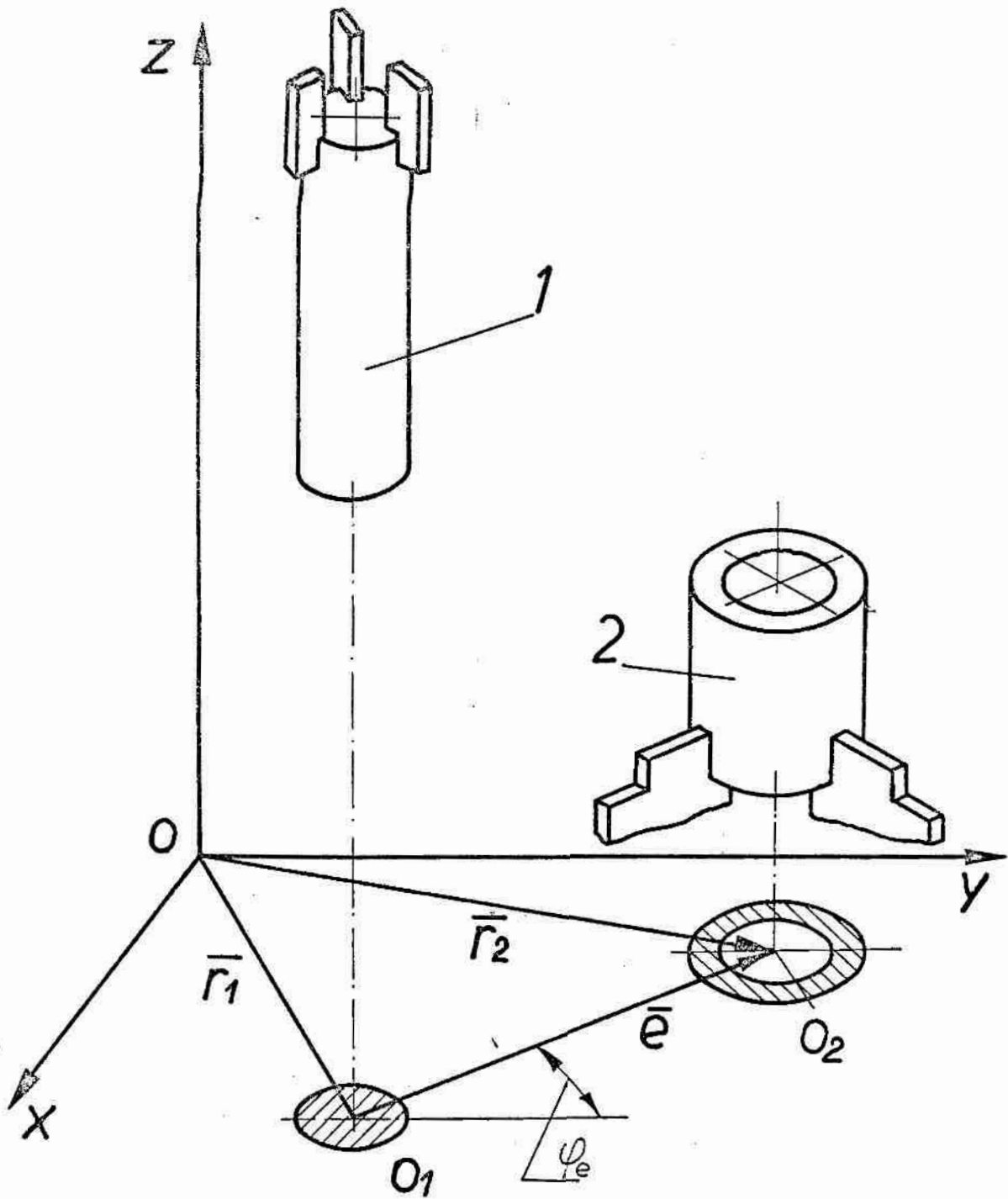


Рис. I.16. Первоначальное положение соединяемых деталей

гих причин, установить которые заранее не представляется возможным.

Очевидно также, что фактическое соединение деталей происходит по сопрягаемым поверхностям, а не путем совмещения их осей и тем более ее центров. Совмещение осей (центров  $O_1$  и  $O_2$ ) характеризует лишь те идеальные условия, которым должен удовлетворять сборочный процесс.

Совместить детали по кратчайшему пути (то есть по заданному направлению) — значит заставить, например, вал двигаться так, чтобы центр  $O_1$  перемещался по прямой  $O_1O_2$ . Подобное действие исключает поиск и поэтому потребует соответствующее конструктивное решение при разработке средств относительного ориентирования.

Из условия направленного смещения вытекает, что одна из деталей (или обе) должны перемещаться вдоль двух координатных осей. Кроме того, в схеме устройства следует предусмотреть контрольный (опознающий) и исполнительный (приводной) механизмы. Контрольный механизм устанавливает наличие смещения и вырабатывает необходимые для устранения смещения команды, обрабатываемые исполнительным механизмом. Очевидно, что в общем случае в ориентирующее устройство будут входить также промежуточные преобразователи, усилители или реле, и другие вспомогательные устройства и передачи, обеспечивающие требуемое относительное положение деталей перед их сборкой.

В зависимости от принципа управления исполнительным механизмом устройства классифицируются на два вида [51]: с управлением по отклонению (с компенсацией отклонения) и с управлением по возмущению (с компенсацией возмущения). К устройствам с управлением по отклонению относятся те, у которых в момент уstra-

нения рассогласования в положении сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей исполнительный механизм отключается; а к устройствам с управлением по возмущению относятся те, у которых равнодействующая сил, приложенных к устанавливаемой детали, стремится к нулевому значению, когда рассогласование устранено. Смещение сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей в устройствах общих видов определяется в процессе контроля с помощью преобразователей.

В сборочных машинах, работающих по выше рассмотренному принципу, коррекция положения устанавливаемой детали осуществляется на первом этапе соединения деталей до момента их центрирования. В дальнейшем процесс контроля и коррекции САУ (система адаптивного управления) отключается и процесс сборки осуществляется так, как это было показано в разделе I.3.I.I., то есть для сборочных машин, не имеющих компенсаторов. Вследствие чего возможно заклинивание соединяемых деталей, особенно при небольших зазорах в соединении.

С целью ликвидации этих недостатков в начале 60-х годов на кафедре "Технология машиностроения" Московского станкоинструментального института под руководством лауреата Ленинской премии, доктора технических наук Б.С.Балакшина появились первые попытки создать методику выявления и количественной оценки технической возможности автоматизации сборки деталей с цилиндрическими поверхностями сопряжения и некоторых других более сложных соединений [10]. В результате выполненных исследований выдвинуто положение, что автоматизация сборки будет возможна, если будет создана система адаптивного управления, обеспечивающая автоматическое перемещение устанавливаемой детали относительно соединяемой с ней детали собираемого изделия по результатам измерения

их пространственного положения с учетом размеров и формы их поверхностей [ 11 ].

Для реализации такой САУ [ 13 ] потребовалось разработать способ [ 16 ] и устройство [ 19 ] для измерения относительного положения соединяемых деталей в процессе их сборки. Комплекс таких средств был создан на кафедре в 1966 г.

Такая система управления послужила основой для создания в СССР и за рубежом универсальных сборочных машин и роботов с использованием различных видов связей: электрических, электронных, пневматических, гидравлических и др.

В начале семидесятых годов во многих странах начались испытания новых более универсальных сборочных систем, обладающих возможностью коррекции ошибок позиционирования. В отличие от предыдущих сборочных машин они пригодны для автоматизации не только в массовом, но и в серийном производстве.

Существуют два принципиально различных способа. Первый - активное устранение отклонений, замеренных при помощи датчиков сил, измеряющих реактивные силы и моменты. Совместно с путевой и угловой информацией эти данные служат для выдачи заданий приводам, которые перемещают схват до устранения отклонения. В качестве приводов могут быть использованы как двигатели промышленного робота так и вспомогательные приводы очувствленной захватной системы;

Второй - пассивное устранение отклонений за счет применения пружинящих элементов. Положение упругих элементов в базирующих устройствах вызывает такое изменение действия реактивных сил и моментов, которое способствует выполнению сборочного процесса.

В настоящее время существующие сборочные машины (в основном сборочные роботы и манипуляторы) с САУ имеют в устройствах об-

ратной связи преобразователи отклонений размеров, силовые и вы-  
сесдатчики.

На рис. I.17 показана система автоматического управления  
сборочной машиной, служащая для окончательной ориентации дета-  
лей, имеет датчики положения деталей А; А<sub>I</sub>; Б; Б<sub>I</sub>; В; Г; Е; А';  
А'<sub>I</sub>; Б'; Б'<sub>I</sub>; В'; В'<sub>I</sub>; Г'; Г'<sub>I</sub> (рис. I.17 а) [18].

Дублирование датчиков вдоль каждого направления дает воз-  
можность непосредственно определять положения осей сопрягаемых  
поверхностей деталей независимо от их диаметральных размеров.  
Для соединения деталей необходимо обеспечить условия совмещения  
координатных осей, связанных с валом  $Oxyz$ , с опорной систе-  
мой втулки  $OXYZ$ :

$$\left. \begin{aligned} [\bar{O}X', \bar{O}_x] &= 0 \\ [\bar{O}Y', \bar{O}_y] &= 0 \\ x_0 &= 0 \\ y_0 &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{координаты точки } O; \\ \text{в системе } Oxyz \end{array} \quad (I.25.)$$

Для выполнения условий (I.25.) требуется совершить два пово-  
рота и два перемещения (см. рис. I.17).

Устройства адаптивного управления, разработанные в СССР для  
сборочных цепей, послужили основой для создания ряда подобных  
устройств за рубежом [53, 57, 68].

Большинство адаптивных устройств, применяемых для автомати-  
ческого соединения деталей по поверхностям вращения оснащены си-  
ловыми обратными связями, которые встроены в систему управления  
промышленных роботов и манипуляторов.

Процесс управления рукой робота при установке вала в отвер-  
стие втулки осуществляется в две стадии: подведение вала к от-  
верстию втулки и при его установке [54].





В настоящее время в мире для соединения деталей по поверхностям вращения используют: японские промышленные роботы "Эксперт 2 и 4" для сборки деталей с зазором 0,03 мм [ 32 ]; робот фирмы K.V. Lenven (Голландия) [ 54 ], предназначенный для выполнения сборочных операций с большой точностью, робот SIGMA фирмы Olivetti (Италия) [ 64 ], применяемый для таких операций как сборка шатунно-поршневой группы компрессоров холодильников и др.

Работа этих роботов показана на примере автоматической установки штифта диаметром 60 мм и длиной 50 мм в отверстие втулки с зазором около 20 мкм, причем, по крайней мере, одна из деталей имеет заходную фаску  $2 \times 45^\circ$  [ 68 ]. Сначала с помощью робота одна деталь устанавливается против другой, причем их несоосность  $\omega_{\text{чд}}$  не должна превышать тех, которые определяются условиями их сборки. Это для того, чтобы при последующем перемещении соединяемые детали контактировали бы в области фасок этих деталей. При последующем движении вал, закрепленный в упругом захвате робота наклоняется в направлении оси отверстия втулки. Преобразователи, воспринимающие изменение положения захвата, выдают сигнал, пропорциональный величине этого отклонения и его направлению. Привод перемещения захвата, управляемый сигналами от преобразователей, обеспечивает перемещение захвата с валом по направлению осей X и Y в плоскости, перпендикулярной оси втулки при одновременном движении вдоль оси Z до тех пор, пока процесс соединения вала со втулкой не завершится.

Сборочные машины с устройствами активного адаптивного управления позволяют соединять детали по поверхностям вращения при наличии незначительных зазоров в соединении. Сам процесс сборки является часто более ритмичным и производительным [ 1,

17, 63 ] по сравнению с ручной сборкой и обеспечивает более высокое качество. Однако, высокая стоимость сборочных роботов, сложность составления программ, отсутствие надежных преобразователей обратной связи, наличие устройств с системой адаптивного управления и другое препятствуют широкому использованию таких машин для сборки изделий.

Уже известные исследования в направлении разработки сборочных машин, имеющих пассивные устройства адаптивного управления для автоматического соединения деталей по поверхностям вращения, в том числе с упругими компенсаторами [ 30, 57, 62, 65, 66 ].

Применение средств пассивной адаптации требует тщательного изучения процесса сборки, особенно при соединении деталей с незначительным зазором из-за возможности их заклинивания. Работы в этом направлении ведутся в ГДР в городе Карл-Маркс-Штадте [ 56, 57, 67 ] и сотрудниками лаборатории Ch.St. Draper (США) [ 60, 65 ].

Для исключения заклинивания соединяемых деталей пассивное средство адаптации должно иметь точку в пространстве, в которой радиальные силы будут вызывать только относительное смещение соединяемых деталей, а момент будет вызывать только поворот (рис. I.18). При упрощенном двухмерном анализе [ 65 ] такое устройство должно обладать определенной радиальной жесткостью  $k_x$  и крутильной жесткостью  $k_\gamma$ . Центр податливости этого устройства расположен на расстоянии  $L_w$  от торца вала (рис. I.19).

Лабораторией Ch.St. Draper разработан дистанционный податливый центр, который является механическим прибором, действующим как многосвязная подвижная платформа, обеспечивающая смещение и поворот одной из соединяемых деталей.

Особенностью дистанционного податливого центра является то,

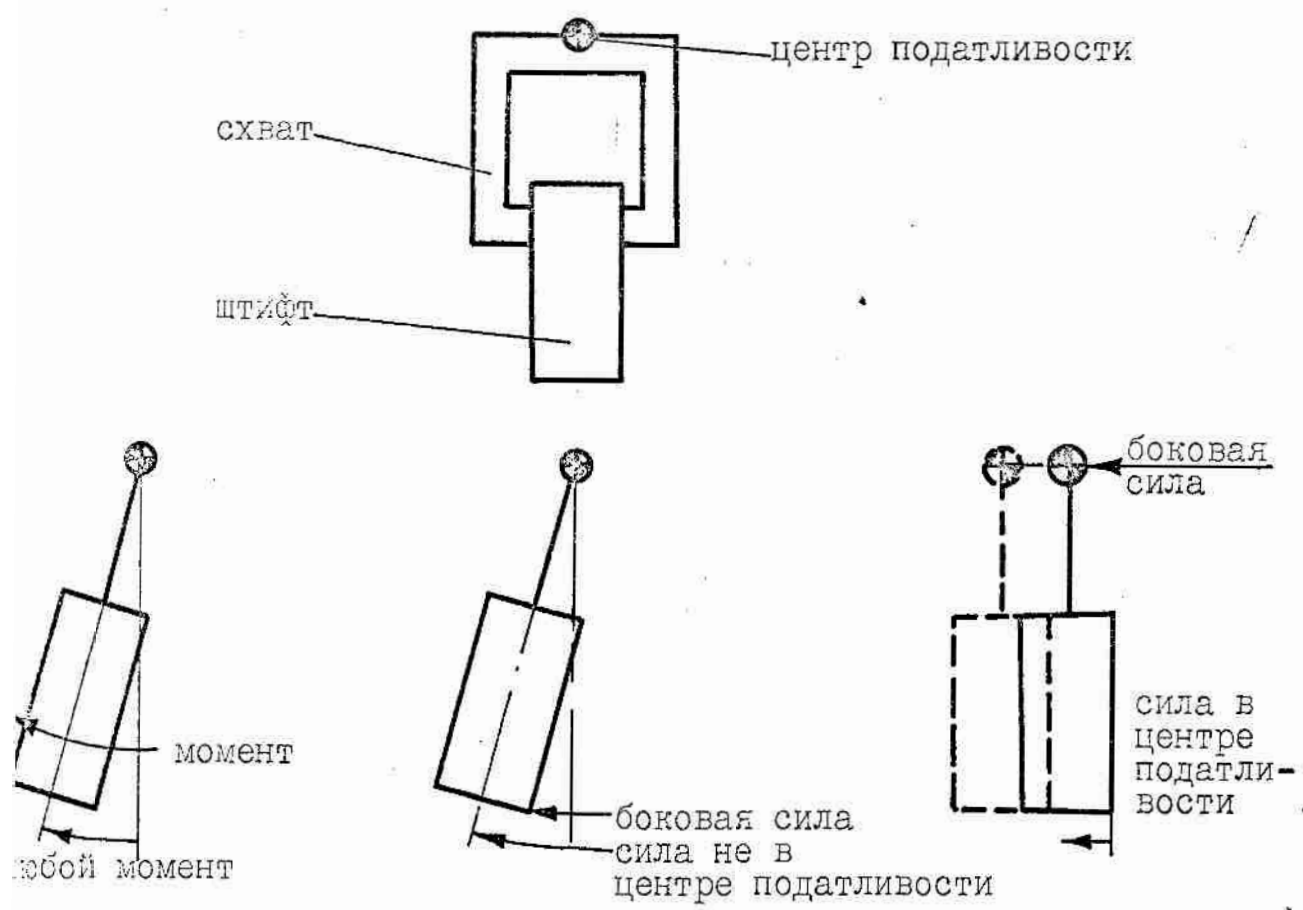


Рис. I. 18. Реакции устанавливаемого вала на действующую силу и момент

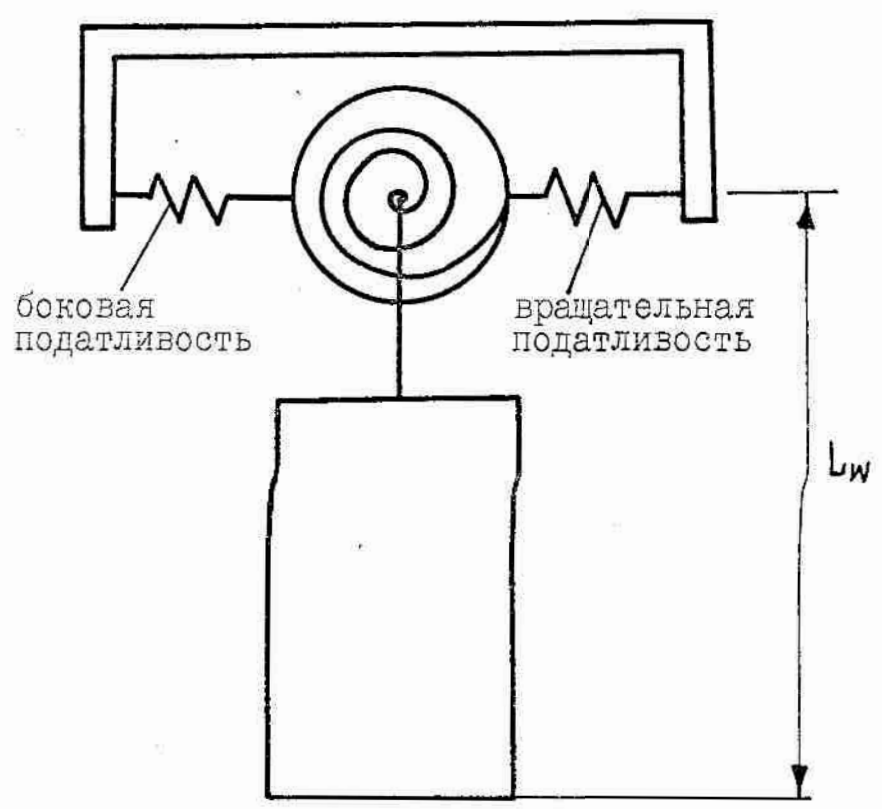


Рис. I. 19. Схематическое размещение упругого устройства в схвате сборочной машины

что погрешности смещения и поворота соединяемых деталей компенсируются независимо друг от друга. В процессе сборки одна часть устройства работает в первоначальный период касания фаски детали, в то время, как другая часть функционирует во время процесса установки. Это противоречит ранее выдвинутой гипотезе, что положение устанавливаемой детали в момент центрирования должно удовлетворять условию (I.24.), так как при небольшом зазоре в соединении обеспечить необходимый угол  $\chi_c$  в момент центрирования соединяемых деталей без коррекции углового положения устанавливаемой детали на первом этапе ее установки, не представляется возможным.

Одно из ранних конструктивных решений пассивного устройства показано на рис. I.20. Это устройство размещается в схвате промышленного робота и получило наименование РСС. Устройство состоит из основания, к которому тремя стержнями прикреплено кольцо. В нагруженном состоянии устройство симметрично относительно оси. С помощью этого устройства получены положительные результаты при установке подшипника с диаметральными размерами в 1,6 мм в отверстие базовой детали с зазором 0,0007 [60]. Продолжительность установки около 0,2 с.

В настоящее время имеется несколько устройств, отличающихся конструктивным выполнением податливого элемента в виде воздушных или стальных пружин двухстороннего действия, либо в виде гидравлического сервомотора [55, 62, 67]. Возможно также использование упругих резиновых элементов, форма и упругость которых определяется аналитическим расчетом или экспериментально.

Применение средств пассивной адаптации для автоматического соединения деталей по поверхностям вращения можно существенно расширить допуски на все составляющие звенья системы СПИД, су-



ущественно упрощается также составление программ для автоматических сборочных машин и промышленных роботов.

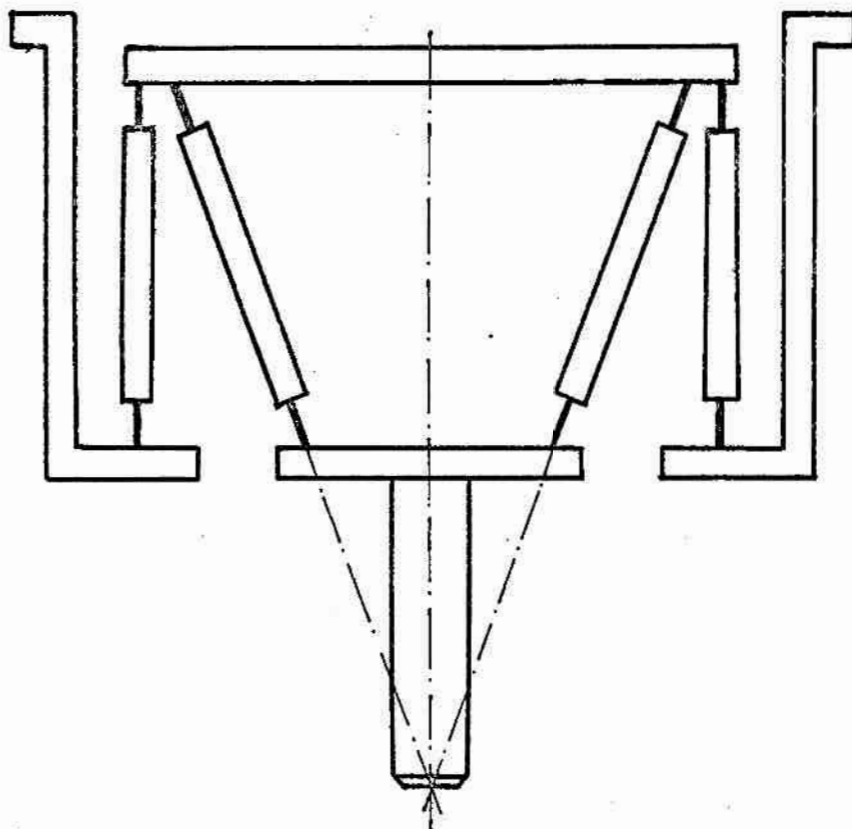


Рис. I.20. Адаптивное устройство РСС для установки вала

В ряде случаев для этих же целей могут быть использованы автоматические сборочные машины, обеспечивающие соединение деталей посредством вращающегося потока газов [5], электромагнитного поля [2], аэродинамического ориентирования [38] и др. Эти методы сборки получили ограниченное распространение, в основном при значительных зазорах в соединении и поэтому в настоящей работе не рассматриваются.

#### I.4. Задачи исследования

Для более широкого внедрения автоматических сборочных машин

для соединения деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором, отвечающих технически обоснованным требованиям, гарантирующим надежную, экономическую сборку требуемого качества изделий в заданных количествах в условиях массового и серийного производства, необходимо исследование физической сущности сборочного процесса. Как было отмечено раньше (см. раздел I.2), на процесс автоматического соединения деталей влияют различные факторы, в том числе связанные с геометрической точностью звеньев системы СПИД, с выбором баз для соединяемых деталей и с силовыми факторами, действующими в системе СПИД. В процессе соединения все эти факторы возникают и действуют совместно. Из выполненного анализа видно, что уже установлена функциональная зависимость динамических параметров процесса соединения деталей, а также влияние их геометрических параметров на значения допустимого угла поворота соединяемых деталей  $\chi_n$  и на допустимое смещение их осей сопрягаемых поверхностей  $\delta x_n / 2$  и др.

Все факторы, возникающие в процессе соединения деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором, ограничивают условия автоматической сборки - допуски исходных звеньев системы СПИД ( $\delta x_i$  и  $\chi_i$ ). Сборочная сила, необходимая для соединения деталей не должна приводить к уменьшению значений  $\delta x_i$  и  $\chi_i$  для любого  $i$  момента их соединения. Условия сборки соединений деталей ( $\delta x_i / 2$  и  $\chi_i$ ) имеют переменные значения, величина которых представляет в пространстве сложную фигуру [5, 53, 62] (рис. I.21), очерченную граничными значениями траекторий движения устанавливаемой детали.

Если траектория движения устанавливаемой детали будет проходить внутри этой пространственной фигуры, то сборка соединения будет обеспечена.

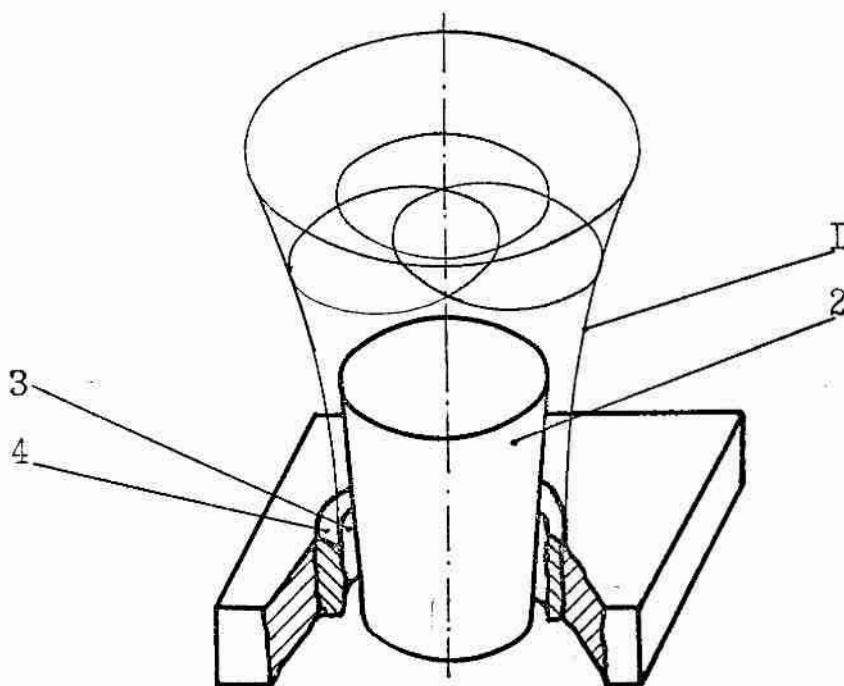


Рис. I.2I. Граничные траектории движения вала при его установке в отверстие базовой детали:

I - граничная траектория;

2 - устанавливаемый вал;

отверстие 3 и фаска 4 в базовой детали

Для решения практической задачи определения граничных значений параметров траекторий движения устанавливаемых деталей, обеспечивающих соединение деталей по поверхностям вращения с максимально возможной скоростью без их заклинивания и нарушения качества в процессе автоматической сборки изделий, необходимо:

1. Выявить закономерности образования всей совокупности взаимозависимых связей (размерных, кинематических, динамических и свойств материалов), действующих в процессе автоматического соединения деталей.

2. Изучить условия автоматической сборки соединяемых деталей, их геометрическую связь с траекторией движения устанавливаемой детали с учетом совокупности действующих динамических и

• других факторов, исключая заклинивание соединяемых деталей и нарушение их качества.

3. На основе выявленных закономерностей

- разработать методику выявления технической возможности и экономической целесообразности автоматической сборки;
- дать новое решение задачи по соединению детали посредством устройств, обеспечивающих изменение по требуемому закону податливости (жесткости) их упругих базирующих опор.

## ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ ВРАЩЕНИЯ

Соединение деталей по поверхностям вращения представляет сложный процесс, протекающий в пространстве и времени, причем устанавливаемая деталь или обе соединяемых детали должны совершать движение по сложной пространственной траектории относительно опорной системы координат. С целью обеспечения соединения деталей необходимо найти граничные траектории их относительного движения (см.рис. I.2I.).

Сборочный процесс протекает при определенных действующих силах, соответствующих определенной геометрии соединяемых деталей, физико-механическим и другим свойствам их материалов, выбранным схемам базирования деталей, виду и управления и ряду других важных взаимосвязанных между собой факторов. Все действующие факторы носят переменный характер, поэтому выявление взаимосвязи между ними, являющейся научной целью данной работы, является сложной задачей.

Для этого необходимо:

I. Исследовать физическую сущность процесса соединения деталей - их "поведения" на всех стадиях сборки: в первоначальный момент контакта этих деталей (когда контакт соединяемых деталей осуществляется в одной точке) и в последующие, когда происходит их центрирование - уже в двух точках.<sup>I</sup>

<sup>I</sup> Иногда возможны и другие случаи контакта соединяемых деталей (рис. 2.1, а, б, [7]), которые при автоматизации сборки деталей, сопрягаемых по поверхностям вращения с гарантированным зазором, практически не встречаются. При значительных углах  $\gamma_i$  для деталей, соединяемых по цилиндрическим поверхностям с гарантированным натягом, возможен уже в первоначальный момент контакт деталей в двух точках, расположенных на фасках этих деталей, также как и для деталей, сопрягаемых с гарантированным зазором, когда вал опирается торцом по краю отверстия втулки (рис. 2.1, а), либо трехточечный контакт, когда торец вала опирается по краю отверстия втулки в двух точках и касается своей образующей по краю отверстия базовой детали (рис. 2.1, б).

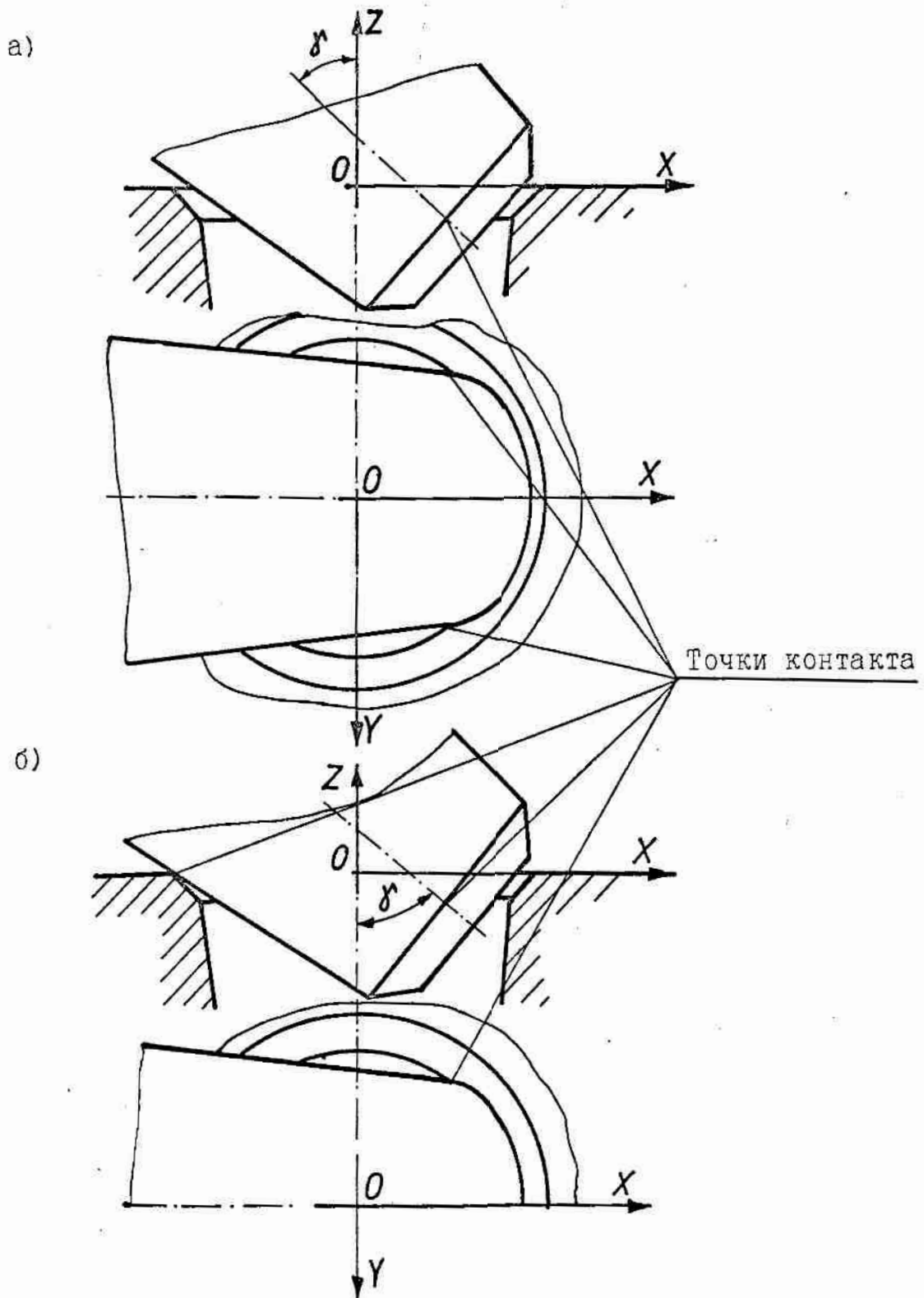


Рис.2.1. Возможные точки контакта соединяемых деталей



2. Определить величину сборочной силы  $F$  и закономерности ее изменения и других сил, действующих в процессе соединения деталей.

3. Изучить условия заклинивания соединяемых деталей с учетом всех действующих сил и найти траектории относительного движения деталей, исключающих их заклинивание.

Необходимым, но недостаточным, условием, обеспечивающим соединение деталей является исключение их заклинивания. Это условие для различных моментов относительного положения соединяемых деталей изменяется. Однако можно построить пространственную фигуру - граничных траекторий, внутри которой процесс соединения можно обеспечить. Для этого в первую очередь необходимо найти условия заклинивания соединяемых деталей.

## 2.1. Математическая модель процесса соединения деталей при односточечном контакте их сопрягаемых поверхностей

Возможны различные способы соединения деталей. В работе принята модель (рис.2.2), которая включает устанавливаемую 1 и базовую деталь 2, а также сборочный инструмент-толкатель 3, движущийся со скоростью  $V_0$ . Целесообразность применения такой модели обусловлена тем, что устанавливаемая деталь имеет наибольшее число степеней свободы, чем при всех других вариантах сборки, когда используется сборочный механизм с направляющими элементами или схваты для устанавливаемой детали и др. Изучив процесс соединения деталей по такой модели, можно выбрать наиболее целесообразную схему сборки данного соединения.

Такая методика выбора схемы сборки соединения является рациональной, поскольку принятое решение основывается на результатах изучения сущности процесса соединения деталей с выявлением

качественных и количественных характеристик сборочного процесса на каждом этапе их соединения.

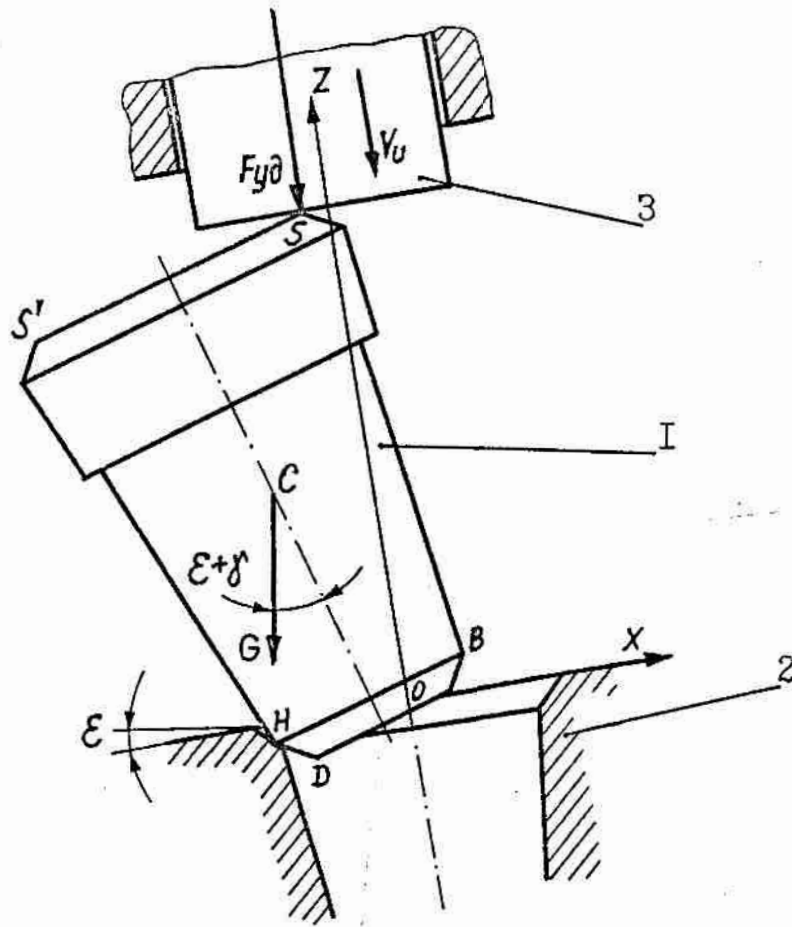


Рис.2.2. Модель процесса соединения деталей при скольжении их по фаскам и образующим поверхностям до момента центрирования

В первоначальный момент соединения деталей, когда устанавливаемая деталь только коснулась базовой детали - их относительное положение определяется первоначальным смещением осей  $O_{y\Delta}$  вала и втулки и углом  $\delta_{\Delta}$  скрещивания этих осей.

В зависимости от первоначального и других положений соединяемых деталей, их геометрических размеров, сил трения и скорости поступательного движения сборочного инструмента и другого, сборочный процесс имеет различный характер. Для количественного его описания необходимо провести анализ сборочного процесса для

различных случаев относительного положения соединяемых деталей.

## 2.1.1. Дифференциация математической модели процесса соединения деталей

1/. Вал фаской скользит по краю фаски в отверстии втулки  
При скольжении фаски вала по краю фаски отверстия базовой  
детали (рис.2.3) должны быть выполнены следующие геометрические  
условия:

$$-(0,5D_A + C_A \cdot \operatorname{tg} \varphi_A) \leq X_D < -0,5 \cdot D_A, \quad (2.1.)$$

$$\gamma \geq \varphi_A - \varphi_B, \quad (2.2.)$$

где  $X_D$  - смещение точки  $D$  устанавливаемой детали относительно  
оси отверстия базовой детали.

Дифференциальные уравнения плоско-параллельного движения  
конусного вала в плоскости  $XOZ$  :

$$\begin{aligned} m \ddot{X}_c &= [\mu \sin(\gamma + \varphi_B) + \cos(\gamma + \varphi_B)] \cdot N_1 - G \cdot \sin \varepsilon, \\ m \ddot{Z}_c &= [\mu \cos(\gamma + \varphi_B) + \sin(\gamma + \varphi_B)] \cdot N_1 - G \cdot \cos \varepsilon, \end{aligned} \quad (2.3.)$$

$$J_c \ddot{\gamma} = \{[-\mu \sin(\gamma + \varphi_B) + \cos(\gamma + \varphi_B)] \cdot Z_c + [\mu \cos(\gamma + \varphi_B) - \sin(\gamma + \varphi_B)] \cdot a_N\} \cdot N_1,$$

где  $a_N = X_c + 0,5 \cdot D_A + C_A \cdot \operatorname{tg} \varphi_A$  ;  $X_c, Z_c$  - координаты центра тя-  
жести  $C$  устанавливаемого конусного вала;  $m$  ,  $J_c$  - масса и  
момент инерции центра масс вала;  $\ddot{X}_c$  ,  $\ddot{Z}_c$  - ускорение центра  
тяжести вала вдоль осей  $X$  и  $Z$  ;  $\ddot{\gamma}$  - угловое ускорение  
вала.

В трех первых уравнениях (2.3.) - четыре неизвестных  $\ddot{X}_c$  ,  
 $\ddot{Z}_c$  ,  $\ddot{\gamma}$  и  $N_1$  . Для их определения необходимо еще одно ура-  
внение, содержащее ограничение, устанавливаемое на движение ко-  
нусного вала - скольжение его фаски по краю отверстия базовой



$$\delta_{cN} = X_c \cdot \cos(\gamma + \varphi_B) + Z_c \cdot \sin(\gamma + \varphi_B) + (0,5 \cdot D_A + C_A \cdot \operatorname{tg} \varphi_A) \cdot \cos(\gamma + \varphi_B) = e \cdot \sin(\varphi_B + \varphi_G)$$

где  $\varphi_G$  - угол между осью вала и прямой, соединяющей точки С и Д.

Откуда

$$X_c = e \cdot \sin(\varphi_G + \varphi_B) \cdot \operatorname{sc}(\gamma + \varphi_B) - Z_c \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_B) - (0,5 \cdot D_A + C_A \cdot \operatorname{tg} \varphi_A) \quad (2.4.)$$

Тогда

$$\dot{X}_c = \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_B) \{ [e \cdot \sin(\varphi_G + \varphi_B) - Z_c] \cdot \dot{\gamma} / \cos(\gamma + \varphi_B) - \dot{Z}_c \}.$$

$$\ddot{X}_c = -\ddot{Z}_c \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_B) + (T_N + M_N \cdot \ddot{\gamma}) \cdot \operatorname{sc}^2(\gamma + \varphi_B), \quad (2.5.)$$

где  $T_N = \ddot{\gamma} \{ \dot{\gamma} \cdot H_N \cdot \cos(\gamma + \varphi_B) [1 + \sin^2(\gamma + \varphi_B) - 2[\dot{Z}_c + Z_c \cdot \dot{\gamma} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_B)]] \}$ ;

$$H_N = e \cdot \sin(\varphi_G + \varphi_B) ; M_N = (\sqrt{\mu^2 + 1}) / m ;$$

$$e = [l_c^2 + (0,5 \cdot d_B - C_B \cdot \operatorname{tg} \varphi_B)^2]^{0,5} ;$$

$$\varphi_G = \operatorname{arc} \operatorname{tg} [(0,5 \cdot d_B - C_B \cdot \operatorname{tg} \varphi_B) / l_c]$$

После подстановки в уравнение (2.5.) значений  $\ddot{X}_c$ ,  $\ddot{Z}_c$  и  $\ddot{\gamma}$  из системы уравнений (2.3.) и соответствующих преобразований имеем:

$$N_1 = \frac{\frac{G}{m} \cdot \cos^2(\gamma + \varphi_B) [\operatorname{tg}(\gamma + \varphi_B) \cdot \cos \varepsilon + \sin \varepsilon] + T_N}{M_N \cdot \cos^2(\gamma + \varphi_B) [\cos \varphi_{QN} + \sin \varphi_{QN} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_B)] + W_N \cdot B_N} \quad (2.6.)$$

где  $\varphi_{QN} = \gamma + \varphi_B + \operatorname{arc} \operatorname{tg} \mu$  ;  $W_N = (\sqrt{\mu^2 + 1}) / J_c$  ;

$$B_N = [(Z_c + C_A) - H_N \cdot \sin(\gamma + \varphi_B)] [\cos \varphi_{QN} (Z_c + C_A) - \sin \varphi_{QN} \cdot a_N]$$

2/. Конусный вал скользит по фаске в отверстия втулки  
Такой случай имеет место тогда, когда выполнено условие

(2.1.) и не выдерживается условие (2.2.).

Для описания процесса соединения деталей составим дифференциальные уравнения плоско-параллельного движения конусного вала в плоскости  $X''O''Z''$  (рис.2.4.):

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{X}'' &= -\mu N_1 + G \cdot \cos(\varphi_A + \varepsilon) \\ m\ddot{Z}'' &= N_1 - G \cdot \sin(\varphi_A + \varepsilon), \\ J_c \ddot{\gamma} &= [-\mu \sin(\varphi_A + \varphi_G - \gamma) + \cos(\varphi_A + \varphi_G - \gamma)] \cdot e \cdot N_1 \end{aligned} \right\} \quad (2.7.)$$

где  $\ddot{X}_c''$ ,  $\ddot{Z}_c''$  - ускорение центра тяжести вдоль осей  $X''$  и  $Z''$ .

В этих уравнениях также четыре неизвестных  $\ddot{X}_c''$ ,  $\ddot{Z}_c''$ ,  $\ddot{\gamma}$ ,  $N_1$ . Для их нахождения необходимо составить еще одно уравнение, содержащее ограничение на движение вала по образующей поверхности фаски в отверстии базовой детали. Поскольку торец конусного вала - точка Д перемещается по фаске базовой детали, то

$$Z_c'' = e \cdot \sin(\varphi_A + \varphi_G - \gamma).$$

Тогда:

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_c'' &= -\dot{\gamma} e \cdot \cos(\varphi_A + \varphi_G - \gamma), \\ \ddot{Z}_c'' &= e [-\ddot{\gamma} \cos(\varphi_A + \varphi_G - \gamma) - \dot{\gamma}^2 \sin(\varphi_A + \varphi_G - \gamma)]. \end{aligned} \right\} \quad (2.8.)$$

После подстановки в уравнение (2.8.) значений  $\ddot{Z}_c''$  и  $\ddot{\gamma}$  из системы уравнений (2.7.) и соответствующих преобразований имеем:

$$N_1 = \frac{G \cdot \sin(\varepsilon + \varphi_A) - m \cdot \ddot{\gamma} \cdot e \cdot \sin(\varphi_A + \varphi_G - \gamma)}{1 + e^2 \cdot m \cdot \cos^2(\varphi_A + \varphi_G - \gamma) [1 - \mu \cdot \operatorname{tg}(\varphi_A + \varphi_G - \gamma)] / J_c} \quad (2.9.)$$

Аналогично получены уравнения и для других случаев установки вала.

Все эти системы уравнений являются системами обычных дифференциальных уравнений второго порядка типа:



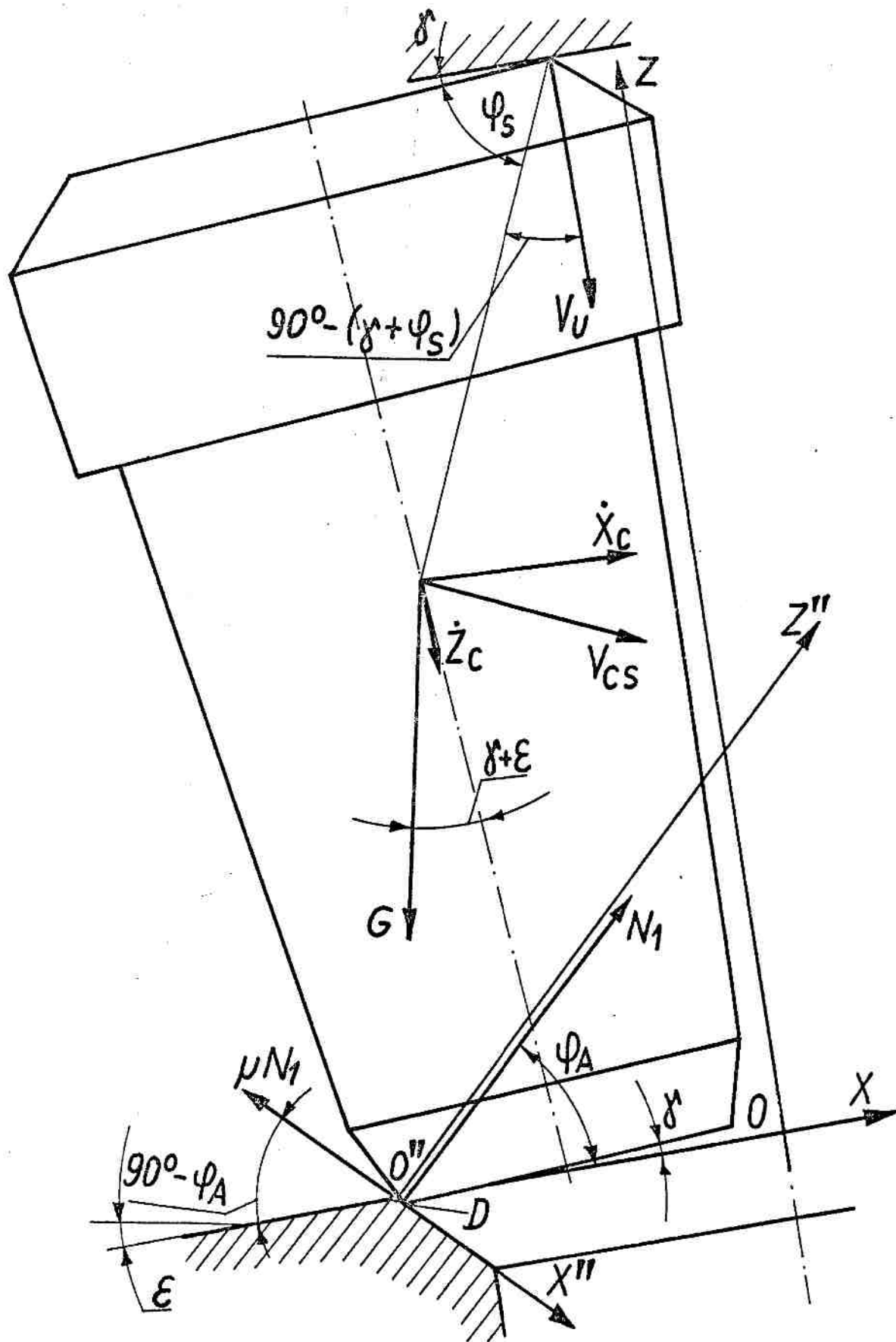


Рис.2.4. Схема для расчета траектории движения при скольжении устанавливаемого вала по фаске отверстия либо образующей поверхности базовой детали

$$\left. \begin{aligned} F_X [t, X_c(t), \dot{X}_c(t), \ddot{X}_c(t)] &= 0 \\ F_Z [t, Z_c(t), \dot{Z}_c(t), \ddot{Z}_c(t)] &= 0 \\ F_\gamma [t, \gamma(t), \dot{\gamma}(t), \ddot{\gamma}(t)] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.10.)$$

Для их решения целесообразно использовать численный метод. Для чего необходимо уравнения второго порядка заменить эквивалентной системой уравнений первого порядка, так как численное решение уравнения высшего порядка есть частный случай решения системы уравнений первого порядка. Кроме того, нужно определить начальные условия:

$$X_c(t=0) = X_{c0}, \quad \dot{X}_c(t=0) = \dot{X}_{c0},$$

$$Z_c(t=0) = Z_{c0}, \quad \dot{Z}_c(t=0) = \dot{Z}_{c0},$$

$$\gamma(t=0) = \gamma_0, \quad \dot{\gamma}(t=0) = \dot{\gamma}_0$$

$$\text{Подставив } \dot{X}_c = \dot{X}_c(t, X_c), \quad \dot{Z}_c = \dot{Z}_c(t, Z_c), \quad \dot{\gamma} = \dot{\gamma}(t, \gamma)$$

в уравнение (2.10.):

$$\left. \begin{aligned} \ddot{X}_c &= \dot{M} = M(t, X_c, M); \\ \ddot{Z}_c &= \dot{K} = K(t, Z_c, K); \\ \ddot{\gamma} &= \dot{G}_\gamma = G_\gamma(t, \gamma, G_\gamma) \end{aligned} \right\} \quad (2.11.)$$

При решении дифференциальных уравнений целесообразно использовать метод Рунге-Кутты, применение которого обеспечивает следующие преимущества:

- не требуются никакие другие методы для начала вычислений;
- длина шага интегрирования может быть в любое время изменена в процессе вычислений без какой-либо дополнительной работы;
- небольшие затраты машинного времени по сравнению с другими методами, в которых расчеты производятся путем формульного дифференцирования функций.

По методу Рунге-Кутты интегрирование проводят с шагом  $h$ , на который делят переменную (аргумент)  $t$  и каждое очередное значение  $X_c$  (аналогично  $Z_c$ ,  $\gamma$ ,  $\dot{X}_c$ ,  $\dot{Z}_c$ ,  $\dot{\gamma}$ ) рассчитывают по формуле:

$$X_{cn+1} = X_{cn} + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)/6, \quad (2.12)$$

где  $k_1 = h \cdot f_{k_1}(t_n, X_{cn})$ ;

$$k_2 = h \cdot f_{k_2}(t_n + \frac{1}{2}h, X_{cn} + \frac{1}{2}k_1);$$

$$k_3 = h \cdot f_{k_3}(t_n + \frac{1}{2}h, X_{cn} + \frac{1}{2}k_2);$$

$$k_4 = h \cdot f_{k_4}(t_n + h, X_{cn} + k_3)$$

$h$  - номер очередного шага.

Основная цель метода состоит в том, чтобы получить выражение для  $X_{cn+1}$ , совпадающее для ряда членов относительно  $h$  с  $X_{cn+1}$ , полученным разложением в степенной ряд по  $h$  без использования в процессе вычислений производных от  $f(t, X_c)$ .

Для выполнения вычислений не требуется специальных методов [31, 39, 45], поскольку для перехода от  $X_{cn}$  к  $X_{cn+1}$  не нужно знать значений  $X_c$ , предшествующих  $X_{cn}$ .

Поскольку для решения каждого шага необходимо выполнить большое число простых алгебраических действий, сложные дифференциальные уравнения решаются на ЭВМ с использованием стандартных программ.

#### 2.1.1.1. Алгоритм решения системы дифференциальных уравнений с помощью ЭВМ

В соответствии с разработанным алгоритмом и принятыми на схемах обозначениями (см. рис. 2.5 - рис. 2.8) дано их описание (обозначения принятых идентификаторов приведены в приложении I.1, а программа расчета в приложении I.2):

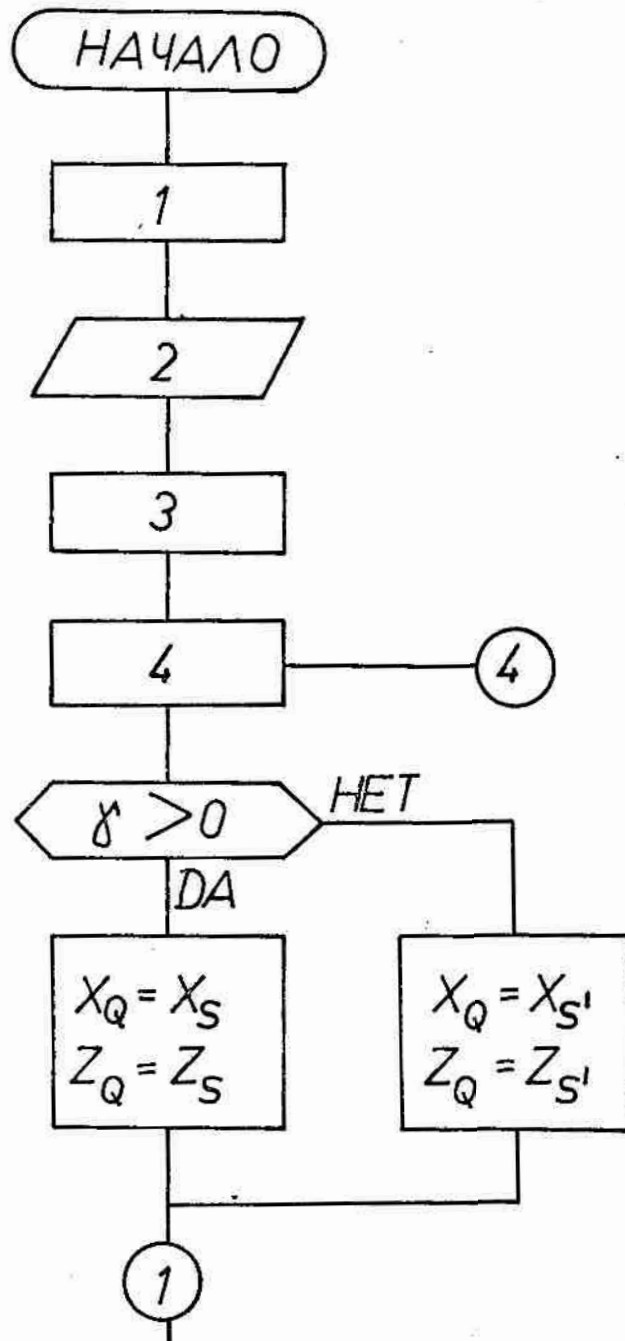


Рис. 5.

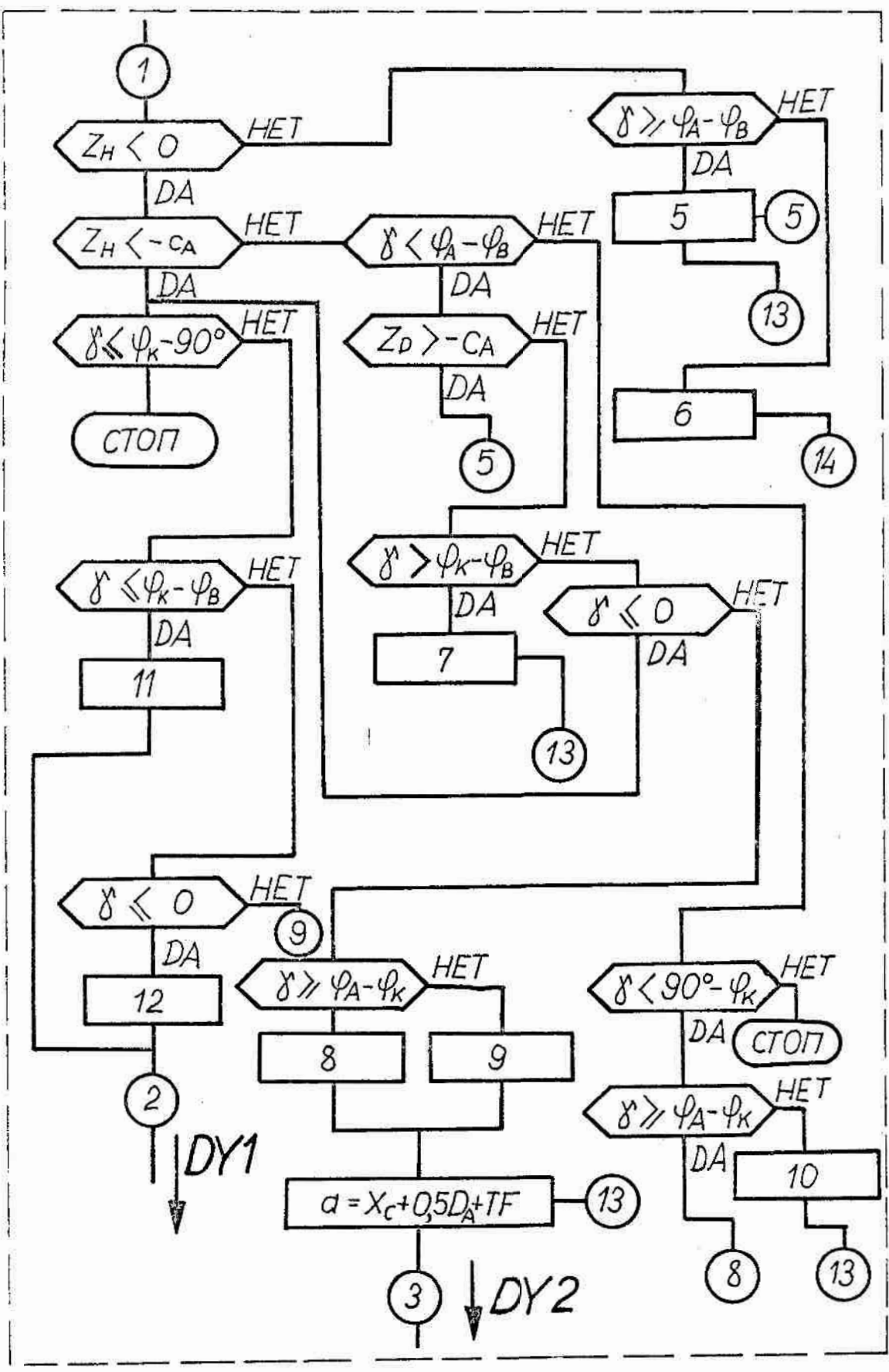


Рис. 2.6.

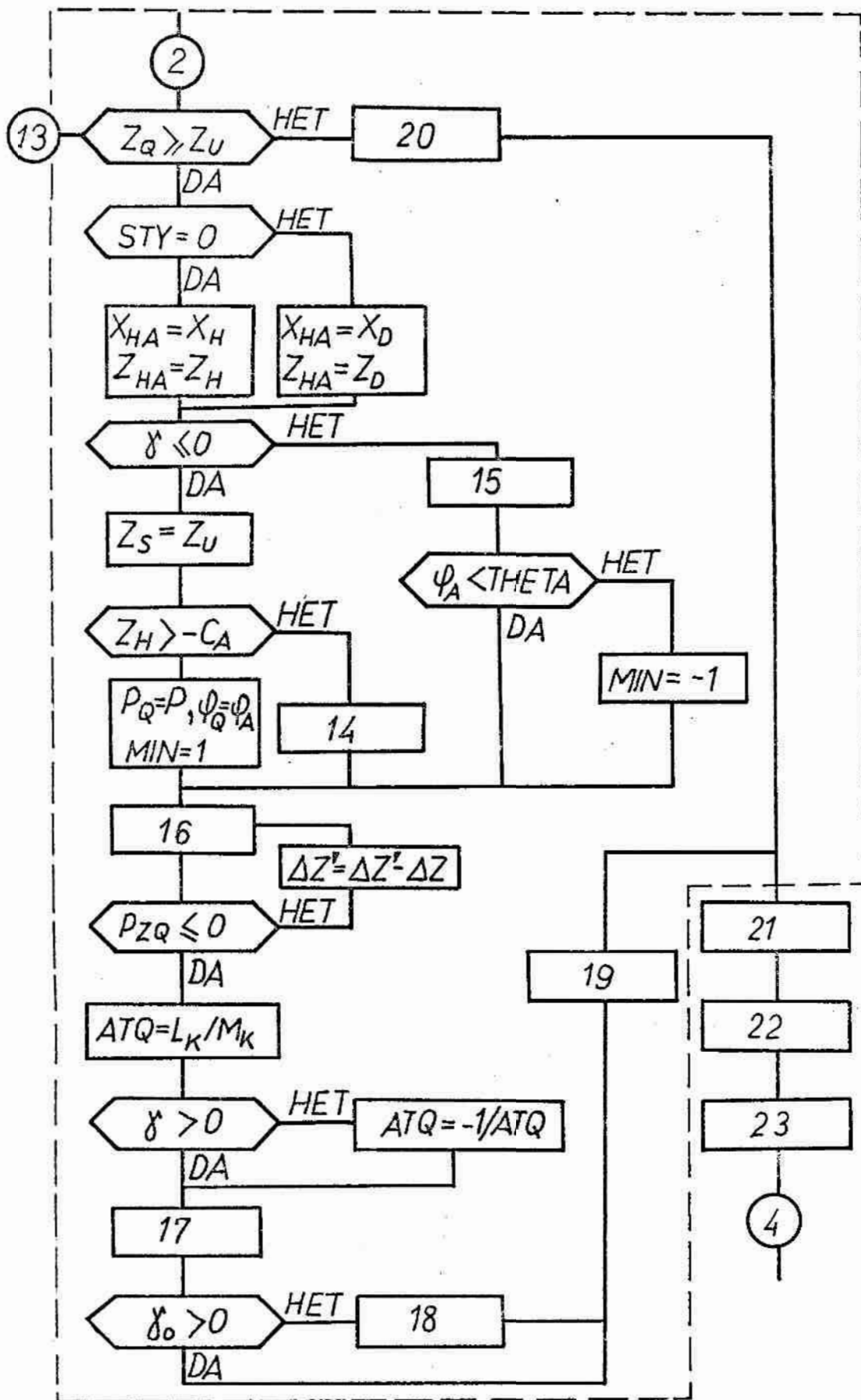


Рис.2.7.



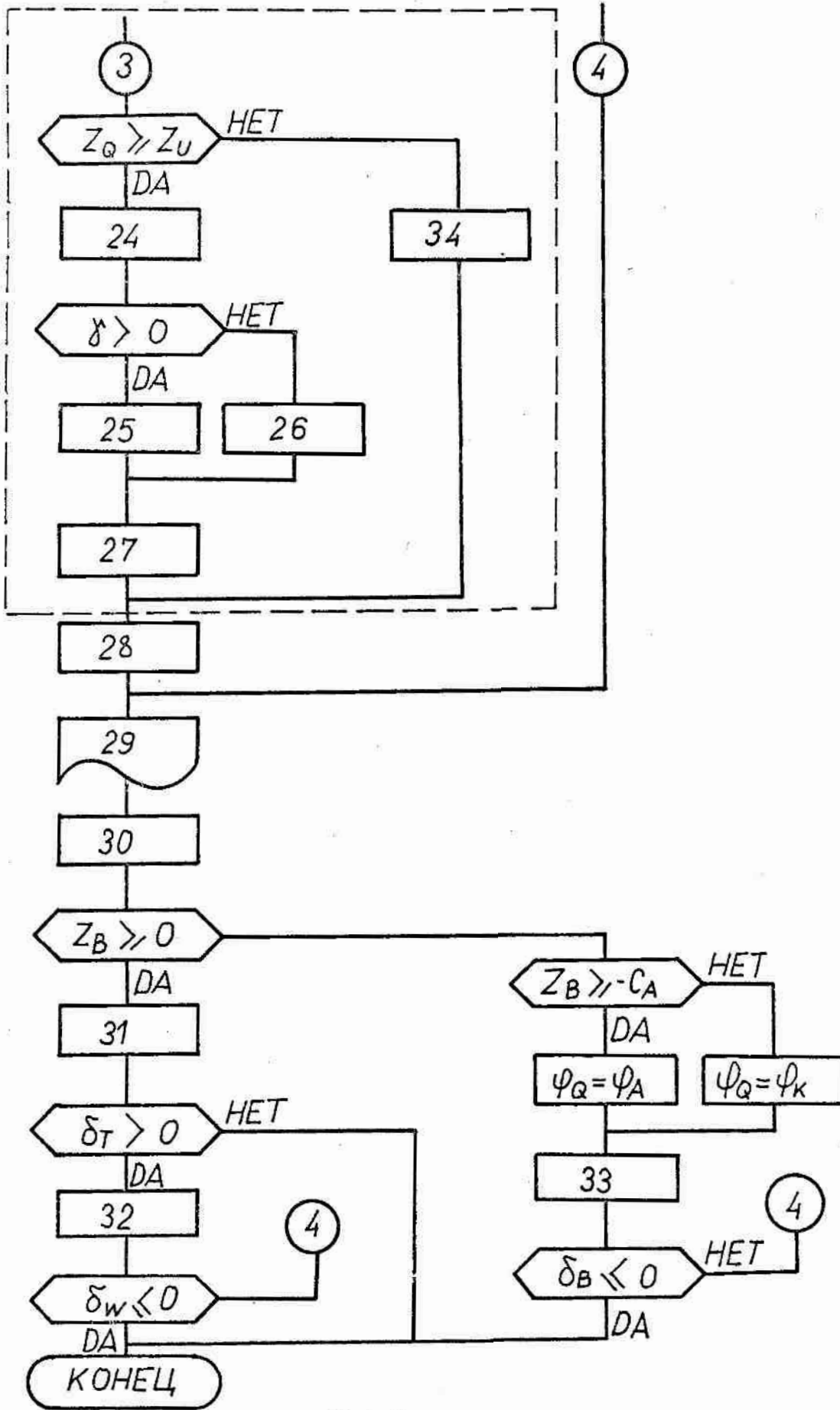


Рис.2.8.

1. Объявление переменных;
2. Ввод значений переменных;
3. Вычисление значений (рис.2.9):  $\rho_H, \rho_D, S_H, S_D, k, e, q, \mu_D, \mu_H,$

$$\varphi_{\partial D}, \varphi_{\partial H}, \varphi_S, \varphi_{T1}, W, M$$

$$\rho_H = [(L_F - C_B)^2 + (D_F + d_B)^2 / 4]^{0,5};$$

$$\rho_D = \{ L_F^2 + [0,5(D_F + d_B) - C_B \cdot \operatorname{tg} \varphi_B]^2 \}^{0,5};$$

$$S_H = [(L_F - C_B)^2 + (D_F - d_B)^2 / 4]^{0,5};$$

$$S_D = \{ L_F^2 + [0,5(D_F - d_B) + C_B \cdot \operatorname{tg} \varphi_B]^2 \}^{0,5};$$

$$k = [(l_C - C_B)^2 + d_B^2 / 4]^{0,5};$$

$$q = [(L_F - l_C)^2 + D_F^2 / 4]^{0,5};$$

$$\mu_D = \arcsin(L_F / \rho_D);$$

$$\mu_H = \arcsin[(L_F - C_B) / \rho_H];$$

$$\varphi_{\partial D} = \arcsin(L_F / S_D);$$

$$\varphi_{\partial H} = \arcsin[(L_F - C_B) / S_H];$$

$$\varphi_S = \arcsin[(L_F - l_C) / (0,5 D_F)]$$

4. Вычисление величин текущих координат точек  $D, H, S, S', Z_U$  и текущего времени  $t$  :

$$t = t + \Delta t; X_H = X_C - k \cdot \sin(\varphi_H - \gamma);$$

$$Z_H = Z_C - k \cdot \cos(\varphi_H - \gamma);$$

$$X_D = X_H + (C_B / \cos \varphi_B) \cos(\varphi_B + \gamma);$$

$$Z_D = Z_H - (C_B / \cos \varphi_B) \sin(\varphi_B + \gamma);$$

$$X_S = X_H + \rho_H \cdot \cos(\mu_H + \gamma);$$

$$Z_S = Z_H + \rho_H \cdot \sin(\mu_H + \gamma);$$

$$X_{S'} = X_S - D_F \cos \gamma;$$

$$Z_{S'} = Z_S - D_F \sin \gamma;$$

$$Z_U = Z_{U_H} - V_U \cdot t$$

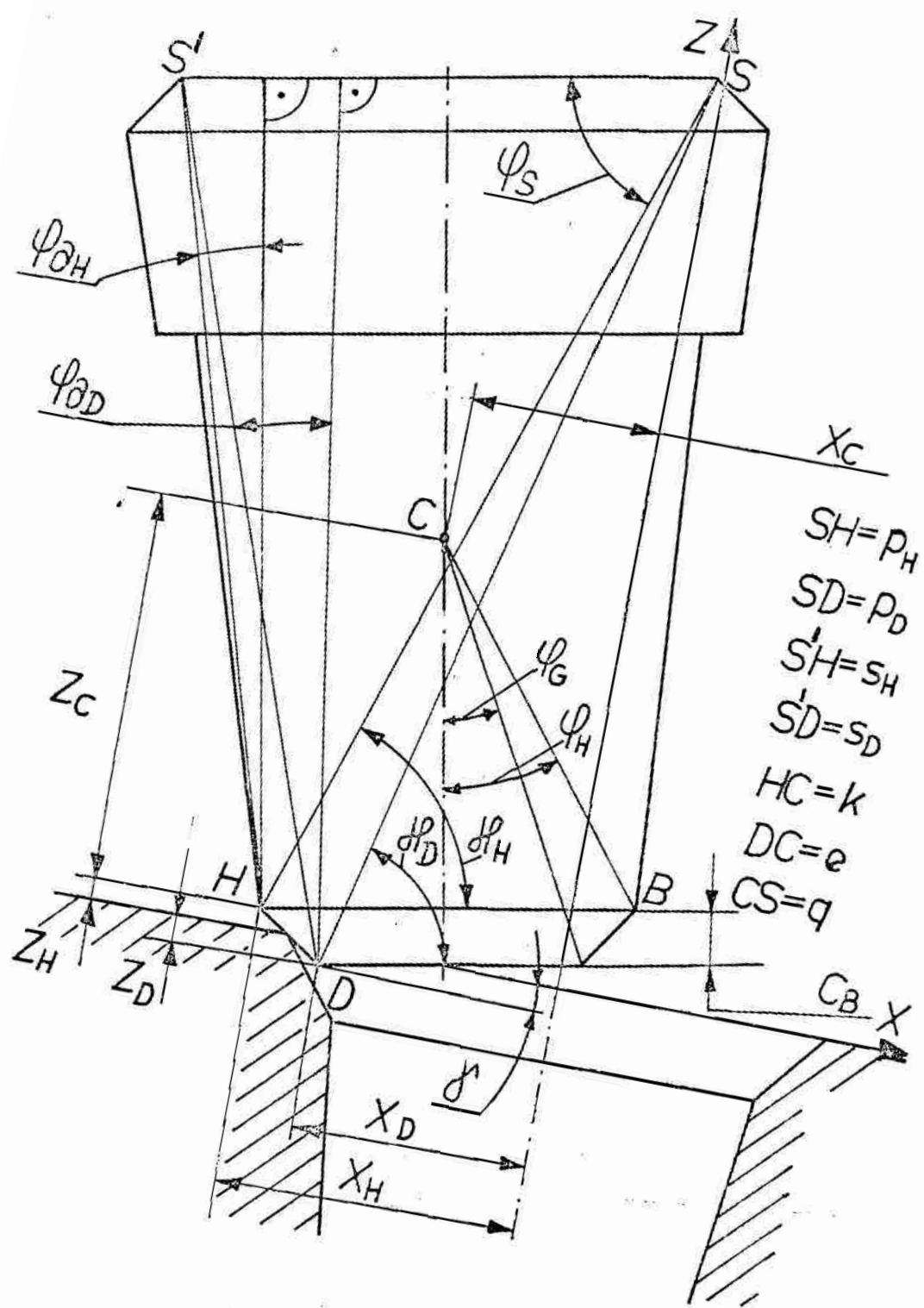


Рис. 2.9

5. Присвоение значений переменных для расчета DY 2 (см.рис.

$$2.3): V_F = \varphi_B; Q_C = e; \varphi_E = \varphi_G; A_F = \varphi_A; A_C = 0; T_F = C_A \cdot \operatorname{tg} \varphi_A$$

5. Присвоение значений переменных для расчета DY I (см.рис.

$$2.4): \varphi = \varphi_A; Q_K = 0; STY = 1; \varphi_E = \varphi_H; Q_C = e; P = p_D;$$

$$P_Z = s_D; H = H_D; \varphi_D = \varphi_{D_D}$$

где  $STY = I$  в случае скольжения точки Д по образующей или фаске отверстия базовой детали.

7. Присвоение значений переменных для расчета DY 2:

$$A_F = \varphi_A; A_C = C_A; T_F = 0; V_F = \varphi_B; Q_C = e; \varphi_E = \varphi_G$$

8. Присвоение значений переменных для расчета DY 2:

$$A_F = \varphi_K; A_C = 0; T_F = C_A \cdot \operatorname{tg} \varphi_A; V_F = \varphi_K; Q_C = k; \varphi_E = \varphi_H$$

9. Присвоение значений переменных для расчета DY 2:

$$A_F = \varphi_K; A_C = C_A; T_F = 0; V_F = \varphi_K; Q_C = k; \varphi_E = \varphi_H$$

10. Присвоение значений переменных для расчета DY I:  $\varphi = \varphi_A;$

$$Q_K = 0; STY = 0; \varphi_E = \varphi_H; Q_C = k; P = p_H; P_Z = s_H; H = H_H; \varphi_D = \varphi_{D_H}$$

где  $STY = 0$  в случае скольжения точки Н по образующей или фаске отверстия базовой детали.

11. Присвоение значений переменных для расчета DY I:  $\varphi = \varphi_K;$

$$Q_K = C_A / \cos \varphi_K; STY = 1; \varphi_E = \varphi_H; Q_C = k; P = p_D; P_Z = s_D; H = H_D; \varphi_D = \varphi_{D_D}$$

12. Присвоение значений переменных для расчета DY I:  $\varphi = \varphi_K;$

$$Q_K = C_A / \cos \varphi_K; STY = 0; \varphi_E = \varphi_G; Q_C = e; P = p_H; P_Z = s_H; H = H_H; \varphi_D = \varphi_{D_H}$$

13. В случае, если координата  $Z_u$ , принадлежащая торцевой поверхности рабочего инструмента окажется меньше значения координаты  $Z_Q$  наиболее удаленной точки устанавливаемого вала, то для решения системы дифференциальных уравнений необходимо рассчитать начальные условия (см.рис.2.7).

14. Вычисление значения:  $\Delta Z' = -Z_{HA} - C_A - 10 \cdot \Delta Z$  для увеличе-

ния скорости выполнения расчетов на ЭВМ за счет уменьшения количества циклов).

Присвоение значений переменных:  $P_Q = P$ ,  $\varphi_Q = \varphi_a$ ,  
 $MIN = 1$ ,  $\Delta Z' = -\Delta Z'$

15. Присвоение значений  $Z_S = Z_U$ ,  $P_Q = P$ ,  $\varphi_Q = \varphi$ ,  $MIN = 1$ ,  
 $GAM = 1$

Вычисление значения угла  $\Theta$

$$\Theta = \arctg[(Z_U + C_A) / (0,5 D_A + X_Q)]$$

16. Вычисление значений (см. рис. 2.10):

$$\Delta X' = \Delta Z' \cdot \operatorname{tg} \varphi;$$

$$L_K = Z_U + C_A - \Delta Z'; \quad M_K = 0,5 D_A + X_Q + \Delta X;$$

$$\rho' = (L_K^2 + M_K^2)^{0,5}; \quad \rho_Q^* = \operatorname{MIN}(\rho' - P_Q).$$

17. Вычисление первоначального угла скрещивания осей посадочных поверхностей соединяемых деталей:

$$\gamma_0 = \arctg(ATQ) - \varphi_K.$$

18. Вычисление значений:

$$X_S = X_Q + D_F \cdot \cos \gamma_0;$$

$$Z_S = Z_Q + D_F \cdot \sin \gamma_0.$$

19. Вычисление значений начальных условий для решения системы дифференциальных уравнений DY I (рис. 2.11):

$$X_{C_0} = X_Q - q \cdot \cos(\gamma_0 + \varphi_S);$$

$$Z_{C_0} = Z_U - q \cdot \sin(\gamma_0 + \varphi_S);$$

$$\dot{\gamma}_0 = V_U / r;$$

$$\dot{X}_{C_0} = V_{C_S} \cdot \sin(\gamma + \varphi_S);$$

$$\dot{Z}_{C_0} = -V_U - V_{C_S} \cdot \cos(\gamma + \varphi_S);$$

где  $r = \operatorname{ctg} \varphi (Z_Q - Z_{HA}) + X_{HA} - X_Q$ ;

$$X_{HA} = X_{C_0} - Q_C \sin(\varphi_E - \gamma_0); \quad Z_{HA} = Z_{C_0} - Q_C \cos(\varphi_E - \gamma_0);$$

$$V_{C_S} = \gamma_0 \cdot q$$





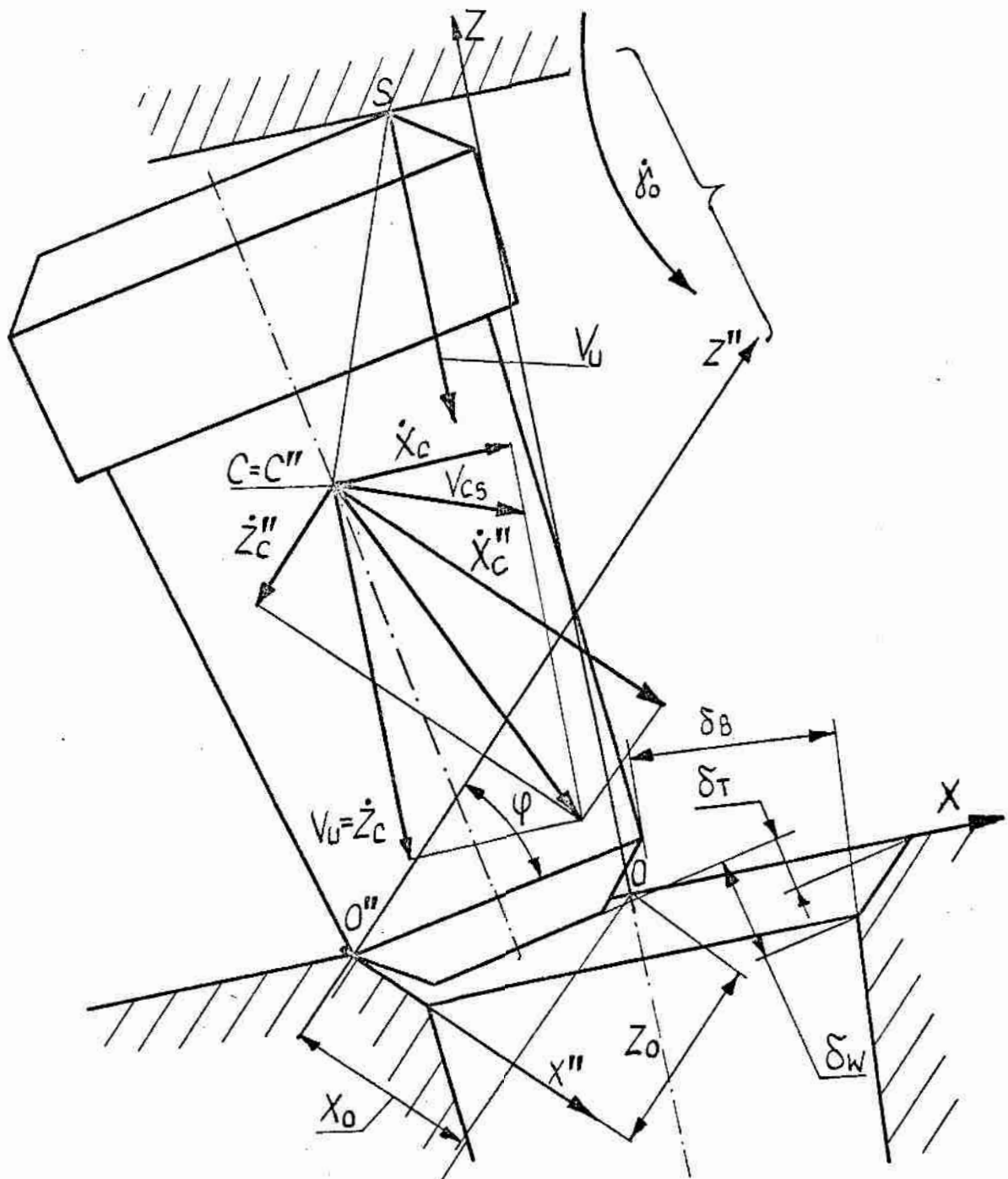


Рис.2.II. Схема для расчета начальных условий с целью решения систем дифференциальных уравнений DY I

20. В случае, если торцевая поверхность рабочего инструмента окажется выше самой удаленной точки устанавливаемой детали, то для расчета системы дифференциальных уравнений необходимо присвоить начальные условия, соответствующие результатам расчета

предшествующего цикла, т.е.:

$$X_{c0} = X_c, Z_{c0} = Z_c, \gamma_0 = \gamma, \dot{X}_{c0} = \dot{X}_c, \dot{Z}_{c0} = \dot{Z}_c, \dot{\gamma}_0 = \dot{\gamma}.$$

21. Преобразование системы координат  $XOZ$  в систему  $X''O''Z''$

(см. рис. 2.11) производится по следующим зависимостям:

$$X_0 = Q_k - (C_A \cdot \operatorname{tg} \varphi + 0,5 D_A) \cdot \sin \varphi;$$

$$Z_0 = (0,5 \cdot D_A + C_A \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot \cos \varphi;$$

$$X_c'' = X_c \cdot \sin \varphi - (X_0 + Z_c \cdot \cos \varphi);$$

$$Z_c'' = (X_c / \cos \varphi) + Z_0 - (X_c'' + X_0) \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

22. Вычисление системы дифференциальных уравнений DY I.

Системы дифференциальных уравнений по пунктам 6, 10, 11, 12 можно привести к одной системе дифференциальных уравнений, в которой значения переменных  $\varphi$ ,  $Q_k$ ,  $STY$ ,  $\varphi_E$ ,  $Q_c$ ,  $P$ ,  $P_z$ ,  $H$ ,  $\varphi_a$  присваиваются в блоке выбора варианта расчета системы дифференциальных уравнений (см. рис. 2.6). Это значительно упрощает программу. Тогда эквивалентная система дифференциальных уравнений будет иметь следующий вид:

$$m \ddot{X}_c = -\mu N_1 + G \cos(\varepsilon + \varphi);$$

$$m \ddot{Z}_c = N_1 - G \sin(\varepsilon + \varphi);$$

$$J_c \ddot{\gamma} = [\mu \sin(\varphi_E + \varphi - \gamma) + \cos(\varphi_E + \varphi - \gamma)] Q_c \cdot N_1;$$

$$N_1 = \frac{G \cdot \sin(\varepsilon + \varphi) - m \cdot Q_c \cdot \sin(\varphi_E + \varphi - \gamma) \cdot \dot{\gamma}^2}{1 + m \cdot Q_c^2 \cdot \cos^2(\varphi_E + \varphi - \gamma) [1 - \mu \cdot \operatorname{tg}(\varphi_E + \varphi - \gamma)] / J_c}$$

23. Преобразуем из системы координат  $X''O''Z''$  в систему координат  $XOZ$  (см. рис. 2.11):

$$X_c = (Z_c'' - Z_0) \cdot \cos \varphi + (X_c'' + X_0) \cdot \sin \varphi;$$

$$Z_c = (-X_c'' + X_c \cdot \sin \varphi - X_0) / \cos \varphi.$$

24. Значение (рис.2.12):

$$m_Q = [(Z_U + A_C)^2 + (0,5D_A + T_F + X_Q)^2]^{0,5}$$

25. Вычисление значений начальных условий для решения второй системы дифференциальных уравнений ДУ 2 (см.рис.2.12,а) для угла  $\gamma \geq 0$ :

$$\gamma_0 = -\varphi_Q + \arcsin [(Z_U + A_C) / m_Q];$$

$$X_{C0} = X_S - q \cdot \cos(\gamma_0 + \varphi_S);$$

$$Z_{C0} = Z_U - q \cdot \sin(\gamma_0 + \varphi_S),$$

где  $\varphi_Q = \arcsin \{ [(L_F - C_B) \operatorname{tg} \beta_F + 0,5(D_F + d_B)] \cos \beta_F / m_Q \} + \beta_F$

26. Вычисление значений начальных условий для решения второй системы дифференциальных уравнений ДУ 2 (см.рис.2.12,б) для угла  $\gamma < 0$ :

$$\gamma_0 = -\arcsin [(Z_U + A_C) / m_Q] + \varphi_Q - \pi/4.$$

$$X_{C0} = X_{S'} + q \cdot \cos(\varphi_S - \gamma_0);$$

$$Z_{C0} = Z_{S'} - q \cdot \sin(\varphi_S - \gamma_0);$$

где

$$\varphi_Q = \arcsin \{ [(L_F - C_B) \operatorname{tg} \beta_B - 0,5(D_F - d_B)] \cos \beta_F / m_Q + \pi/4 - \beta_F \}$$

27. Вычисление остальных начальных условий для решения системы ДУ 2:

$$\dot{\gamma}_0 = V_U / [(Z_U + A_C) \operatorname{ctg} \varphi - (0,5D_A + T_F) - X_Q];$$

$$\dot{X}_{C0} = V_{CS} \cdot \sin(\varphi_S + |\gamma_0|);$$

$$\dot{Z}_{C0} = -V_U - V_{CS} \cdot \cos(\varphi_S + |\gamma_0|) \quad \text{для } \gamma \geq 0;$$

$$\dot{Z}_{C0} = -V_U + V_{CS} \cdot \cos(\varphi_S + |\gamma_0|) \quad \text{для } \gamma < 0$$

где  $V_{CS} = \dot{\gamma}_0 \cdot q$

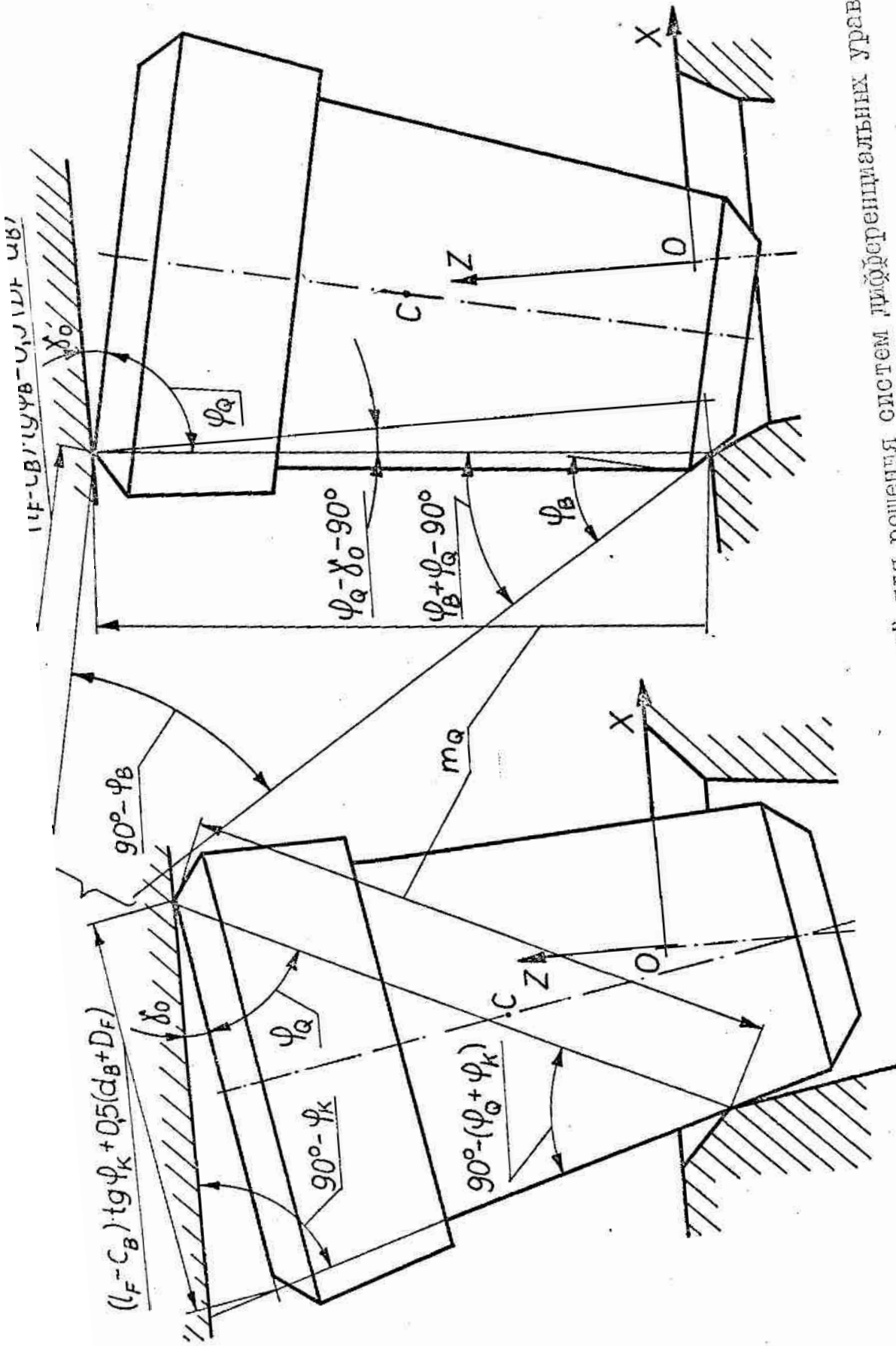


Рис. 2.12. Схема для расчета начальных условий для решения систем дифференциальных уравнений

28. Ряд систем дифференциальных уравнений (по пунктам 5, 7, 8, 9) можно заменить одной системой, в которой переменным  $A_F$ ,  $A_C$ ,  $T_F$ ,  $B_F$ ,  $Q_C$  и  $\varphi_E$  присваивают соответствующие значения в блоке выбора варианта расчета этой системы (см. рис. 2.6).

Эта система дифференциальных уравнений имеет следующий вид:

$$m\ddot{X}_c = [-\mu \sin(\gamma + B_F) + \cos(\gamma + B_F)] \cdot N_1 - G \cdot \sin \varepsilon ;$$

$$m\ddot{Z}_c = [\mu \cos(\gamma + B_F) + \sin(\gamma + B_F)] \cdot N_1 - G \cdot \cos \varepsilon ;$$

$$J_c \ddot{\gamma} = \cos(\gamma + B_F) \{ [1 - \mu \cdot \operatorname{tg}(\gamma + B_F)] (Z_c + A_c) + a \cdot [\mu - \operatorname{tg}(\gamma - B_F)] \} ;$$

$$N_1 = \frac{\frac{1}{m} G \cdot \cos^2(\gamma + B_F) [\operatorname{tg}(\gamma + B_F) \cdot \cos \varepsilon + \sin \varepsilon] + T}{M_B \cdot \cos^2(\gamma + B_F) [\cos \varphi_Q + \sin \varphi_Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma + B_F)] + W \cdot B}$$

где  $a = X_c + 0,5 \cdot D_A + T_F$ ,

$$T = \ddot{\gamma} \{ \dot{\gamma} \cdot H \cdot \cos(\gamma + B_F) [1 + \sin^2(\gamma + B_F) - 2[\dot{Z}_c + (Z_c + A_c) \cdot \dot{\gamma} \operatorname{tg}(\gamma + B_F)]] \} ;$$

$$H = Q_c \cdot \sin(\varphi_E + B_F) ; M = [\mu^2 + 1]^{0,5} / m ;$$

$$W = (\mu^2 + 1)^{0,5} / J_c ;$$

$$\varphi_Q = \gamma + B_F + \operatorname{arc} \operatorname{tg} \mu ;$$

$$B = [(Z_c + A_c) - H \cdot \sin(\gamma + B_F)] [\cos \varphi_Q (Z_c + A_c) + a \cdot \sin \varphi_Q]$$

29. Вывод результатов вычислений:  $t, X_c, Z_c, \gamma, \dot{X}_c, \dot{Z}_c, \dot{\gamma}, \ddot{X}_c, \ddot{Z}_c, \ddot{\gamma}, N_1$

30. Вычисление значений координат точки В, принадлежащей устанавливаемой детали:

$$X_B = X_c + k \cdot \sin(\varphi_H + \gamma) ;$$

$$Z_B = Z_c - k \cdot \cos(\varphi_H + \gamma) .$$

31. Вычисление значения (см. рис. 2.II):

$$\delta_T = (0,5 \cdot D_A + C_A \operatorname{tg} \varphi_A - X_B) \cdot \sin \gamma + Z_B \cdot \cos \gamma$$

32. Вычисление значения (см.рис.2.II):

$$\delta_w = (0,5D_A - X_B) \cdot \sin \gamma + (Z_B + C_A) \cdot \cos \gamma$$

33. Вычисление значения (см.рис.2.II):

$$\delta_B = (0,5D_A - X_B) \cdot \cos \varphi_Q + (Z_B + C_A) \cdot \sin \varphi_Q$$

34. Присвоение начальных условий (см.пункт 20) для решения системы дифференциальных уравнений  $DY 2$ .

Разработанная математическая модель процесса соединения деталей для первой стадии сборки учитывает множество факторов, влияющих на этот процесс. Основные из них:

- геометрические параметры соединяемых деталей;
- угол наклона оси посадочной поверхности базовой детали относительно линии действия гравитационного поля  $E$  ;
- коэффициент трения  $\mu$  в местах контакта соединяемых деталей;
- момент инерции  $J_c$  и положение  $l_c$  центра масс устанавливаемой детали;
- начальные условия для решения систем дифференциальных уравнений, описывающих процесс соединения деталей.

Принятая модель позволяет исследовать процесс соединения деталей при перемещении устанавливаемой детали под действием силы тяжести  $G$  или под действием сборочной силы, создаваемой пуансоном сборочной машины, с учетом относительного положения соединяемых деталей и рабочего инструмента. Особое внимание необходимо уделить начальным условиям, так как они определяют в основном качественную и количественную характеристику сборочного процесса. Начальные координаты центра тяжести  $C ( X_c, Z_c )$  и угол  $\gamma$  скрещивания осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей вызывают смещение этих осей и характеризуют их положе-



ние. Относительное положение рабочего инструмента и устанавливаемой детали определяет характер взаимодействия между ними: либо удар рабочего инструмента по устанавливаемой детали, либо движение устанавливаемой детали без контакта с торцевой поверхностью рабочего инструмента, либо непрерывный контакт между ними. В случае удара рабочего инструмента можно определить начальные условия  $\dot{X}_{c0}$ ,  $\dot{Z}_{c0}$  и  $\dot{\gamma}_0$ , исходя из известной величины скорости поступательного движения инструмента  $V_u$  и направления перемещения точек контакта устанавливаемой детали, поскольку можно определить положение мгновенного центра ее вращения (см. рис. 2.7, 2.8, 2.11 и пункты 19, 25, 26, 27 методики расчета). В результате решения выбранной в соответствии с программой системы дифференциальных уравнений для текущего значения времени  $t$  получим сведения о координате центра тяжести устанавливаемого вала  $C(X_c, Z_c)$ ; скорости его поступательного движения  $\dot{X}_c$ ,  $\dot{Z}_c$  и ускорении центра тяжести  $\ddot{X}_c$ ,  $\ddot{Z}_c$ ; угле  $\gamma$  скрещивания осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей, угловой скорости вращения  $\dot{\gamma}$  и ускорении  $\ddot{\gamma}$ , а также нормальной реакции  $N_1$ . По найденным значениям этих параметров можно судить о траектории движения устанавливаемой детали, о времени начала центрирования соединяемых деталей и место положения второй точки контакта соединяемых деталей.

Существенное значение для процесса соединения деталей имеет их относительное положение в момент их центрирования, поскольку именно в этот момент возникает опасность заклинивания деталей. В дальнейшем будет раскрыта сущность заклинивания соединяемых деталей. Позже, когда будут найдены условия заклинивания деталей можно будет обеспечить такую траекторию движения устанавливаемой детали в первоначальный момент контакта, чтобы в момент центри-

рования и последующий период избежать их заклинивания. Иначе говоря, нельзя исследовать процесс соединения деталей отдельно на двух сопряженных этапах. Только после определения условий заклинивания соединяемых деталей в момент их центрирования можно судить об успешном завершении первого этапа их соединения.

## 2.2. Исследование условий автоматического соединения деталей по поверхностям вращения

В процессе соединения деталей возможно их заклинивание. Знание условий заклинивания позволяет разработать условия, исключаящие их заклинивание, то есть те условия, которые в большинстве случаев являются условиями автоматического соединения деталей.

Условия заклинивания имеют качественно разнообразный характер, все зависит от количества степеней свободы, которые имеет устанавливаемая деталь. В работе рассматривается плоско-параллельное движение устанавливаемой детали в одной плоскости. Такое допущение, при исследовании процесса соединения деталей по поверхностям вращения не вносит какого-либо искажения в существо сборочного процесса по следующим причинам:

- для деталей, соединяемых по поверхностям вращения нет необходимости в обеспечении достижения точности относительного углового положения этих деталей в сечении, перпендикулярном оси посадочной поверхности базовой детали ( $\delta_{\tau_{\Delta}} [17]$ );
- относительное смещение соединяемых деталей рассматривается в плоскости относительного наклона этих деталей, то есть там, где имеет место наибольший угол  $\gamma$  скрещивания осей их сопрягаемых поверхностей.

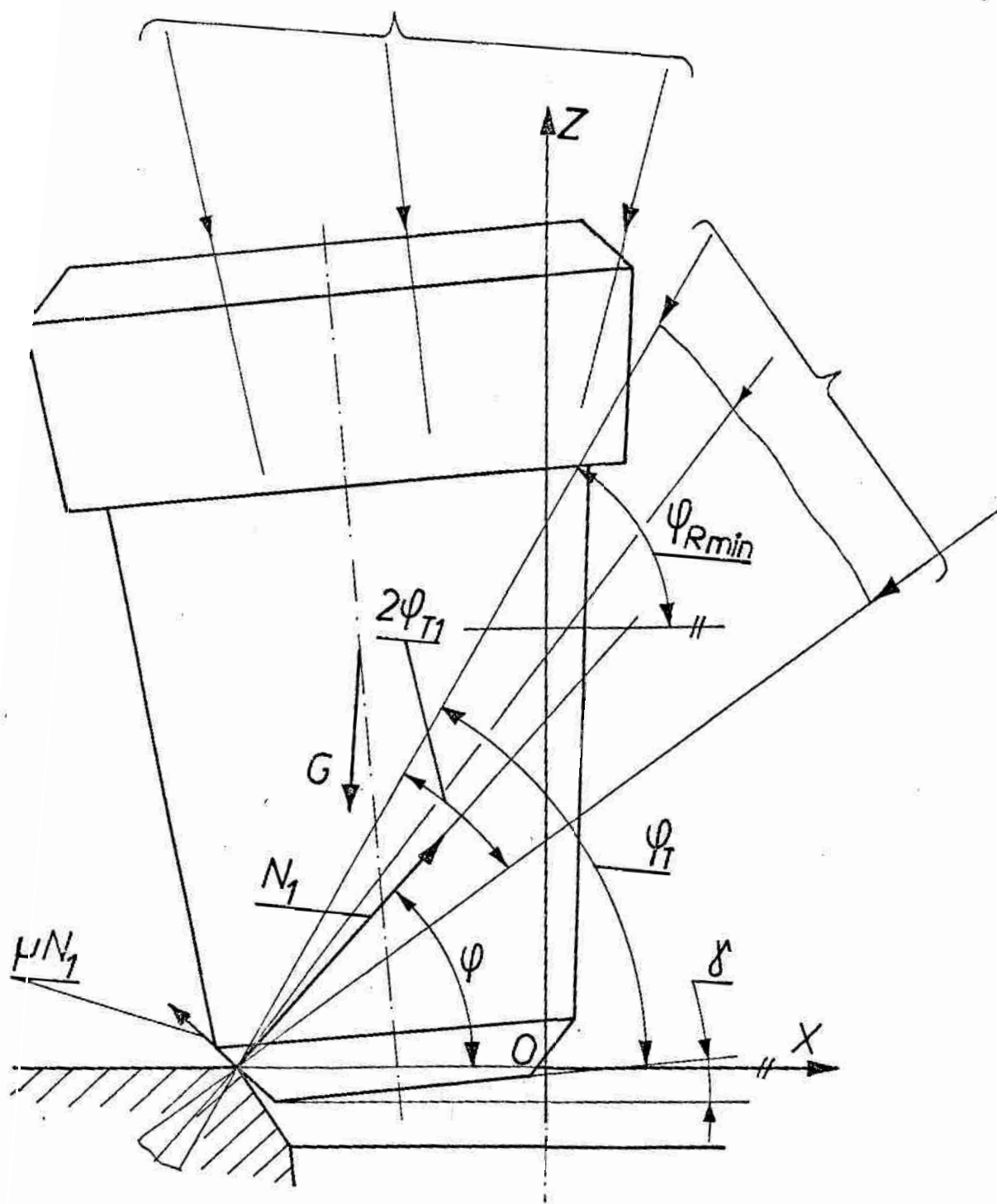


Рис. 2.13. Схема для определения условий заклинивания при одноточечном контакте соединяемых деталей

### 2.2.1. Условия заклинивания деталей на первом этапе их соединения

Этот этап характеризуется одноточечным контактом сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей. Их заклинивание происходит тогда, когда линия действия результирующей сборочной силы проходит через точку контакта деталей и одновременно находится внутри конуса трения  $2\varphi_{T1}$ . Из рис.2.13 видно, что вероятность заклинивания обычно невелика, однако она возрастает по мере увеличения угла  $\varphi_T$  и для  $\varphi_{Tmax}$ :

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \gamma + \varphi_B + \varphi_{T1} \\ \varphi &= \varphi_A + \varphi_{T1} \\ \varphi &= \gamma + \varphi_K + \varphi_{T1} \end{aligned} \right\} \varphi_{Tmax} < \varphi_{Rmin} \quad (2.13.)$$

Из формулы видно, что вероятность заклинивания возрастает по мере увеличения углов  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$  заходных фасок соединяемых деталей, углов уклона  $\varphi_K$  их сопрягаемых поверхностей, угла  $\gamma$  скрещивания их осей, а также приведенного коэффициента трения  $\mu$ .

Однако даже при выполнении условий (2.13.) не всегда происходит заклинивание деталей. Этого не наблюдается тогда, когда результирующая сила не пересекает точки контакта соединяемых деталей и потому эта точка является мгновенной осью вращения устанавливаемой детали. Поворот детали происходит до тех пор, пока результирующая сила не пересечет мгновенную ось вращения и не наступит заклинивание деталей, либо направление действия силы будет проходить вне конуса трения и тогда, кроме поворота устанавливаемой детали, происходит ее скольжение по базовой детали.

Вероятность заклинивания при траектории движения устанавливаемой детали, ограниченной поверхностью фаски или образующей поверхности базовой детали - маловероятна, а потому рассматривать вопрос о заклинивании на этом этапе соединения деталей не целесообразно.

### 2.2.2. Условия заклинивания деталей на втором этапе их соединения

Второй этап соединения деталей существенным образом отличается от первого, поскольку их сопрягаемые поверхности контактируют в двух точках. Поэтому для исключения заклинивания необходимо, чтобы реакции в местах контакта соединяемых деталей находились одновременно вне конусов трения.

Исходным положением для определения условий заклинивания деталей на этом этапе является закон механики, согласно которому, если на деталь действует несколько сил и моментов, то их можно привести к одной равнодействующей силе и можно считать, что устанавливаемый вал находится в состоянии покоя тогда, когда линия действия результирующей силы пересекает общую площадку конусов трения.

Поэтому условия заклинивания соединяемых деталей находят для случая, когда результирующая сила, действующая на устанавливаемую деталь, пересекает область равновесия, являющуюся общей площадкой конусов трения (рис.2.14). Эта площадка ограничена многоугольником с вершинами  $E_{1-3}$ ,  $E_{1-4}$ ,  $E_{2-3}$ ,  $E_{2-4}$ . Координаты этих точек находятся как пересечение крайних образующих (прямых линий) конусов трения  $2 \varphi_{T1}$  и  $2 \varphi_{T2}$  (рис.2.14):

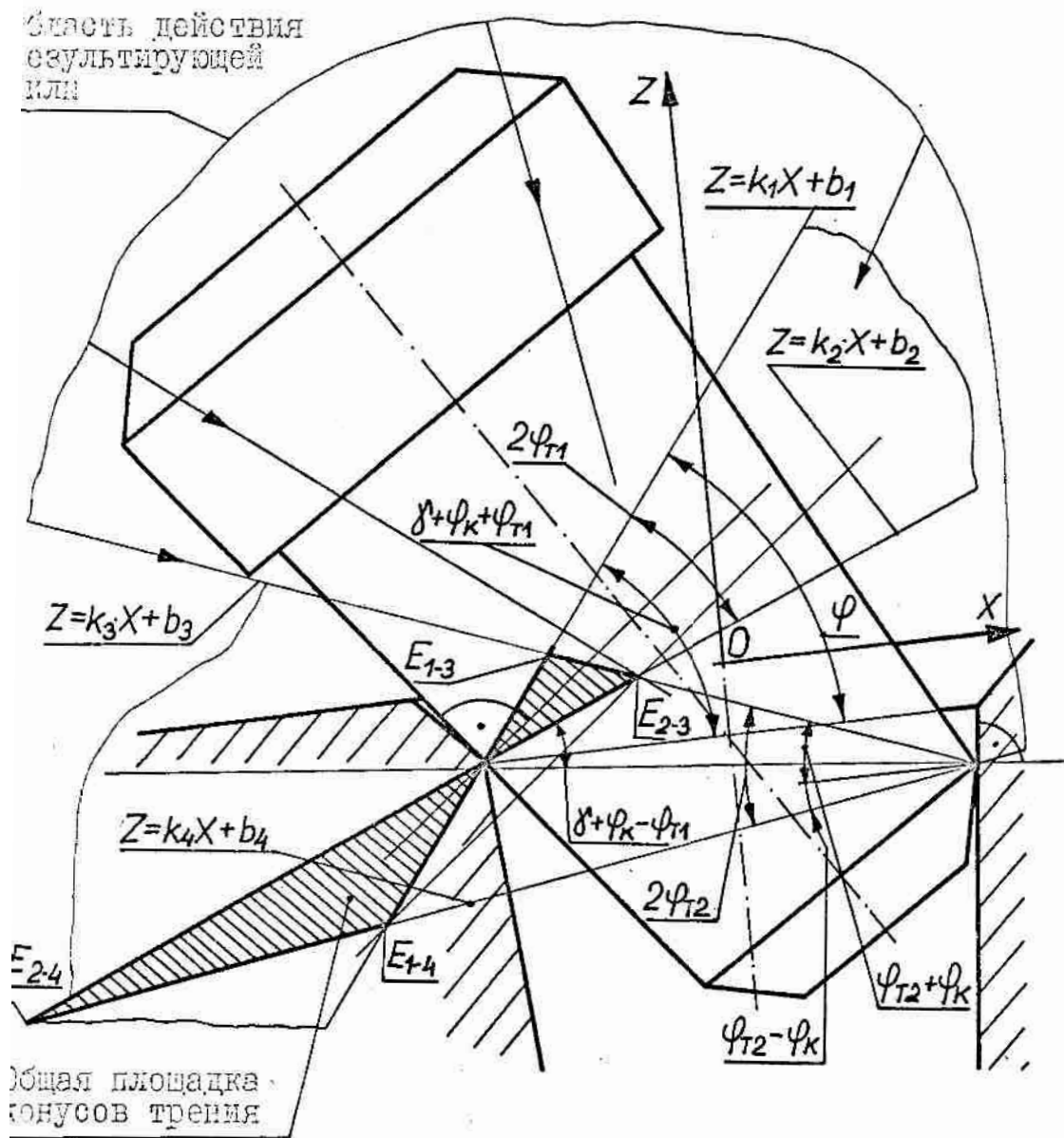


Рис. 2.14. Схема для определения условий заклинивания при центрировании и последующих положениях соединяемых деталей



$$\left. \begin{aligned} Z &= k_1 \cdot X + b_1 \\ Z &= k_2 \cdot X + b_2 \\ Z &= k_3 \cdot X + b_3 \\ Z &= k_4 \cdot X + b_4 \end{aligned} \right\} \quad (2.14.)$$

где

$$k_1 = \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_k + \varphi_{T1}) \quad ; \quad k_2 = \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_k - \varphi_{T1}) ;$$

$$k_3 = -\operatorname{tg}(\varphi_k + \varphi_{T2}) \quad ; \quad k_4 = \operatorname{tg}(\varphi_{T2} - \varphi_k) ;$$

$$b_1 = 0,5 \cdot D_A \cdot k_1 - C_A \quad ; \quad b_2 = 0,5 D_A \cdot k_2 - C_A ;$$

$$b_3 = Z_B - k_3 \cdot X_B \quad ; \quad b_4 = Z_B - k_4 \cdot X_B$$

$$X_B = 0,5 D_A - A \cdot \operatorname{tg} \varphi_k \quad ; \quad Z_B = -C_A - A ;$$

$$A = \frac{D_A \sin(\gamma + \varphi_k) \cdot \sin \gamma - \cos \varphi_k (D_A - d_B \cos \gamma)}{\sin(\gamma + \varphi_k) (\sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi_k - \cos \gamma) - \sin \varphi_k} ;$$

$k_1, k_2, k_3, k_4$  - угловые коэффициенты соответствующих прямых (2.14.);  $b_1, b_2, b_3, b_4$  - отрезки прямых (2.14.) по оси  $Z$ ;  $\varphi_{T2} = \operatorname{arctg} \mu_2$ ;  $\mu_2$  - приведенный коэффициент трения в точке В.

Для определения координат точек  $E_{1-3}(X_{1-3}, Z_{1-3})$ ;  $E_{1-4}(X_{1-4}, Z_{1-4})$ ;  $E_{2-3}(X_{2-3}, Z_{2-3})$ ;  $E_{2-4}(X_{2-4}, Z_{2-4})$  нужно решить систему уравнений (2.15.), откуда:

$$\left. \begin{aligned} Z_{1-3} &= k_1 \cdot X_{1-3} + b_1 \\ Z_{1-3} &= k_3 \cdot X_{1-3} + b_3 \end{aligned} \right\} E_{1-3} \quad \left. \begin{aligned} Z_{2-3} &= k_2 \cdot X_{2-3} + b_2 \\ Z_{2-3} &= k_3 \cdot X_{2-3} + b_3 \end{aligned} \right\} E_{2-3} \quad \left. \begin{aligned} Z_{1-4} &= k_1 \cdot X_{1-4} + b_1 \\ Z_{1-4} &= k_4 \cdot X_{1-4} + b_4 \end{aligned} \right\} E_{1-4} \quad \left. \begin{aligned} Z_{2-4} &= k_2 \cdot X_{2-4} + b_2 \\ Z_{2-4} &= k_4 \cdot X_{2-4} + b_4 \end{aligned} \right\} E_{2-4} \quad (2.15)$$

Область, в которой не происходит заклинивания деталей перемещается по мере изменения относительного положения соединяемых деталей их точек контакта. При этом возможно такое положение общей площадки конусов трения, при котором будет отсутствовать зона без заклинивания деталей (рис.2.15). Это означает, что неза-

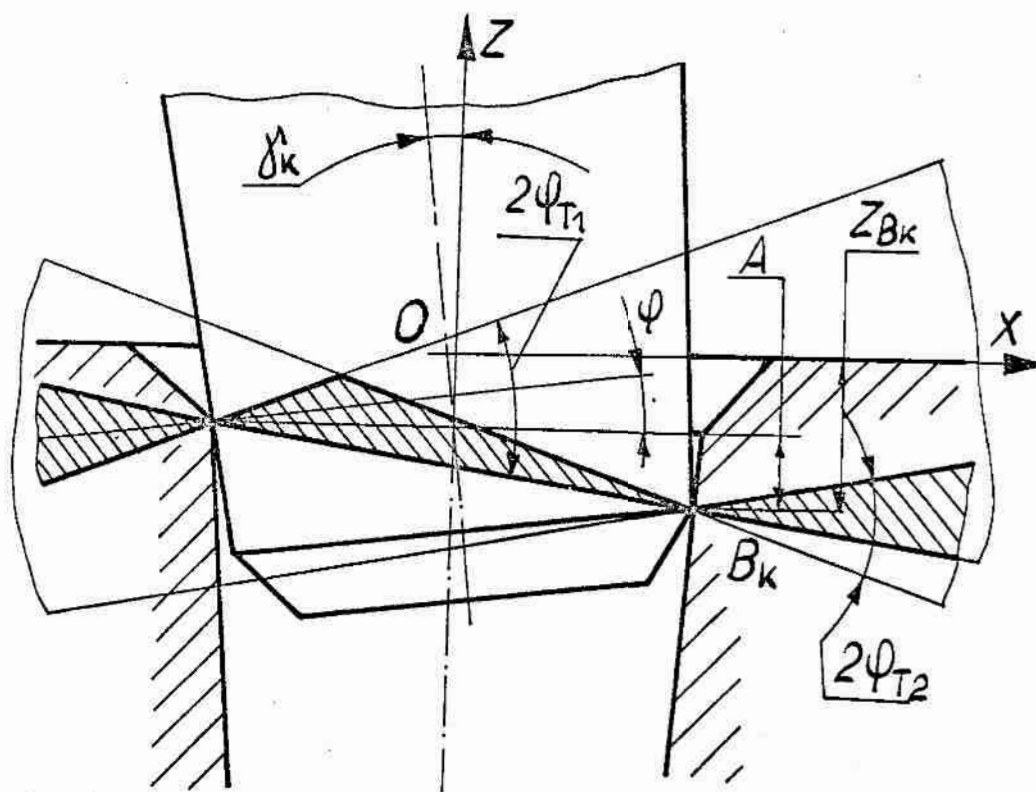


Рис.2.15. Схема для установления условий гарантированного заклинивания деталей

висимо от места приложения результирующей силы, ее величины и направления, движение устанавливаемой детали при сборке неизбежно вызовет заклинивание соединяемых деталей. Граничные значения угла  $\delta = \delta_k$  скрещивания осей соединяемых деталей и координаты  $Z_B = Z_{B_k}$  их точек контакта можно найти из системы уравнений:

$$Z_{B_k} = \frac{(D_A + C_A \cdot \operatorname{tg} \varphi_k) \cdot \operatorname{tg}(\delta_k + \varphi_k - \varphi_{T1}) - C_A}{1 - \operatorname{tg} \varphi_k \cdot \operatorname{tg}(\delta_k + \varphi_k - \varphi_{T1})} \quad (2.16.)$$

$$Z_{B_k} = -(A + C_A)$$

Граничные значения угла  $\gamma_k$  и координаты  $Z_{Bk}$  находятся как пересечение кривых (2.16.). Сопоставление значения координаты  $Z_B$  с  $Z_{Bk}$  или величину угла  $\gamma$  с  $\gamma_k$  позволяет судить о возможности заклинивания соединяемых деталей.

Если неравенство  $Z_B \leq Z_{Bk}$  или  $\gamma \geq \gamma_k$  выдерживается, то заклинивание неизбежно, если нет, то возможно, что соединение деталей будет обеспечено, все зависит от того, какое направление действия имеет результирующая сила (рис.2.14).

Для нахождения граничных значений  $Z_{Bk}$  и  $\gamma_k$  разработана программа ZAKLIN на языке программирования BASIC (см. приложение 2.1), а алгоритм расчета этих граничных значений представлен на рис.2.16.

Результаты вычислений (см. приложение 2.2) отражены на рис. 2.17. Откуда видно, что при малом значении зазора ( $D_A - d_B$ ) и значительной величине приведенного коэффициента трения  $\mu$  зона без заклинивания практически отсутствует.

По мере соединения деталей общая площадка конусов трения удаляется от опорной системы координат (принадлежащей базовой детали) и тем самым опасность заклинивания деталей уменьшается (рис.2.18).

Среди возможных положений площадок конусов трения необходимо выделить такое ее положение, при котором крайняя координата общей площадки конусов трения совпадает с положением точки контакта  $T(T = E_{1-3} = E_{2-3})$  (рис.2.19).

При соединении деталей, когда в момент их центрирования, они занимают относительное положение, соответствующее их положению, изображенному на рис.2.19, реакция во второй точке - В контакта может равняться нулю. Если результирующая сила, действующая на устанавливаемую деталь, одновременно проходит через точку

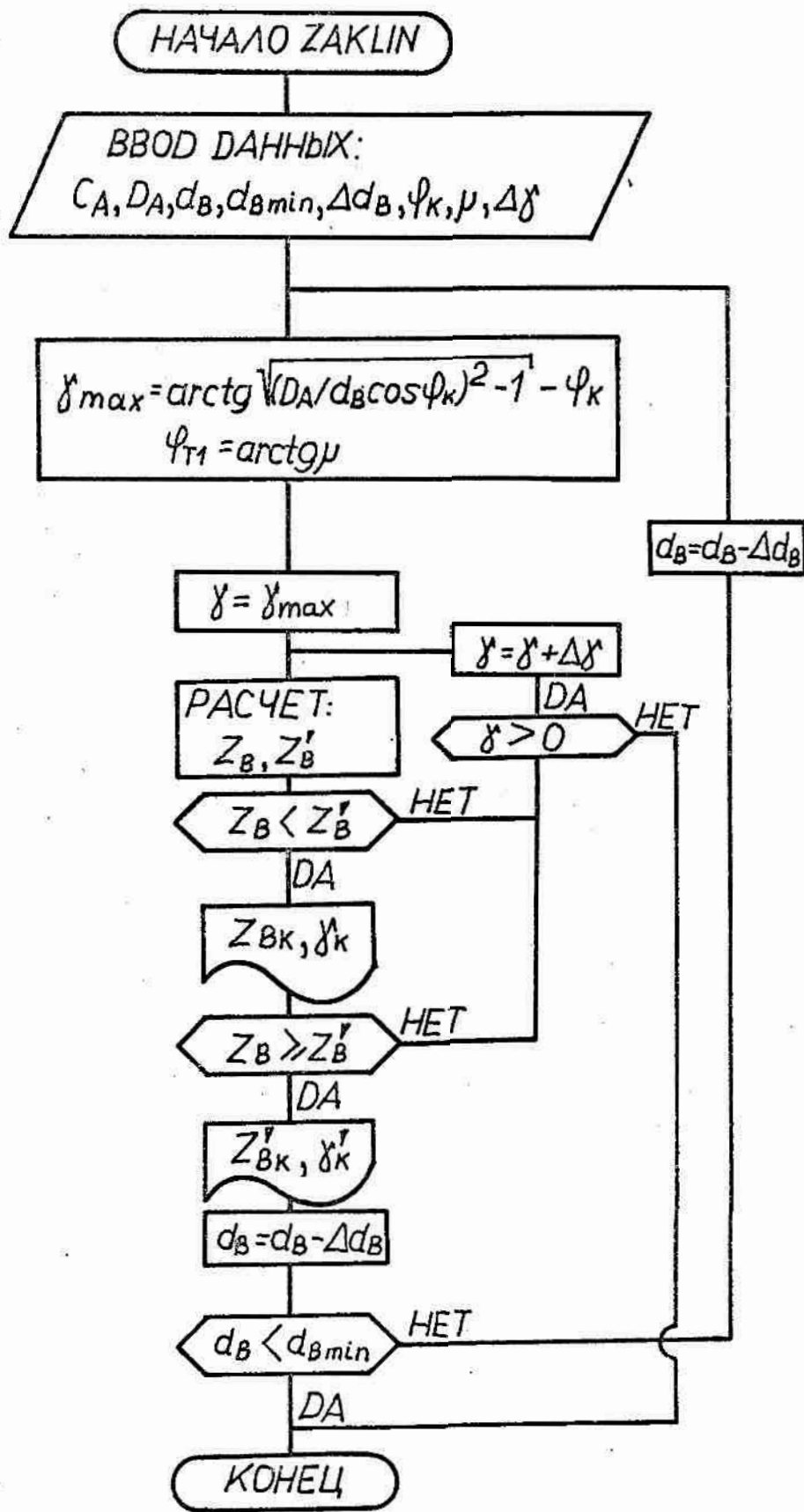


Рис. 2.16. Алгоритм расчета граничных значений  $Z_{Bk}$  и  $\gamma_k$

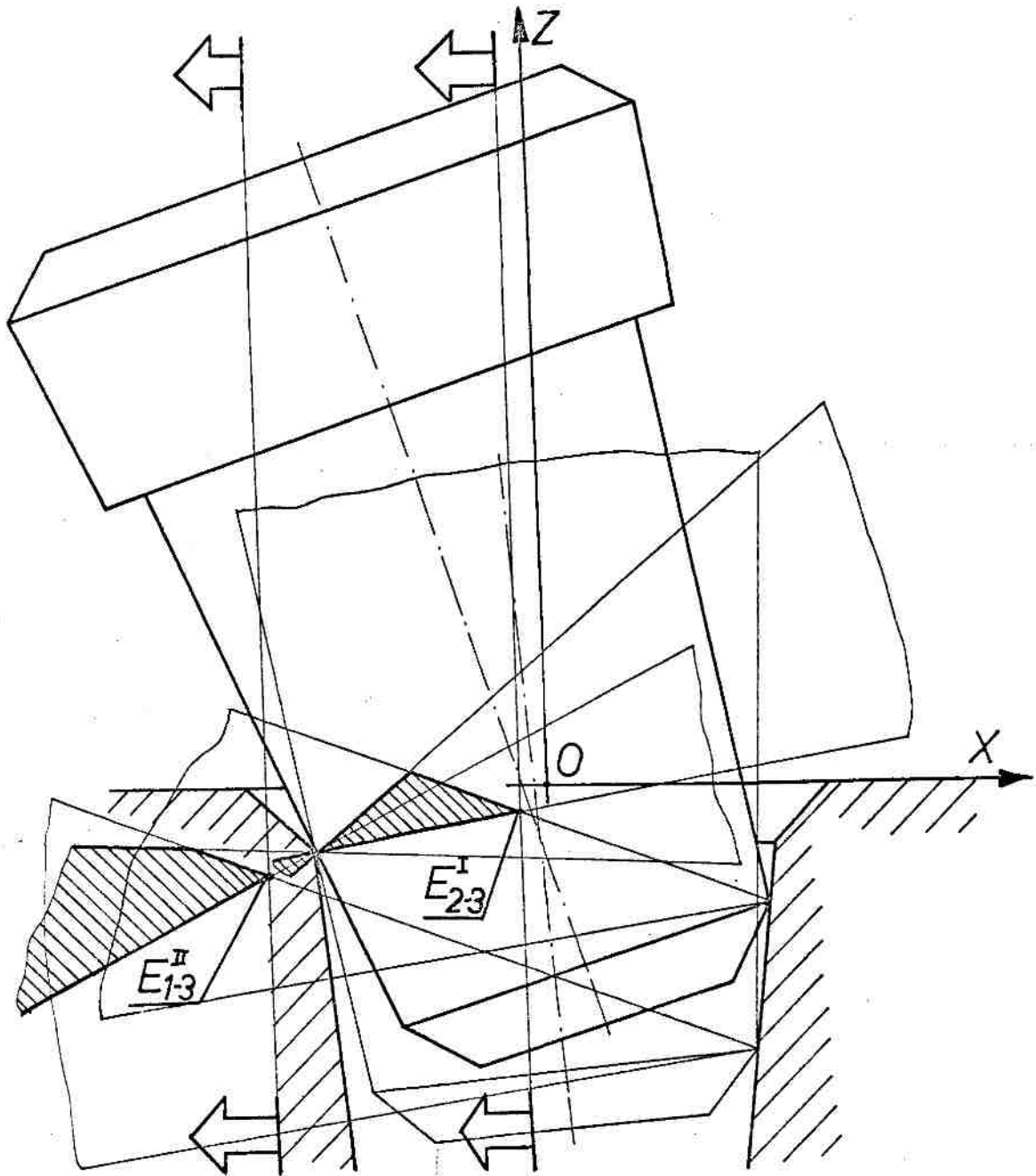


Рис.2.18.Схема перемещения общей площадки конусов  
трения по мере соединения деталей.

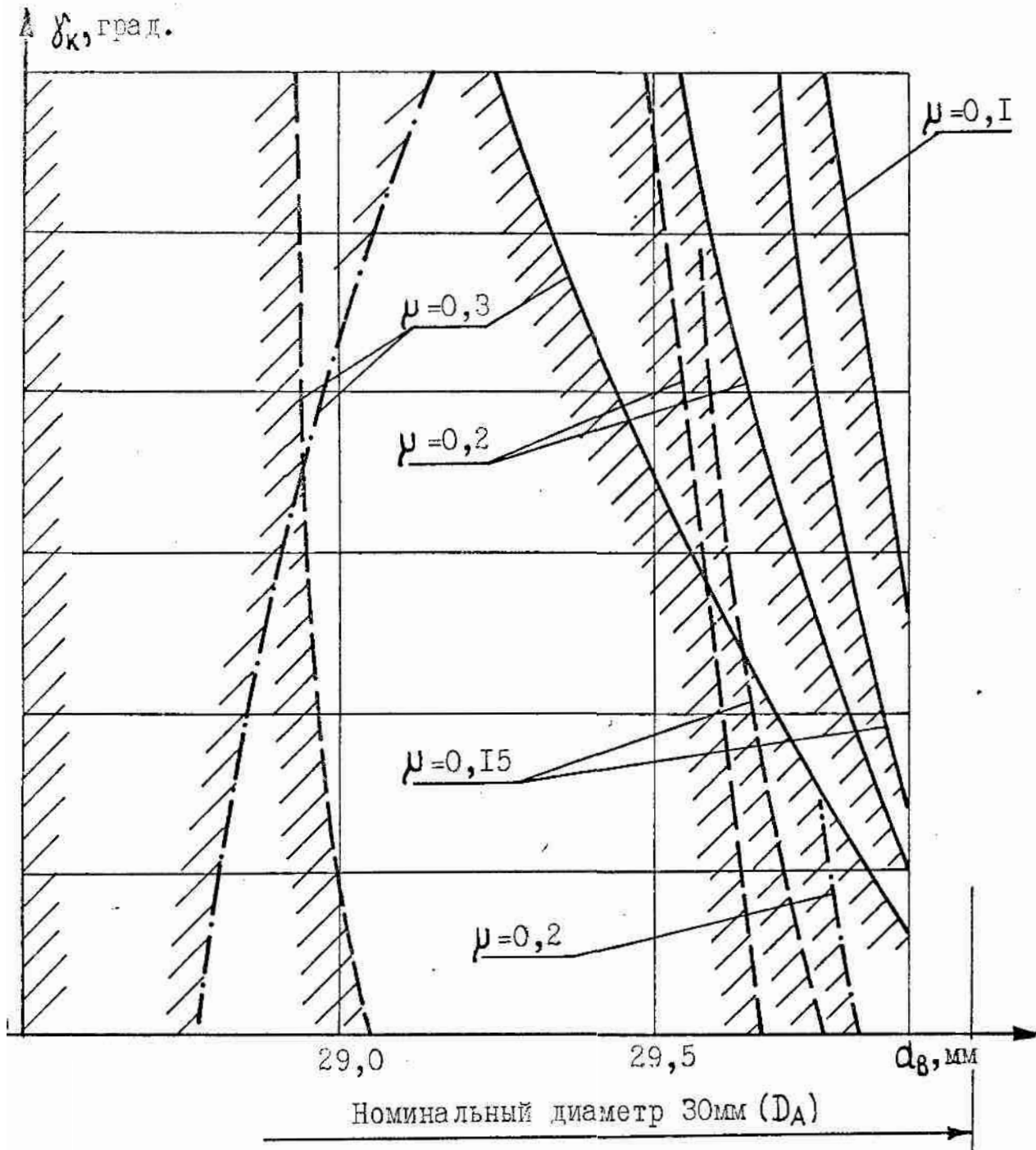


Рис.2.17. Значения граничных значений угла скрещивания осей в зависимости от диаметрального зазора в соединении  $D_A - d_B$ , значения приведенного коэффициента трения  $\mu$  и угла наклона  $\psi_k$  образующих поверхностей соединяемых деталей:

- $\psi_k = 0^\circ$ ; - - -  $\psi_k = 5^\circ$ ; - · - · -  $\psi_k = 10^\circ$
- - гарантированное заклинивание соединяемых деталей;
- ▨ - возможно соединение без заклинивания



контакта и крайнюю точку  $E_{1-3}$  (либо  $E_{2-3}$ ), условие соединения деталей, исключающее их заклинивание будет в общем случае следующим:

$$Z_B \leq -C_A - D_A \cdot \sin(\varphi_k + \varphi_{T2}) \cdot \cos \varphi_k / \cos \varphi_{T2} \quad (2.17.)$$

В частном случае для цилиндрических соединений деталей:

$$Z_B \leq -C_A - D_A \cdot \mu \quad (2.18.)$$

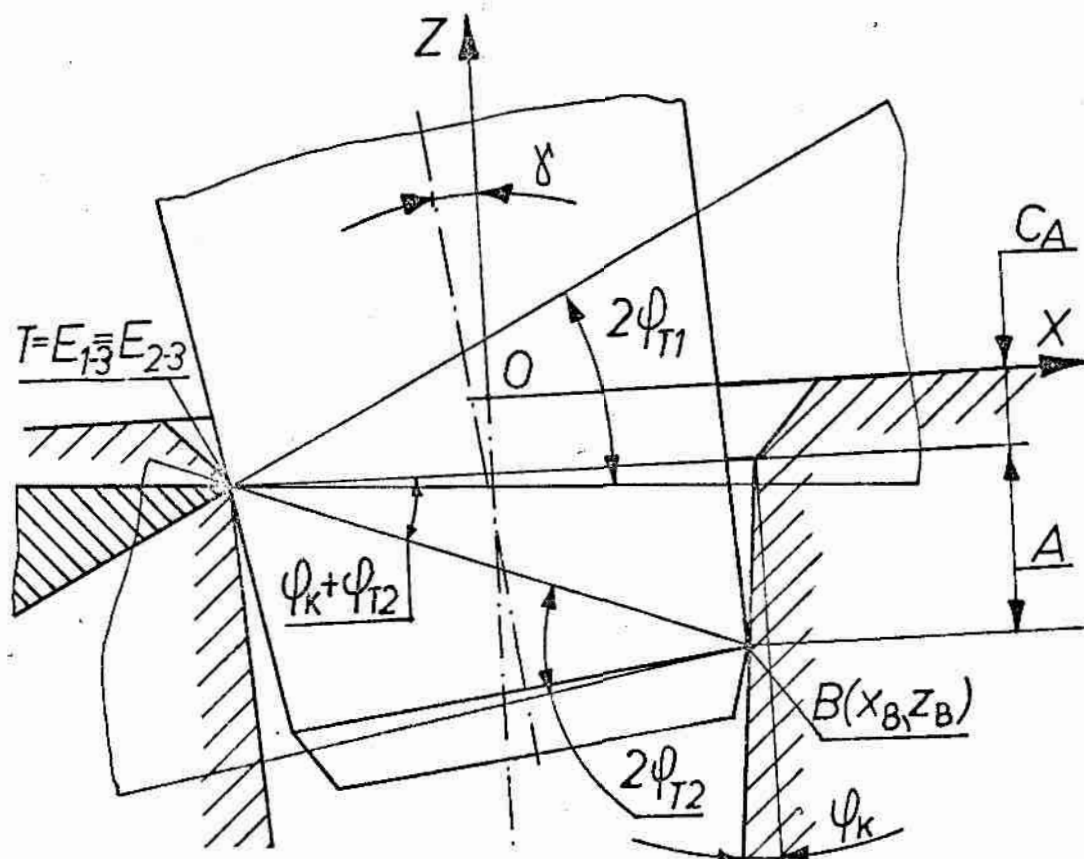


Рис.2.19. Схема для определения условий заклинивания соединяемых деталей для случая, когда крайняя точка  $E_{1-3} = E_{2-3}$  общей площадки конусов трения совпадает с точкой контакта T

Полученная частная зависимость (2.18.) повторяет условия соединения цилиндрических деталей, найденные сотрудниками американской лаборатории Ch.St.Draper [60]. Однако условие (2.18.) также как и (2.17.) не являются достаточными (так как не учитывают действия результирующей силы, как вектора сил). Правда во

многих случаях уже при выполнении этих условий (2.17.) и (2.18.) соединение деталей оказывается возможным.

Направление действия результирующей силы главным образом зависит от принятой схемы сборки, конструктивных особенностей сборочного механизма, жесткости сборочной системы СПИД, величины и направления несовпадения осей посадочных поверхностей соединяемых деталей и др. Однако, независимо от реализуемого способа соединения деталей, результирующая сборочная сила не должна пересекать общей площадки конусов трения, то есть для

$X_{1-3} \leq X_{2-3} \leq X_B$  направление действия результирующей силы должно быть справа от точки  $E_{2-3}$ , а для  $X_{2-3} < X_{1-3}$  - справа от точки  $E_{1-3}$  (см.рис.2.18).

### 2.3. В Ы В О Д Ы

2.3.1. Процесс соединения деталей по поверхностям вращения состоит из двух основных этапов, соответствующих одноточечному и двухточечному контакту их сопрягаемых поверхностей. На первом этапе соединения необходимо обеспечить такую траекторию движения устанавливаемой детали, при которой в момент центрирования деталей и последующий период их соединения не происходило бы их заклинивания, то есть должны соблюдаться условия (2.13; 2.17; 2.18).

2.3.2. Определяющим условием возможности соединения деталей является отсутствие их заклинивания, причем чем больше степеней свободы имеет устанавливаемая деталь, тем меньше возможность ее заклинивания.

2.3.3. Наиболее вероятно заклинивание соединяемых деталей в момент их центрирования и последующий период их сборки.

2.3.4. Установлено условие заклинивания, которое учитывает взаимосвязь между относительным положением соединяемых деталей, величиной, направлением и местом приложения действующих сил и моментов и свойствами материалов соединяемых деталей.

### ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗЕЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ ВРАЩЕНИЯ

Для выявления технической возможности соединения деталей и выбора рациональной схемы их сборки, конструктивных параметров автоматической машины необходимо исследовать и построить рациональные связи, которые должны действовать в процессе соединения. При этом нужно найти качественную и количественную связь между величиной исходных звеньев системы СПИД, способом установки и режимами автоматического сборочного процесса и др.

Сборка соединений по поверхностям вращения на сборочных машинах, работающих по "жесткой" программе, выполняется, как правило, по одной из трех схем:

- устанавливаемая деталь переносится схватом автоматического манипулятора на сборочную позицию, где под действием силы тяжести устанавливается в отверстие базовой детали;
- исполнительный механизм сборочной машины перемещает устанавливаемую деталь на позицию сборки, а пуансон досылает ее до упора;
- исполнительный механизм постоянно удерживает устанавливаемую деталь в процессе соединения.

Каждый из способов соединения имеет качественно различные связи и количественно разные значения. Раскрытие этих связей позволит выявить область применения каждого из них в зависимости от характеристики соединения (величины зазора в соединении), угла  $\varepsilon$  наклона оси посадочной поверхности базовой детали относительно линий действия гравитационного поля, от величины приведенного коэффициента трения и др.

### 3.1. Исследование процесса соединения деталей при жесткой связи между устанавливаемой деталью и рабочим инструментом

В процессе осуществления соединения деталей торцевая поверхность рабочего инструмента осуществляет базирование устанавливаемой детали, причем возможны следующие случаи:

1. Контакт происходит в одной точке и направление действия сборочной силы  $F_{сб}$  проходит внутри конуса трения  $2\varphi_f$  (рис. 3.1 а), при этом точка контакта служит двойной опорной базой;

2. Контакт в одной точке и направление действия сборочной силы  $F_{сб}$  находится за пределами конуса трения, при этом точка контакта служит опорной базой (рис. 3.1 б);

3. Между рабочим инструментом и устанавливаемой деталью нет контакта в процессе соединения деталей (рис. 3.1 в).

Возможные варианты относительного положения устанавливаемого вала и рабочего инструмента в процессе соединения не исчерпываются рассмотренными случаями. Например, после удара рабочего инструмента по устанавливаемой детали скорость ее перемещения в направлении движения инструмента окажется большей скорости инструмента  $V_0$  и тогда контакт между деталью и инструментом нарушается (см. рис. 3.1, а), и поэтому деталь относительно инструмента занимает уже иное положение (см. рис. 3.1, б).

Рассмотрим процесс соединения, в котором связи между устанавливаемой деталью и инструментом имеют характер, представленный на рис. 3.1, в, причем для базирования устанавливаемой детали не используются направляющие (базирующие) элементы, кроме поверхностей самой базовой детали.

Математическая модель этого процесса представлена в гл. 2.

Расчеты ведутся для заданного текущего значения времени  $t$  с учетом относительного положения элементов системы СПИД (сборочная машина, приспособление, инструмент, соединяемые детали). После выбора с помощью программы системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс соединения деталей, производятся их вычисления. За один расчетный цикл получаются результаты для времени  $t + dt$ , после чего посредством программы производится проверка вступила ли устанавливаемая деталь в контакт с базовой деталью во второй точке контакта. Если расчет показал, что есть контакт во второй точке, то определяются ее координаты. Затем сравнивается положение устанавливаемой детали и базовой, и если вторая точка контакта находится на образующей посадочной поверхности базовой детали, то, следовательно, выполняется условие заклинивания (см. раздел 2.2.2.), процесс соединения деталей может продолжаться до полного его завершения.

Программа написана на минимальном ФОРТРАН"-е (см. приложение I.2), следовательно, не зависит от вычислительной машины. Основная программа содержит несколько программ. Структурная схема этих программ представлена на рис.3.2. Основная программа обращается к стандартной подпрограмме DY, предназначенной для решения системы дифференциальных уравнений первого порядка с заданными начальными значениями. Эта программа обращается к внешним программам FDY и OUTDY. Данные программы необходимы для обеспечения нормальной работы программы DY, причем подпрограмма FDY для произведения вычислений по формулам Рунге-Кутты четвертого порядка с модификацией Гилла (точность проверяется сравнением результатов счета, полученных в одной и той же точке с шагами  $h$  и  $2h$ ), при этом автоматически регулируется шаг интегрирования делением его пополам или удвоением в



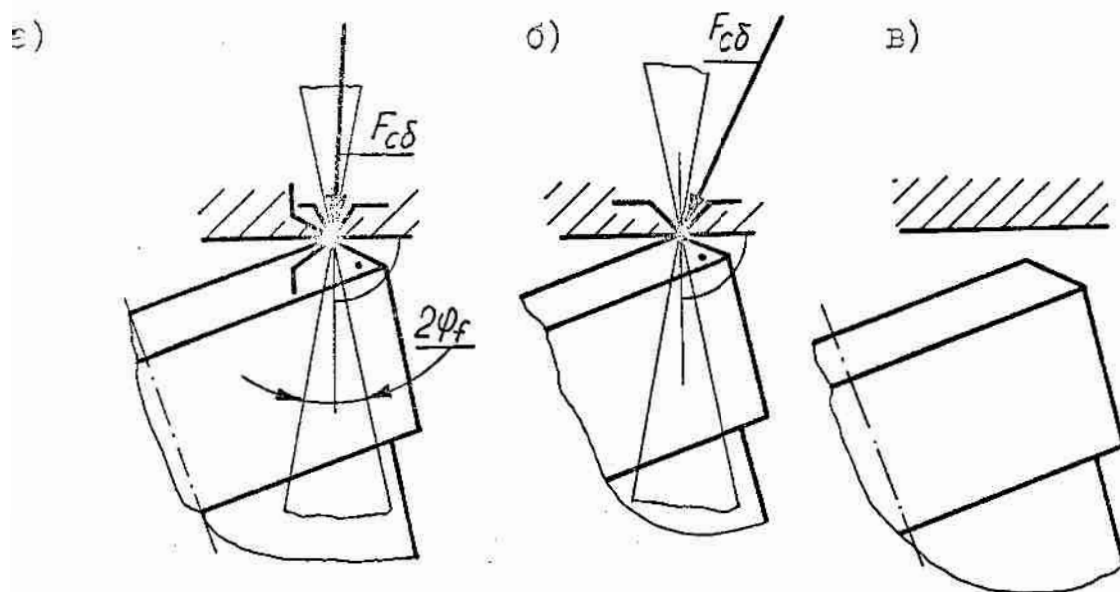


Рис.3.1. Возможные относительные положения инструмента и устанавливаемой детали

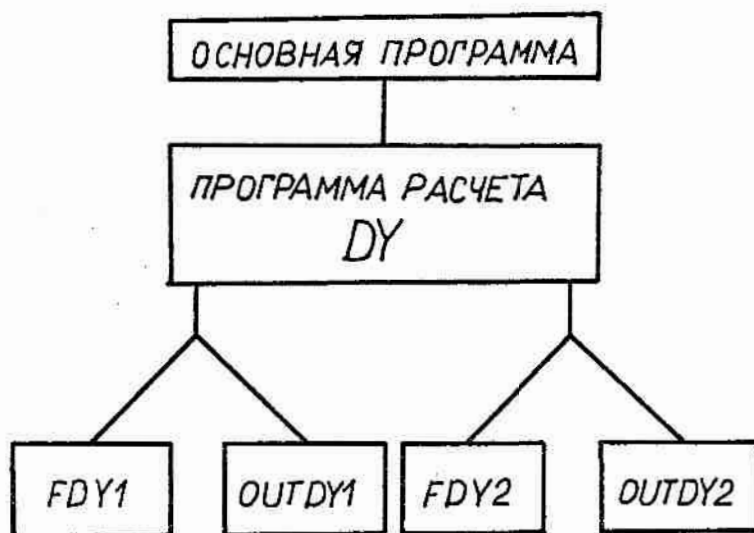


Рис.3.2. Структурная схема программ для расчета систем дифференциальных уравнений

течении всего процесса вычисления, а программа **OUT DY** - для вывода результатов вычислений на печать.

Исходные данные для вычисления, в основном, задаются в операторе **DATA**. В тексте программ присутствуют также встроенные функции: **DEG(X)** и **GRD(X)** - для преобразования градусов в радианы и обратно; **TAN(X)** - для вычисления функции  $\operatorname{tg} x$ ; **ASIN(X)** и **ACOS(X)** - для функций  $\operatorname{arcsin} x$  и  $\operatorname{arc} \cos x$ .

Достоверность принятой модели процесса соединения проверялась аналитическим и экспериментальным путем. При этом аналитической проверке подвергались системы дифференциальных уравнений. За основу для проверки принята теорема механики о движении центра масс механической системы. Центр масс механической системы (центр тяжести устанавливаемой детали) движется как материальная точка с массой, равной массе всей системы (масса устанавливаемой детали  $m$ ), к которой приложены все внешние силы, действующие на систему.

Следствие из теоремы:

- если главный вектор внешних сил все время остается равным нулю, то центр масс устанавливаемой детали находится в покое или движется прямолинейно и равномерно, при этом, если начальная скорость центра масс равна нулю, то центр масс находится в покое.

Чтобы воспользоваться этой теоремой для проверки построенных систем дифференциальных уравнений, надо так выбрать исходные данные, чтобы на какую-либо выбранную ось неподвижной системы координат, проекция главного вектора внешних сил была бы равна нулю. Схема для проверочного расчета представлена на рис.3.3.

При наборе исходных данных должны быть выполнены следующие условия: проекция силы тяжести, как главного вектора внешних сил на ось  $X'''$ , равна нулю;  $\operatorname{arc} \operatorname{tg} \mu = 90^\circ - (\varepsilon + \varphi_A)$ ; начальная

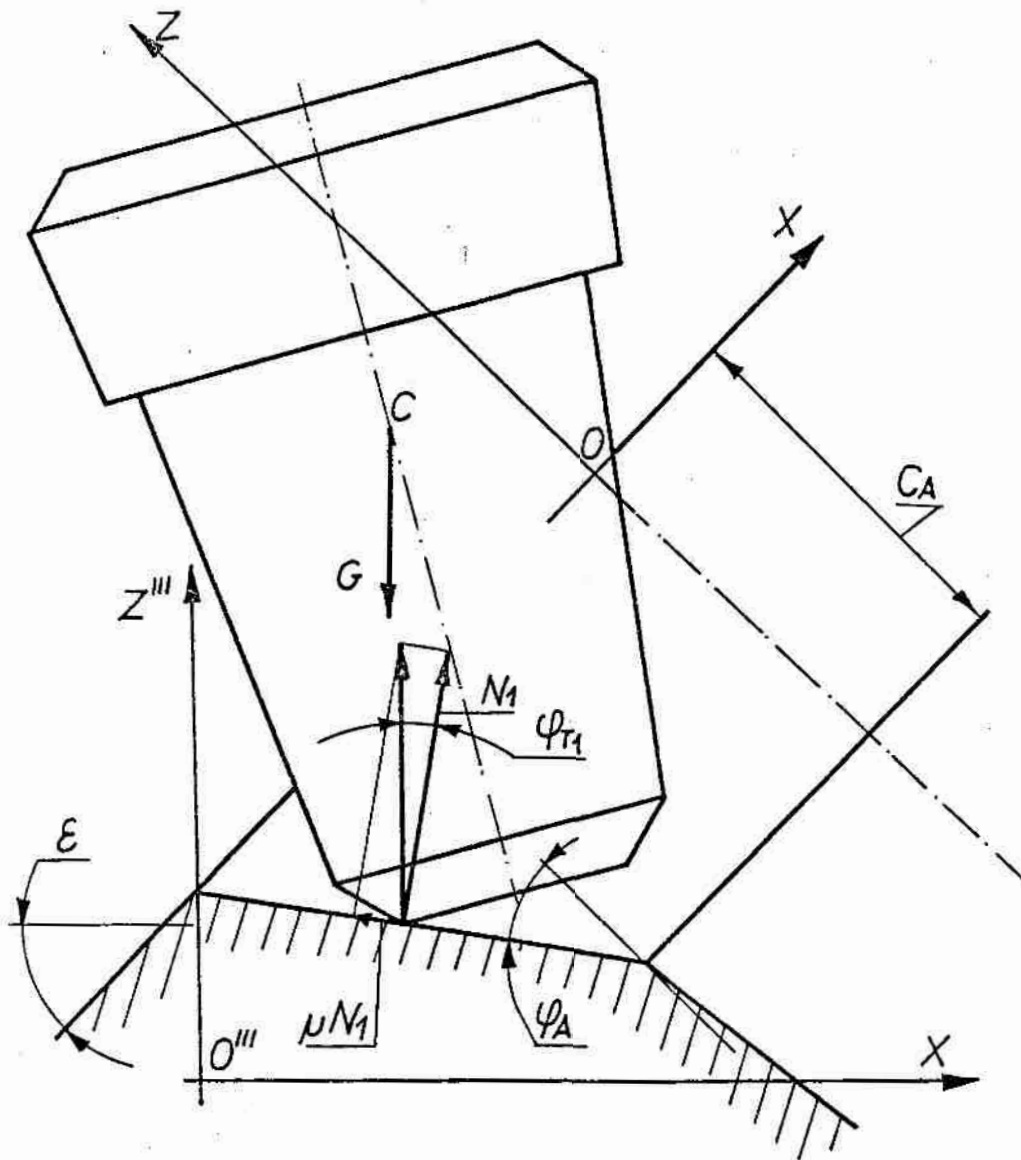


Рис.3.3.Схема для расчета дифференциальных уравнений при прямой линейной траектории движения центра тяжести  $C$  устанавливаемой детали

скорость поступательного движения вдоль оси  $X$  равна нулю. Тогда траектория движения центра тяжести  $C$  устанавливаемой детали должна быть прямой параллельной оси  $Z'''$ . Результаты вычислений подтверждают достоверность построенных систем дифференциальных уравнений (примеры расчета см. в приложении 3.1).

### 3.1.1. Аналитический расчет основных параметров соединения деталей

Для принятой модели сборочного процесса произведены теоретические расчеты для деталей, соединяемых под действием силы тяжести, и под действием этой силы и сборочной силы, создаваемой рабочим инструментом. Для обоих случаев расчет ведут для первоначального момента соединения деталей, когда край торца вала только начинает касаться края фланца отверстия базовой детали, а его ось располагается относительно оси отверстия на расстоянии  $0,5\delta x_H$  ( [17], рис.1.7,а).

Решением математической модели сборочного процесса на первом этапе соединения деталей является получение для каждого текущего значения времени  $t$  значения величин: координат центра тяжести устанавливаемого вала  $C$  ( $X_C, Z_C$ ), его скорости  $\dot{X}_C$ ,  $\dot{Z}_C$ ,  $\dot{y}$  и ускорения  $\ddot{X}_C$ ,  $\ddot{Z}_C$ ,  $\ddot{y}$ , а также значения угла  $\gamma$ , величины и направления нормальной реакции  $N_1$ , а, следовательно, и траектории движения устанавливаемой детали в системе координат  $XOZ$ .

На траекторию движения устанавливаемой детали и другие параметры, характеризующие этот процесс, влияет большое количество факторов. С целью выявления влияния каждого из факторов теоретические расчеты проводились отдельно для ряда групп. Задаваемой переменной в каждой группе при выполнении расчетов принят

тот фактор, влияние которого на процесс рассматривалось ранее. Результаты расчетов значений параметров процесса соединения деталей по поверхностям вращения под действием силы тяжести устанавливаемой детали  $G (V_u = 0, Z_s < Z_u > Z_{s'})$  приведены в приложении 3.2, а для сборки соединений под действием сборочной силы, создаваемой рабочим инструментом  $(V_u \neq 0; Z_{sH} \gg Z_{uH} \leq Z_{s'H}; Z_s \gg Z_u \leq Z_{s'}) F_{уд}$  - даны в приложении 3.3.

На основе табличных данных (см. приложения 3.2 и 3.3) построены графики рис.3.4 - рис.3.8, отображающие зависимость параметров, характеризующих процесс соединения деталей от времени  $t$ .

Откуда видно, что существенное влияние на процесс соединения деталей оказывают углы наклона заходных фасок  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$ . Увеличение значений этих углов вызывает более значительное увеличение угла скрещивания осей  $\gamma$  посадочных поверхностей соединяемых деталей, чем перемещение центра тяжести устанавливаемой детали (рис.3.4), вследствие чего возникает опасность того, что в момент центрирования будет их заклинивание (см. раздел 2.2.2). Кроме этого, для больших значений углов  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$  существует опасность заклинивания на первом этапе соединения деталей (см. раздел 2.2.1 формула (2.13)).

Для углов  $\varepsilon$ , значительно отличающихся от нуля, обеспечение соединения деталей является весьма затруднительным. Поэтому сборка соединяемых деталей должна осуществляться при угле  $|\varepsilon| \leq |\pm 10^\circ|$  (см. рис.3.5), иначе возможно перемещение устанавливаемой детали даже в направлении противоположном требуемому.

Возрастание значения приведенного коэффициента трения  $\mu$  вызывает более интенсивное увеличение угла  $\gamma$  скрещивания осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей, чем перемещение центра тяжести  $C$  устанавливаемого вала вдоль осей  $X$  и  $Z$ .

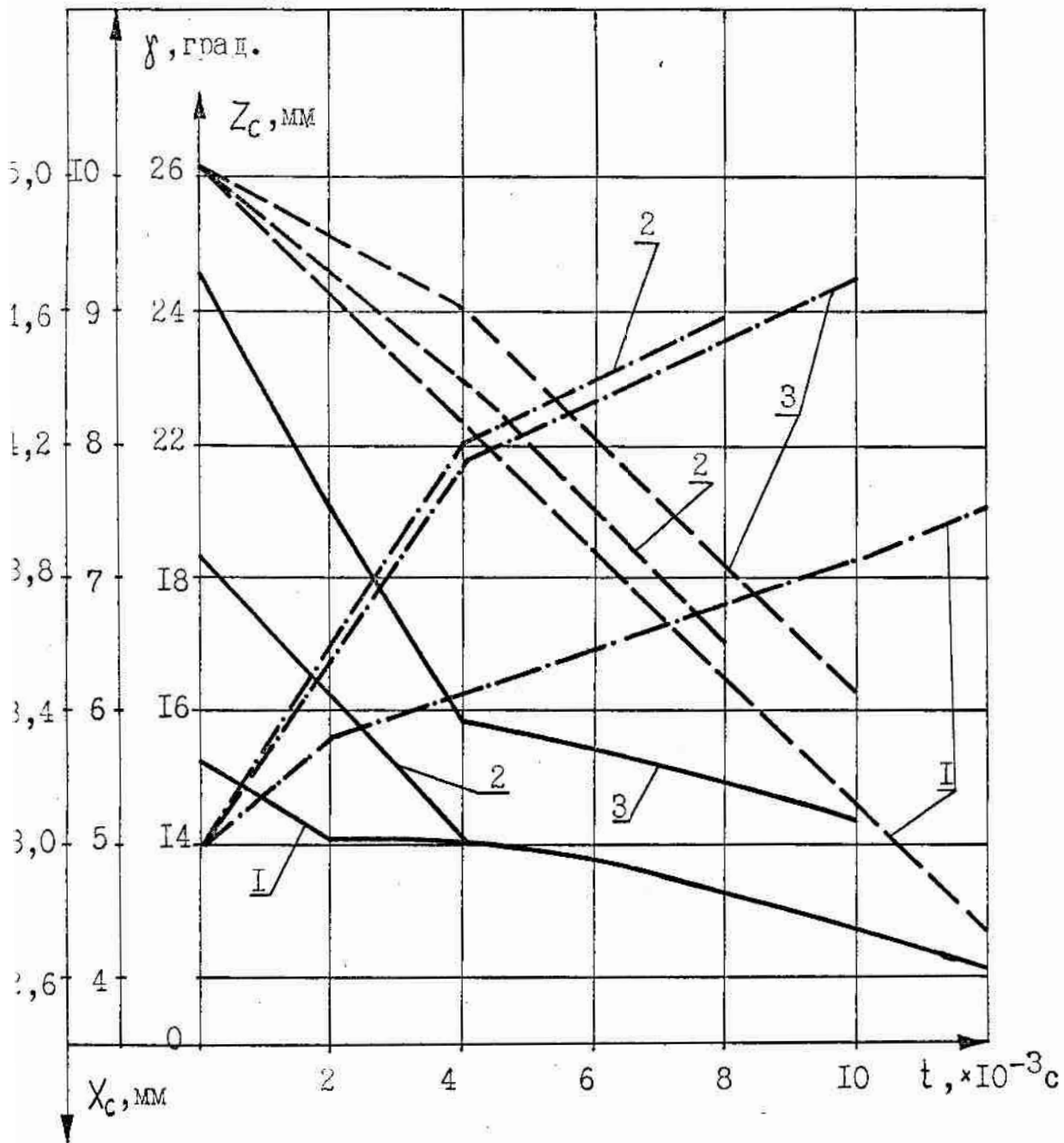


Рис.3.4. Графики значений координаты центра тяжести  $S(X_c, Z_c)$ , угла скрепления  $\gamma$  посадочных поверхностей соединяемых деталей от времени  $t$  и угла  $\varphi_A$ :

$D_A = 30 \text{ мм}; d_B = 29 \text{ мм}; C_A = 2 \text{ мм}; l_C = 25 \text{ мм}; l_F = 50 \text{ мм}; m = 0,344 \text{ кг}; J_C = 93,7 \text{ кг мм}^2;$   
 $\mu = 0,15; \delta X_H / 2 = 2,5 \text{ мм}; \gamma_H = 5^\circ; \varepsilon = 0^\circ; V_U = 0;$   
 1 -  $\varphi_A = 15^\circ$ ; 2 -  $\varphi_A = 30^\circ$ ; 3 -  $\varphi_A = 45^\circ$

—  $X_c$ ; - - -  $Z_c$ ; - · - ·  $\gamma$



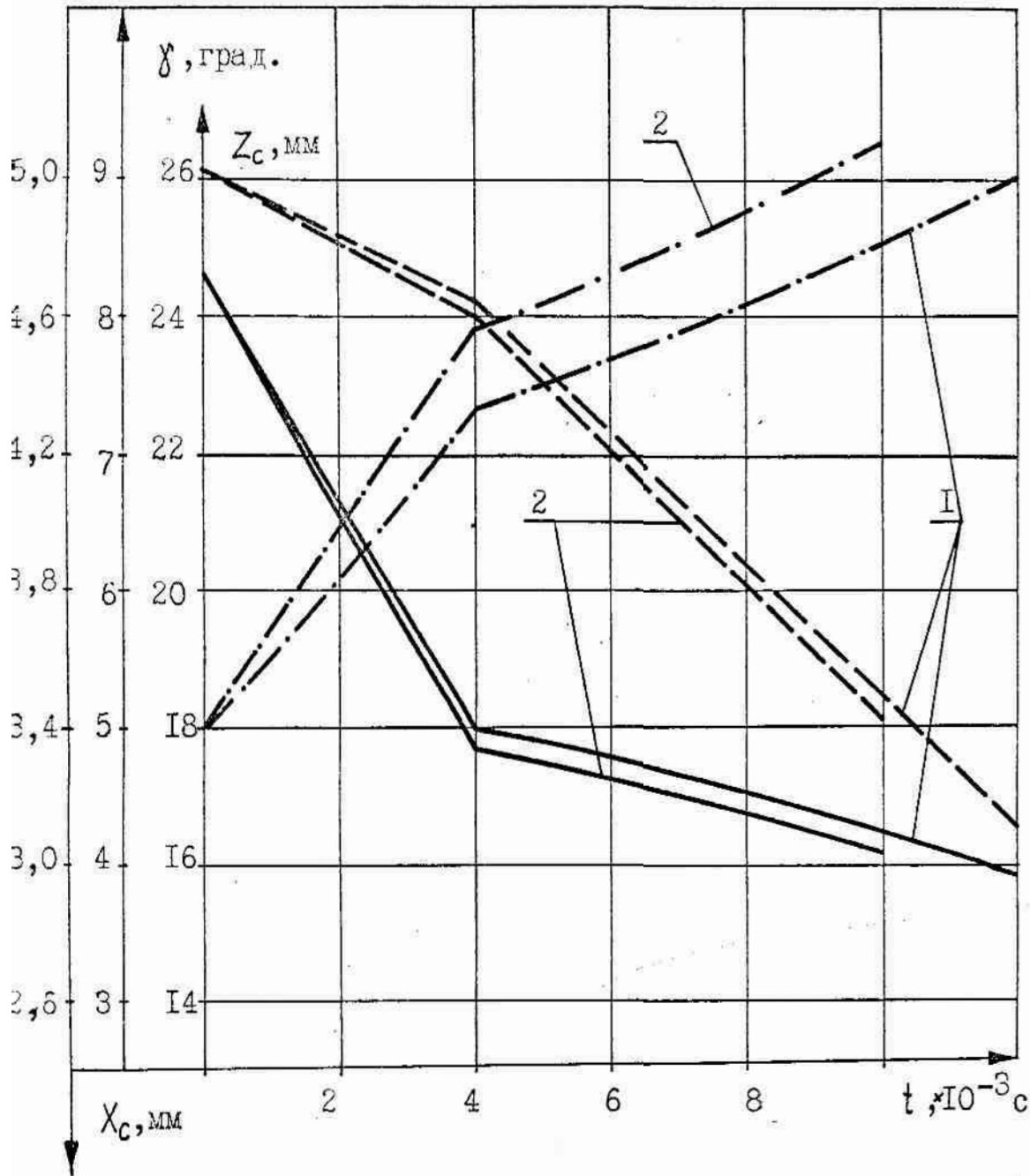


Рис.3.5. Графики значений координаты центра тяжести  $C(X_c, Z_c)$ , угла скрещивания  $\gamma$  посадочных поверхностей соединяемых деталей от времени  $t$  и угла  $\varepsilon$ :

$d_A = 30\text{мм}; d_B = 29\text{мм}; \mu = 0,2; c_A = 2\text{мм}; l_C = 25\text{мм}, l_F = 50\text{мм};$   
 $J_C = 93,7\text{кгмм}^2; m = 0,344\text{кг}; \varphi_A = 45^\circ; \varphi_K = 0; \gamma_H = 50^\circ; \delta x_H / 2 = 2,5\text{мм},$   
 1 -  $\varepsilon = 0^\circ, 2 - \varepsilon = 10^\circ;$

—  $X_c$  ; - - -  $Z_c$  ; - · - · -  $\gamma$

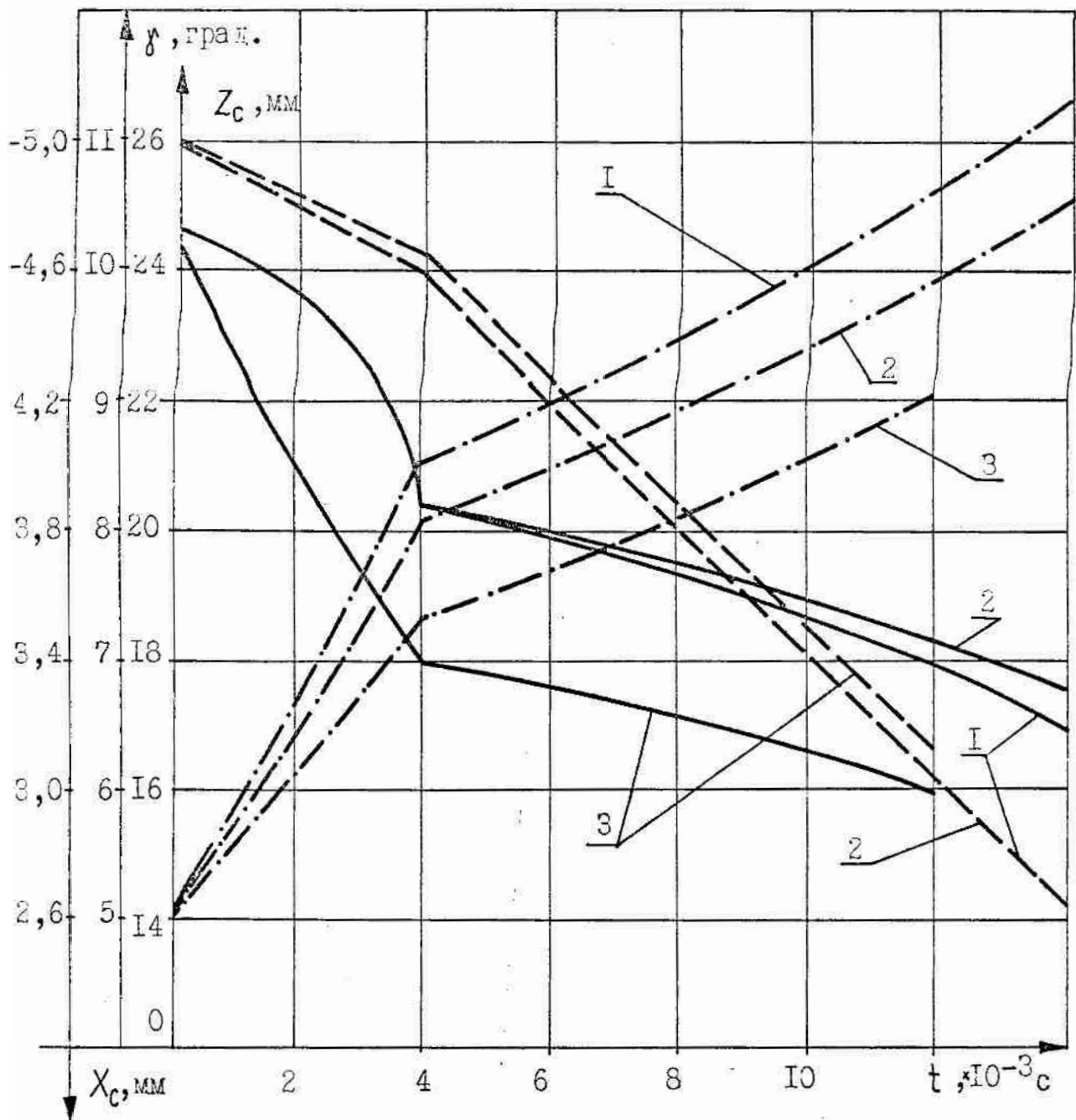


Рис.3.6.Графики значений координаты центра тяжести  $S(X_c, Z_c)$ , угла скрещивания  $\gamma$  посадочных поверхностей соединяемых деталей от времени  $t$  и приведенного коэффициента трения  $\mu$  :

$l_A = 30 \text{ мм}; d_B = 29 \text{ мм}; c_A = 2 \text{ мм}; l_C = 25 \text{ мм}; J_C = 93,7 \text{ кг мм}^2,$   
 $V_U = 0; l_F = 50 \text{ мм}; \gamma_H = 5^\circ; \delta X_H / 2 = 2,5 \text{ мм}; \varphi_A = 45^\circ; \varphi_K = 0;$   
 $m = 0,344 \text{ кг};$   
 $1 - \mu = 0,1; 2 - \mu = 0,15; 3 - \mu = 0,20;$   
 —  $X_c$ ; - - -  $Z_c$ ; - · - ·  $\gamma$

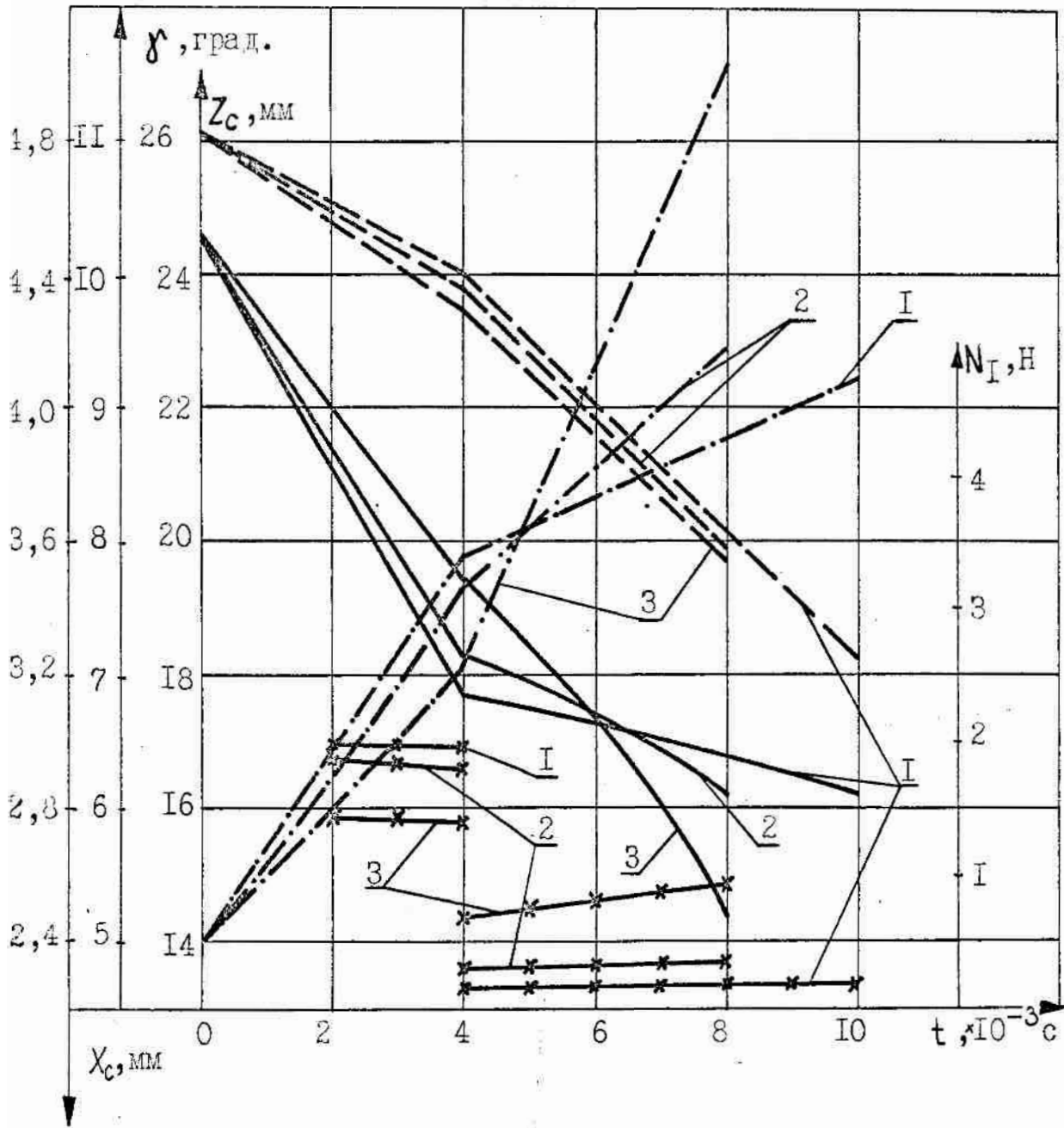


Рис.3.7. Графики значений координаты центра тяжести  $S(X_c, Z_c)$ , угла скрепления  $\gamma$  посадочных поверхностей соединяемых деталей и нормальной реакции  $N_1$  в месте их контакта от времени  $t$  и скорости  $V_u$  в момент удара рабочего инструмента об устанавливаемую деталь:

$D_A=30\text{мм}; d_B=29\text{мм}; C_A=2\text{мм}; L_C=25\text{мм}; L_F=50\text{мм}; m=0,344\text{кг}; J_C=93,7\text{ мм}^2;$   
 $\mu=0,15; \delta x_H/2=2,5\text{мм}; \gamma_H=5^\circ; \epsilon=0; \varphi_A=45^\circ; \varphi_K=0; 1 - V_u=0;$   
 $2 - V_u=100\text{мм/с}; 3 - V_u=200\text{мм/с};$

—  $X_c$ ; - - -  $Z_c$ ; - · - ·  $\gamma$ ; \* \* \*  $N_1$

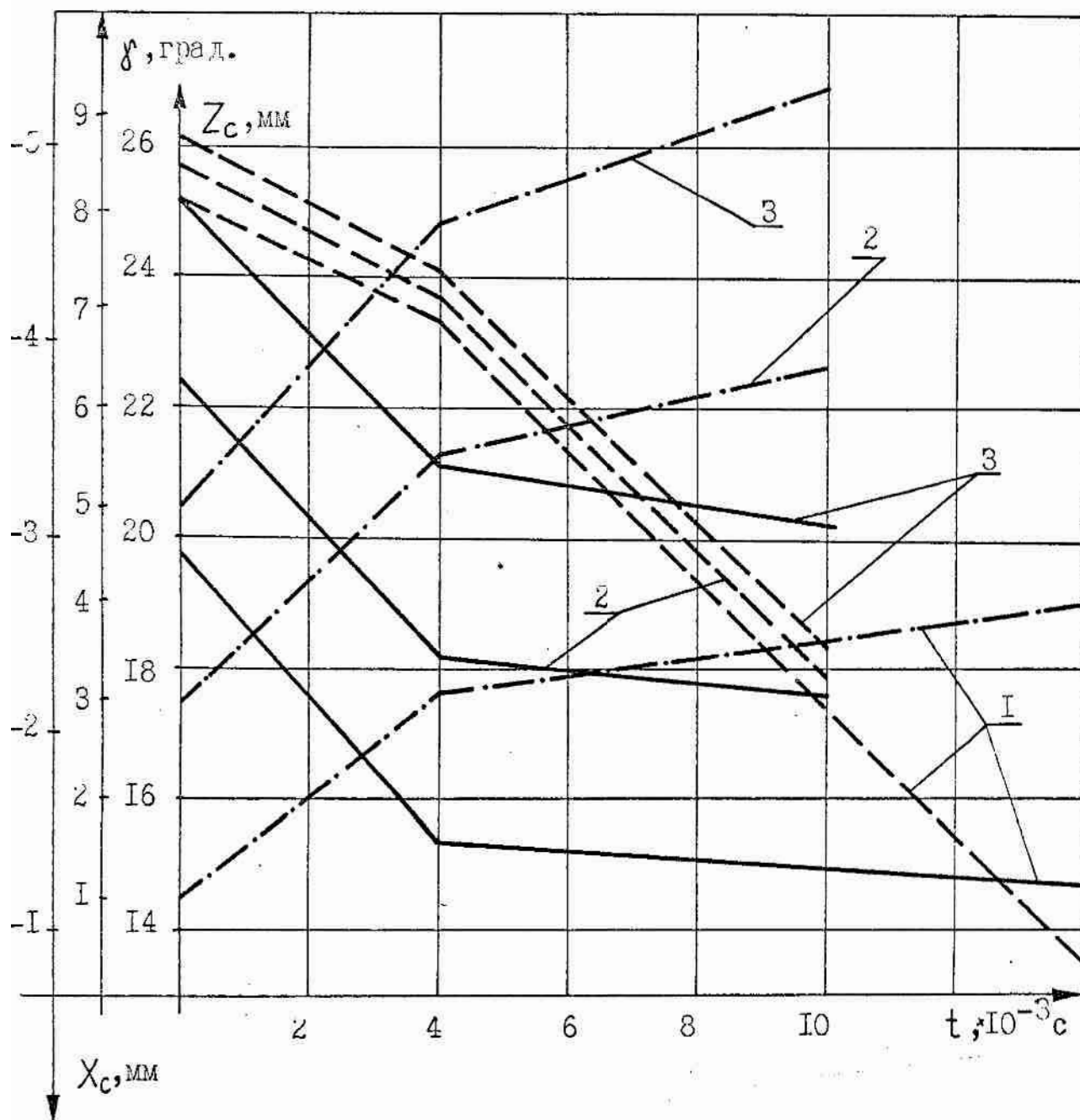


Рис.3.8.Графики значений координаты центра тяжести  $S(X_c, Z_c)$ , угла скрещивания  $\gamma$  посадочных поверхностей соединяемых деталей от времени  $t$  и угла  $\delta_H$  :

$D_A = 30 \text{ мм}; d_{B_2} = 29 \text{ мм}; C_A = 2 \text{ мм}; l_C = 25 \text{ мм}; l_F = 50 \text{ мм}; m = 0,344 \text{ кг};$

$J_C = 93,7 \text{ кг мм}^2; \delta X_H / 2 = 2,5 \text{ мм}; \varphi_A = 45^\circ; \varepsilon = 0^\circ;$

1 -  $\delta_H = 1^\circ; 2 - \delta_H = 2^\circ; 3 - \delta_H = 3^\circ;$

—  $X_c; - - - Z_c; - \cdot - \cdot - \gamma$

В момент центрирования соединяемых деталей погрешность их относительного положения тем меньше, чем меньше значение приведенного коэффициента  $\mu$  (см. рис. 3.6).

Действующие инерционные силы при скоростях рабочего инструмента до  $V_{u \max} = 1$  м/с не вызывают увеличения сил реакции в точках контакта соединяемых деталей (рис. 3.7) и поэтому не вызывают их разрушения. Исключением из этого утверждения служат лишь случаи, когда осуществляется удар рабочего инструмента по устанавливаемой детали, вследствие чего при повышенных скоростях движения могут происходить разрушения контактирующих поверхностей соединяемых деталей [17].

При значительных скоростях в момент удара во многих случаях не обеспечивается <sup>ся</sup>требуемое положение устанавливаемой детали - ее центрирование. Чем больше скорость  $V_u$  в момент удара, тем труднее обеспечить требуемую траекторию движения устанавливаемой детали (рис. 3.7).

Из этого следует, что при незначительных зазорах обеспечить соединение деталей трудно, даже при небольших погрешностях первоначального относительного их положения (см. рис. 3.8). Отсюда следует, что необходимы другие способы сборки: с использованием направляющих элементов или механизмов с жестким базированием соединяемых деталей и др.

### 3.1.2. Расчет силы удара в первоначальный момент соединения деталей

При сборке соединения нужно исключить возможность повреждения деталей и, тем самым, обеспечить сохранение их качества. Повреждение деталей возможно при контакте сборочного инструмента с устанавливаемой деталью в первоначальный момент соединения дета-

лей вследствие значительной величины кинетической энергии удара подвижных частей привода, рабочего инструмента и устанавливаемой детали.

Математическое описание процесса удара в общем виде достаточно сложно и поэтому для решения частных, прикладных задач приходится применять упрощения и некоторые допущения, которые, давая удобные инженерные решения не вызвали бы значительных ошибок.

В большинстве случаев в качестве привода рабочего инструмента используется гидропривод или пневмопривод. Предлагаемая методика расчета режимов в период удара не охватывает всех факторов, оказывающих влияние на изменение давления в гидроцилиндре и носит приближенный характер, однако пригодна во многих случаях для практических целей [ 29 ].

В период торможения поршня со штоком и грузом  $G_n$  на горизонтальной плоскости, перемещающихся со скоростью  $V_u$  сила удара  $F_{y\partial}$  может быть найдена

$$F_{y\partial} = J - G_n \cdot \mu_0, \quad (3.1.)$$

где  $J = m_n \cdot a_n = G_n \cdot V_{u\text{ср}} / (2 \cdot g \cdot S_y)$  - сила инерции;  $m_n$  - масса подвижных частей;  $a_n$  - ускорение;  $\mu_0$  - коэффициент трения в гидроцилиндре;  $g$  - ускорение силы тяжести;  $V_{u\text{ср}}$  - средняя скорость в момент удара;  $S_y$  - путь, пройденный поршнем во время торможения при ударе.

После преобразований получим:

$$F_{y\partial} = G_n (k - \mu_0), \quad (3.2.)$$

где  $k = V_{u\text{ср}}^2 / (2 \cdot g \cdot S_y)$

Формулы, по которым определяется сила, возникающая при торможении в цилиндре при различных его положениях и устанавливаем-



мой детали даны в табл.3.I [ 29 ].

Таблица 3.I.

Положение цилиндра и направление перемещения устанавливаемой детали	Расчетные формулы для определения силы
Горизонтальное	$G_n(k - \mu_0)$
Вертикальное (подъем)	$G_n(k - 1)$
Вертикальное (опускание)	$G_n(k + 1)$

Перемещение устанавливаемой детали после соприкосновения с сопряженной деталью зависит от их упругости  $E$  [ 20 ]

$$S_y = F_{y\Delta} / E \quad (3.3.)$$

Подставляя значение  $S_y$  из уравнения (3.3.) в уравнение (3.2.), имеем:

$$F_{y\Delta}^2 + b \cdot F_{y\Delta} + c = 0 \quad (3.4.)$$

где  $b = G_n \cdot \mu_0$  ;  $c = -G_n \cdot V_{\text{ср}} \cdot E / (2g)$

Решая это уравнение, получим:

$$F_{y\Delta} = -\frac{1}{2} \cdot G_n \cdot \mu_0 \left\{ 1 + \left[ \frac{2 \cdot V_{\text{ср}}^2 \cdot E}{G_n \cdot g \cdot \mu_0} + 1 \right]^{0.5} \right\} \quad (3.5.)$$

Исходя из допустимых значений на смятие и срез соединяемых деталей [ 17 ], можно решить обратную задачу, то есть после соответствующих преобразований формулы (3.4.) определить значение средней скорости рабочего инструмента  $V_{\text{ср}}$  в момент удара

$$V_{\text{ср}} = 2 \cdot F_{y\Delta} (F_{y\Delta} + G_n \cdot \mu_0) \cdot g / (G_n \cdot E) \quad (3.6.)$$

где  $F_{y\Delta} \leq S_{\text{см}} \cdot [\sigma_{\text{см}}]$  либо  $F_{y\Delta} \leq S_{\text{ср}} \cdot [\sigma_{\text{ср}}]$  ;  $S_{\text{см}}$  - площадь смятия контактирующих поверхностей деталей;  $[\sigma_{\text{см}}]$  - допустимые напряжения их на смятие;  $S_{\text{ср}}$  - площадка среза контакти-

рущих поверхностей, вызванная ударом;  $[\sigma_{ср}]$  - допустимые напряжения на рез.

При расчетах сделано ряд допущений, а именно: считается, что удар приходится в центр детали и что скорость подвижных частей сборочной машины убывает равномерно в период удара, а соединяемые детали, контактирующие в процессе удара, являются абсолютно жесткими и их конечная скорость после удара равна нулю.

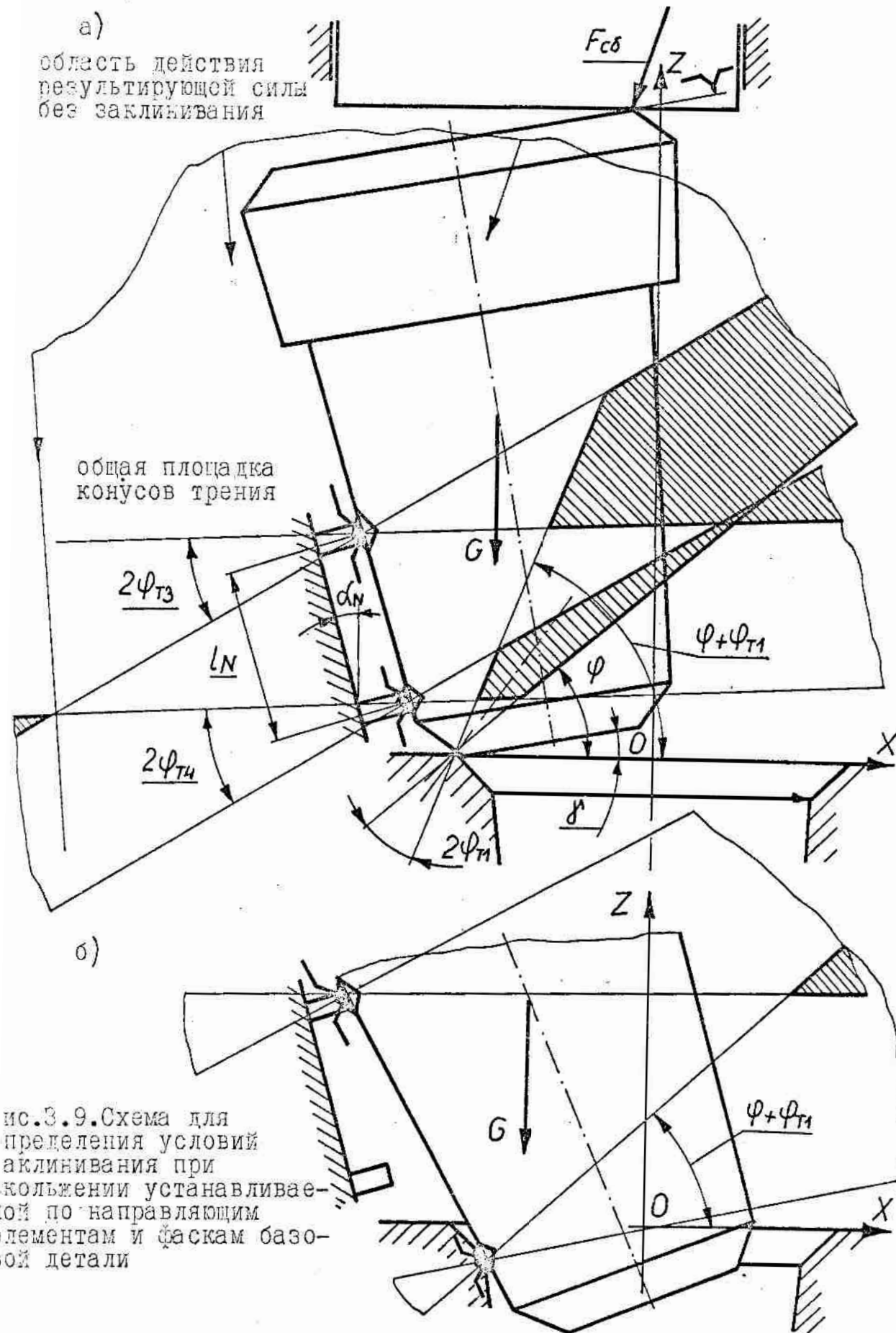
### 3.2. Исследование условий соединений деталей с использованием направляющих элементов

Выполненные ранее исследования показали, что по мере уменьшения зазора ( $D_A - d_B$ ) в соединении до 0,010 мм и ниже обеспечить соединение деталей по методу полной взаимозаменяемости не представляется технически возможным.

Возникает необходимость выявления других способов и средств для их соединения, в том числе и использование направляющих базирующих устройств, применение которых при сборке может обеспечить установку детали под действием силы тяжести либо сборочной силы, создаваемой рабочим инструментом, движущимся со скоростью  $V_u$ .

Применение направляющих элементов обеспечивает новые связи в системе СПИЦ. Снижается число степеней свободы устанавливаемой детали и потому она вынуждена перемещаться по заданным поверхностям направляющих элементов базирующих устройств, фасок либо посадочной поверхности базовой детали.

Возможные относительные положения соединяемых деталей при применении такого вида направляющих элементов и рабочего инструмента показаны на рис.3.9.



ис.3.9.Схема для  
пределаения условий  
аклинивания при  
кольжении устанавливае-  
мой по направляющим  
элементам и фаскам базо-  
вой детали

Заклинивание в процессе соединения деталей будет происходить лишь тогда, когда результирующая сила, действующая на устанавливаемую деталь пересечет общую площадку конусов трения (см. рис.3.9,а).

Вероятность заклинивания на этом этапе возрастает по мере увеличения расстояния между опорами направляющих элементов  $L_N$  и уменьшения угла наклона  $\alpha_N$  направляющей поверхности относительно оси посадочной поверхности базовой детали, а также по мере увеличения угла  $\varphi_T$  (см.условие 2.13) и увеличения значения приведенного коэффициента трения  $\mu$ . При базировании устанавливаемой детали, как показано на рис.3.9,б, область, в которой не будет заклинивания деталей больше, чем в случае, изображенном на рис.3.9,а, поскольку расстояние между точками контакта направляющей базы увеличено и потому угол наклона образующей конуса трения  $\varphi_T$  меньше.

Очевидно, что на этом этапе соединения деталей заклинивание устанавливаемой детали будет невозможно. Однако картина изменяется в момент центрирования деталей. Двойной направляющей базой становятся точки контакта соединяемых деталей (рис.3.10).

Согласно найденным ранее условиям заклинивания (см.2.2.2.) соединяемых деталей, для исключения этого нежелательного явления необходимо, чтобы результирующая сила проходила справа от точки  $E_{2-3}$  (для  $X_{2-3} \geq -0,5D_A$ ), либо справа от точки  $E_{1-3}$  (для  $X_{2-3} < -0,5D_A$ ). Модуль результирующей силы  $R$  равен геометрической сумме силы тяжести  $G$  и величины сборочной силы  $\vec{F}_{сб} = \vec{F} + f_f \vec{F}$ , то есть:

$$R = [(F + G \cdot \cos \varepsilon)^2 + (f_f \cdot F + G \cdot \sin \varepsilon)^2]^{0,5} \quad (3.7.)$$

где:  $f_f$  - приведенный коэффициент трения в месте контакта рабочего инструмента с устанавливаемой деталью;  $F$  - величина

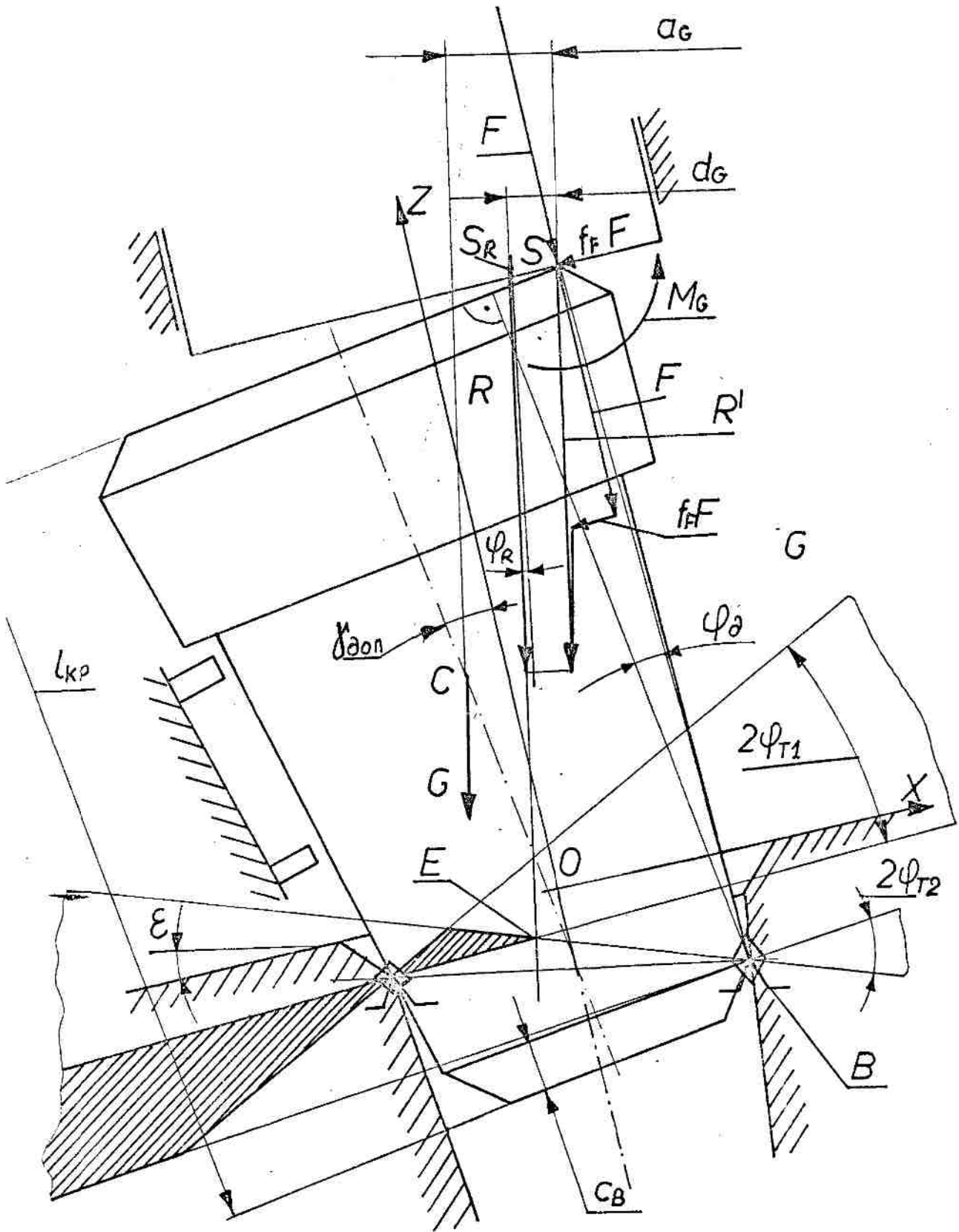


Рис.3.10. Схема для определения условий соединения деталей при установке вала

сборочной силы.

С целью определения места приложения результирующей силы сначала приводим силу тяжести  $G$  к точке  $S$  (место контакта рабочего инструмента с устанавливаемой деталью). Эквивалентная нагрузка на устанавливаемую деталь, приложенная в точке  $S$ , соответствует силе  $R'$ , модуль которой равен значению, найденному по формуле (3.7.), и моменту  $M_G$ .

$$M_G = G \cdot a_G \quad (3.8.)$$

где  $a_G = (Z_c - Z_s) \cdot \sin \varepsilon + (X_s - X_c) \cdot \cos \varepsilon$

Затем находим такую точку  $S_R$  в плоскости  $XOZ$ , в которой силе  $R'$  и момент  $M_G$ , приложенный в точке  $S$ , будут приведены к главному вектору  $R$  (момент в точке  $S_R$  равен нулю). Точка  $S_R$  находится на прямой перпендикулярной вектору  $R'$ . Расстояние между прямыми, вдоль которых проходят векторы  $R'$  и  $\bar{R}$ :

$$a_G = M_G / R \quad (3.9.)$$

Поскольку результирующая сила  $R$  должна находиться справа от крайней точки общей площадки конусов трения, то значение расстояния от этой точки до прямой, вдоль которой действует сила  $R$ , должно соответствовать условию:

$$\delta_{ER} \geq 0 \quad (3.10.)$$

Уравнение прямой, проходящей через точку  $S_R$

$$Z = ctg \varphi_R \cdot X + b_E \quad (3.11.)$$

где  $\varphi_R = \arctg [(f_F \cdot F + G \cdot \sin \varepsilon) / (F + G \cdot \cos \varepsilon)]$  — угол срезания линии действия результирующей силы  $R$  и оси посадочной поверхности базовой детали;

$b_E = Z_E - ctg \varphi_R \cdot X_E$  ;  $X_E, Z_E$  — координаты крайней точки общей площадки конусов трения ( $X_E = X_{2-3}$  и  $Z_E = Z_{2-3}$ )



для  $X_{2-3} \geq X_{1-3}$  или  $X_E = X_{1-3}$  и  $Z_E = Z_{1-3}$  для  $X_{2-3} < X_{1-3}$ .  
 Расстояние  $\delta_{ER}$  между вектором  $R$  и крайней точкой общей площадки конусов трения:

$$\delta_{ER} = (\operatorname{ctg} \varphi_R \cdot X_{SR} - Z_{SR} + b_E) \operatorname{csc} \varphi_R$$

Согласно условию (3.10.) граничное значение  $\delta_{ER}$  должно равняться нулю, то есть:

$$\delta_{ER} = X_{SR} - (Z_{SR} - b_E) \cdot \operatorname{tg} \varphi_R = 0 \quad (3.12.)$$

Подставляя в уравнение (3.12.) значения  $b_E$  из уравнения (3.11.), и вместо  $X_{SR} = X_S + d_G \cdot \cos \varphi_R$ ,  $Z_{SR} = Z_S - d_G \cdot \sin \varphi_R$  (см. рис. 3.10),  $d_G$  /формула (3.9.)/ и  $M_G$  /формула (3.8.)/ получим:

$$-G \cdot d_G / R + (X_S - X_E) \cos \varphi_R + (Z_E - Z_S) \cdot \sin \varphi_R = 0 \quad (3.13.)$$

Исходя из рис. 3.10 значения координат точки  $S$  :

$$X_S = X_B - (L_{кр} - C_B) \cdot \sin(\gamma - \varphi_a) / \cos \varphi_a ;$$

$$Z_S = Z_B + (L_{кр} - C_B) \cdot \cos(\gamma - \varphi_a) / \cos \varphi_a ,$$

где  $L_{кр}$  — критическая длина устанавливаемой детали. Это означает, что при  $L_F \leq L_{кр}$  заклинивания соединяемых деталей не будет.

После подстановки в уравнение (3.13.) значения координат точки  $S$  и преобразований имеем:

$$L_{кр} = \frac{(H_k - Z_B \cdot K_k + X_B \cdot M_k) \cdot \cos \varphi_a}{\cos(\gamma - \varphi_a) \cdot K_k + \sin(\gamma - \varphi_a) \cdot M_k} + C_B \geq L_F , \quad (3.14.)$$

где  $H_k = X_E - Z_E \cdot \operatorname{tg} \varphi_R + Q_{кр} (Z_c \cdot \operatorname{tg} \varepsilon - X_c)$  ;

$$Q_{кр} = G \cdot \cos \varepsilon / (R \cdot \cos \varphi_R) ; K_k = Q_{кр} \cdot \operatorname{tg} \varepsilon - \operatorname{tg} \varphi_R ;$$

$$M_k = Q_{кр} - 1$$

Используя неравенство (3.14.) и зная длину устанавливаемого вала  $L_F$ , можно определить допустимый угол  $\gamma_{доп}$  скрещивания осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей. Для того, чтобы избежать заклинивания деталей нужно выдержать следующее условие:

$$\gamma \leq \gamma_{доп} \quad (3.15.)$$

Переменная величина угла  $\gamma$  представлена в уравнении (3.14.) в неявном виде, поэтому произведены расчеты на ЭВМ, в которых критическая длина устанавливаемого вала вычисляется для разных значений  $\gamma$  (начиная с  $\gamma = \gamma_{max}$ ), причем первоначально вычисляется граничное значение угла  $\gamma_k$ , при котором соединение деталей будет возможно. Затем уменьшая величину угла  $\gamma$  с заданным шагом сравниваем текущую критическую длину вала  $L_{кр}$  с действительной длиной устанавливаемой детали  $L_F$ . Угол  $\gamma$ , при котором выдерживается условие (3.14.), является допустимым углом скрещивания осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей.

Алгоритм расчета допустимого угла  $\gamma_{доп}$  представлен на рис.3.11. Программа расчета **DLIVAL** была написана на языке **BASIC** (см.приложение 4.1). Результаты расчетов приведены в таблицах приложения 4.2. На основе этих результатов построены графики (рис.3.12), отображающие зависимость угла  $\gamma_{доп}$  от величины зазора в соединении  $D_A - d_B$ , величин приведенных коэффициентов трения  $\mu$  и  $f_F$ , значения сборочной силы  $F$  и силы тяжести  $G$  устанавливаемой детали, а также ряда других параметров, указанных в формуле (3.14.).

Из графиков видно, что опасность заклинивания возрастает по мере увеличения длины устанавливаемой детали и возрастания приведенных коэффициентов трения  $\mu$  и  $f_F$ . Подобное влияние

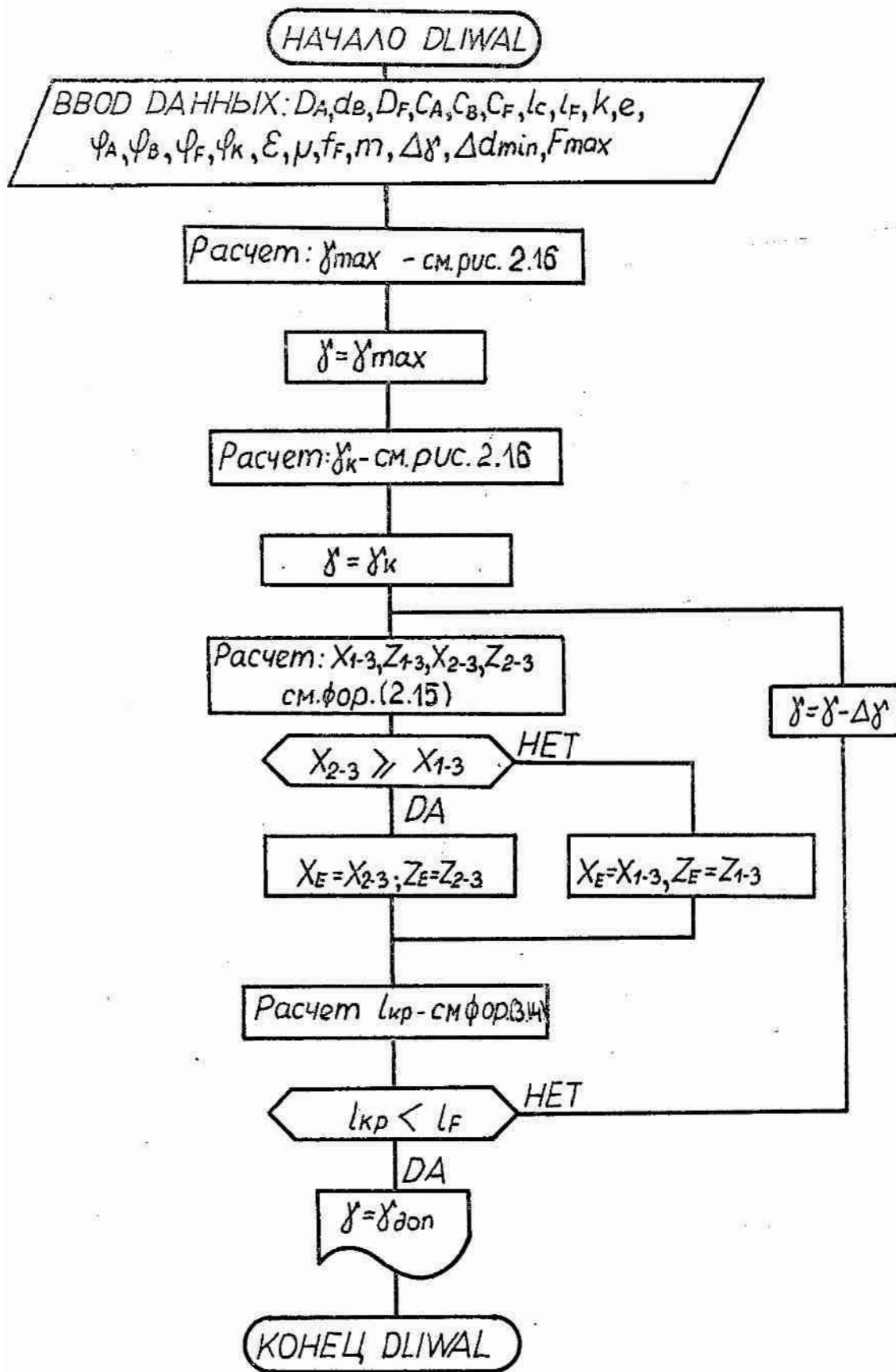


Рис.3.II. Алгоритм расчета условий сборки при установке вала

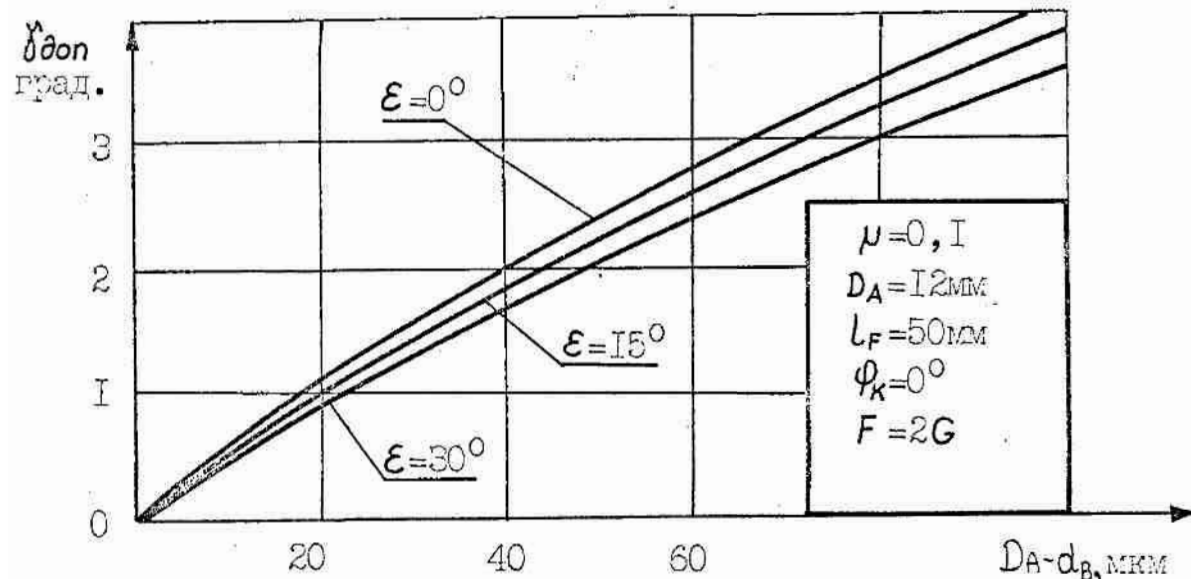
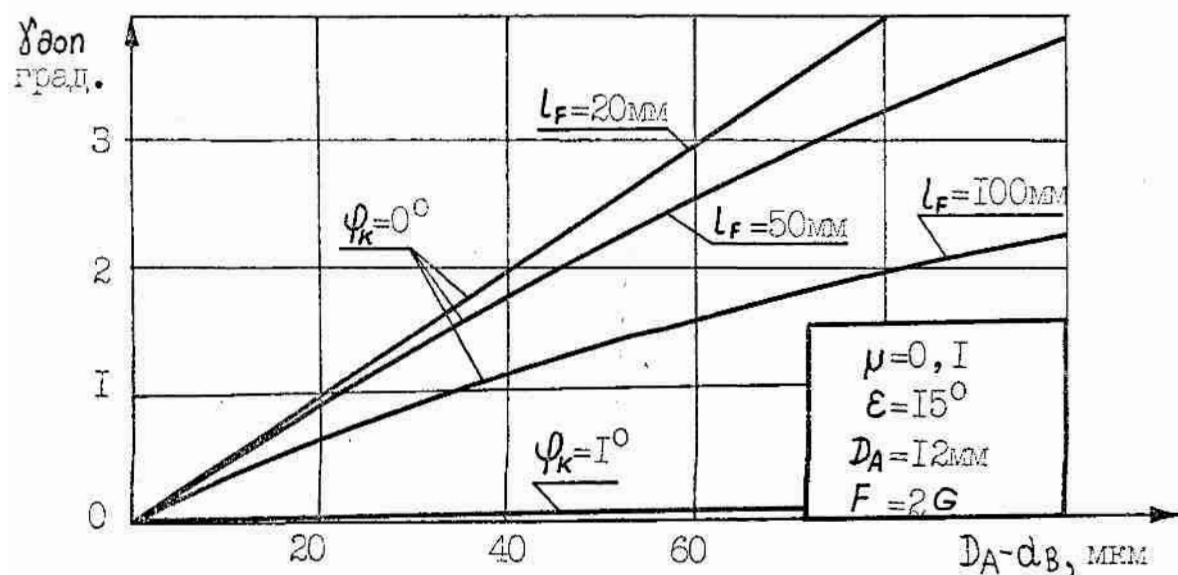
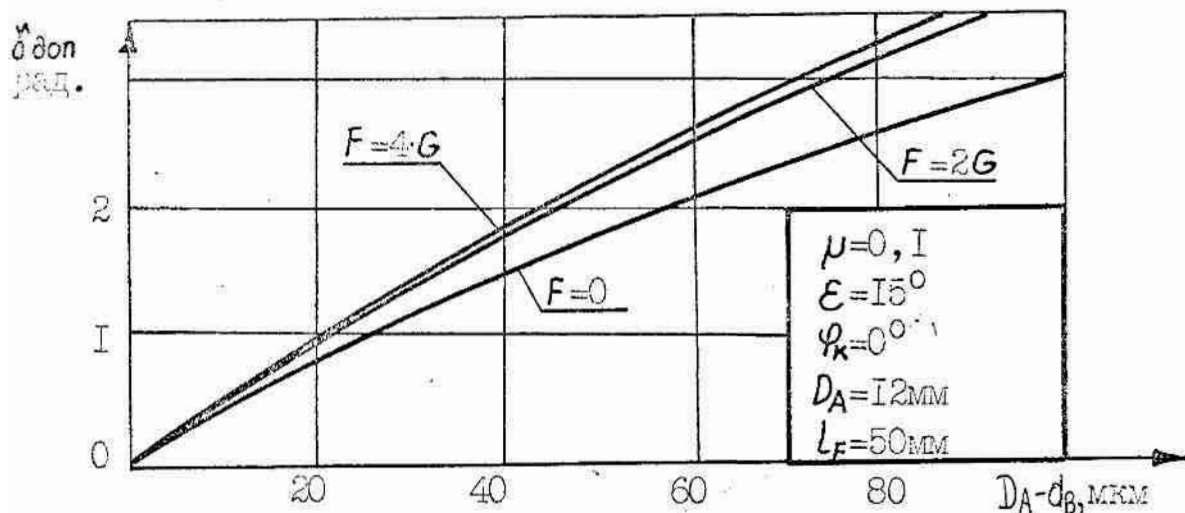


Рис. 3.12. Значения допустимых углов  $\delta_{\text{доп}}$  скрепления осей при установке вала в зависимости от значения сборочного усилия  $F$ , длины устанавливаемой детали  $L_F$ , угла наклона  $\epsilon$

оказывает и уменьшение зазора в соединении. Остальные параметры, входящие в формуле (3.14.), могут оказывать различное влияние либо увеличивать, либо уменьшать опасность заклинивания деталей. Например, угол  $\varepsilon$  в отдельных случаях может увеличивать опасность заклинивания, а при других соотношениях параметров может быть иной эффект.

Аналогично можно определить величину допустимого угла  $\gamma_{доп}$  скрещивания осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей, исходя из ранее найденных условий заклинивания, при установке втулки с коническим отверстием на вал. В опорной системе втулки  $Oxz$  значения координат точек  $E_{1-3}$ ,  $E_{1-4}$ ,  $E_{2-3}$  и  $E_{2-4}$  можно определить, если решить систему уравнений (2.15.) и найти величину результирующей силы  $R$  /формула (3.7.)/ и ее направление  $\varphi_R$  /формула (3.11.)/. Величина приведенного момента  $M_G$  в точке  $S$  /формула (3.8.)/

$$\text{где } a_G = -(Z_c - Z_s) \cdot \sin(\varepsilon + \gamma) + (X_c - X_s) \cdot \cos(\varepsilon + \gamma); \quad (3.16.)$$

$$X_c = 0; Z_c = -l_c; X_s = -0,5 \cdot D_{на}; Z_s = -l_f;$$

$D_{на}$  - наружный диаметр втулки.

Затем находим такую точку  $S_R$  в плоскости  $X'O'Z'$ , в которой сила  $R'$  и момент  $M_G$ , действующие в точке  $S'$  будут приведены к главному вектору  $\bar{R}$ . Расстояние между прямыми, вдоль которых действуют векторы  $\bar{R}'$  и  $R$ , определяется по формуле (3.9.).

Поскольку результирующая сила должна находиться справа от крайней точки  $E$  общей площади конусов трения, то расстояние от этой точки до прямой, вдоль которой действует сила  $R$ , должно соответствовать условию (3.10.).

Уравнение прямой, проходящей через точку  $S'_R$ , в системе

координат  $X'O'Z'$  :

$$Z' = ctg \varphi_R \cdot X' + b'_E ; \quad (3.17.)$$

где  $b'_E = Z'_E - ctg \varphi_R \cdot X'_E$  ;  $X'_E, Z'_E$  - координаты крайней точки общей площади конусов трения.

Расстояние между вектором  $\bar{R}'$  и крайней точкой общей площади конусов трения будет:

$$\delta_{E'R} = X'_{SR} \cdot \cos \varphi_R - (Z'_{SR} - b'_E) \sin \varphi_R \quad (3.18.)$$

Подставляя в уравнение (3.17.) значение  $b'_E$  из уравнения (3.18.) и вместо  $X'_{SR} = X'_S - d_G \cdot \cos \varphi_R$  ;  $Z'_{SR} = Z'_S + d_G \cdot \sin \varphi_R$  ;  $d_G$  /формула (3.9.)/ и  $M_G$  /формула (3.8.)/ получим:

$$\delta_0 = -G \cdot a_G / (R \cdot \cos \varphi_R) + X'_S - X'_E + (Z'_E - Z'_S) \operatorname{tg} \varphi_R \geq 0 \quad (3.19.)$$

Известны значения координат точек E и S в системе  $XOZ$  . Необходимо найти их значения в системе координат  $X'O'Z'$  (рис. 3.13):

$$X'_Q = X'_{O'O} - Z_Q \cdot \sin \gamma + X_Q \cdot \cos \gamma ;$$

$$Z'_Q = Z'_{O'O} + Z_Q \cdot \cos \gamma + X_Q \cdot \sin \gamma ;$$

где  $X'_{O'O} = -X_{O'O} \cdot \cos \gamma + Z_{O'O} \cdot \sin \gamma ;$

$$Z'_{O'O} = -X_{O'O} \cdot \sin \gamma - Z_{O'O} \cdot \cos \gamma ;$$

$$X_{O'O} = X_B + 0,5 \cdot d_B \cdot \cos \gamma - C_B \cdot \sin \gamma ;$$

$$Z_{O'O} = Z_B - 0,5 \cdot d_B \cdot \sin \gamma - C_B \cdot \cos \gamma ;$$

$X'_Q, Z'_Q$  - координаты любой точки Q в системе координат  $X'O'Z'$  (например, точки E, S и т.д.), а  $X_Q$  и  $Z_Q$  в системе координат  $XOZ$  .

При заданной длине втулки  $L_F$  , ее наружного диаметра  $D_{нв}$  и других известных параметров, необходимых для расчета критической длины втулки (рис.3.13), можно рассчитать по уравнениям (3.19)





допустимый угол  $\gamma_{доп}^*$  скрещивания осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей.

Угол  $\gamma_{доп}$  в уравнении (3.19.) представлен в неявном виде, поэтому расчеты целесообразно выполнять на ЭВМ, причем переменной величиной служит угол  $\gamma$ . Расчеты этого угла выполнены по алгоритму аналогичному тому, который использовался для расчета допустимых углов скрещивания осей сопрягаемых поверхностей деталей при перемещении вала относительно отверстия базовой детали. Программа расчета допустимого угла  $\gamma_{доп}$  при установке втулки на вал (DLINTU) была написана на языке BASIC. Эта программа и результаты расчетов приведены в приложении 5. На основе этих результатов построены графики (рис.3.14) искомых величин при установке вала в отверстие базовой детали. Найденные значения допустимых углов  $\gamma$  имеют одинаковые значения в случае как при установке вала, так и втулки, если одинаковы исходные данные. Однако в большинстве случаев наружный диаметр  $D_{НА}$  устанавливаемой детали больше диаметра  $D_F$  (место приложения сборочной силы), поэтому допустимый угол  $\gamma_{доп}$  больше при установке втулки, чем при установке вала. Соединение деталей при использовании направляющих элементов базирующих устройств позволяет осуществить сборку деталей с меньшими зазорами, чем без применения направляющих элементов (см.3.1.), однако по мере уменьшения зазора в соединении, необходимо обеспечить чрезвычайно высокую точность составляющих звеньев системы СПИД.

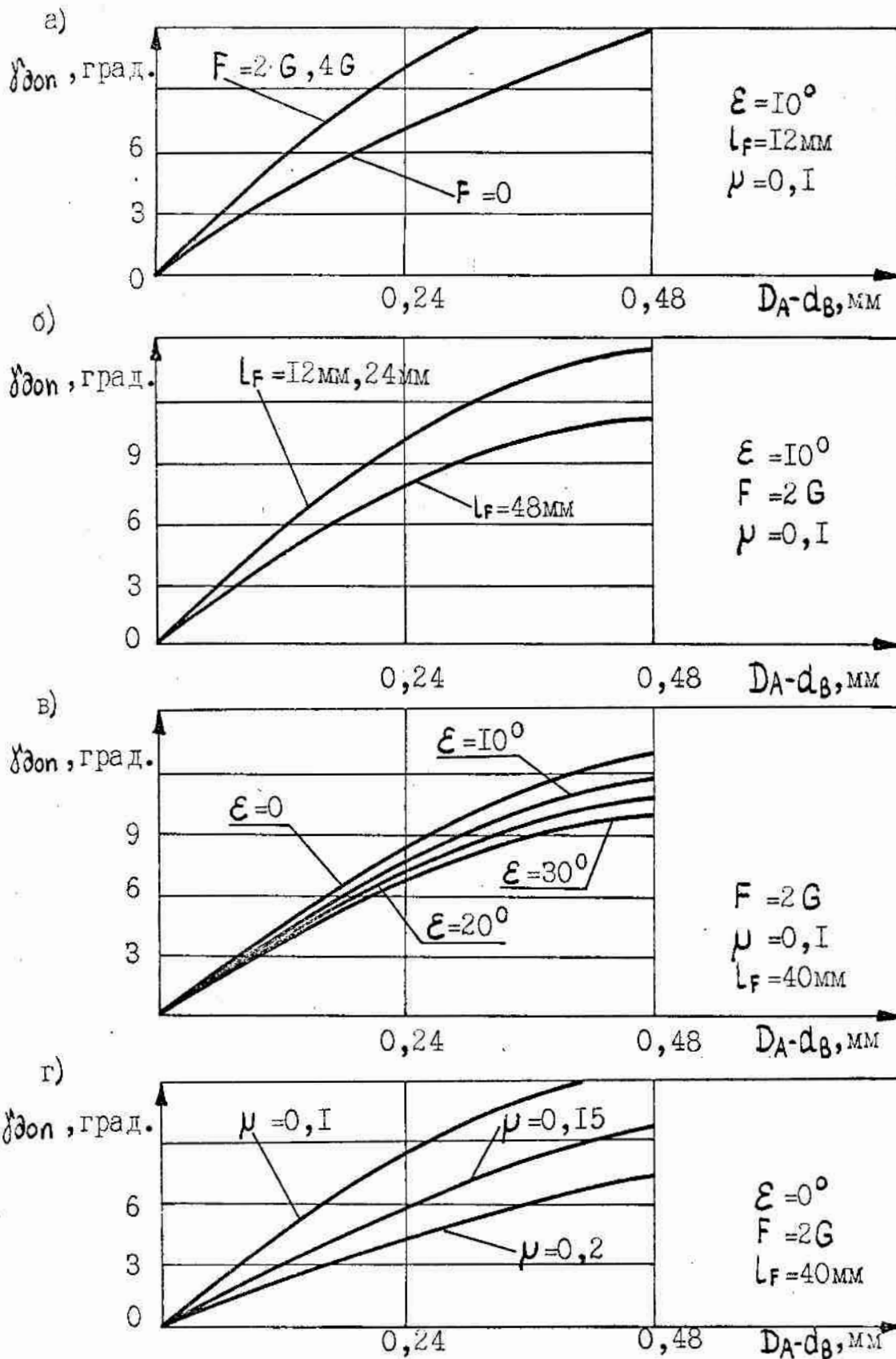


Рис.3.14. Графики значений допустимых углов  $\delta_{доп}$  скрещивания осей соединяемых поверхностей деталей при установке втулки в зависимости от значений сборочной силы  $F$  (а), длины  $l_F$  (б), угла наклона  $\epsilon$  (в) и приведенного коэффициента трения  $\mu$  (г):  $\phi_k = 0$ ;  $D_{HA} = 22\text{mm}$

### 3.3. Исследование условий автоматического соединения деталей с использованием механизма, удерживающего устанавливаемую деталь в процессе сборки

При использовании рассмотренных выше способов для соединения деталей с незначительными зазорами между посадочными поверхностями (см. раздел 3.1 и 3.2) не обеспечивается их сборка ввиду заклинивания деталей в момент центрирования.

С целью повышения точности совмещения осей  $\omega_{ч\Delta}$  посадочных поверхностей соединяемых деталей и угла их скрещивания  $\gamma$  в момент центрирования, необходимо использовать сборочные системы СПИД, удовлетворяющие следующим условиям

$$\left. \begin{aligned} \omega_{ч\Delta} &\leq \delta x_{доп} / 2 \\ \gamma &\leq \gamma_{доп} \end{aligned} \right\} \quad (3.20.)$$

где  $\delta x_{доп} / 2$  - допуск на смещение осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей в момент их центрирования.

Выполнение условий (3.27.) для соединений с малыми зазорами между посадочными поверхностями при жесткой программе управления сборочным процессом может достигаться в основном двумя путями:

1. При отсутствии составляющих звеньев - компенсаторов в системе СПИД за счет назначения "жестких" допусков на эти звенья;
2. С использованием системы СПИД с нежесткими звеньями - компенсаторами.

В обоих случаях схват или другой подобный механизм также постоянно удерживает устанавливаемую деталь в процессе сборки.

Первый путь не рационален, поскольку не может обеспечить высокой его технико-экономической эффективности, так как требуются звенья системы СПИД чрезвычайно высокой точности.

Второй путь рациональный, поскольку точность всех звеньев

системы СПИД может быть ниже. Однако в этом случае необходимы упругие элементы с определенными свойствами, изменяющиеся в соответствии с требуемыми законами движения устанавливаемой детали.

На рис.3.15 показано сборочное устройство с упругими элементами, размещенными в схвате сборочной машины. В первоначальный момент соединения деталей, когда край торца вала только начинает касаться края фланца отверстия базовой детали, смещение осей сопрягаемых поверхностей будет  $\omega_{чн\Delta}$ , а угол  $\gamma_n$  скрещивания этих осей. Эти значения являются погрешностями замыкающих (исходных) звеньев размерных связей технологической системы СПИД. В результате перемещения схвата сборочной машины вдоль оси  $Z$  со скоростью  $V_U$  в местах контакта соединяемых деталей возникает силовая связь. Воздействующие на упругие элементы силы вызывают их перемещение вдоль осей  $X$  и  $Z$ , а также поворот около оси  $Y$ . Величины этих перемещений зависят от жесткости  $k_x$  и  $k_z$  упругих элементов вдоль осей  $X$  и  $Z$  и крутильной жесткости  $k_y$  около оси  $Y$ .

Закон, по которому должна изменяться податливость, должен быть таким, чтобы в момент центрирования и последующий период соединения деталей не происходило их заклинивания. Согласно установленному ранее условию соединения деталей, исключающему возможность их заклинивания, результирующая сила  $R$ , действующая на устанавливаемую деталь не должна пересекать общей площадки конусов трения. В первоначальный момент соединения деталей на упругий элемент в точке  $W_n$  действует сила тяжести устанавливаемой детали и схвата  $G_w$  и момент от этой силы  $M_G$ , а в момент центрирования и последующий период соединения деталей на упругий элемент в точке  $W$  действуют силы  $F_{xW}$  и  $F_{zW}$  вдоль осей

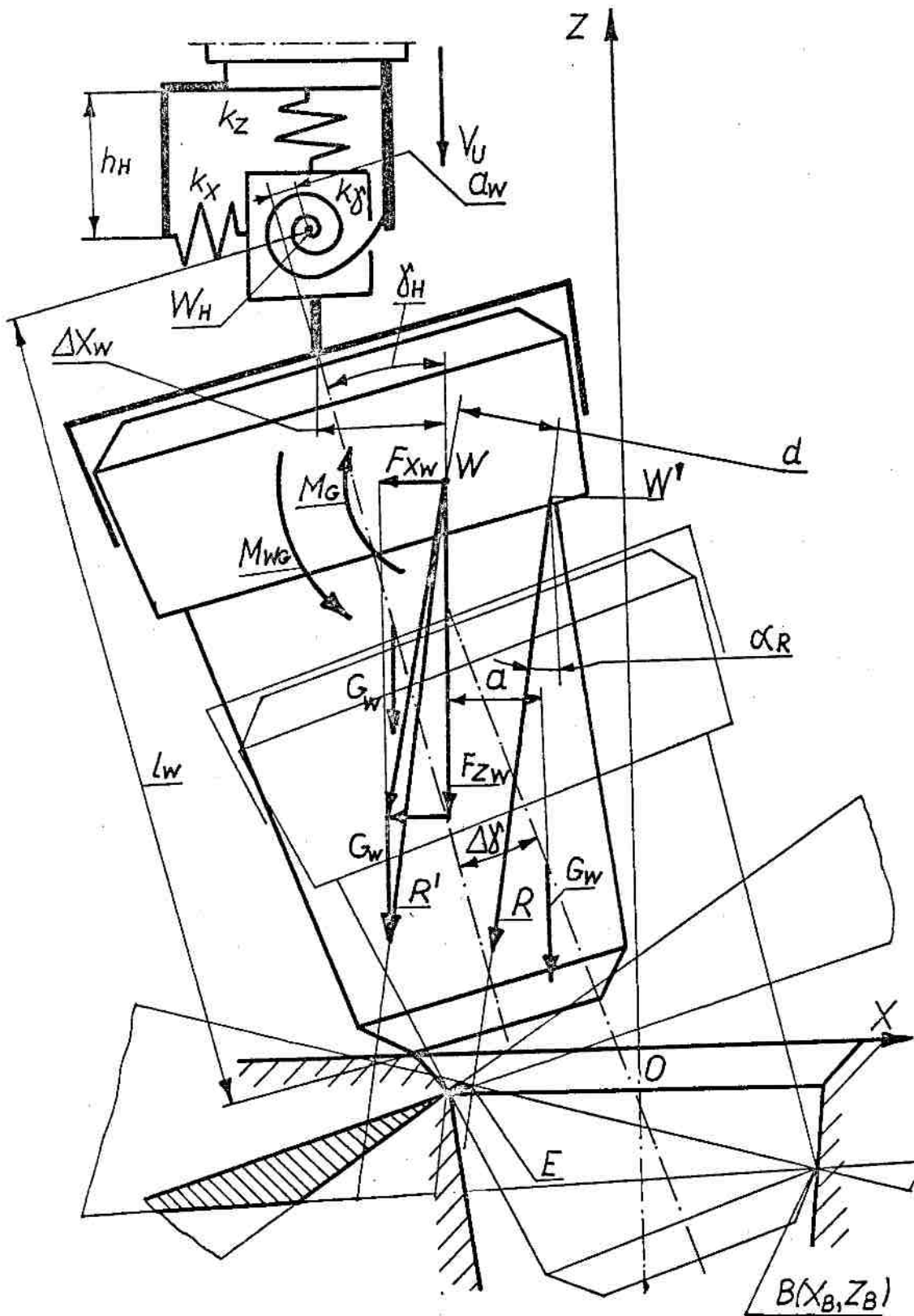


Рис.3.15.Схема для расчета жесткостей упругих элементов базирующих устройств



$X$  и  $Z$  и момент  $M_{WG}$ .

Исследование упругих свойств этих элементов целесообразно начинать с такого относительного положения соединяемых деталей, при котором выдерживается условие (см. раздел 2.2.2.).

$$\gamma \leq \gamma_k \quad \text{и} \quad Z_B \leq Z_{Bk}$$

Затем уменьшая угол  $\gamma$  можно определить текущее положение точки  $W$  упругого элемента. По отношению к начальному положению точка  $W$  упругого элемента должна переместиться на величину  $\Delta X_W$  вдоль оси  $X$  и на  $\Delta h_W$  вдоль  $Z$ , а прямая  $O'W$  должна повернуться на угол  $\Delta \gamma$  относительно оси  $Y$ , то есть:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_W &= X_{WN} - X_W ; \\ \Delta h_W &= h - h_N ; \\ \Delta \gamma &= \gamma_N - \gamma \end{aligned} \right\} \quad (3.21.)$$

где  $X_{WN}$ ,  $X_W$  - координаты точки  $W$  вдоль оси  $X$  соответственно для первоначального и текущего положения устанавливаемой детали;  $h_N$ ,  $h$  - расстояние от точки  $W$  до поверхности рабочего инструмента вдоль оси  $Z$  соответственно для первоначального и текущего положения устанавливаемой детали. Упругие перемещения  $\Delta X_W$ ,  $\Delta h_W$ ,  $\Delta \gamma$  происходят под действием сил  $F_{XW}$  и  $F_{ZW}$  и момента  $M_{WG}$ :

$$\left. \begin{aligned} F_{XW} &= \Delta X_W \cdot k_X ; \\ F_{ZW} &= \Delta h_W \cdot k_Z ; \\ M_W &= \Delta \gamma \cdot k_\gamma \end{aligned} \right\} \quad (3.22.)$$

Систему сил и моментов, действующих на упругий элемент в точке  $W$ , приводим к точке  $W'$ , в которой система (3.22.) будет заменена равнодействующей силой  $R$ .

Значение модуля равнодействующей силы  $R$  будет равно геометрической сумме сил  $F_{XW}$ ,  $F_{ZW}$  и силы тяжести  $G_W$ :

$$R = [(F_{Z_W} + G_W \cdot \cos \varepsilon)^2 + (F_{X_W} + G_W \cdot \sin \varepsilon)^2]^{0,5} \quad (3.23.)$$

Эта сила  $G_W$  в точке  $W$  :

$$M_G = G_W \cdot a \quad (3.24.)$$

где  $a = (Z_{C_W} - Z_W) \cdot \sin \varepsilon + (X_W - X_{C_W}) \cdot \cos \varepsilon$  - расстояние между центром тяжести  $C_W$  схвата с устанавливаемой деталью и направлением действия результирующей силы  $R'$  ;  $X_{C_W}, Z_{C_W}$  - координаты центра тяжести  $C_W$ .

Направление действия силы  $R$  определяется углом наклона  $\alpha_R$  - углом скрещивания прямой, вдоль которой действует сила  $R$ , и осью  $Z$  :

$$\alpha_R = \text{arc tg} [(F_{X_W} + G_W \cdot \sin \varepsilon) / (F_{Z_W} + G_W \cdot \cos \varepsilon)] \quad (3.25.)$$

Для известных координат крайней точки конусов трения  $E$  уравнение прямой, параллельной вектору  $\bar{R}$ , проходящей через нее будет:

$$Z = \text{ctg} \alpha_R \cdot X + b_E, \quad (3.26.)$$

где  $b_E = Z_E - \text{ctg} \alpha_R \cdot X_E$

Для исключения заклинивания соединяемых деталей расстояние между прямой (3.26.) и точкой  $W'$  [45] должно быть выполнено условие (3.27.):

$$d \gg (\text{ctg} \alpha_R \cdot X_W - Z_W + Z_E - \text{ctg} \alpha_R \cdot X_E) / (\text{ctg}^2 \alpha_R + 1)^{0,5} \quad (3.27.)$$

После преобразований уравнения (3.27.):

$$d \gg (X_W - X_E) \cdot \cos \alpha_R + (Z_E - Z_W) \cdot \sin \alpha_R \quad (3.28.)$$

Значения координат точки  $W$  ( $X_W, Z_W$ ) в формуле (3.28.) для известного смещения  $a_W$  этой точки относительно оси устанавливаемой детали и расстояния  $L_W$  между этой точкой и торцом устанавливаемого вала, а также при известных координатах

точки контакта В (  $X_B$  ,  $Z_B$  ) между соединяемыми деталями. Тогда

$$\left. \begin{aligned} X_W &= -\sin(\gamma - \varphi_W) \cdot (l_W^2 + a_W^2)^{0.5} + X_B - 0.5d_B \cos \gamma + C_B \sin \gamma \\ Z_W &= \cos(\gamma - \varphi_W) \cdot (l_W^2 + a_W^2)^{0.5} + Z_B - 0.5d_B \sin \gamma - C_B \cos \gamma \end{aligned} \right\} \quad (3.29.)$$

Подставляя в уравнение (3.28.) значения  $\cos \alpha_R = (F_{Z_W} + G_W \cdot \cos \varepsilon) / R$ ;  
 $\sin \alpha_R = (F_{X_W} + G_W \cdot \sin \varepsilon) / R$  ;  $d = M_{WG} / R$  ;  $F_{X_W}$   
 /формула (3.22.)/ и  $M_{WG} = M_W + M_G$  получим закон управления дейст-  
 вующими силами и моментами, а также жесткостью базирующих и дру-  
 гих устройств:

$$(X_W - X_E) F_Z + (Z_E - Z_W) \cdot F_X - M_{WG} \leq 0 \quad (3.30.)$$

где  $F_Z = F_{Z_W} + G_W \cdot \cos \varepsilon$  - составляющая результирующей силы  $R$  ,  
 действующая вдоль оси  $Z$  ;  $F_X = F_{X_W} + G_W \cdot \sin \varepsilon$  - составляю-  
 щая результирующей силы  $R$  , действующая вдоль оси  $X$  .

В момент центрирования, когда устанавливаемая деталь только  
 коснулась образующей поверхности отверстия базовой детали, вели-  
 чина момента, действующего относительно точки контакта Т (см.  
 рис.3.15):

$$M_T = 0 = M_{WG} - (0.5D_A + X_W) F_Z + (C_A + Z_W) \cdot F_X \quad (3.31.)$$

Решая систему уравнений (3.28.) и (3.31.), получим:

$$F_X = (0.5D_A + 2X_W - X_E) \cdot F_Z / (C_A + 2Z_W - Z_E) \quad (3.32.)$$

Подставляя в уравнение (3.32.) значение  $F_X$  из уравнения  
 (3.30.) и  $F_{X_W}$  из уравнения (3.22.), после преобразований имеем

$$k_X = (F_X - G_W \cdot \sin \varepsilon) / \Delta X_W \quad (3.33.)$$

Если известная величина жесткости  $k_X$  , то можно опреде-  
 лить величину крутильной жесткости  $k_Y$  , исходя из уравнения  
 (3.30.) - либо уравнения (3.31.) - и (3.22)

$$k_y = [(X_W - X_E) F_z + (Z_E - Z_W)(k_x \Delta X + G_W \sin \varepsilon) - M_G] / \Delta y \quad (3.34.)$$

Алгоритм расчета жесткости  $k_x$  и  $k_y$  представлен на рис.3.16.

Программа расчета **KXKGAM** написана на языке **BASIC** (приложение 6.1). Результаты расчетов по этой программе приведены в таблицах приложения 6.2. На основе результатов расчета построены графики (рис.3.17 - рис.3.21), отображающие количественную связь между значениями жесткости  $k_x$  и  $k_y$ , величиной первоначального смещения осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей  $\omega_{\text{ЧНД}}$ , угла  $\gamma_{\text{Н}}$  скрещивания их осей, величиной сборочного усилия  $F_{zW}$ , зазора в соединении  $D_A - d_B$ , и т.д. При этом жесткость  $k_z$  в направлении оси  $Z$  много больше, чем  $k_x$  и  $k_y$ , так как в этом направлении не требуется коррекции положения устанавливаемой детали. Величину жесткости  $k_z$  следует выбирать, исходя из величины силы удара в первоначальный момент контакта соединяемых деталей. Жесткость  $k_z$  должна погасить силу удара на столько, чтобы обеспечить сохранение контакта сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей.

При выборе жесткостей  $k_x$  и  $k_y$  необходимо исследовать взаимосвязь между ними и параметров ( $D_A - d_B$ ),  $F_{zW}$ ,  $\delta_{\text{ЧН}}/2$ ,  $\gamma_{\text{Н}}$  и др.

На рис.3.17 представлены графики, изображающие изменение жесткости  $k_x$  и  $k_y$  от угла  $\gamma_c$  (который должен быть достигнут в момент центрирования). В указанном диапазоне при изменении угла от  $\gamma_c$  до  $\gamma_c = \gamma_k = 0,84^\circ$  при угле  $\gamma > \gamma_c = 0,84^\circ$  в момент центрирования будет заклинивание соединяемых деталей. Полученные зависимости показывают, что расположение упругих элементов относительно устанавливаемой детали (расстояние  $L_W$ )

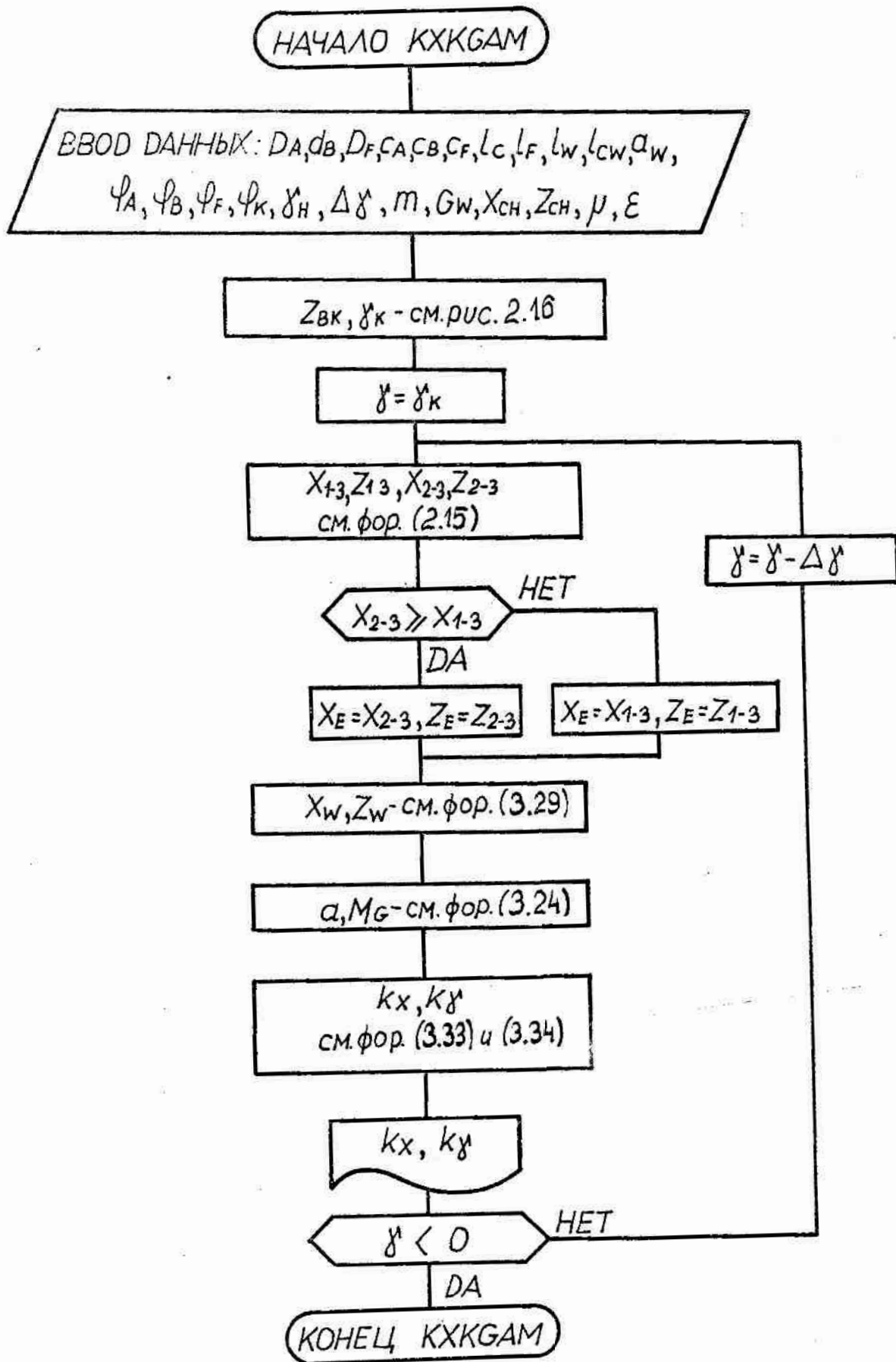
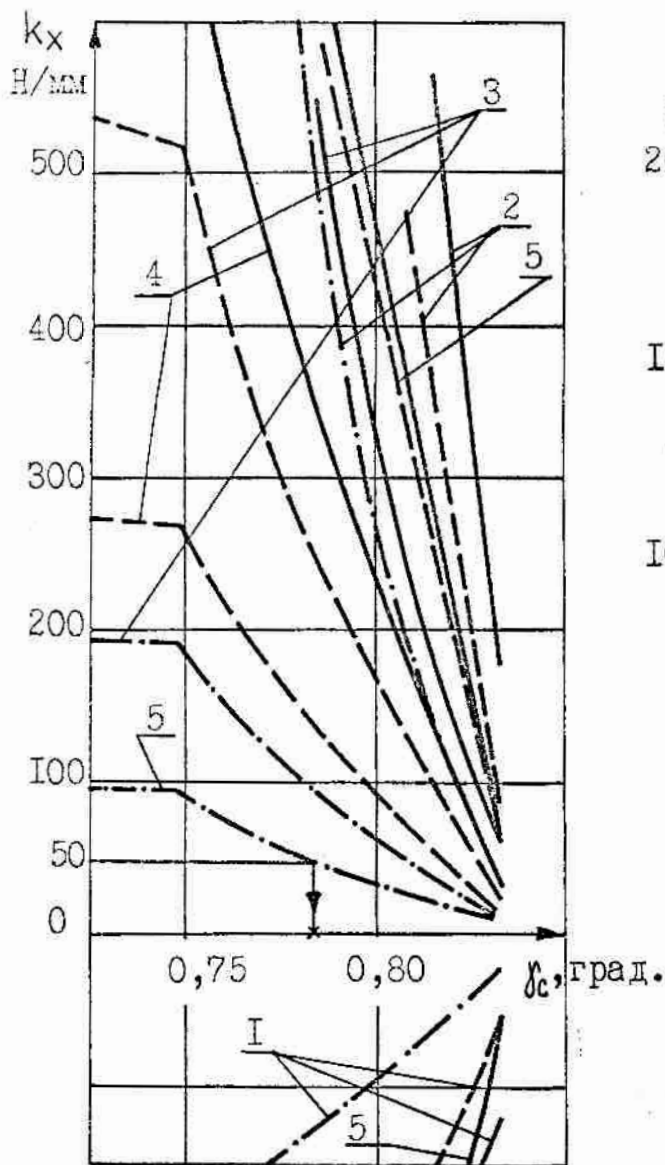


Рис.3.16. Алгоритм расчета жесткостей и сборочного устройства с упругими элементами

а)



б)

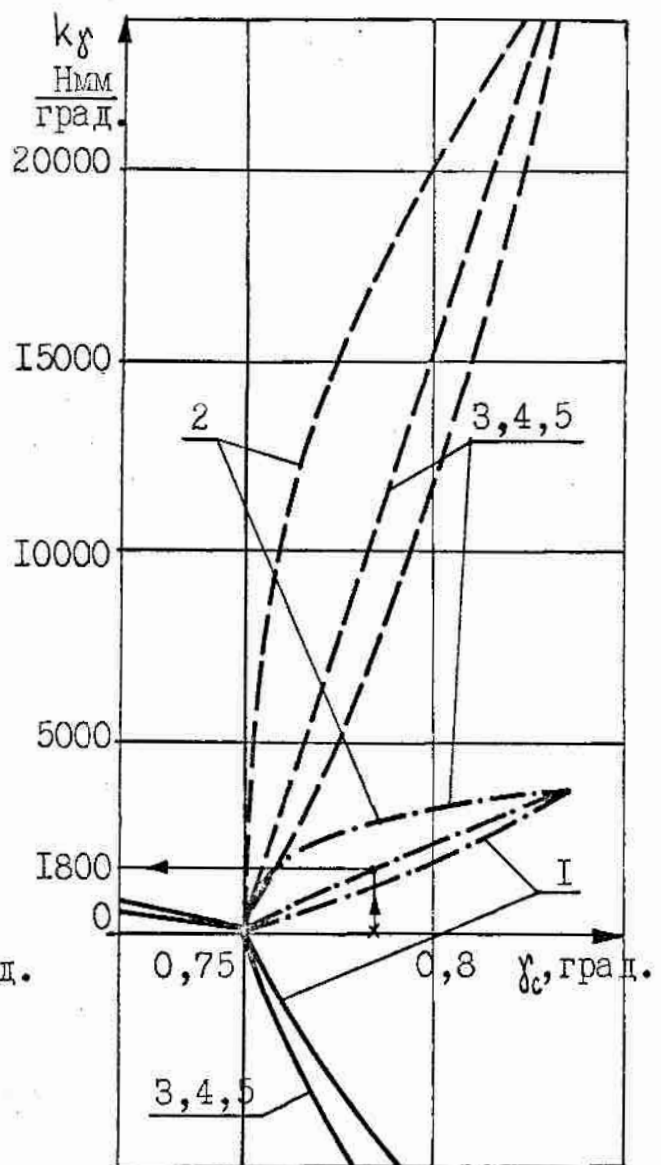


Рис.3.17. Зависимость значений величин жесткости  $k_x$  (а) и  $k_\delta$  (б) от угла  $\delta_c$  при центрировании соединяемых деталей, расстояния  $l_w$ , угла  $\delta_n$ :

$d_A - d_B = 50 \text{ мм}$ ;  $F_{ZW} = 300 \text{ Н}$ ;  $\delta_{xH} / 2 = 2 \text{ мм}$ ;

1 -  $l_w = 0$ ; 2 -  $l_w = 5 \text{ мм}$ ; 3 -  $l_w = 10 \text{ мм}$ ;

4 -  $l_w = 20 \text{ мм}$ ; 5 -  $l_w = 30 \text{ мм}$ ;

—  $\delta_n = 0,5^\circ$ ; - - -  $\delta_n = 1^\circ$ ; - · -  $\delta_n = 2^\circ$



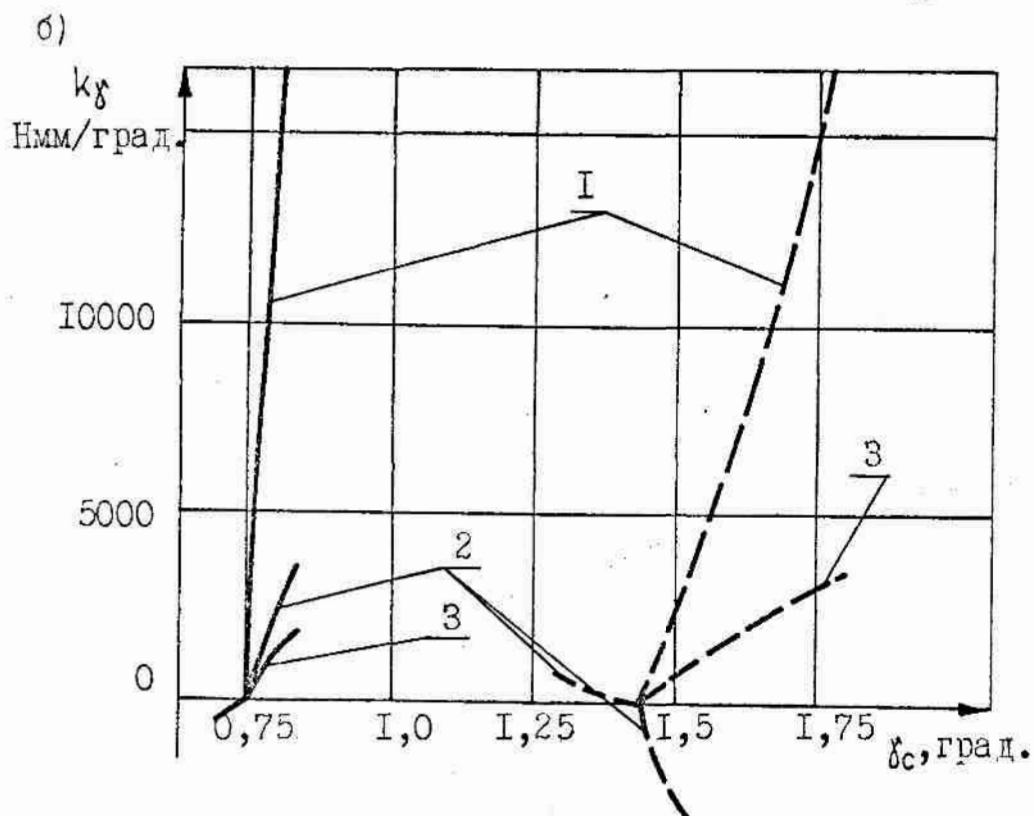
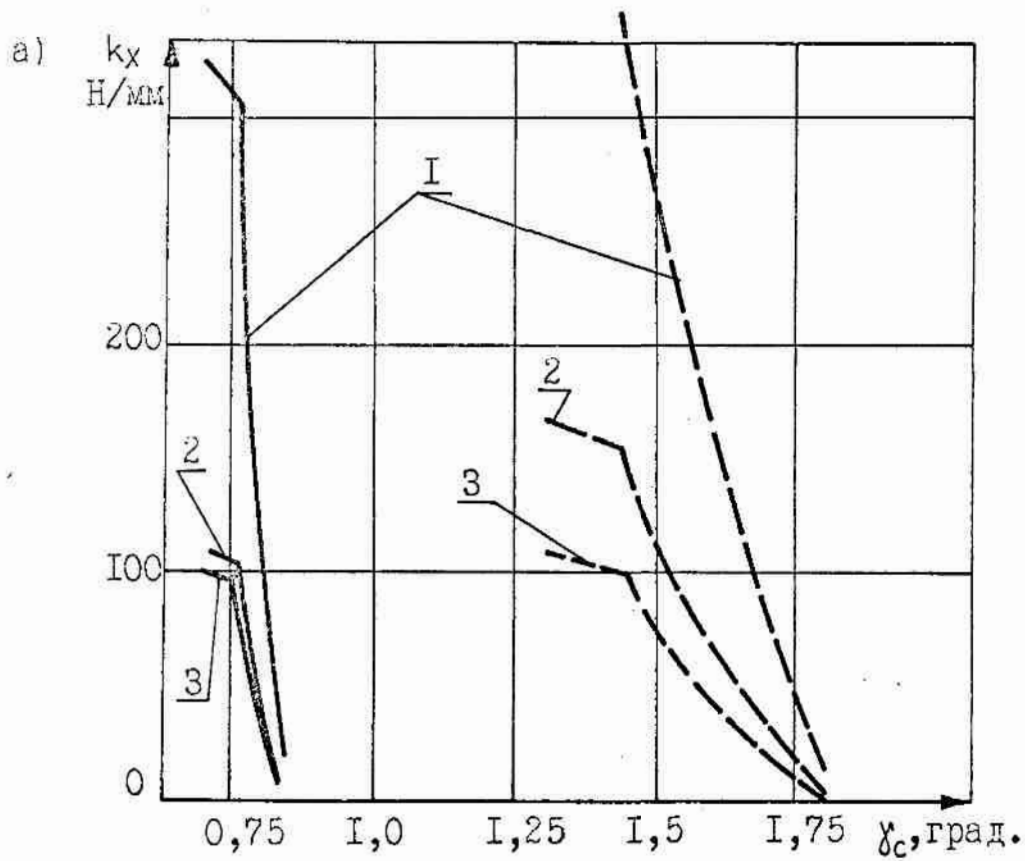


Рис.3.18. Зависимости значений величин жесткостей  $k_x$ (а) и  $k_y$ (б) от угла  $\delta_c$  при центрировании соединяемых деталей; зазора в соединении и угла  $\delta_H$ :  $l_W = 15$  мм;  $F_{ZW} = 300$  Н;  $\delta X_H / 2 = 2,5$  мм; 1 -  $\delta_H = 1^\circ$ ; 2 -  $\delta_H = 2^\circ$ ; 3 -  $\delta_H = 3^\circ$ ;  
 —  $d_A - d_B = 50$  мкм; ---  $d_A - d_B = 100$  мкм

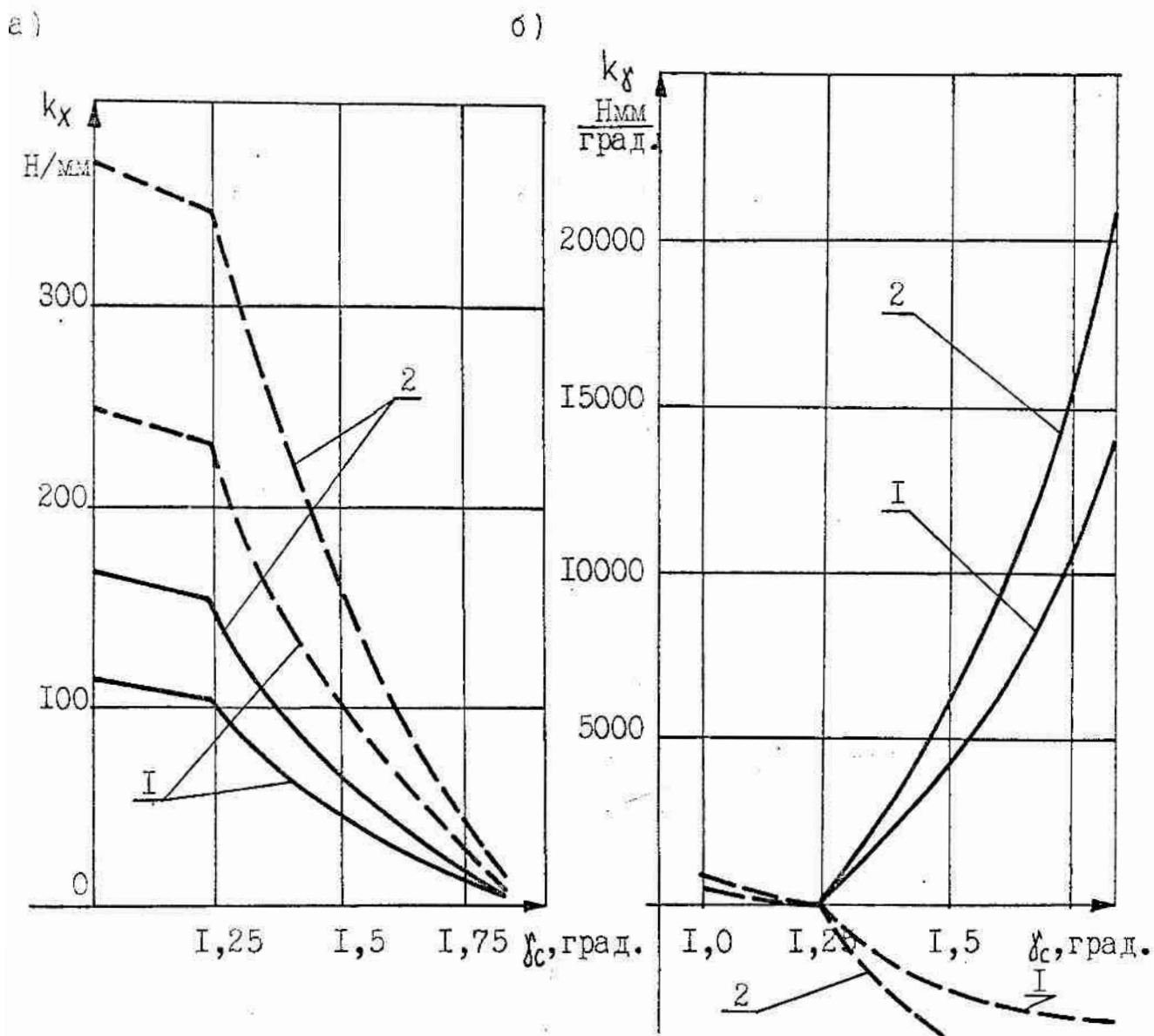


Рис.3.19. Зависимость значений величин жесткости  $k_x$ (а) и  $k_\gamma$ (б) от угла  $\delta_c$  при центрировании соединяемых деталей, угла  $\delta_H$  и сборочного усилия  $F_{ZW}$ :

$$l_w = 15 \text{ мм}; \quad d_A - d_B = 100 \text{ мкм}; \quad \delta_{X_H} / 2 = 2,5 \text{ мм};$$

$$I - F_{ZW} = 200 \text{ Н}; \quad 2 - F_{ZW} = 300 \text{ Н};$$

$$\text{—} \delta_H = 2^\circ; \quad \text{- - -} \delta_H = 1^\circ$$

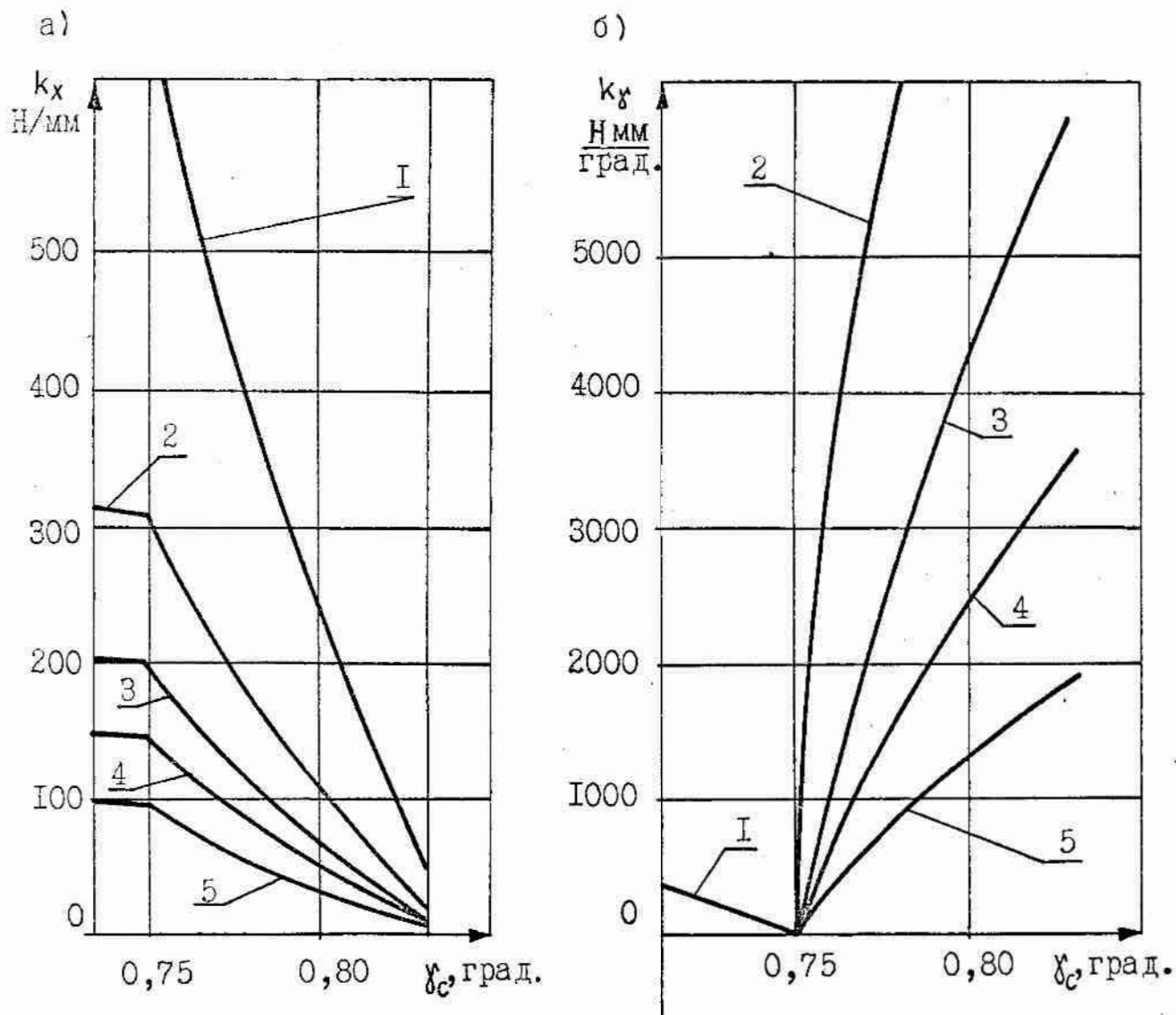


Рис.3.20. Зависимость значений величин жесткости  $k_x$  (а) и  $k_y$  (б) от угла  $\delta_c$  при центрировании соединяемых деталей, угла  $\delta_n$ :

$l_w = 15$  мм;  $\delta x_n / 2 = 2,5$  мм;  $D_A - d_B = 50$  мм;  $F_{zw} = 300$  Н;

1 -  $\delta_n = 0,5^\circ$ ; 2 -  $\delta_n = 1^\circ$ ; 3 -  $\delta_n = 1,5^\circ$ ;

4 -  $\delta_n = 2^\circ$ ; 5 -  $\delta_n = 3^\circ$

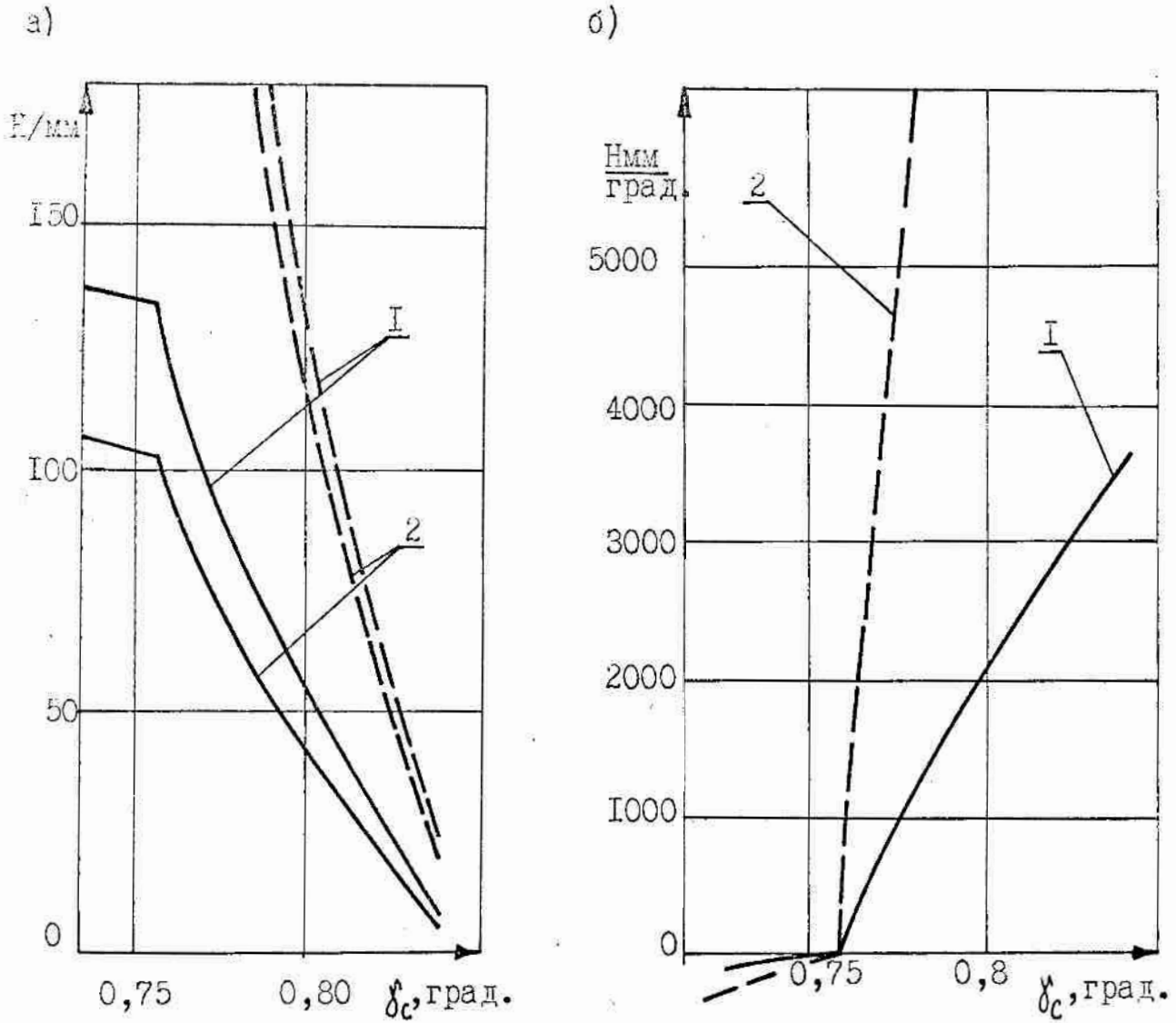


Рис.3.21. Зависимость значений величин жесткости  $K_x$  (а) и  $k_x$  (б) от угла  $\delta_c$  при центрировании соединяемых деталей и их первоначальных погрешностей  $\delta_{xH}/2$  и  $\delta_H$ :

$$l_W = 15 \text{ мм}; F_{zW} = 300 \text{ Н}; D_A - d_B = 50 \text{ мкм};$$

$$1 - \delta_{xH}/2 = 1,5 \text{ мм}; \quad 2 - \delta_{xH}/2 = 2 \text{ мм};$$

$$\text{—} \delta_H = 2^\circ; \quad \text{- - -} \delta_H = 1^\circ$$

существенно влияет на значения жесткостей  $k_x$  и  $k_y$ . Для  $F_{ZW} = 300 \text{ Н}$ ,  $\mu = 0,12$ ,  $\delta x_H / 2 = 2 \text{ мм}$ ,  $D_A - d_B = 50 \text{ мм}$  положительные значения жесткостей  $k_x$  будут тогда, когда  $L_W = 5 \div 25 \text{ мм}$  (рис.3.17,а), упругий элемент находится вблизи торцевой поверхности устанавливаемой детали, при этом жесткость  $k_y$  также имеет положительное значение (для углов  $\gamma_H > \gamma_A$ , где  $\gamma_A$  - угол скрещивания осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей, когда крайние точки конусов трения  $E_{1-3}$ ,  $E_{2-3}$  совпадают). При определении жесткости сборочного пассивного устройства необходимо обеспечить положительные их значения, так как в ином случае потребовалось бы создавать сложные по конструктивному выполнению сборочные устройства возмущающего воздействия.

Определение жесткости необходимо производить в следующей последовательности (см.рис.3.17):

1. Осуществить выбор места положения упругих элементов рекомендуется производить исходя из графиков на рис.3.17,б, так как можно выбрать диапазон значений  $L_W$ , для которого значения жесткостей  $k_x$  совпадают; например, для  $L_W = 15 \text{ мм}$ ;

2. При заданной величине зазора в соединении  $D_A - d_B = 50 \text{ мм}$ ,  $L_W = 15 \text{ мм}$ ,  $\mu = 0,12$ ,  $\delta x_H / 2 = 2 \text{ мм}$ ,  $\gamma_H = 2^\circ$  и  $F_{ZW} = 300 \text{ Н}$  выбираем жесткость  $k_x$  (см.рис.3.17,а) в диапазоне от 0 до 102 Н/мм; например,  $k_x = 50 \text{ Н/мм}$ ;

3. Для жесткости  $k_x = 50 \text{ Н/мм}$  угол  $\gamma_c$  при центрировании соединяемых деталей должен быть  $\gamma_c \approx 0,795$  (град), для которого жесткость  $k_y = 1800 \text{ (Н·мм/град)}$ .

При увеличенном зазоре в соединении (рис.3.18) обеспечить соединение деталей проще, так как граничный угол  $\gamma_k$  больше. Например, при зазоре  $D_A - d_B = 50 \text{ мм}$  угол  $\gamma_k \approx 0,84^\circ$ , а при зазоре  $D_A - d_B = 100 \text{ мм}$   $\gamma_k \approx 1,8^\circ$ .

Уменьшение значения сборочной силы  $F_2$  при всех прочих условиях вызывает необходимость уменьшения значений жесткостей  $k_x$  и  $k_y$  (рис.3.19). Подобное влияние оказывает увеличение первоначального угла  $\gamma_H$  скрещивания осей сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей (рис.3.20) и увеличение первоначального смещения этих осей  $\delta x_H/2$  (рис.3.21).

### 3.4. Обеспечение автоматического соединения деталей по поверхностям вращения

Для соединения деталей по поверхностям вращения необходимо найти и оценить условия их автоматической сборки. Допуски на первоначальное смещение осей  $\delta x_H/2$  сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей и первоначальное скрещивание этих осей  $\gamma_H$  должны обеспечить в момент центрирования и последующий период соединения деталей их сборку без заклинивания.

По мере уменьшения зазора ( $D_A - d_B$ ) в соединении возможность заклинивания возрастает. Поэтому возникает необходимость либо повышения точности составляющих звеньев системы СПИД, либо применение адаптивной системы управления, либо использование упругих базирующих устройств компенсирующих погрешности первоначального смещения осей  $\delta x_H/2$  и скрещивание осей  $\gamma_H$  в пространстве.

Использование высокоточного оборудования не всегда обеспечивает качественное соединение деталей, при этом повышаются затраты на его изготовление и эксплуатацию. В свою очередь система с активной адаптацией в процессе сборки значительно сложнее из-за наличия измерительных устройств, устройств обратной связи, необходимого матобеспечения и т.п.

Поэтому целесообразно использовать простые универсальные переналаживаемые автоматические адаптивные сборочные устройства.



Эти устройства позволяют компенсировать погрешность первоначальной установки соединяемых деталей. Компенсация этих погрешностей осуществляется постоянно начиная с процесса скольжения соединяемых деталей по фаскам и образующим поверхностям до момента завершения сборки соединения.

Компенсация погрешностей относительного положения соединяемых деталей осуществляется за счет применения упругих элементов, жесткость которых в разных направлениях выбирается исходя из уравнения (3.30.). Кроме этого, необходимо выбрать место положения упругих базирующих элементов относительно устанавливаемой детали.

Как показал анализ формулы (3.30.) на размещение упругих элементов, характеризуемых положением точки  $W$  относительно системы координат устанавливаемой детали  $x'o'z'$  (расстояние точки  $W$  от переднего торца устанавливаемого вала  $L_W$ ) и смещение этой точки  $a_W$  относительно его оси  $z'$ , оказывает существенное влияние соотношение величин углов  $\gamma_n$  и  $\gamma_c$ . Расчеты показывают, что для упругих элементов (рис.3.15) сложно обеспечить соединение деталей при малой величине зазора, если

$$\gamma_n \gg \gamma_c$$

Отсюда следует, что необходимо размещать упругие элементы как можно ближе к переднему торцу устанавливаемого вала. При малом зазоре в соединении положение точки  $W$  должно быть возможно ближе к точке  $O'$ . Однако технически невозможно разместить упругие элементы в зоне соединения деталей и поэтому необходимо применять такое конструктивное выполнение, при котором упругие элементы должны быть расположены вне зоны контакта соединяемых деталей, а их жесткость должна изменяться в соответствии с законами изменения сил и моментов, найденными по уравнению (3.30.).

Существует ряд конструктивных решений сборочных устройств для обеспечения соединения деталей с малой величиной зазора. Для проверки достоверности разработанной теории выбрана конструкция устройства, показанная на рис.3.22.

В первоначальный момент соединения деталей под действием сборочной силы  $F_{ZM}$  в месте контакта возникают нормальная реакция  $N_1$  и сила трения  $\mu N_1$ , действующие на вал и на упругие стержни 1, 2, 3.

Значение величины реакции  $N_1$  в первоначальный момент соединения и последующие периоды до момента центрирования деталей можно найти из уравнений равновесия устанавливаемой детали под действием сил  $F$ , нормальных реакций  $N_1, N_2, N_3$  сил трения  $\mu N_1, \mu_0 N_3, \mu_0 N_4, f_F \cdot F$  (рис.3.23.). В результате преобразований получим:

$$N_1 = \left( \frac{R_3}{R_2} \cdot H_4 + H_5 \right) / \left( \frac{R_1}{R_2} \cdot H_4 - H_1 \right), \quad (3.35.)$$

где  $R_1 = A_1 \cdot B_3 / A_3 + B_1$ ;  $R_2 = A_4 \cdot B_3 / A_2 + B_4$ ;  $R_3 = A_5 \cdot B_3 / A_3 + B_5$ ;

$H_1 = A_1(L_k - Z_k) - B_1(X_{QM} - X_k)$ ;  $H_4 = -\cos \gamma_{ou} [(\mu_0 + \operatorname{tg} \gamma_{ou}) d_F + L_Q (1 - \mu_0 \operatorname{tg} \gamma_{ou})]$ ;

$H_5 = F [d_F / 2 + f_F (L_5 - L_k - Z_k)]$ ;

$A_1 = \cos \varphi (1 - \mu \operatorname{tg} \varphi)$ ;  $A_3 = \cos \gamma_{ou} (1 + \mu_0 \operatorname{tg} \gamma_{ou})$ ;

$A_4 = \cos \gamma_{ou} (1 - \mu_0 \operatorname{tg} \gamma_{ou})$ ;  $A_5 = F_{сб} \cdot \sin (\beta - \gamma_{ou})$ ;

$B_1 = \sin \varphi (1 + \mu \operatorname{ctg} \varphi)$ ;  $B_3 = \sin \gamma_{ou} (-1 + \operatorname{ctg} \gamma_{ou})$ ;  $B_4 = \sin \gamma_{ou} (1 + \operatorname{ctg} \gamma_{ou})$ ;

$B_5 = F_{сб} \cdot \cos (\beta - \gamma_{ou})$ ;  $\beta = \operatorname{arc} \operatorname{tg} f_F$ ;  $F_{сб} = F (1 + f_F^2)^{0,5}$

$L_5$  - расстояние между передним торцом устанавливаемого вала и торцом пуансона;  $F_{сб}$  - сборочная сила;  $L_Q$  - ширина опор пуансона;  $L_k$  - вылет пуансона;  $d_F$  - наружный диаметр пуансона;  $\gamma_{ou}$  - угол скрещивания между осью отверстия базовой детали и направлением перемещения рабочего инструмента;  $X_k, Z_k$  - координаты места контакта соединяемых деталей.

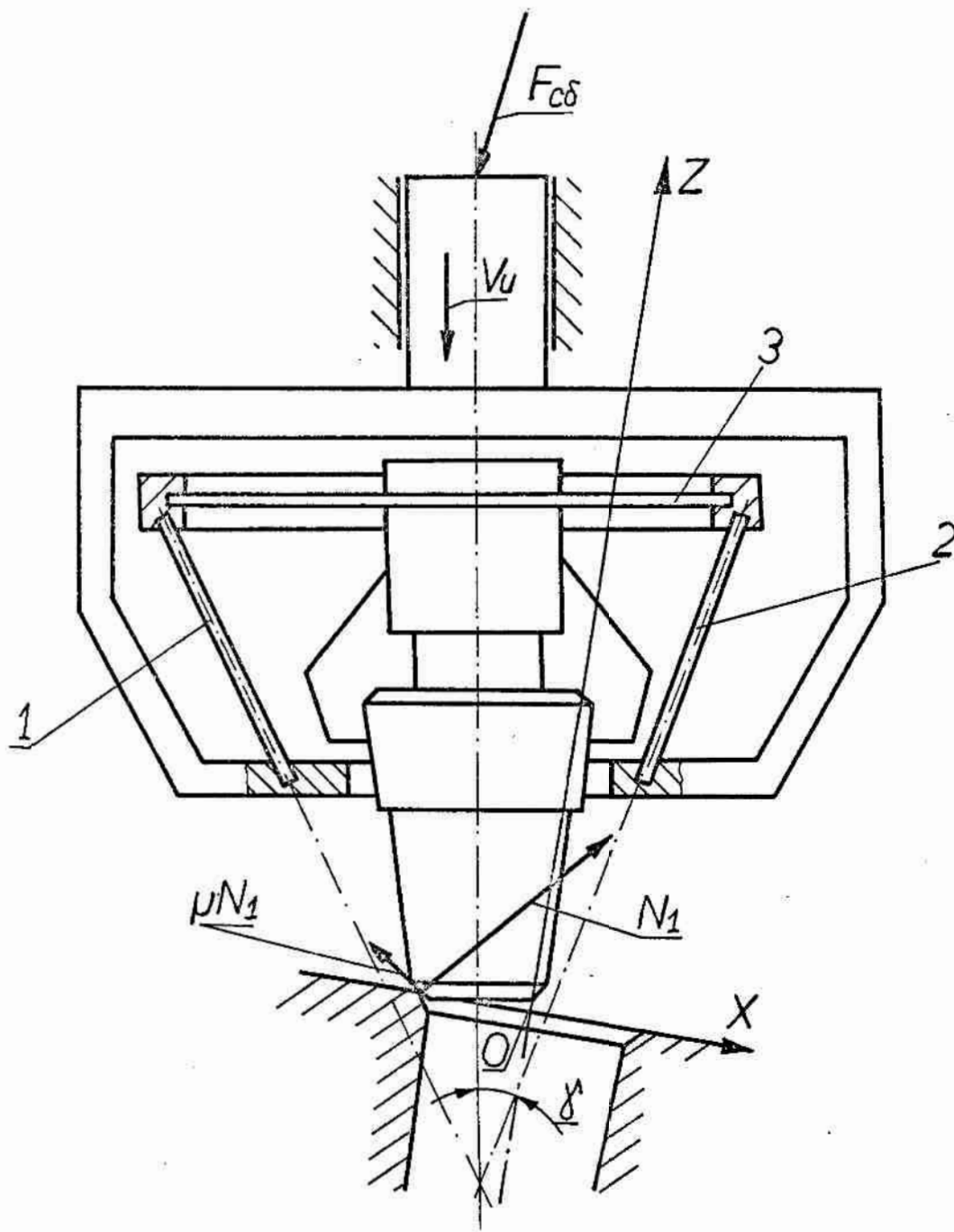


Рис.3.22.Сборочное устройство с упругими базирующими элементами

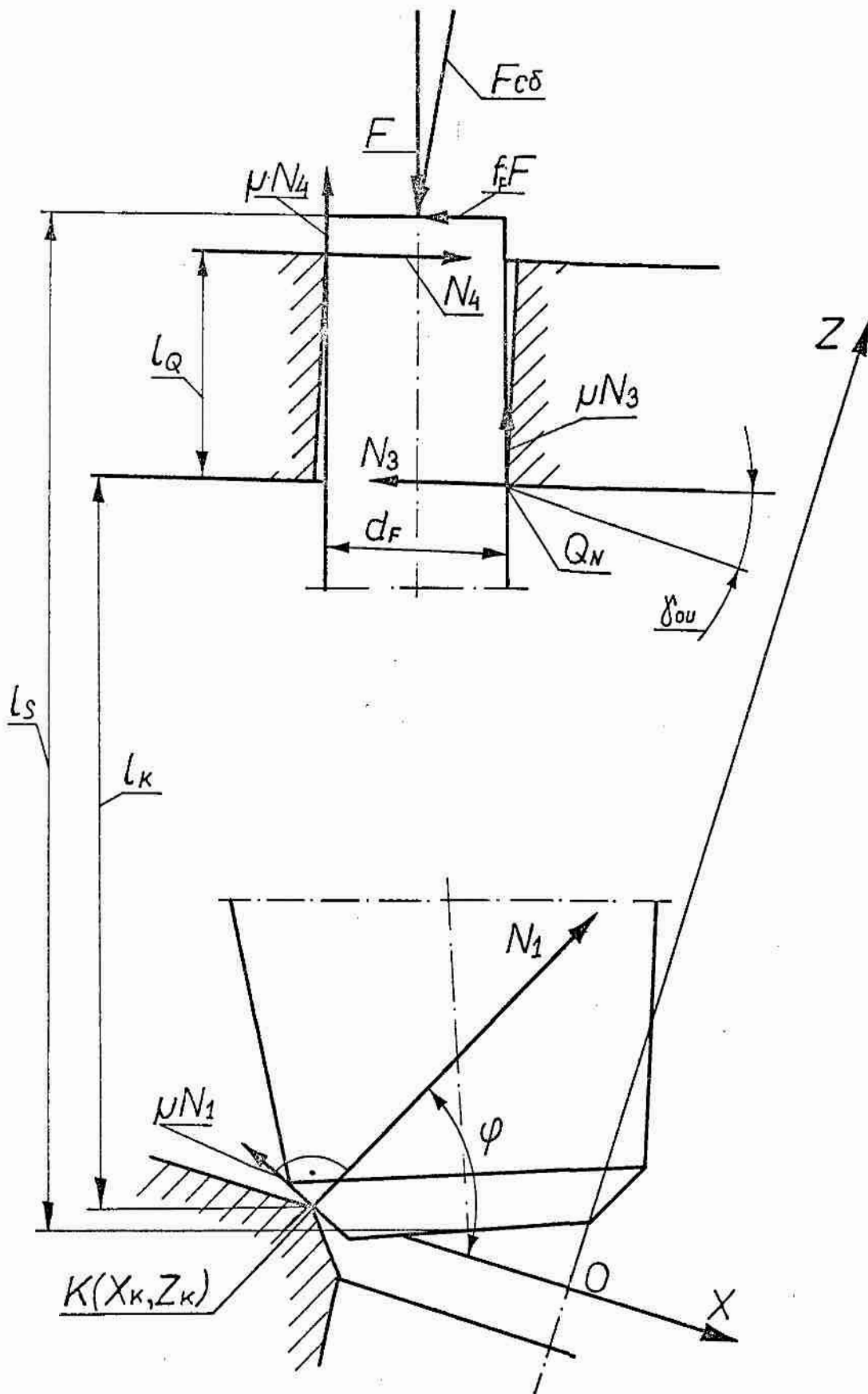


Рис.3.23.Схема для определения реакции в точке контакта между соединяемыми деталями

Под действием внешних сил происходит деформация упругих элементов 1, 2, 3 базирующего устройства (см.рис.3.22). Для определения значений этих деформаций нужно знать изгибающие силы и силы среза, а также моменты, действующие на каждый стержень. Расчетная схема для определения внутренних сил и моментов, действующих на упругие элементы базирующих устройств представлена на рис.3.24. Эта схема трижды статически неопределима. Для решения задачи используем метод, который состоит в том, что дополнительные связи заменяют соответствующими силовыми факторами. Эти силовые факторы должны удовлетворять каноническим уравнениям метода сил, число которых соответствует числу неизвестных [58]. Тогда имеем

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \delta_{1R} &= 0 \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \delta_{2R} &= 0 \\ \delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \delta_{3R} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.36.)$$

где  $\delta_{ik} - i = 1 \div 3, k_{1,3} = 1, 3$  - перемещение в  $i$ -ом направлении, вызванное единичной нагрузкой, приложенной в том же направлении, что и отброшенная в этом направлении связь;

$\delta_{iR} - i = 1 \div 3$  - перемещение в направлении  $i$ -той отброшенной связи, вызванное внешними заданными нагрузками;  $X_1, X_2$  - сдвигающая и нормальная силы, заменяющие связи в опоре  $P'$ ;  $X_3$  - изгибающий момент в точке  $P'$ , заменяющий связь в опоре.

Неизвестные  $X_1, X_2, X_3$  определяем из канонических уравнений (3.36.), коэффициенты и свободные члены этих уравнений найдены способом Верещагина. Эпюры изгибающих моментов от заданной нагрузки и от единичных сил  $X_1, X_2$  и единичного момента  $X_3$ , а также подробные расчеты величин реакции в опорах  $P$  и  $P'$ , представлены в приложении 7.

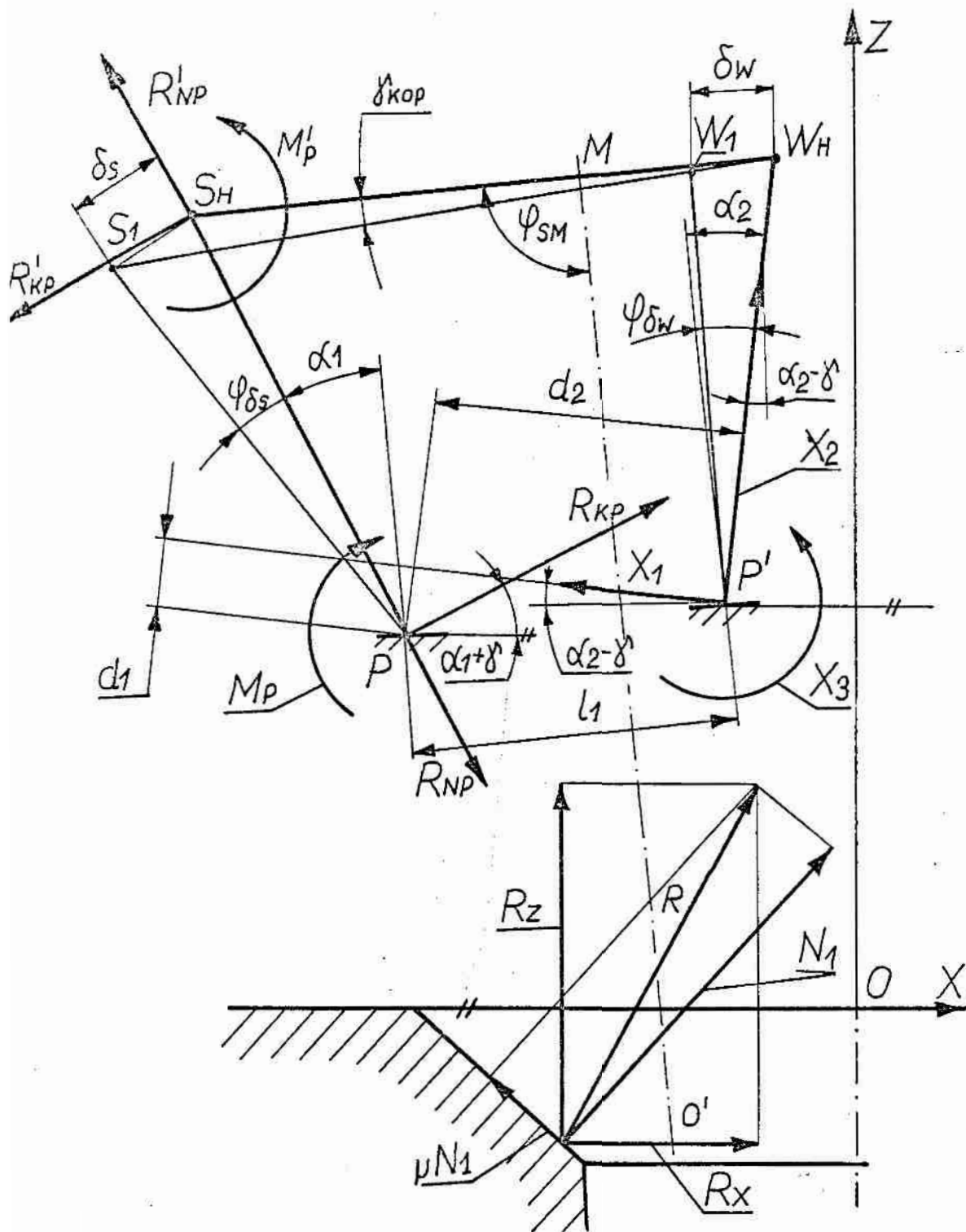


Рис. 3.24. Схема для расчета внутренних сил и моментов, действующих на упругие элементы базирющего устройства

Для известных значений реакций  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  можно определить значения реакций в опоре Р. Если вал устанавливается в отверстие базовой детали, то

$$\Sigma X = R_{NP} \sin(\alpha_1 + \gamma) + R_{KP} \cos(\alpha_1 + \gamma) - X_1 \cos(\alpha_2 - \gamma) + X_2 \sin(\alpha_2 - \gamma) + R_X = 0,$$

$$\Sigma Z = -R_{NP} \cos(\alpha_1 + \gamma) + R_{KP} \sin(\alpha_1 + \gamma) + X_1 \sin(\alpha_2 - \gamma) + X_2 \cos(\alpha_2 - \gamma) + R_Z = 0,$$

$$\Sigma M_P = -M_P + X_1 \cdot d_1 + X_2 \cdot d_2 + X_3 = 0$$

В результате решения этой системы уравнений получим:

$$\left. \begin{aligned} R_{KP} &= -[P_Z \sin(\alpha_1 + \gamma) + P_X \cos(\alpha_1 + \gamma)], \\ R_{NP} &= R_{KP} \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1 + \gamma) + P_Z \cdot \operatorname{sc}(\alpha_1 + \gamma), \\ M_P &= X_1 \cdot d_1 + X_2 \cdot d_2 + X_3 \end{aligned} \right\}, \quad (3.37.)$$

где

$$P_X = -X_1 \cos(\alpha_2 - \gamma) + X_2 \sin(\alpha_2 - \gamma) + R_X;$$

$$P_Z = X_1 \sin(\alpha_2 - \gamma) + X_2 \cos(\alpha_2 - \gamma) + R_Z;$$

$$d_1 = L_1 \sin \gamma_{ou};$$

$$d_2 = L_1 \cos \gamma_{ou}$$

$R_{KP}$ ,  $R_{NP}$  - касательная и нормальная реакции в опоре Р, реактивный момент  $M_P$  в опоре Р;  $R_X = N_1 \cdot \cos(\varphi + \varphi_{T1}) \cdot (1 + \mu^2)^{0,5}$  - реакция в месте контакта соединяемых деталей в направлении оси  $X$ ;  $R_Z = N_1 \cdot \sin(\varphi + \varphi_{T1}) \cdot (\mu^2 + 1)^{0,5}$  - реакция в месте контакта соединяемых деталей в направлении оси  $Z$ ;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  - углы наклона упругих стержней относительно направления перемещения рабочего инструмента;  $L_1$  - расстояние между опорами Р и Р'.

Внутренние силы, действующие в стержнях 1 и 2, вызывают их деформации. Значение величины деформации упругих элементов, а также направление этих деформаций, зависит от величины сборочной силы, ее направления, от конструктивных параметров компенсирующего устройства (длины упругих стержней, их углов наклона относительно оси перемещения рабочего инструмента, модулей упругости стержней, величины и формы их поперечного сечения).

Пренебрегая влиянием нормальных внутренних сил  $R_{NP}$  и  $X_2$ ,



можно определить деформацию концов стержней 1 и 2:

$$\delta_S = (2 \cdot R_{кр} \cdot L_{W1} + 3M_P) \cdot L_{W1}^2 / (6 \cdot E \cdot J_X)$$

$$\delta_W = (2X_1 \cdot L_{W2} + 3X_3) \cdot L_{W2}^2 / (6E \cdot J_{X'})$$

где  $J_X = \pi \cdot D_1^4 / 64$  - осевой момент инерции поперечного сечения 1-го стержня;  $D_1$  - диаметр упругого стержня 1;  $J_{X'} = \pi \cdot D_2^4 / 64$  - осевой момент инерции поперечного сечения второго стержня диаметром  $D_2$ ;  $\delta_S$  - упругое перемещение конца стержня  $S$  из первоначального положения  $S_H$  в положение  $S_1$ ;  $\delta_W$  - упругое перемещение конца стержня  $W$  из первоначального положения  $W_H$  в положение  $W_1$ ;  $L_{W1} = L_{W'} / \cos \alpha_1$ ;  $L_{W2}$  - длина стержней 1 и 2;  $L_{W'}$  - расстояние между упругим элементом 3 и осью  $X''$ , проходящей через опоры  $P$  и  $P'$ .

Соответственно углы поворота этих стержней относительно первоначального их положения

$$\varphi_{\delta_S} = \delta_S \cdot L_{W1} ; \varphi_{\delta_W} = \delta_W \cdot L_{W2}$$

Таким образом, для известных значений углов  $\varphi_{\delta_S}$  и  $\varphi_{\delta_W}$ , координаты концов стержней  $S$  и  $W$  в системе координат  $X''OZ''$  будут:

$$X_{S1} = -L_{W1} \cdot \sin(\alpha_1 + \varphi_{\delta_S}) ; Z_{S1} = L_{W1} \cdot \cos(\alpha_1 + \varphi_{\delta_S}) ;$$

$$X_{W1} = L_1 + L_{W2} \cdot \sin(\alpha_2 + \varphi_{\delta_W}) ; Z_{W1} = L_{W2} \cdot \cos(\alpha_2 + \varphi_{\delta_W})$$

Для первоначального момента соединения, когда деформации стержней  $\delta_S$ ,  $\delta_W$ ,  $\varphi_{\delta_S}$  и  $\varphi_{\delta_W}$  будут равны нулю, тогда начальные координаты концов стержней  $S$  и  $W$  будут:

$$X_{SH} = -L_{W1} \cdot \sin \alpha_1 ; Z_{SH} = L_{W1} \cdot \cos \alpha_1 ;$$

$$X_{WH} = L_1 + L_{W2} \cdot \sin \alpha_2 ; Z_{WH} = L_{W2} \cdot \cos \alpha_2$$

Поскольку расстояние между точками  $S$  и  $W$  не изменяется (концы стержней  $S$  и  $W$  прикреплены к жесткому кольцу) величина угла, на которую повернется ось устанавливаемой детали:

$$\gamma_{\text{кор}}^i = \arctg [(Z_{WН} - Z_{SН}) / (X_{WН} - X_{SН})] - \arctg [(Z_{W1} - Z_{S1}) / (X_{W1} - X_{S1})]$$

Одновременно происходит деформация бруска 3. На брусок 3 в точке  $W$  действует момент  $M_W$  (рис. 3.25)

$$M_W \cong R_x (Z_W - Z_K) + R_z (X_K - X_W) \quad (3.38.)$$

Деформация бруска 3 под действием момента будет

$$\Delta \gamma = M_W \cdot k_\gamma \quad (3.39.)$$

Суммарная величина коррекции угла  $\gamma$  скрещивания осей сопрягаемых поверхностей

$$\gamma_{\text{кор}} = \gamma_{\text{кор}}^i - \Delta \gamma \quad (3.40.)$$

Алгоритм расчета величины угла  $\gamma_{\text{кор}}$  представлен на рис. 3.26, а программа расчета этого угла **ADAUST** написана на языке **BASIC** и приведена в приложении 8.

Сборочное устройство с упругими элементами (см. рис. 3.22) имеет простое выполнение, однако, несмотря на ряд существенных допущений выполнение вычислений (см. рис. 3.26 и приложение 8) является сложной задачей из-за статической неопределенности упругих элементов этого устройства. Даже при наличии двух стержней система является трижды статически неопределенной (рис. 3.25). Однако использовать устройство с небольшим числом стержней и брусков нельзя, поскольку сборочное устройство не будет обладать равномерной жесткостью во всех направлениях. Отсюда следует, что необходимо применять значительное число стержней и брусков. Но это усложняет расчеты.

Поэтому целесообразно определять характеристики упругих элементов сборочного устройства опытным путем, причем их жесткость

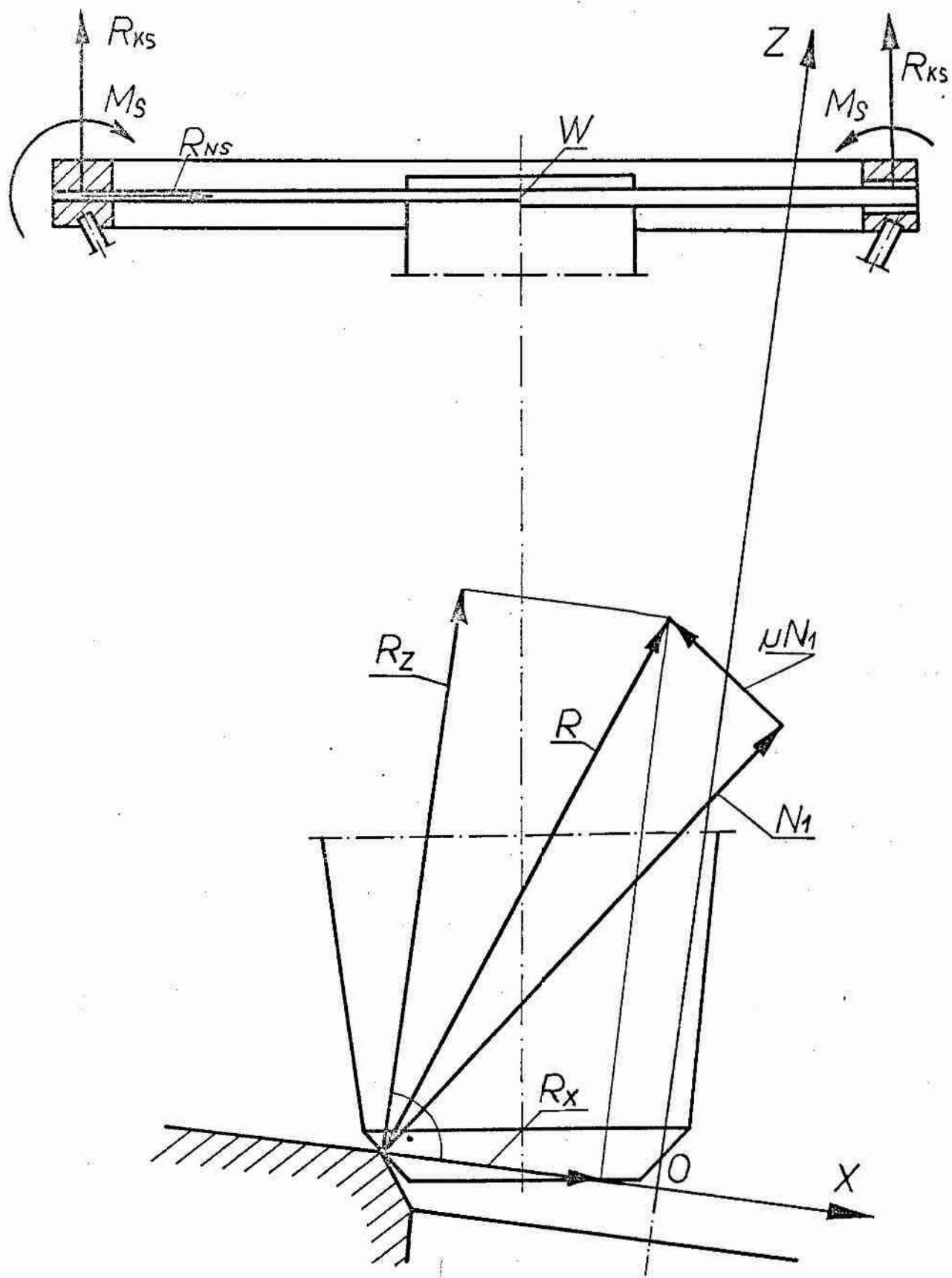


Рис.3.25.Схема для расчета угловой деформации бруса

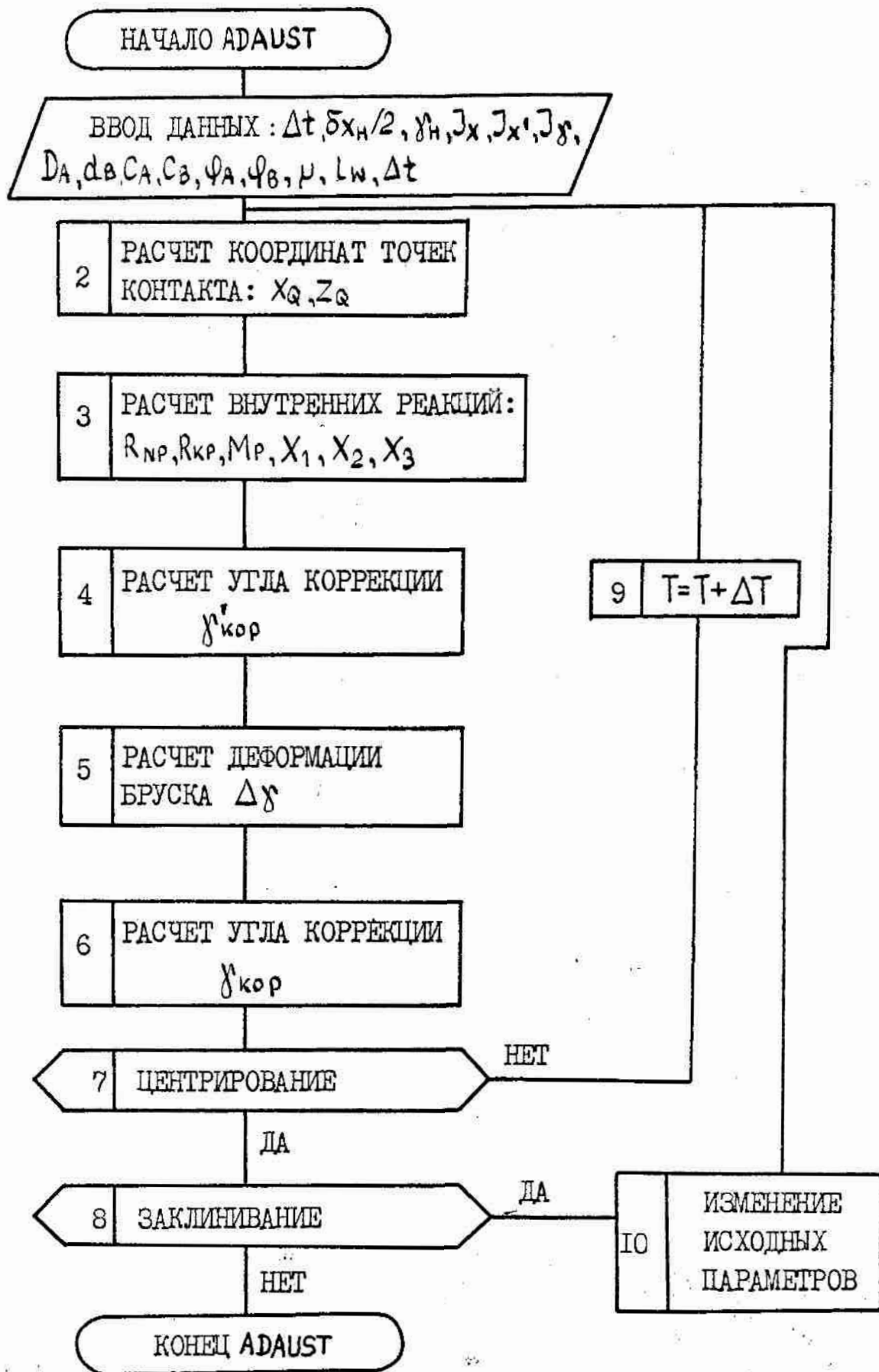


Рис.3.26. Алгоритм расчета жесткостей  $k_x$  и  $k_y$  сборочного устройства с упругими элементами

$k_x$  и  $k_y$  должны подчиняться закону зависимости (3.30.).

Необходимо подчеркнуть, что в зависимости от значений углов  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$  текущего смещения  $\omega_{\varphi_A}$  осей посадочных поверхностей и текущего значения угла  $\gamma$ , реакция  $R$  в точке контакта может иметь различное значение и направление /см.рис. I.12, формулы (3.25.), (3.37.)/. Изменение вектора  $\bar{R}$  вызывает изменение момента  $M_W$  /см.формулу (3.38.)/ при этом возможно и изменение его направления. Неправильный выбор углов  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$  соединяемых деталей может вызвать изменение первоначального угла скрещивания  $\gamma_H$  в нежелательном для сборки направлении, вследствие чего может произойти заклинивание соединяемых деталей в момент их центрирования.

### 3.5. Выводы

3.1. В результате исследования процесса автоматического соединения деталей (от первоначального момента их контакта до момента их центрирования) при жестком базировании устанавливаемой детали познаны закономерности образования действующих связей.

3.2. Установлена качественная и количественная взаимосвязь между геометрическими, физико-механическими параметрами соединяемых деталей, погрешностью первоначального относительного их положения, скоростью удара  $V_u$  сборочного инструмента по устанавливаемой детали и углом наклона оси отверстия базовой детали.

3.3. Найдена количественная и качественная связь между отдельными этапами автоматического соединения деталей, а именно первоначальным относительным их положением и требуемым в готовом изделии. Эта связь помимо перечисленных факторов включает способ соединения деталей, точность и жесткость всех составляющих звеньев системы СПИД, а также величину и направления действия сбороч-

ной силы.

3.4. Познание совокупности этих связей дает возможность определить рациональную траекторию движения устанавливаемой детали от момента ее контакта до момента центрирования деталей с тем, чтобы избежать заклинивание.

3.5. Анализ конкретных способов соединений деталей показал, что для автоматических сборочных систем без средств активной адаптации в основном происходит уменьшение первоначального смещения осей  $\omega_{чн\Delta}$  и накопление погрешности угла скрещивания на первом этапе соединения. При одинаковой первоначальной погрешности  $\omega_{чн\Delta}$  и  $\gamma_n$  относительного положения осей сопрягаемых поверхностей, большее накопление угловой погрешности наблюдается при нежестком базировании устанавливаемой детали (соединение под действием массы устанавливаемой детали без направляющих элементов), меньше накопление угловой погрешности в механизмах с направляющими элементами, при жестком базировании угловая погрешность изменяется в незначительном диапазоне, за исключением сборочных механизмов с упругими элементами. Установленные в результате исследований количественные связи позволяют оценить техническую возможность применения конкретных автоматических сборочных средств.

3.6. При использовании сборочных механизмов с упругими элементами возможно накопление угловой погрешности так и ее уменьшение. Выявлены необходимые законы управления силами и моментами, а также жесткостью базирующих и других устройств системы СИИД, которые дают возможность создать такие сборочные средства, которые будут пригодны для соединений, в которых зазор изменяется в широких пределах.

Установленные закономерности позволили создать простые уни-

версальные сборочные устройства, обеспечивающие соединение деталей с зазором в  $20 \div 50$  мкм, первоначальной погрешностью их относительного положения  $\omega_{\text{чн}\Delta} = \pm(1 \div 3)$  мм и  $\gamma_{\text{н}} = \pm(1^{\circ} \div 3^{\circ})$  в процессе соединения.

3.7. Выполненные исследования позволяют на стадии проектирования сборочного процесса:

- выявить техническую возможность автоматического соединения деталей при существующих на их параметры допусках;
- выбрать способ установки деталей, назначить технические обоснованные требования на составляющие звенья собранной системы СПИД;
- рассчитать режимы сборочного процесса: скорость рабочего инструмента в момент удара и сборочную силу с учетом точности замыкающих звеньев системы СПИД и всех геометрических параметров соединяемых деталей, их массы, силы трения и угла наклона
- рассчитать необходимую жесткость и место положение упругих элементов системы СПИД;
- оценить технологичность соединяемых деталей и, если это необходимо, то изменить углы заходных фасок и шероховатость их поверхностей.



## ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РАЗРАБОТАННЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЙ

Процесс соединения деталей имеет качественно различный характер на первом этапе, когда устанавливаемая деталь скользит по фаске сопряженной детали или контактирует в одной точке по посадочной ее поверхности, и втором, когда осуществляется центрирование деталей до полного завершения соединения деталей. Поэтому и эксперименты проводились по отдельным этапам отдельно.

Основными задачами экспериментальных исследований являются:

1. Проверка математической модели процесса соединения деталей по поверхностям вращения на первом этапе их соединения;

2. Проверка теоретических зависимостей, описывающих условия заклинивания соединяемых деталей;

3. Проверка разработанной конструкции сборочного устройства с упругими элементами, предназначенного для компенсации смещений осей посадочных поверхностей соединяемых деталей и их перекосов.

### 4.1. Экспериментальная проверка сборочного процесса на первом этапе соединения деталей

Достоверность принятой модели процесса соединения деталей частично проверялась аналитически (см. раздел 3.1 и приложение 1.3).

Экспериментальные исследования проводились на стенде, принципиальная схема которого представлена на рис. 4.1.

Стенд содержит наклонную плоскость 1, имитирующую фаску высотой  $S_A = 65$  и углом наклона  $\varphi_A$  от  $42,5^\circ$  до  $53,3^\circ$ , устанавливаемую деталь 2, удерживаемую лентой 3 и ниткой 4 посред-

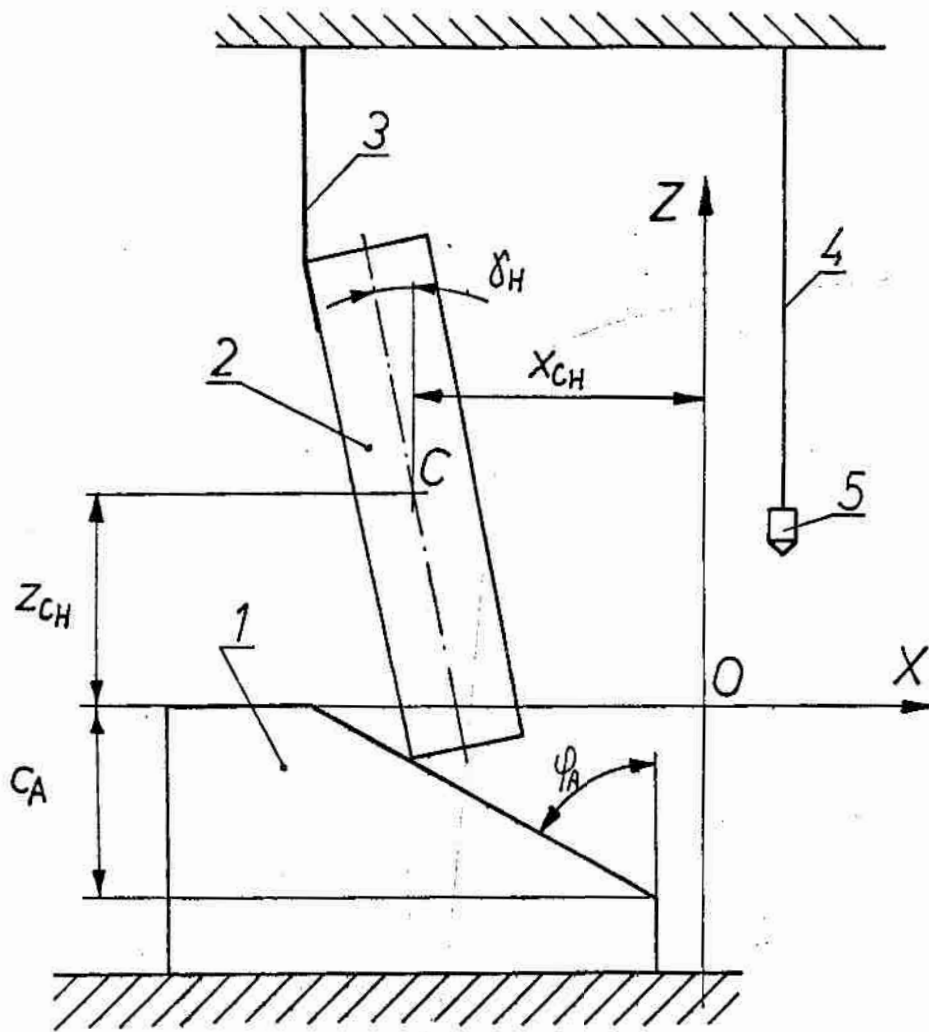


Рис.4.1. Схема экспериментального стенда

ством груза 5.

В качестве экспериментальных образцов неслучайно были выбраны детали таких размеров, а для того, чтобы иметь возможность в течение сравнительно длительного времени в крупном масштабе проследить процесс движения устанавливаемой детали 2. В качестве образцов деталей 2 использовались, как детали цилиндрической, так и прямоугольной формы с тем, чтобы доказать общий характер соединения деталей различных форм.

В процессе проведения экспериментов осуществлялась кино-съемка движения устанавливаемой детали по фаске сопряженной детали. Начало движения соответствовало моменту, когда устанавливаемая деталь отрывалась под действием ее массы от ленты.

Параметры, характеризующие процесс соединения деталей, регистрировались при проектировании киноплёнки. Измерялись начальные параметры:  $X_{сн}$ ,  $Z_{сн}$ ,  $\gamma_n$ ,  $\dot{X}_{сн}$ ,  $\dot{Z}_{сн}$ ,  $\dot{\gamma}_n$  и поочередно с каждого кадра определялись параметры, характеризующие положение устанавливаемой детали с учетом того, что дискретность времени смены кадров - 0,055 с. Иначе говоря определялись параметры  $X_c$ ,  $Z_c$ ,  $\delta$  в функции времени  $t$ .

Полученные результаты приведены в таблице 4.1, по данным которой построены графики, представленные на рис.4.2.

Экспериментальные данные сравнивались с расчетными значениями, найденными по программе на языке FORTRAN на ЭВМ СМ-4. Исходные данные для расчета траектории движения устанавливаемой детали и другие параметры, характеризующие процесс соединения деталей для начальных скоростей движения детали ( $\dot{X}_{сн} = 0$ ;  $\dot{Z}_{сн} = 0$  и  $\dot{\gamma}_n = 0$ ) приведены в таблице 4.1. Результаты расчетов даны в приложении 9, на основе которых построены графики рис.4.2.

Таблица 4.1.

Номер соеди- няемой детали	Исходные показатели	Результаты измерений						
		$t$ , сек	Расчетные	Эксперим.	$Z_c$ , мм		$\delta$ , град.	
					Расчетные	Эксперим.		Расчетные
1	$J_c = 1352 \text{ кг мм}^2$ $l_c = 209,5 \text{ мм}$ $m = 0,092 \text{ кг}$ $\mu = 0,1$ $\varphi_A = 53,3^\circ$	0	-101,20	-101,2	207,64	207,6	8,50	8,5
		0,055	-91,50	-94,9	169,80	184,7	18,09	14,70
		0,110	-83,55	-86,3	129,10	144,9	27,52	23,4
2	$J_c = 345 \text{ кг мм}^2$ $l_c = 49,75 \text{ мм}$ $m = 0,405$ $\mu = 0,10$ $\varphi_A = 51,2^\circ$	0	-55,87	-55,8	47,69	47,7	8,60	8,60
		0,055	-37,00	-43,9	22,69	36,2	18,18	14,3
		0,110	-27,36	-35,2	-16,46	6,8	56,85	43,0

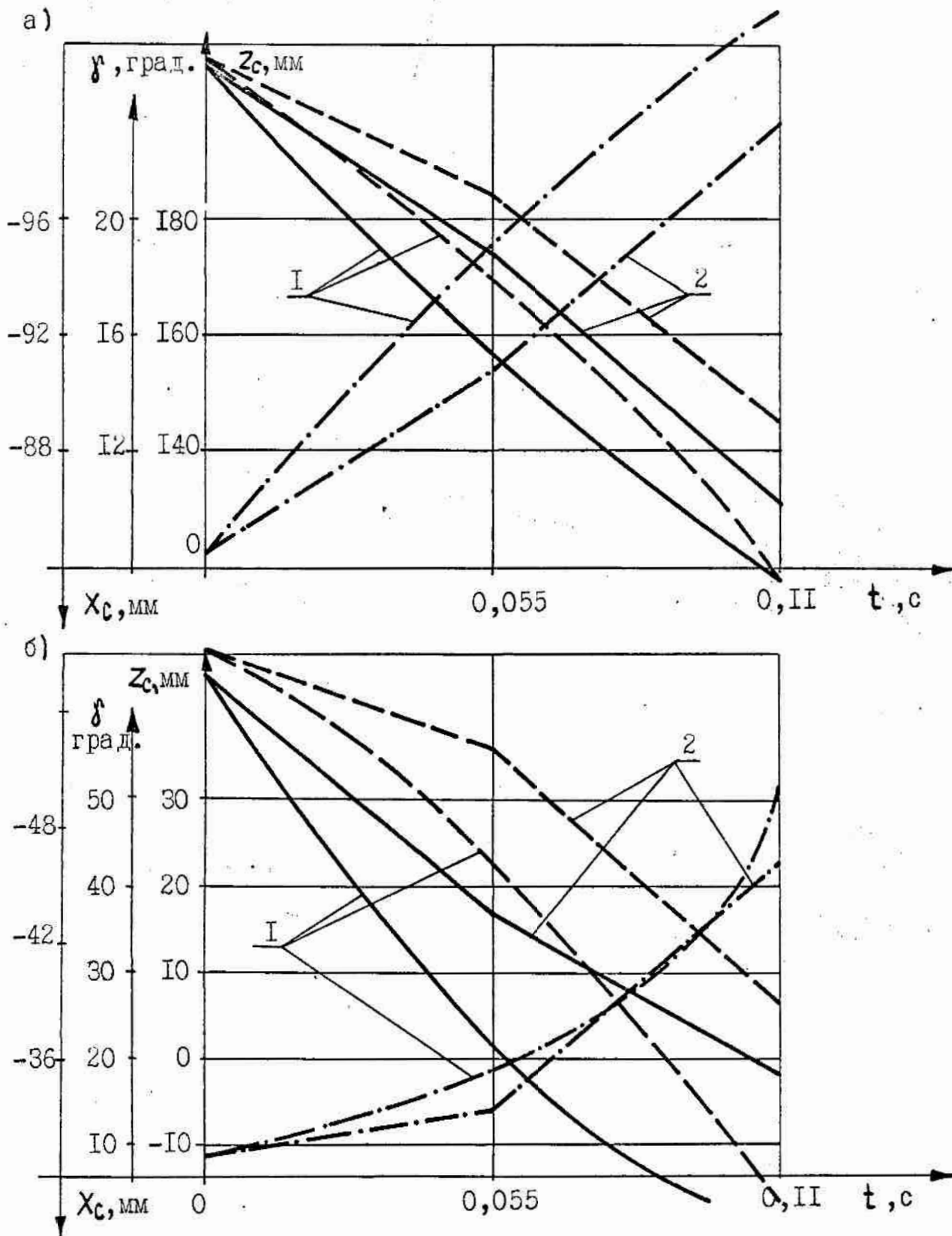


Рис.4.2.График значений текущих координат центра тяжести устанавливаемого вала С ( $X_c, Z_c$ ) и угла его наклона  $\gamma$  функции времени при его скольжении по фаске базовой детали:  
 I -расчетные кривые; 2 -экспериментальные кривые

Сравнение результатов экспериментов с расчетными данными (см. рис. 4.2) показало, что принятая модель для первого этапа процесса соединения деталей количественным образом отражает действительный характер протекающего процесса, а относительная ошибка количественно не превышает 36,2%.

#### 4.2. Проверка условий заклинивания соединяемых деталей

Проверка аналитической зависимости, описывающей условия сборки при установке вала, осуществлялась путем сопоставления с данными, полученными к.т.н. Храбровым А.С. [48]. На рис. 4.3 даны графики численных значений величин углов  $\delta_{\text{зоп}}$ , полученных экспериментальным путем (кривые 2) и по расчетным зависимостям (кривая 1) для цилиндрических деталей с номинальным диаметром посадочных поверхностей, равным 12 мм, изготовленных по второму и третьему классу точности.

При выполнении экспериментов вал устанавливался в отверстие базовой детали, ось которого имела горизонтальное положение и измерялся угол скрещивания осей соединяемых деталей в момент их центрирования.

Отсутствие необходимых данных - сведений о длине устанавливаемого вала, значении приведенного коэффициента трения в местах контакта соединяемых деталей, не позволило полностью использовать результаты экспериментов, тем не менее, предполагая, что для второго и третьего класса точности деталей из стали значение  $\mu \approx 0,10 \div 0,15$ , а длина вала  $l_p \approx 90$  мм (по ориентировочным данным из фотографий [48]), можно считать, что условия, в которых проводился эксперимент, и исходные данные для аналитических вычислений имеют близкие значения.

Аналитические расчеты, проведенные по программе DLIWAL

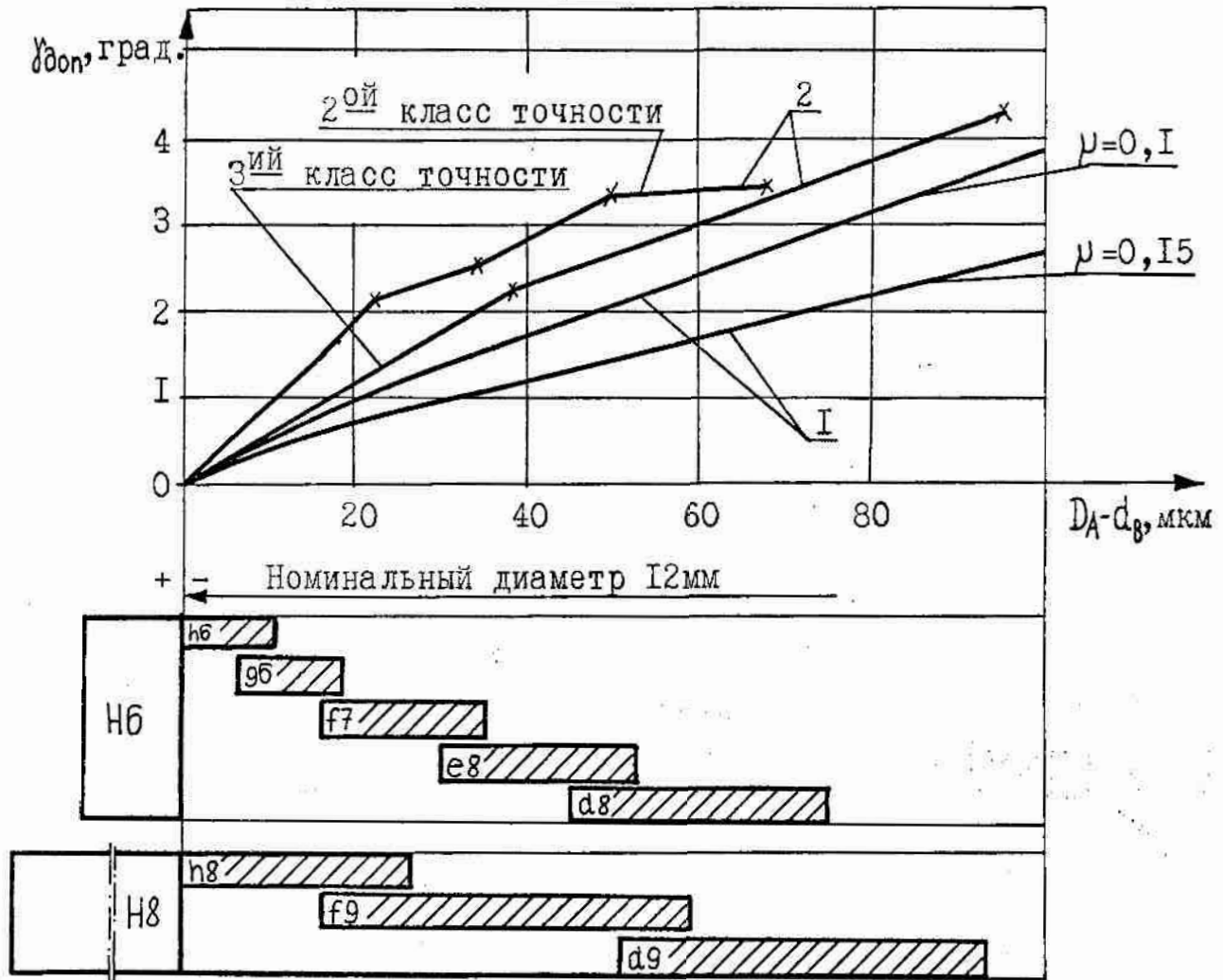


Рис.4.3. Допустимые значения углов  $\gamma_{дон}$  :

1- расчетные кривые ; 2- экспериментальные кривые



на языке BASIC на ЭВМ СМ-4 (кривые I), подтвердили достоверность экспериментальных данных.

#### 4.3. Проверка закона управления силами и жесткостью базирующих и других устройств

Для проверки полученного закона управления силами и жесткостью базирующих и других устройств автоматического сборочного оборудования для соединения деталей изделия без их заклинивания в процессе сборки было создано устройство с упругими элементами, размещенными в схвате сборочной машины (рис.4.4).

Эксперименты с таким устройством проводились на вертикально-сверлильном станке модели 2А135 - на цилиндрических стальных валах диаметром  $d_B = 29,98$  мм и длиной 100 мм. Вал устанавливался в отверстие  $D_A = 30,03$  мм. Размеры фаски на валу  $C_B = 1,6$  мм и  $\varphi_B = 45^\circ$ , а в отверстии базовой детали  $C_A = 2,3$  мм и  $\varphi_A = 45^\circ$ . Экспериментальные исследования проводились на стенде, принципиальная схема которого представлена на рис.4.5.

Для исследования процесса установки вала 5 в отверстие базовой детали 4 проводилось измерение штангенциркулем расстояния  $M$  между их наружными образующими в плоскости наибольшего угла скрещивания  $\gamma$  осей посадочных поверхностей соединяемых деталей, а также высота  $H_1$  и  $H_2$  наиболее удаленных точек, находящихся на торцевой поверхности базирующего устройства 2. Преобразователями 6 измерялось расстояние  $\Delta h_1$  на длине  $L = 100$  мм.

По результатам измерений определялось первоначальное относительное смещение  $\omega_{\varphi_{H_A}}$  осей посадочных поверхностей соединяемых деталей и их перекося - угол  $\gamma_H$  (в плоскости  $XOZ$ ):

$$\omega_{\varphi_{H_A}} = 0,5(D-d_B) - M ;$$

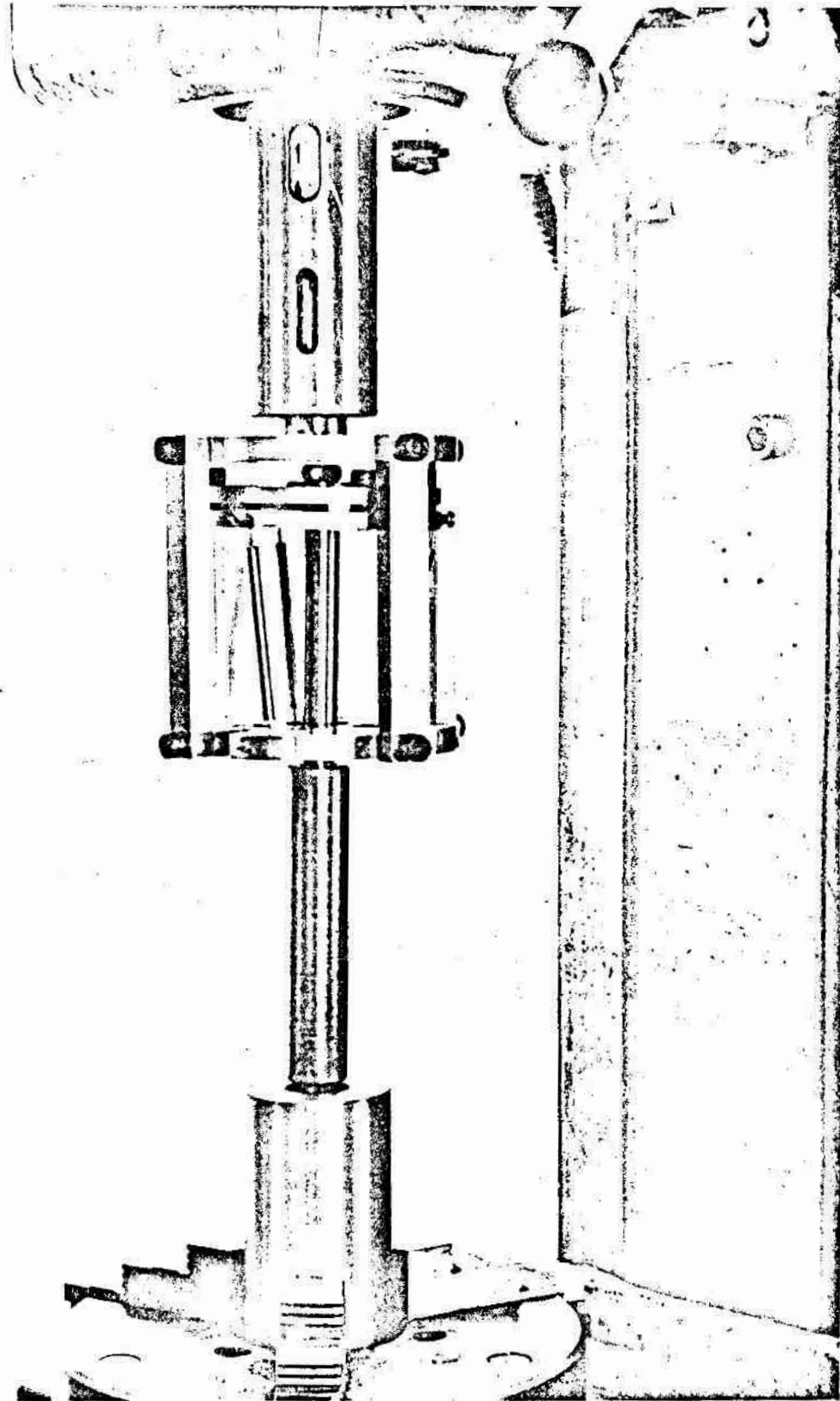


Рис.4.4.Адаптивное сборочное устройство с упругими элементами (компенсаторами)

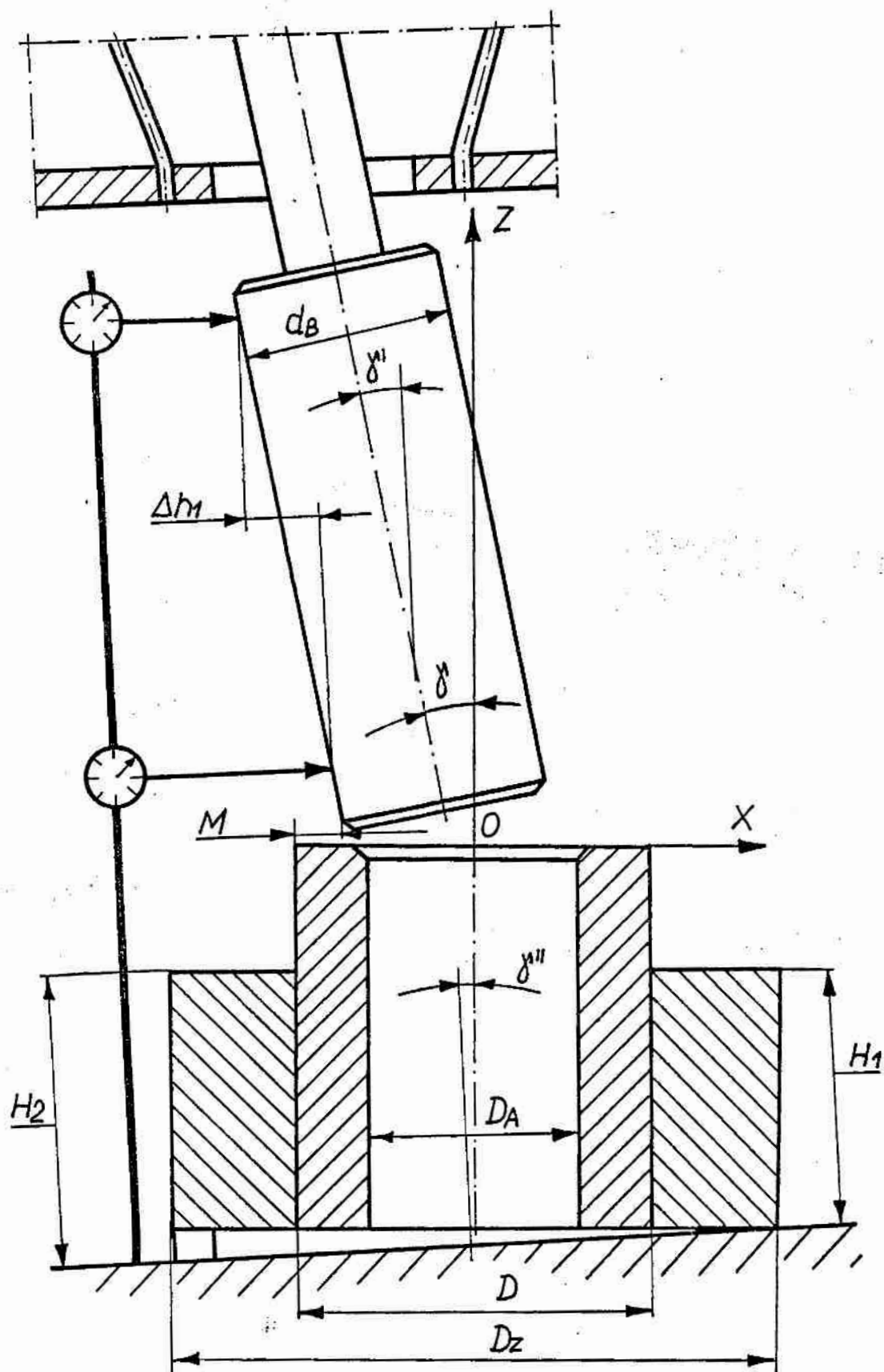


Рис. 4.5. Схема экспериментального стенда

$$\gamma_H = \gamma' + \gamma''$$

где  $\gamma' = \arctg(\Delta h_1/L)$ ;  $\gamma'' = \arcsin[(H_2-H_1)/D_2]$  - угол наклона оси соответственно вала и оси отверстия относительно вертикальной плоскости;  $D_2$  - наружный диаметр базирующего устройства;  $D$  - наружный диаметр базовой детали.

После измерений осуществлялся процесс соединения деталей перемещения путем вертикального шпинделя вместе со схватом со скоростью  $V_0$ . Положительные результаты получены при относительном смещении осей деталей  $\omega_{цн\Delta} = 1,2$  мм и первоначальном угле скрепления этих осей  $\gamma_H = -1,5^\circ$ , а также для  $\omega_{цн\Delta} = 0,9$  мм и  $\gamma_H = 1,05^\circ$  (см. табл. 4.2 и рис. 4.6).

Значения жесткостей  $k_x$  и  $k_\gamma$  получены в результате аттестации сборочного устройства с упругими элементами, по схеме представленной на рис. 4.7, причем при определении жесткости нагрузке подвергались только упругие элементы I (рис. 4.7, а). Перемещение вала  $\Delta X$  под действием массы груза  $G_A$  измерялось преобразователем 3, после чего определялось значение жесткости в направлении действия этой силы.

$$k_x = G_A / \Delta X \quad (4.1.)$$

При определении крутильной жесткости  $k_\gamma$  нагрузке подвергался только упругий элемент 4 (рис. 4.7, б), компенсирующий угловые погрешности  $\gamma_H$ . Значение этой жесткости:

$$k_\gamma = \pi \cdot M_\gamma / (180 \cdot \Delta \gamma), \quad (4.2.)$$

где  $M_\gamma = G_A \cdot l_n$  - момент, действующий на упругий элемент 4;  $l_n$  - плечо действия силы груза  $G_A$ ;  $\Delta \gamma = \Delta h / l_\partial$  - угол поворота вала (упругого элемента 4);  $\Delta h$  - перемещение вала в месте нахождения преобразователя 5, находящегося на расстоянии  $l_\partial$  от упругого элемента 4.

Для деталей, для которых  $G_A = 10$  Н,  $l_\partial = 105$  мм и  $l_n =$

Таблица 4.2.

№	Результаты измерений					
	$\Delta h_1$ (мм)	$H_1$ (мм)	$H_2$ (мм)	$M$ (мм)	$\omega_{\Delta H}$ (мм)	$\delta_H$ (град)
1	-90	80,65	86,20	19,6	0,4	0,70
2	+25	86,20	80,65	19,1	+0,9	-1,11
3	-30	86,25	80,65	18,8	+1,2	-1,47
4	-125	80,90	80,65	19,7	+0,3	-0,85
5	-5	86,80	80,65	19,2	+0,8	-1,44
6	-95	80,65	86,80	19,7	0,3	0,80
7	-45	80,65	86,50	19,1	0,9	1,05
8	-12	86,50	80,65	19,0	+1,0	-1,42

$D = 70 \text{ мм}; D_z = 250 \text{ мм}; \varepsilon = 0^0; m = 0,8 \text{ кг}; \mu = 0,12$

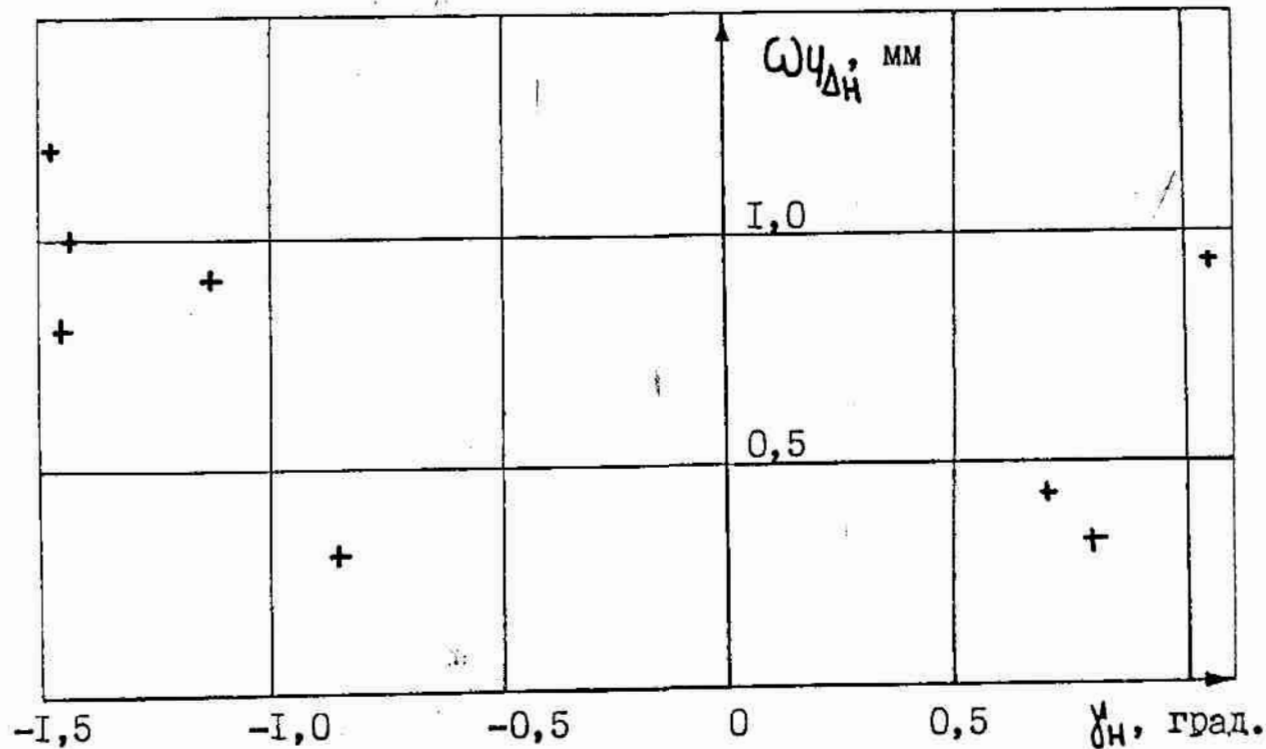


Рис.4.6. Значения погрешности первоначального смещения осей  $\omega_{\Delta H}$  и угла их перекося  $\delta_H$

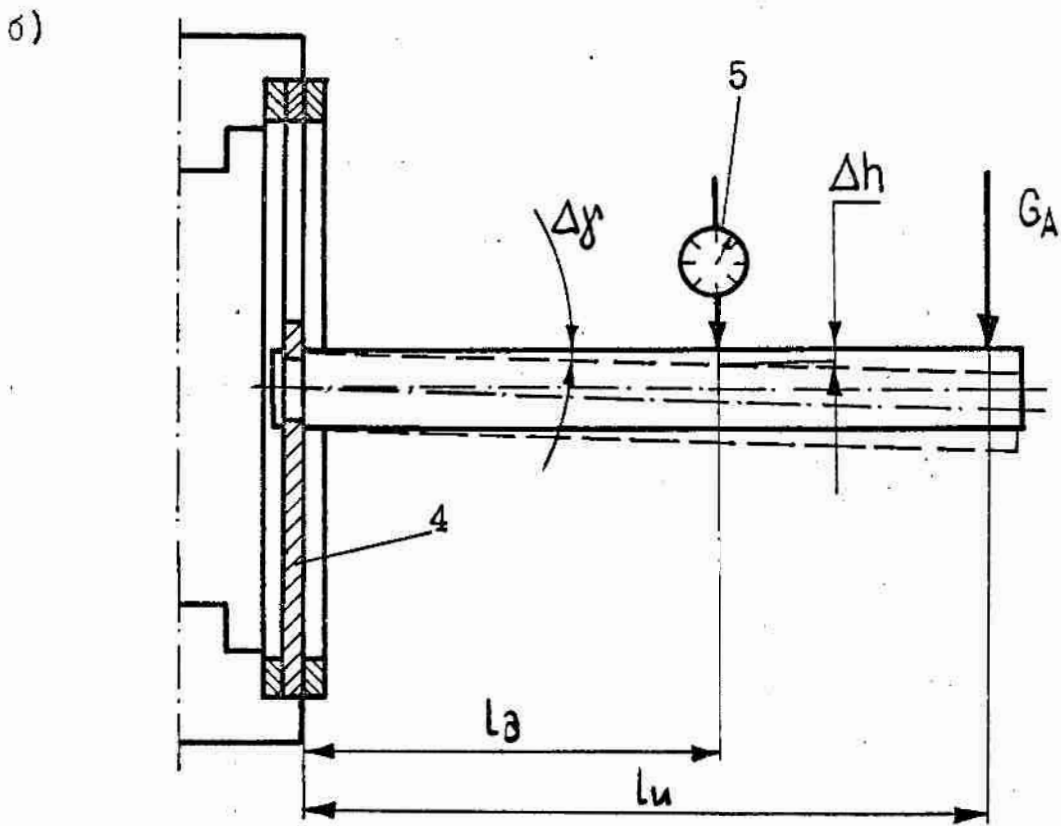
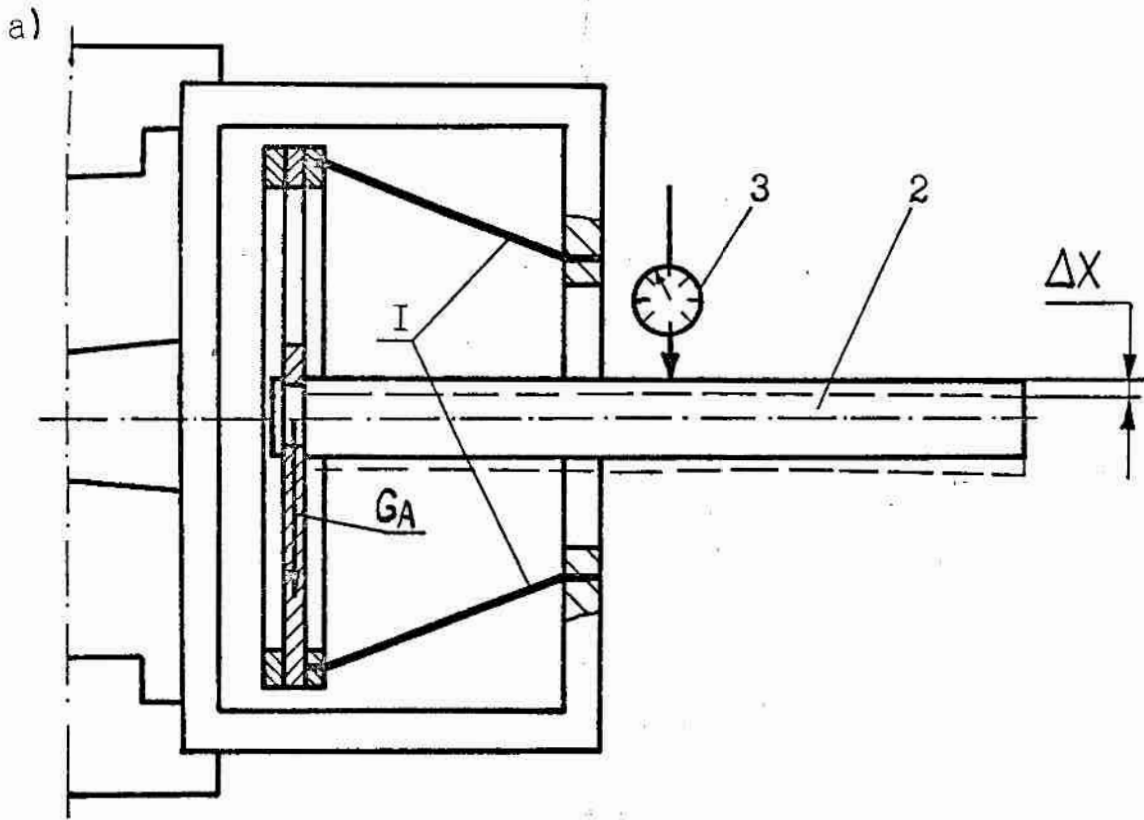


Рис.4.7.Схемы для расчета жесткостей устройства с упругими элементами

= 255 мм, результаты измерений следующие:  $\Delta X = 0,07$  мм;  $\Delta h = 0,26$  мм. На основе этих данных, используя формулы (4.1.) и (4.2.), находим значения жесткостей  $k_x = 143$  (Н/мм) и крутильной  $k_\gamma = 1,79 \cdot 10^4$  (Нмм/град).

Экспериментальные данные сравнивались с расчетными значениями, найденными по программе KXKGAM на ЭВМ СМ-4 (см. приложение 10). Эти данные показывают, что для аттестованных значений жесткостей  $k_x$  и  $k_\gamma$  при указанных выше погрешностях первоначального относительного положения соединяемых деталей их сборка возможна.

Ранее при проведении экспериментов значение сборочной силы не было определено, поэтому воспользуемся результатами исследований сотрудников лаборатории Ch.St.Draper (США) [65]. Принципиальная схема стенда, на котором проводились исследования, представлена на рис.4.8. Соединение цилиндрического вала со втулкой производилось посредством сборочного устройства аналогичного по конструктивному исполнению устройству, представленному на рис. 3.22 и на рис.4.4.

С целью определения сил и моментов, действующих вблизи торцевой поверхности устанавливаемого вала, использовалась сенсорная измерительная система, подключенная к миникомпьютеру, преобразующему полученную информацию от сенсоров и выдающему результаты измерений на дисплей (рис.4.8).

На рис.4.9 показано размещение сенсорных преобразователей  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Y_1$ ,  $Y_2$  по образующим поверхностям цилиндрического стержня 1, ось которого совмещена с осью посадочной поверхности устанавливаемого вала 2. Посредством этих средств измеряются деформации по направлению осей  $x'$  и  $y'$  и повороты около этих осей. Затем полученная информация передается к миникомпьютеру, который осуществляет преобразование ее и передает ее на дисплей. Это зна-



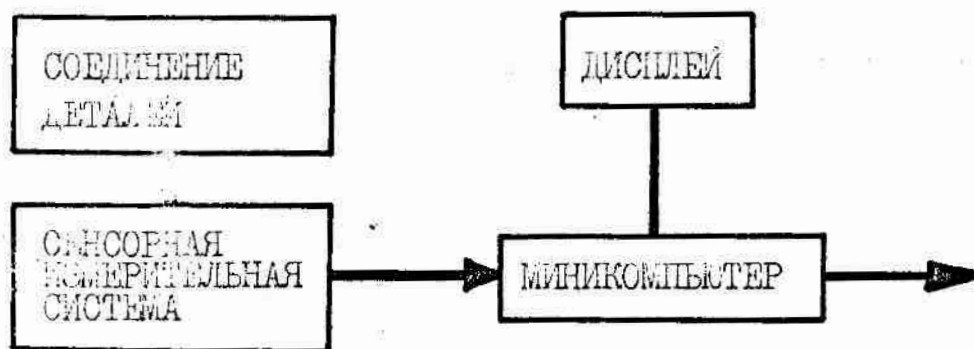


Рис.4.8.Схема экспериментальной установки

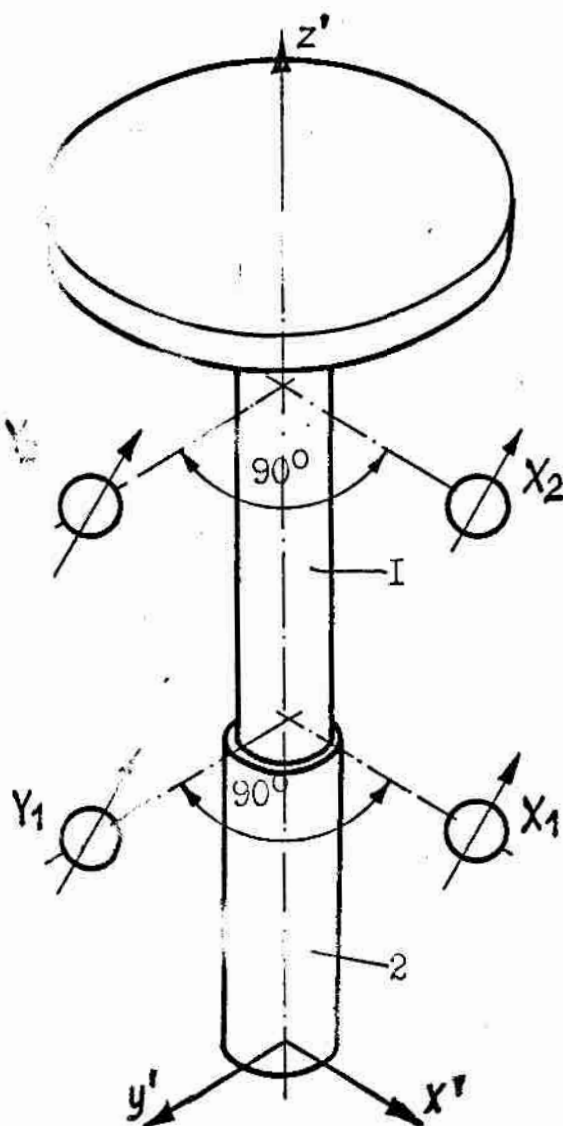


Рис.4.9.Схема расположения сенсорных преобразователей  $X_1, X_2, Y_1, Y_2$

чения сил  $F_{x_0}$  и  $F_{z_0}$  и момента  $M_0$ . Данные силы и момент должны быть приведены к началу системы координат  $x'o'z'$  (рис.4.10).

Для проверки экспериментальных данных необходимо привести систему сил  $F_x$ ,  $F_z$  и момента  $M_{WG}$  из точки  $W$  в системе координат  $XOZ$  в систему сил  $F_{x_0}$ ,  $F_{z_0}$  и момента  $M_0$  в начало системы координат устанавливаемого вала.

Из рис.4.10 имеем:

$$\left. \begin{aligned} F_{x_0} &= F_{xW} \cdot \cos \gamma + F_{zW} \cdot \sin \gamma, \\ F_{z_0} &= -F_{xW} \cdot \sin \gamma + F_{zW} \cdot \cos \gamma, \\ M_0 &= -F_{x_0} \cdot L_W + M_{WG} \end{aligned} \right\} \quad (4.3.)$$

Эти значения сил и моментов рассчитываются с использованием разработанной программы КХКГАМ.

Согласно ранее установленному закону, по которому должны изменяться силы и моменты в процессе соединения деталей без заклинивания, необходимо выполнить следующие условия:

$$M_0^p < M_0^э \quad \text{для} \quad F_{x_0}^p \approx F_{x_0}^э, \quad (4.4.)$$

либо

$$F_{x_0}^p < F_{x_0}^э \quad \text{для} \quad M_0^p \approx M_0^э \quad (4.5.)$$

где  $M_0^p$ ,  $M_0^э$  - соответственно расчетное и экспериментальное значения момента, действующего на вал (приведенного к началу системы координат  $x'o'z'$ );  $F_{x_0}^p$ ,  $F_{z_0}^э$  - соответственно расчетное и экспериментальное значения силы, действующей на устанавливаемую деталь в направлении оси  $x'$ .

Эксперименты проводились на стальных цилиндрических деталях с номинальным диаметром посадочных поверхностей 25 мм. Найденные значения ( $F_{x_0}^э$ ,  $M_0^э$ ) и расчетные значения  $F_{x_0}^p$ ,  $M_0^p$ , а также другие исходные параметры приведены в таблице 4.3 и приложении II.

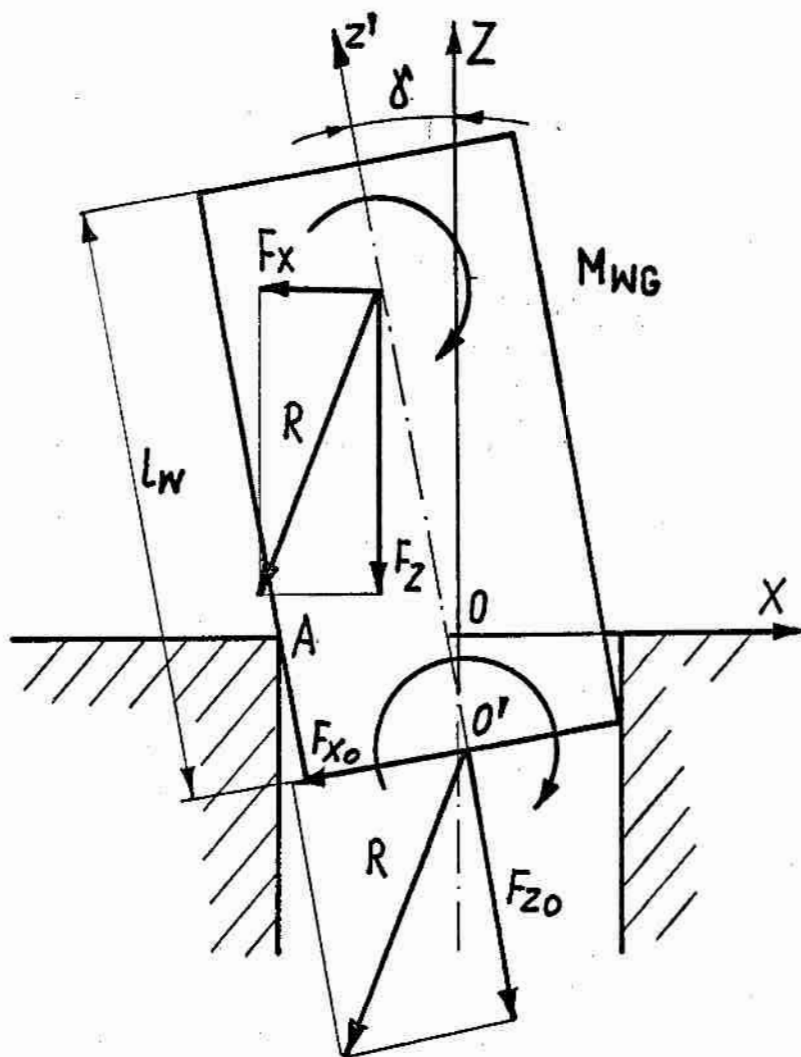


Рис.4.10.Схема для определения сил и моментов, действующих на устанавливаемую деталь

Таблица 4.3.

Исходные данные		$\lambda_H = 3^\circ; D_A - d_B = 75 \text{ мм}; \mu = 0,16$			$\lambda_H = 6^\circ; D_A - d_B = 227 \text{ мм}; \mu = 0,22$		
$F_{X_0}$	$F_{Z_0}, \text{ Н}$	60	91	85	200	58	159
	$F_{X_0}^2, \text{ Н}$	-13	I	-11	31	-54	37
	$F_{X_0}^p, \text{ Н}$	-136,608	5,52279	-228,255	22,6955	-284,374	76,2842
$M_0$	$M_0^2, \text{ Нмм}$	6	300	-500	5500	-1800	5400
	$M_0^p, \text{ Нмм}$	117,35	1161,31	-565,751	2627,49	-1728,82	2409,1

Анализ показал:

1. При сборочной силе  $F_{z_0} = 60$  Н,  $F_{z_0} = 85$  Н,  $F_{z_0} = 58$  Н, когда результирующая сила ( $\vec{R} = \vec{F}_{x_0} + \vec{F}_{z_0}$ ) находится вблизи точки контакта А (см.рис.4.10), выполняется условие (4.5.);

2. Для значений сил  $F_{z_0} = 91$  Н,  $F_{z_0} = 200$  Н,  $F_{z_0} = 159$  Н, когда результирующая сила  $\vec{R}$  находится вблизи точки контакта В (см.рис.4.10), выполняется условие (4.4.);

3. При первоначальном скрещивании осей соединяемых поверхностей деталей  $\delta_n = 3^\circ$  угол  $\delta_c$ , при котором должно происходить их центрирование находится в пределах от  $0,6^\circ$  до  $1,14^\circ$ , а для угла  $\delta_n = 6^\circ$  - от  $1,6^\circ$  до  $2,6^\circ$  (см.приложение II). Для указанного диапазона углов, соответствующих моменту центрирования соединяемых деталей, их автоматическая сборка возможна, об этом свидетельствуют и результаты экспериментов.

Таким образом, численная и экспериментальная проверка, выполненная на большом числе деталей (свыше 300 наименований), в том числе и механических узлов магнитофонов, подтверждают полученные аналитические зависимости, которые могут быть использованы для практических целей.

## ГЛАВА 5. ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ

Исследования связей, действующих в процессе соединения деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором, выполнены первоначально для наиболее простых сборочных механизмов без использования базирующих устройств, затем для более сложных сборочных механизмов с направляющими устройствами и, наконец, для наиболее сложных - с применением адаптивных сборочных устройств. В такой же последовательности выполнены и технико-экономические исследования.

Разработанная методика выявления технической возможности и экономической целесообразности автоматизации сборки изделий показана на рис.5.1. Этот алгоритм является дополнением к ранее разработанной методике проф., д.т.н. А.А.Гусева [17].

Применение этой методики позволяет оценить возможность соединения деталей без их заклинивания и какая из схем сборки может быть использована для этой цели и каковы должны быть технические требования на сборочное оборудование и режимы сборочного процесса.

Кроме того, данная методика позволяет оценить технологичность соединяемых деталей и определить жесткость базирующих и других устройств, а также сборочных механизмов с компенсирующими упругими элементами в системе СПИД.

Разработанные программы на ЭВМ (ZAKLIN , ZBYH , DLINAL , DLINTU , KXKGM и ADAUST ) в виде пакета программ позволят сократить сроки проектирования автоматического сборочного оборудования и установить технически обоснованные требования к его точности и технологической оснастке, а также рассчитать режимы сборочного процесса.

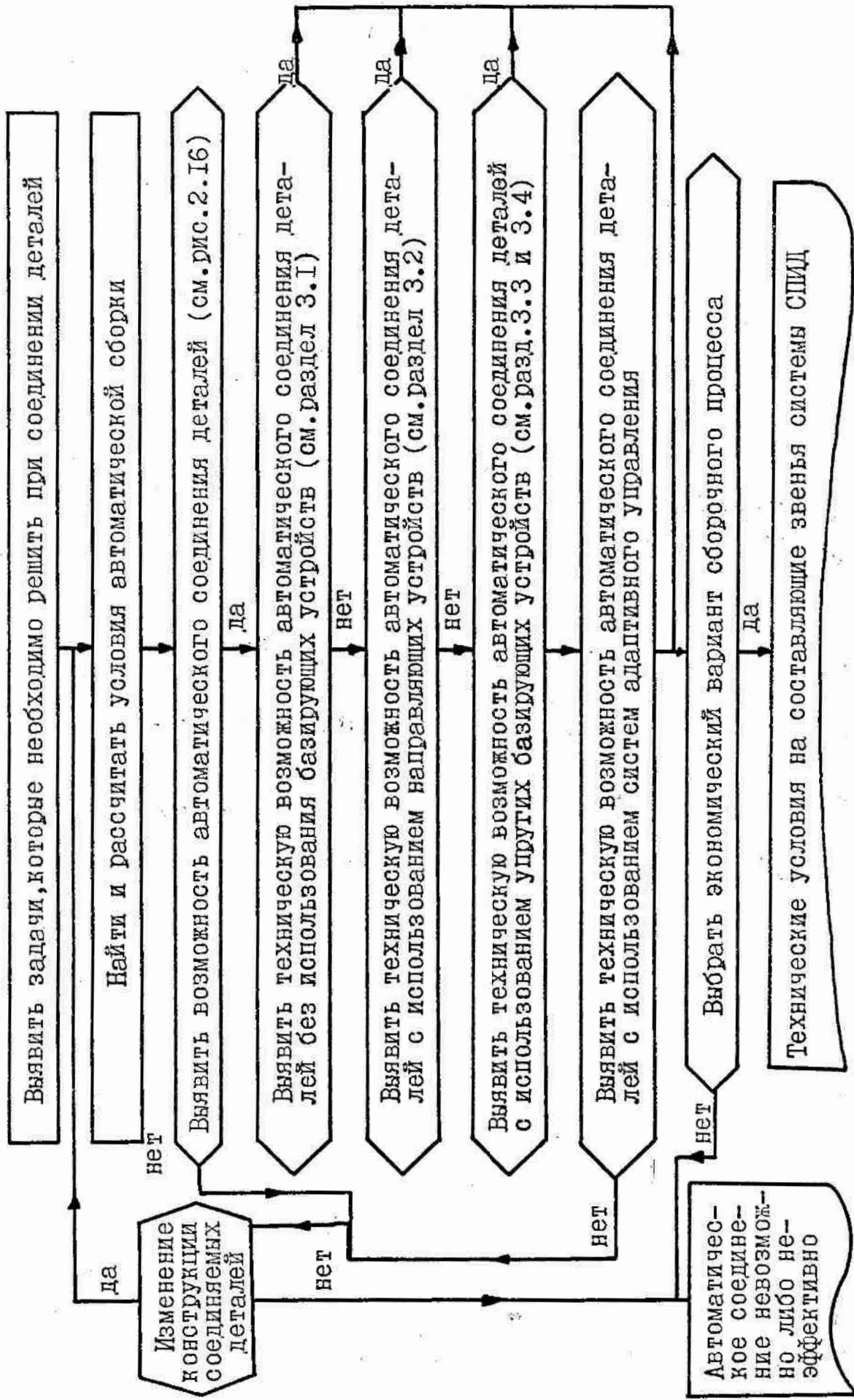


Рис. 5.1. Методика выявления технической возможности и экономической целесообразности автоматизации сборки изделий



Данная методика прошла опробование при проектировании автоматических комплексов для сборки механических узлов магнитофонов в МКТБ радиотехнической промышленности СССР.

Согласно разработанной методике (см.рис.5.1), после выявления задач, которые необходимо решить при соединении деталей, по программе **ZAKLIN** на ЭВМ исследовалась возможность автоматического соединения деталей без заклинивания. Расчеты производились приблизительно для трехсот соединений с гарантированным зазором. Результаты этих расчетов показали, что в большинстве случаев (около 80%) возможно заклинивание деталей, если зазор в соединении имеет минимальное значение, то есть отверстие в детали изготовлено по нижнему предельному отклонению, а диаметр вала по верхнему предельному отклонению, откуда следует, что вероятность заклинивания весьма велика.

Спроектированный МКТБ комплекс, состоящий из 3-х механизированных и 13 модулей для автоматической многонаменклатурной сборки шасси магнитофонов из-за необоснованного назначения точностных требований на оборудование и технологическую оснастку, а также на соединяемые детали оказался бы неработоспособным из-за большого числа отказа сборочного оборудования из-за заклинивания соединяемых деталей.

Стоимость каждого автоматического сборочного модуля составляет 20 тыс.рублей, а затраты на 13 модулей, входящих в один комплекс - 260 тыс.рублей. Эти средства оказались бы напрасно затраченными. К тому же не эффективно использовались бы и другие системы технологических средств комплексного участка: транспортные, управления комплексом, склады и др.

Кроме этого можно обеспечить получение экономического эффекта от внедрения при проектировании сборочной оснастки за счет

[ 27, 46 ]:

1 - снижения трудоемкости проектирования,  $E_1$ ; 2 - ускорения процессов подготовки производства изделий,  $E_2$ ; 3 - улучшения качества проектируемых сборочных машин,  $E_3$ ; 4 - повышения эффективности труда инженеров,  $E_4$ ; 5 - сокращения затрат на подготовку инженерных кадров,  $E_5$ ; 6 - сокращения брака,  $E_6$ .

Общий экономический эффект от внедрения проектирования сборочного оборудования оценивается:

$$E = \sum_{i=1}^6 E_i$$

Однако не все составляющие этой суммы поддаются точному определению. Для некоторых из них существуют методы приближенной оценки.

Годовой экономический эффект от снижения трудоемкости проектирования сборочного оборудования определяется по формуле приведенных затрат [ 27 ] путем сопоставления затрат в базовом и внедряемом варианте.

$$E_1 = [(C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n \cdot K_2)] \cdot Q,$$

где  $C_1, C_2$  - стоимость проектирования одной сборочной машины средней сложности соответственно в базовом и внедряемом вариантах;

$E_n$  - нормативный коэффициент окупаемости капитальных затрат;

$K_1, K_2$  - удельные капитальные затраты в базовом и внедряемом вариантах;

$Q$  - годовой объем проектируемых сборочных машин: по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^m (h'_i + h''_i),$$

где  $h'$ ,  $h''$  - соответственно количества сборочных машин  $i$ -той группы сложности, проектируемые за год при технологической подготовке производства и оснащения производства;  $m$  - количество

групп сложности конструкции сборочных машин.

Себестоимость проектирования одной сборочной машины в базовом или внедряемом вариантах:

$$C_{1,2} = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i \cdot k_i$$

где  $t_i$  - затраты времени выполнения  $i$ -ой проектной операции в базовом (внедряемом) варианте;

$C_i$  - стоимость затрат на выполнение  $i$ -ой операции;

$k_i$  - коэффициент, учитывающий накладные расходы (если операция машинная, то  $k_i = 1$ );

$n$  - число проектных операций, выполняемых для получения необходимого комплекта конструкторско-технологической документации.

При ручном проектировании выполняются следующие операции: ознакомление с заданием; разработка сборочного чертежа автоматической сборочной машины; составление спецификации; детализовка; проверка чертежей и др. При автоматизированном проектировании учитываются операции: кодирование входных данных; перфорация и ее контроль; программное решение проектных задач на ЭВМ с получением текстовых документов и др.

Затраты на ручные операции определяются заработной платой инженерно-технических рабочих. Затраты на машинные операции, связанные с себестоимостью 1 час. работы ЭВМ [27].

$$C_{ЭВМ} = \frac{Z_{\text{эксн}}}{\Phi_2} = \frac{1}{\Phi_2} \cdot \sum_i Z_i$$

где  $Z_{\text{эксн}}$  - эксплуатационные годовые затраты ЭВМ;  $\Phi_2$  - годовой фонд полезного времени ЭВМ;  $Z_1$  - фонд основной и дополнительной зарплаты персонала, обслуживающего ЭВМ;  $Z_2$  - сумма годовых амортизационных отчислений;  $Z_3$  - стоимость электроэнергии, потребляемой ЭВМ за год;  $Z_4$  - стоимость ремонта основного и вспомогатель-

ного оборудования;  $Z_5$  - стоимость содержания помещений;  $Z_6$  - годовая стоимость вспомогательных материалов, связанных с эксплуатацией ЭВМ;  $Z_7$  - стоимость прочих косвенных расходов. Работа [27] рекомендует брать  $Z_{\text{экл}} = 0,3 \cdot C_{\text{э}}$  (где:  $C_{\text{э}}$  - стоимость ЭВМ по прейскуранту).

Капитальные затраты при внедрении автоматизированного проектирования сборочного оборудования включают предпроизводственные затраты  $K_{\text{пр}}$  на разработку и внедрение системы и долю затрат на приобретение ЭВМ и др. Удельные капитальные затраты можно определить:

$$K_2 = \frac{K_{\text{пр}}}{Q} + \frac{C_{\text{э}} \cdot t_1 + C_{\text{т}} \cdot t_2}{\Phi_2}$$

где  $C_{\text{т}}$  - стоимость терминалов, специально приобретенных для автоматизированного проектирования;  $t_1$  - время ЭВМ, затрачиваемое на проектирование одной сборочной машины;  $t_2$  - время, затрачиваемое на получение комплекта информации от ЭВМ.

Вопросы оценки эффективности автоматизации проектирования сборочного оборудования в настоящее время пока не разработаны. Тем не менее, они могут образовать весомую составляющую в общем эффекте, который будет достигнут в результате внедрения разработанного пакета программ на ЭВМ при автоматизированном проектировании сборочного оборудования.

Затрачиваемое время на отдельные операции автоматизированного проектирования может сократиться в 10-12 раз, а стоимость проектирования - в несколько раз.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты данной законченной научно-исследовательской работы способствуют выполнению государственных комплексных целевых научно-технических программ по сокращению ручного труда и созданию промышленных роботов и манипуляторов и обеспечивают решение актуальной научной задачи по повышению эффективности этих технологических средств при автоматическом соединении деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором за счет исключения их заклинивания в процессе сборки изделий на автоматических сборочных машинах и комплексах.

На основании выполненных исследований:

1. Познаны закономерности образования комплекса взаимозависимых связей: размерных, кинематических, динамических и свойств материалов, действующих в процессе соединения деталей по поверхностям вращения.

2. Найденные закономерности позволили дать математическое описание сборочного процесса для первоначального этапа соединения деталей при нежестком базировании одной из них и определить качественную и количественную связь с последующим этапом этого процесса.

3. Установлено и доказано, что переменные значения величин допусков на смещение и поворот осей посадочных поверхностей соединяемых деталей в значительной мере зависят от условий их заклинивания.

4. Определены условия заклинивания соединяемых деталей с учетом их размеров, относительного положения, физико-механических свойств, а также выбранных схем базирования деталей, величины, направления и места приложения действующих сил и моментов.

5. Выявлены связи, которые позволяют количественно оценить



техническую возможность использования тех или иных автоматических сборочных машин, назначить на них технически обоснованные требования, рассчитать режимы технологического процесса: скорость поступательного движения рабочего инструмента и необходимую величину сборочной силы.

6. Найдены условия автоматического соединения деталей, исключаящие их заклинивание, которые позволяют устанавливать закон управления действующими в процессе сборки силами и моментами, а также жесткостью базирующих и других устройств системы СПИД.

Это дает возможность осуществлять управление перемещением устанавливаемой детали путем воздействия на компенсирующие звенья системы СПИД посредством задания им определенной жесткости, требуемого положения и направления их перемещения относительно устанавливаемой детали.

7. Выполненные исследования дали возможность создать простое универсальное устройство для соединения цилиндрических деталей с зазором не более 50 мкм, если первоначальные погрешности их относительного положения не превышают  $\delta X_H / 2 = 0,9 \div 1,2$  мм и  $\gamma_H$  от  $- 1,5^\circ$  до  $+ 1,05^\circ$ .

8. Разработана и опробована в производственных условиях методика выявления технической возможности и экономической целесообразности сборки соединений деталей с гарантированным зазором, которая пригодна также для конических соединений, цилиндрических деталей, сопрягаемых с натягом, резьбовых, шлицевых, прямоугольных и других деталей на первоначальном этапе их сборки.

Эта методика дает возможность выбрать рациональную схему сборки соединений деталей, установить технически обоснованные требования к точности автоматических сборочных машин и их технологической оснастки и режимам сборочного процесса.

Данная методика реализована в виде пакета программ для ЭВМ и использована при проектировании автоматических сборочных комплексов для механических узлов магнитофонов. Ее применение на практике позволило исключить создание неработоспособного автоматического комплекса для многонаменклатурной сборки шасси магнитофонов и значительно сократить сроки проектирования автоматических сборочных машин и их технологической оснастки.



Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Анищенко С.А. Управление адаптивным манипулятором с использованием информации от силоизмерительных датчиков. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 1982, с.21.
2. Арпентьев Б.Н. Электромагнитная сборка соединений по цилиндрическим посадочным поверхностям. В кн. Научные основы автоматизации сборки машин. "Машиностроение", М., 1976, 253-260.
3. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. "Машиностроение М.", 1969, 368 с.
4. Будняк З., Гусев А.А. Обеспечение качества соединений и надежности работы автоматических сборочных машин. Механизация и автоматизация производства, 1983, №4, с.10-15.
5. Воронин А.В., Левчук Д.М. Особенности автоматической сборки подвижных соединений с помощью вращающегося потока газов. В кн. Автоматизация сборочных процессов в машиностроении. "Наука", М., 1979, 89-93.
6. Воронин А.В. Основные закономерности сборки машин и их частей. В кн.: Автоматизация сборочных процессов в машиностроении. "Наука", М., 1979, 21-26.
7. Воронин А.В., Стржемечный М.М., Писарев Е.В. Особенности сборки пар вал-втулка с гарантированным зазором при трехточечном касании. Автомобильная промышленность, 1974, №1, с.32-33.
8. Воронин А.В., Стржемечный М.М., Писарев Е.В. Проектирование устройств, обеспечивающих автоматическую сборку соединений типа вал-втулка. В кн.: Научные основы автоматизации сборки машин. "Машиностроение", М., 1976, 200-208.
9. Герасимов А.Г. Обоснование режимов автоматической сборки и

- управление процессом соединения деталей. В кн.: Научные основы автоматизации сборки машин. "Машиностроение", М., 1976, 141÷160.
10. Гусев А.А. Автоматизация сборочных работ. "Знание", М., 1975, 64с.
11. Гусев А.А. Адаптивные устройства сборочных машин. "Машиностроение", М., 1979, 208с.
12. Гусев А.А. Влияние геометрических параметров деталей на автоматизацию процесса сборки шпоночных и шлицевых соединений. В кн.: Научные основы автоматизации сборки машин. "Машиностроение", М., 1976, 239 ÷ 252.
13. Гусев А.А., Митрофанов В.Г. Универсальная сборочная машина. А.с. 217291, 1966.
14. Гусев А.А. Расчет норм точности автоматических сборочных машин. Руководящие технические материалы. М., НИИМАШ, 1974, 83с.
15. Гусев А.А. Расчет режимов сборочного процесса. В кн.: Автоматизация сборочных процессов в машиностроении. М., "Наука", 1979, 27÷37.
16. Гусев А.А. Способ определения условий осуществления сборки деталей, сопрягаемые поверхности которых имеют ось симметрии, на сборочных машинах. А.с. 199657, 1966.
17. Гусев А.А. Технологические основы автоматизации сборки изделий. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М., 1979, 496с/276с/.
18. Гусев А.А. Универсальная автоматическая сборочная машина. В кн.: Самоподнастраивающиеся станки. М., "Машиностроение", 1970, 381÷405.
19. Гусев А.А. Устройство для определения условий осуществления сборки соединений деталей. А.с. 208"-", 1966.
20. Гюйгенс Х.Г. Три мемуара по механике. О движении тел под влиянием удара. Изд-во АН СССР, 1951.
21. Замятин В.К. Анализ технологических схем сборочных механизмов, применяемых при автоматической сборке, и рекомендации по их



- по машиностроению. Станкостроение, серия С-1.М., 1980, с.70.
33. Молодкин В.Д. Условия автоматического соединения деталей с различными поверхностями сопряжения. В кн.: Научные основы автоматизации сборки машин. "Машиностроение", М., 1976, 208÷213.
34. Муценек К.Я. Разработка технологических процессов автоматической сборки. В кн.: Научные основы автоматизации сборки машин. "Машиностроение", М., 1976, 75÷83.
35. Никитин А.Б. Разработка методики расчета при проектировании позиций сборочных автоматов и линий. В кн.: Тр. Н-И и Эксперим. ин-т автомат. электрооборуд. и автоприборов, 1980, №48, 108÷112.
36. Новиков М.П. Основы технологии сборки и механизмов. "Машиностроение", М., 1980.
37. Рабинович А.Н. Проблемы ориентации деталей при автоматической сборке. В кн.: Научные основы автоматизации сборки машин. "Машиностроение", М., 1976, 120÷130.
38. Рабинович А.Н. Разновидности автоматических сборочных машин. В кн.: Автоматизация сборочных процессов в машиностроении. "Наука", М., 1979, 122÷126.
39. Сальвадори М.Дж. Численные методы в технике. Пер. с англ., М., Иностранная лит., 1955, 247с.
40. Смилянский В.И. Оптимизированные усилия и скорости при автоматической сборке подвижного соединения "валик втулка". В кн.: Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении. Львов, 1972, с.168÷172.
41. Солодов М.Д. Анализ погрешности относительного смещения осей сопрягаемых поверхностей при автоматической сборке цилиндрических соединений. "Известия ВУЗов", "Машиностроение", 1974, №2, с.190-192.
42. Солодов М.Д. Проектирование исполнительных механизмов для авто-

- матической сборки по критерию надежности. "Тр. МВТУ им. Н.Э. Баумана", 1981, №348, с. 61-72.
43. Сэиузмон Инава. Гибкая производственная система и ее ячейка. Фирма "Фудзицу Фанук ЛТД. I<sup>0e</sup> издание, июль, 1981 г.
44. Тьетце И., Будер Г. Оценка возможности автоматизации сборочных процессов и критерии выбора машин. Перевод с немецкого языка статьи из журнала " ", 1977, т. 27, №2, с. 102-104.
45. Фильчаков П.Ф. Справочник по высшей математике. "Наукова думка", Киев, 1974.
46. Хачатуров Т.С. Экономическая эффективность капитальных вложений. М., Машиностроение, 1979, с. 279.
47. Храбров А.С., Балаболин Н.А. Принципы несобираемости сборочных единиц в автоматическом цикле. В кн. Научные основы автоматизации сборки машин. Под ред. д-ра техн. наук проф. М.П. Новикова. "Машиностроение", М., 1976, с. 192÷199.
48. Храбров А.С. Совершенствование процессов автоматизации сборочных работ. Л., "Машиностроение" Ленингр. отд-ние. 1979, 230с.
49. Шрайбман И.Н. О выборе рациональной степени автоматизации сборочных процессов. В кн.: Научные основы автоматизации сборки машин. "Машиностроение", М., 1976, 105÷113.
50. Юзепчук С.А. Техничко-экономические основы сборочных процессов в машиностроении. "Машиностроение". М., 1977, 230с.
51. Яхимович В.А. Методы и средства направленного совмещения и сборки деталей. В кн.: Научные основы автоматизации сборки машин. М., "Машиностроение", 1976, с. 131÷141.
52. Assembly and fastener engineering exhibition. Machinery and Production Engineering, 1973, 123, №3179, 571÷575.
53. Assembly robot with a sense of 'touch'. Machinery and production



- engineering . I35, №3492, I979.
54. Brussel H., Simons Y., Peters Y., Robot Assembly by Active Force Feedback Accommodation CIRP Ann., I979, 28, №1, c.397 ÷ 401.
  55. Collion H. Mc., Johnson G. R., Dham D. T. : A compliant device for inserting a peg in hole "The Industrial Robot". №6, I979.
  56. Hoenow G., Modler K u gp. Automatisierung der Montage von Baugruppen der Maschinenbaus im Bereich kleiner bis mittlerer Serien. "Fertigungstechnik und Betr." I982, 32, №8.
  57. Jacobi Peter : Fügemechanismen für die automatisierte montage mit industrierobotern Wissenschaftliche Schriftenreihe der Technischen Hochschule Karl - Marx - Stadt, II/I982.
  58. Leyko Y. Mechanika ogólna. Statyka, t. I. DWN . W., I978.
  59. Nevins Y. L., Hasegawa U., Present status and future of assembling robots" Confr. Sci, and Technol Drogr. Soc. Proc. 8 th Trienn. World Congr. Ynt. Fld. Autom. Contr., Kyoto, 24 - 28 Aug. I981, vol. 4 " Oxford e. a. I982, c. 2187 - 2188.
  60. Nevins Y. L., Whitney D. E. Exploring new assembly concepts. American , Machinist, №3, I978.
  61. Nevins Y. L., Whitney D. E. Research issues for automatic assambly. Inf. Conf. Probl. Manuf. , Technol, Proc., IFAC. Int., Symp. Tokyo, I977, Oxford , e. a. I978, I5 - 24.
  62. Opalinski S. Tendencje w poszukiwaniach nowych automatycznych maszyn montażowych. Mechanik., №10, I980, c. 564 ÷ 565.
  63. Programmably robots - the key to assembly's fudre. Metallwork. Prod., I979, I23, №6, c. I42 ÷ I43.
  64. Schraft D., Haaf D. Einsatz taktiler und visveller Sensoren zam Fügen mit Industrie Robotern. Ind. Anz, I980, I02, №18, c. 20 ÷ 23.
  65. Simunovic S. Force Information in Assembly Processes. 5 th International Symposium on Industrial Robots, Chicago,

September 1975, c. 415 ÷ 431.

66. Stout K., Thomas A.F. How robots are improving their eyesight.

Prod. Eng., 1980, 59, №3, 29 ÷ 34.

67. Volmer M., Jacobi P., Hühnel K. Fügemechanismen mit nachgiebigen

Gliedern für Montage - Industrieroboter. Maschinenbautechnik,

29, №3, 1980, c. 115 ÷ 117.

68. Volmer M., Jacobi P., Hühle F., Langer V. Montage mit sensorges -

teuertem Greifer // Maschinenbautechnik, 1980, 29, №4, c. 165 ÷ 169.



ПРИЛОЖЕНИЕ I

## Словнаčenja принятых идентификаторов основной программы ZBYH

A - a	GG - G	X $\dot{C}\emptyset$ - X $\dot{C}_0$	PQ - p $\dot{Q}$
CA - C $\dot{A}$	GP - $\dot{g}$	XPC $\emptyset$ - X $\dot{C}_0$	PZQ - p $\dot{Q}^*$
CB - C $\dot{B}$	G - $\dot{g}$	X $\emptyset$ - X $\dot{0}$	Q - q
DA - D $\dot{A}$	G $\emptyset$ - $\dot{g}_0$	X $\dot{B}$ - X $\dot{B}$	N1 - N $\dot{1}$
DB - d $\dot{B}$	GP $\emptyset$ - $\dot{g}_0$	ZCH - Z $\dot{C}_H$	T - t
DF - D $\dot{F}$	JG - J $\dot{c}$	ZHH - Z $\dot{H}_H$	THETA - $\Theta$
DT - $\Delta t$	LC - L $\dot{c}$	ZPCH - Z $\dot{C}_H$	TH - t $\dot{H}$
DZ - $\Delta Z$	LD - L $\dot{d}$	ZUH - Z $\dot{U}_H$	VU - V $\dot{U}$
DDT - $\delta T$	LF - L $\dot{f}$	ZSH - Z $\dot{S}_H$	VCS - V $\dot{C}_S$
DDW - $\delta W$	LK - L $\dot{k}$	ZS1H - Z $\dot{S}'_H$	
DZ1 - $\Delta Z'$	M - m	ZS - Z $\dot{S}$	
DX1 - $\Delta X'$	MM - $\mu$	ZS1 - Z $\dot{S}'$	
E - $\dot{E}$	MQ - m $\dot{Q}$	ZC - Z $\dot{c}$	
EE - E	MK - M $\dot{k}$	ZPC - Z $\dot{C}$	
FA - $\dot{\varphi}_A$	XCH - X $\dot{C}_H$	ZH - Z $\dot{H}$	
FB - $\dot{\varphi}_B$	XHH - X $\dot{H}_H$	ZU - Z $\dot{U}$	
FK - $\dot{\varphi}_k$	XPCH - X $\dot{C}_H$	ZQ - Z $\dot{Q}$	
FD - $\dot{\varphi}_d$	XSH - X $\dot{S}_H$	ZC $\emptyset$ - Z $\dot{C}_0$	
FH - $\dot{\varphi}_H$	XS1H - X $\dot{S}'_H$	ZPC $\emptyset$ - Z $\dot{C}_0$	
FG - $\dot{\varphi}_G$	XS - X $\dot{S}$	ZPPC - Z $\dot{C}$	
FS - $\dot{\varphi}_S$	XS1 - X $\dot{S}'$	ZB - Z $\dot{B}$	
FT1 - $\dot{\varphi}_{T1}$	XC - X $\dot{c}$	K - k	
FQ - $\dot{\varphi}_Q$	XPC - X $\dot{C}$	P - p $\dot{H}$	
GH - $\dot{g}_H$	XH - X $\dot{H}$	PZ - p $\dot{Z}$	
GPH - $\dot{g}_H$	XQ - X $\dot{Q}$	P1 - p $\dot{1}$	

Инструкция по работе с программой для расчета  
дифференциальных уравнений

1. Загрузить ОС РАФОС ( RT -11 ):

поставить дисковый носитель и загрузить в ОП - оперативная память, адрес I73II0, и нажать клавишу "пуск"; ввести дату II-MAR-83 и время TI II:00; набрать @ ME и отвечать на вопросы Y или N (ДА или НЕТ) и "BK": где BK - возврат каретки.

2. Можно прямо вызвать расчетную программу, набрав на клавиатуре терминала RUN Q1 .

3. Для того, чтобы распечатка производилась на АЦПУ ( LP :) необходимо на клавиатуре терминала набрать команду ASS TT : LP :, отменить ее можно командой DEAS / DEASSIGN

4. Можно вызвать программу MENU.PGN , написанную на языке PAGEN посредством вызова косвенного командного файла ME.COM таким образом: @ ME < BK > .

5. Отвечать на вопросы программы MENU Y или N (см. пример).

6. После того, как отработает программа MENU , она запишет требуемое задание в косвенный командный файл MENU.COM и вызовет его.

7. При необходимости можно внести изменения в исходные данные не только в течение диалога, но и в исходный файл с данными, который называется DATA.FOR , посредством вызова любого доступного редактора ( K2000, K340, EDIT , TESCO) и изменения данных в формате: первые четыре символа отводятся на указание измеряемой переменной, далее следует знак "=", после чего новое значение переменной в формате REAL .

8. Возможно изменение без перетрансляции программы как в файле DATA.FOR , так и в диалоге следующих переменных: CA, CB, DA, DB, LC, LF, LD, FA, FB, FK, G, XCH, ZCH, GRH, XPRH, ZPRH, M, EE, VU...

Если необходимо внести изменения в другие переменные, необходимо отредактировать исходные тексты программ и вновь оттранслировать программу (вызывая  $\text{Q ME}$  и отвечая на вопросы).

### 9. Работа с программой.

Загруженная программа сначала считывает исходную информацию из файла DATA.FOR и высвечивает на экране дисплея все то, что считывается из этого файла и задает вопрос:  $\text{IOD : ЕЩЕ ИЗМЕНЕНИЯ?}$

Если потребны изменения, то необходимо набрать для изменяемой переменной (на это отводится 4 символа), если набрано меньше - дополнить остальное пробелами (см. пример).

Программа вводит (изменяет) занесенное значение и вновь спрашивает о необходимых изменениях. Если изменений больше нет, то нужно ввести  $\langle \text{BK} \rangle$ .

10. Если программа входит в долгий цикл, то на экране дисплея высвечивается "СЧИТАЕТСЯ ЦИКЛ; ЖДИТЕ!".

11. Работу программы можно остановить двойным вводом  $\text{CTRL(C)}$ . При выходе из программы появляется сигнал монитора РАФОС о готовности принимать новую команду: ".".

12. Пример диалога высвечиваемого на терминале:

```
РАФОС-ХМ (версия)
ДАТА 11-ДЕС-82
ТИМЕ 11:00
. Q ME
.....МЕНЮ .....
РАСЧЕТ?  У      ?  У
РАСПЕЧАТКА НУЖНА?  У ?  У
DT      = 0.3
...
IOD : ЕЩЕ ИЗМЕНЕНИЯ?
DT      = 0.005
IOD : ЕЩЕ ИЗМЕНЕНИЯ?
(расчет)
```

```

PROGRAM ZBYSH
INTEGER *4 J0, J1, J2, J3          ! ВРЕМЯ
LOGICAL *1 TIM(8)                 ! ВРЕМЯ
INTEGER STEP
EXTERNAL FDY1, OUTDY1, FDY2, OUTDY2
DIMENSION AUX(8,6), DERY(6), PRMT(5), YY(6)
REAL N1, N2, N3, N4, JC, M, MM, K, LC, N, MB, LD, LF, LK, MK, MQ
COMMON /BEYT/ NPRI, NTT, NREA
COMMON /ALEF/ N1, N2, N3, N4, AT1, AT2, AX, AY, AZ, BX, BZ
COMMON /GIML/ CA, CB, CF, DA, DB, DF, DT, DZ, DDT, DDB, DDW
COMMON /ZAIN/ EE, FA, FB, FK, GH, GPH, TH, VU
COMMON /HEW/ JC, LC, LD, LF, M, MM
COMMON /VAV/ XCH, ZCH, XHH, ZHH, XPSH, ZPSH, ZUH
DATA ISW/0/

```

```

1  FORMAT(' STOP FROM', I4, 9X, 'КОЛ-ВО ОБРАЩЕНИЯ К ДУ', 2I4 /)
2  FORMAT (' ОШИБКА ЧТЕНИЯ ФАЙЛА ДАННЫХ !')
3  FORMAT(X, //, ' ДУ', 2X, 'Т', 8X, 'ХС', 10X, 'ЗС', 10X, 'G', 6X, 'ХРС',
1  8X, 'ZPC', 7X, 'GP', 11X, 'ХРР', 9X, 'ZPP', 10X, 'GPP', 9X,
2  'N1', 7X, 'TIME', //)
4  FORMAT(29X, 'ВРЕМЯ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ: ', 9A1)
5  FORMAT (I2, X, F5.3, F12.7,
1  F12.7, F10.5, F10.5, F10.6 , 2F12.8, F13.6, F12.7, F12.7, X, 8A1)
6  FORMAT(X, /, ' ZU=', F10.6, ' ; XB=', F12.6, ' ; ZB=', F12.7, ' ; XH=',
1  F12.7, ' ; ZH=', F12.7, ' ;', /, ' DDB=', F13.8, ' ; DDT=', F13.8,
2  ' ; DDW=', F13.8, ' ;')
7  FORMAT(' СЧИТАЕТСЯ ЦИКЛ: ЖДИТЕ!')
8  FORMAT(' K=', F11.6, ' ; Q=', F11.6, ' ; FH=', F10.7, ' ; FS=',
1  F10.7, ' ; PO=', F11.6, ' ;', /, ' ЭТА=', F10.7, ' ; XHH=',
2  F10.5, ' ; ZHH=', F10.5, ' ; P*=', F11.6, ' ; FD=', F10.7, ' ;', /)
9  FORMAT(9(/), ' ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ', //, ' DA, DB, DF, CA, CB, CF'
1  , 6F8.2, //)
10  FORMAT(5X, 'LC', 10X, 'JC', 14X, 'VU', 13X, 'ZUH', 11X, 'XCH',
1  11X, 'ZCH', 11X, 'LF', /, 1X, 8F14.6)
11  FORMAT(' GH, W, FA, FK, ЭПСИЛОН, MQ, M, MB, H', /, 2F14.11, 7F13.9, )
12  FORMAT(X, ///, ' РЕЗУЛЬТАТ РАСЧЕТА: ')

```

```

C =====
DEG(X)=X*(3.14159265/180.0)          ! ПОДПРОГРАММИ
GRD(X)=X*(180./3.14159265)         ! ФУНКЦИИ
TAN(X)=SIN(X)/COS(X)              !
ASIN(X)=ATAN(X/SQRT(1.0-X*X))      !
ACOS(X)=ASIN(SQRT(1.0-X*X))       !

```

C

```

STEP=10.
ISLA=0
NTT=7
NPRI=6
NREA=1
CALL GTIM( J0 )           ! СИСТЕМНАЯ ПРОГРАММА ВРЕМЕНИ
IF( IOD( J ), NE, 0 )    TYPE 2 ! ВЫЗОВ ДАННЫХ
22 CONTINUE
FK=DEG( FK )
FA=DEG( FA )             !
FB=DEG( FB )             !
EE=DEG( EE )             !
GH=DEG( GH )             !
IFL=0
IFLAG=0
IA2=0
IA1=0
K=SQRT( ( LC-CB )*( LC-CB )+DB*DB/4.0 )
P=SQRT( ( DB+DF )*( DB+DF )/4.0+( LF-CB )*( LF-CB ) )
E=ASIN( ( LF-CB )/P )
FD=ATAN( 0.5*( DF-DB )/LF )
FH=ATAN( DB/( 2.0*( LC-CB ) ) )
FG=ATAN( ( 0.5*DB-CB*TAN( FB ) )/LC )
PZ=SQRT( ( DF-DB )*( DF-DB )/4.0+LF*LF )
Q=SQRT( ( LF-LC )*( LF-LC )+DF*DF/4.0 )
FS=ATAN( 2.0*( LF-LC )/DF )
FT1=ATAN( MM )
GG=9.81*M
W=( SQRT( MM*MM+1.0 ) )/JC
MB=( SQRT( MM*MM+1.0 ) )/M
H=K*SIN( FH+FK )
XHH=-.5*DA-CA*TAN( FA ) !
ZHH=0.                   !
ZSH=ZHH+P*SIN( E+GH )   !      !!!
ZS1H=ZSH-DF*SIN( GH )   !      !!!
ZUH=ZSH-0.0001
IF( ZSH.LT.ZS1H )       ZUH=ZS1H-0.0001
XCH=XHH+K*SIN( FH-GH )
ZCH=ZHH+K*COS( FH-GH )
FH=GRD( FH )            !
FS=GRD( FS )            !
FA=GRD( FA )            !
FB=GRD( FB )            !
EE=GRD( EE )            !
GH=GRD( GH )            !
FK=GRD( FK )            !
E=GRD( E )
CALL RCTRLD ! СИСТЕМНАЯ ПРОГРАММА
OMDEL=0.5*DA+CA*TAN( FA )-( 0.5*DB-CB*TAN( FB ) ) * COS( GH )
KL=1
WRITE( NPRI, 9 ) DA, DB, DF, CA, CB, CF
WRITE( NPRI, 10 ) LC, JC, VU, ZUH, XCH, ZCH, LF
WRITE( NPRI, 11 ) GH, W, FA, FK, EE, MM, M, MB, H
WRITE( NPRI, 8 ) K, Q, FH, FS, P, E, XHH, ZHH, PZ, FD
FKT=FK+FT1             !
FA=DEG( FA )           !
FB=DEG( FB )           !
EE=DEG( FB )           !
GH=DEG( GH )           !
FK=DEG( FK )           !
FH=DEG( FH )           !
FS=DEG( FS )           !
E=DEG( E )             !

```

C

```
20 XC = XCH
   ZC = ZCH
   G  = GH
   GP=GPH
   XPC=XPCH
   ZPC=ZPCH
   T=0.0
30 ISW=ISW+1
   IF( KL.EQ.2.AND.ISW.GE.18 ) GOTO 22
   T=T+DT
   PRMT( 1 )=T-DT
   PRMT( 2 )=T
   PRMT( 3 )=DT/STEP
   PRMT( 4 )=1.E-5
   PRMT( 5 )=0.
   NDIM=6
   DO 38 I=1,6
38 DERY( I )=0.16666666666666667
   XH = XC-K*SIN( FH-G )
   ZH = ZC-K*COS( FH-G )
   XS = XH+P*COS( E+G )
   ZS = ZH+P*SIN( E+G )
   XS1= XS-DF*COS( G )
   ZS1= ZS-DF*SIN( G )
   ZU = ZUH-VU*( T-DT )
```

C



C

```

40 CONTINUE
   IF ( ZH.LE.-CA )                                GOTO 260
50 IJ = 50
   IF( G.GE.FA-FK )                                GOTO 440
   ZQ=ZS1
   XQ=XS1
   IF( G.GT.0 )      ZQ=ZS
   IF( G.GT.0 )      XQ=XS
   F=FA
   QK=0.0
60 IJ=60
   DZ1=0.0
   IF( ZQ.LT.ZU )      GOTO 100
   IF( G.LE.0 )      GOTO 90
   ZS=ZU
   PQ=P
   FQ=E
   MIN=1
   IF( ZU.LE.0. )      GOTO 440
   IF( ZU+CA.EQ.0. )      ZU=ZU+0.0000001
   THETA=-ATAN( ( 0.5*DA+XQ )/( ZU+CA ))+3.14159265/4.0
   IF( FA.LT.THETA ) MIN=-1
   DZ1=CA+ZH-100.0*DZ
   CALL GTIM( J1 )      ; СИСТЕМНАЯ ПРОГРАММА
70 DZ1=DZ1+DZ
   DX1=DZ1*TAN( F )
   LK=ZU+CA-DZ1
   MK=DA/2.0+XQ+DX1
   P1=SQRT( LK*LK+MK*MK )
   PZQ=MIN*( P1-PQ )
   IFLAG=IFLAG+1
   IF( IFLAG.EQ.10000 ) IFL=IFL+1
   IF( IFLAG.EQ.10000 ) IFLAG=0
   IF( IFLAG.EQ.5.AND.IFL.EQ.0 ) WRITE(NTT,7)
   IF( IFL.LE.500.AND.PZQ.GT.0 )      GOTO 70
   ATQ=LK/MK
   IF( G.LE.0 ) ATQ=-1.0/ATQ
   G0=ATAN( ATQ )-FQ
   IF( G0.LE.0 )      XQ=XQ+DF*COS( G0 )
   IF( G0.LE.0 )      ZQ=ZQ+DF*SIN( G0 )
   XC0 =XQ-Q*COS( G0+FS )      !      XC=XC0
   ZC0 =ZU-Q*SIN( G0+FS )      !      ZC=ZC0
   XC=XC0
   ZC=ZC0
   XH=XC0-K*SIN( FH-G0 )
   ZH=ZC0-K*COS( FH-G0 )
   R=( ZQ-ZH )/TAN( F )+XH-XQ
   GP0=VU/R
   GP=GP0
   VCS=GP0*Q
   XPC0=VCS*SIN( G0+FS )
   ZPC0=-VU-VCS*COS( G0+FS )
   XPC=XPC0
   ZPC=ZPC0
                                           GOTO 100

```

C

C

```
80 CONTINUE
90 PQ=PZ
  ZS1=ZU
  FQ=FD
  MIN=1
  IF( ZH.GT.-CA ) GOTO 70
  DZ1=-ZH-CA-10.0*DZ
  PQ=P
  FQ=FD
  MIN=-1
  DZ=-DZ GOTO 70

100 X0 = QK-( CA*TAN( F )+0.5*DA )*SIN( F )
     Z0 = ( 0.5*DA+CA*TAN( F ))*COS( F )
     X2C= XC*SIN( F )-( X0+ZC*COS( F ) )
     Z2C= ( XC/COS( F ) )+Z0-( X2C+X0 )*TAN( F )
110 X2C0 = X2C
     Z2C0 = Z2C
     G0 = G
112 ZP2C0=XPC*COS( F )+ZPC*SIN( F )
     XP2C0=XPC*SIN( F )-ZPC*COS( F )
     GP0=GP
```

C

ПЕЧАТЬ И РЕШЕНИЕ ДУ

```

IA1 = IA1+1
IX1=1
ZPC0=ZPC
XPC0=XPC
120 C =COS( F+FH-G )
S =SIN( F+FH-G )
N2=1+( M*K*K*C*( C-MM*S ))/JC
N3=GG*SIN( EE+F )
N4=-M*K*S*0.001
AX=-MM/M * 1000.
BX=GG*COS( EE+F )/M * 1000.
AZ=1./M * 1000.
BZ=-GG*SIN( EE+F )/M * 1000.
AY=K*( C-MM*S )/JC * 1000.

```

РЕШЕНИЕ 1 Д. У.

```

YY( 1 )=XP2C0
YY( 2 )=GP0
YY( 3 )=ZP2C0
YY( 4 )=X2C0
YY( 5 )=G0
YY( 6 )=Z2C0

```

```
CALL DY( PRMT,YY,DERY,NDIM,IHFL,FDY1,OUTDY1,AUX )
```

```

IF ( IHFL,GE .10 ) DT=DT*2.+1.E-5
XP2C=YY( 1 )
GP = YY( 2 )
ZP2C=YY( 3 )
X2C= YY( 4 )
G = YY( 5 )
Z2C= YY( 6 )
XPP2C=DERY( 1 )
GPP =DERY( 2 )
ZPP2C=DERY( 3 )
XP2C1=DERY( 4 )
GP1 =DERY( 5 )
ZP2C1=DERY( 6 )

```

C

```

C      ПРЕОБРАЗОВАНИЕ OXZ-2 В OXZ
130  XC = ( Z2C-Z0 ) * COS( F ) + ( X2C+X0 ) * SIN( F )
      ZC = ( -X2C+XC * SIN( F ) -X0 ) / COS( F )
140  GR = GRD( G )
      CALL GTIM( J2 )
      CALL JJCVT( J1 )
      CALL JJCVT( J2 )
      CALL JSUB( J2, J1, J3 )
      CALL JJCVT( J3 )
      CALL TIMASC( J3, TIM )
      IF( ISLA.EQ.0 )      WRITE( NPRI, 3 )
      ISLA=1
      WRITE( NPRI, 5 ) IX1, T, XC, ZC, GR, XPC, ZPC, GP, XPP, ZPP, GPP, N1, TIM
150  XB = XC+K * SIN( FH+G )
      ZB = ZC-K * COS( FH+G )
160  IJ=16
      IF ( ZB.LT.0 )      GOTO 210
170  DDT = ( 0.5 * DA + CA * TAN( FA ) - XB ) * SIN( G ) + ZB * COS( G )
180  IJ = 180
      IF ( DDT.LE.0 )      GOTO 440
190  DDW = ( 0.5 * DA - XB ) * SIN( G ) + ( ZB + CA ) * COS( G )
200  IJ = 20
      IF ( DDW.LT.0 )      GOTO 440
                           GOTO 30
210  FQ = FA
      IF ( ZB.LT.-CA )      FQ=FK
240  DDB = ( 0.5 * DA - XB ) * COS( FQ ) + ( ZB + CA ) * SIN( FQ )
250  IJ=25
      IF ( DDB.GT.0 )      GOTO 30
                           GOTO 440
260  CONTINUE
      IF ( G.GT.0 )      GOTO 280
270  XQ=XS1
      ZQ=ZS1
      F =FK
      QK=CA / COS( FK )
                           GOTO 60
280  IJ=28
      IF( G.GE.FA-FK )      GOTO 440
290  IJ=29
      IF( ZS.LT.ZU )      GOTO 320
300  MQ=SQRT( ( ZU+CA ) * ( ZU+CA ) + ( DA/2.0+XS ) **2 )
      FQ=ACOS( ( LF * TAN( FK ) + 0.5 * ( DB+DF ) ) * COS( FK ) / MQ ) + FK
      G0 = ATAN( ( ZU+CA ) / ( 0.5 * DA + XS ) ) - FQ
      XC0 = XS - Q * COS( G0 + FS )
      ZC0 = ZU - Q * SIN( G0 + FS )
      XH = XC0 + LC * SIN( G0 ) - 0.5 * DB * COS( G0 )
      ZH = ZC0 - LC * COS( G0 ) - 0.5 * DB * SIN( G0 )
310  GP0 = VU / ( ( ZU+CA ) * ( 1 / TAN( FA ) ) - 0.5 * DA - XS )
      VCS = GP0 * Q
      XPC0 = VCS * SIN( FS + G )
      ZPC0 = -VU - VCS * COS( FS + G )
                           GOTO 330
320  ZPC0 = ZPC
      XPC0 = XPC
      GP0 = GP
      XC0 = XC
      ZC0 = ZC
      G0 = G
330  IA2 = IA2 + 1

```

C

ПАЧЕТ "2"

ДУ

C  
C

```

IX1=2
FQ=G+FK+FT1
C =COS( G+FK )
S =SIN( FK+G )
A =H*SQRT( ( S/C )*( S/C )+1 )-( ZC+CA )*( S/C )
N2=MB*C*C*( COS( FQ )+SIN( FQ )*S/C )
N2=N2+W*( ( ZC+CA )-H*S )*( COS( FQ )*( ZC+CA )-SIN( FQ )*A )
N3=( GG/M )*C*C*( ( S/C )*COS( EE )+SIN( EE ))
AX=( -MM*S+C )/M * 1000.
BX=-GG*SIN( EE )/M * 1000.
AZ=( MM*C+S )/M * 1000.
BZ=-GG*COS( EE )/M * 1000.
AY=( ( ZC+CA )*( -MM*S+C )-( MM*C+S )*A )/JC * 1000.
AT1=H*C*( 2-C*C )
AT2=( ZC+CA )*S/C
YY( 1 )=XPC0
YY( 2 )=GP0
YY( 3 )=ZPC0
YY( 4 )=XC0
YY( 5 )=G0
YY( 6 )=ZC0

```

C  
C

```
CALL DU ( PRMT,YY,DERY,NDIM,IHFL,FDY2,OUTDY2,AUX )
```

```
IF( IHFL.GE.10 ) DT=DT*2.+1.E-5
```

```

XPC = YY( 1 )
GP = YY( 2 )
ZPC = YY( 3 )
XC = YY( 4 )
G = YY( 5 )
ZC = YY( 6 )
XPPC=DERY( 1 )
GPP =DERY( 2 )
ZPPC=DERY( 3 )
XPC1=DERY( 4 )
GP1 =DERY( 5 )
ZPC1=DERY( 6 )

```

GOTO 140

440 CONTINUE

```
WRITE(NPRI,144) GH,OMDEL
```

144. FORMAT(' GH,OMDEL=',2F14.7)

```
WRITE(NPRI,12)
```

```
WRITE( NPRI,6 ) ZU,XB,ZB,XH,ZH,DDB,DDT,DDW
```

```
WRITE( NPRI,1 ) IJ,IA1,IA2
```

```
VU=VU-500.
```

```
FA=GRD(FA)
```

```
FB=GRD(FB)
```

```
EE=GRD(EE)
```

```
GH=GRD(GH)
```

```
IF(VU.GE.0) GOTO 22
```

```
VU=500.
```

```
GH=GH+2.
```

```
IF(GH.LT.5) GOTO 22
```

```
GH=0.
```

```
EE=EE+45.
```

```
IF(EE.LT.100.) GOTO 22
```

```
CALL GTIM( J2 ) 1 СИСТЕМНАЯ ПРОГРАММА
```

```
CALL JJCVT( J0 )
```

!?

```
CALL JJCVT( J2 )
```

```
CALL JSUB( J2,J0,J3 )
```

```
CALL JJCVT( J3 )
```

```
CALL TIMASC( J3,TIM )
```

```
WRITE( NPRI,4 ) TIM
```

444 STOP

END

КАЖДОМУ РАВНОЕ

0.00 29.00 26.00 16.00 0.00 2.00

LC 49.879299 474.842010 0.000000 101.301003 XCH XCH ZCH LF 100.000000

0.05/20048006 0.00200943384 0.780399185 0.000000000 0.589048982 0.196349993 0.546634012 1.864308357 14.500000954

# 51.9441497 U# 51.7791909 FH# 0.28290464 FS# 1.31701484 PD# 103.7123417

TA# 1.30243027 XHH# -16.732001 ZHH# 0.000007 PH# 100.0112464 FHH# -0.01499897

T	P	XC	ZC	G	XPC	ZPC	BP	XPP	ZPP	GPP	N1	TIME
0.0002	-6.7117396	49.5347290	6.50546	0.00000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000	0.00000000	3.1847594	00:00:00
0.0004	-7.1656761	48.8503494	8.04208	0.00000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000	0.00000000	3.0594141	04:20:43
0.0006	-7.5447242	48.1292065	9.60510	0.00000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000	0.00000000	2.9376514	00:00:08
0.0008	-8.1489707	47.3678567	11.19005	0.00000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000	0.00000000	2.8202281	04:20:57
0.0010	-8.6750477	46.5765753	12.79277	0.00000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000	0.00000000	2.7077156	03:00:09
0.0012	-9.2250004	45.7591640	14.40952	0.00000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000	0.00000000	2.6005309	04:20:53
0.0014	-9.7750445	44.9220582	16.03675	0.00000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000	0.00000000	2.4989097	00:00:13
0.0016	-10.3553507	44.0647340	17.67217	0.00000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000	0.00000000	2.4029741	04:20:56
0.0018	-10.9750014	43.0892372	19.31261	0.00000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000000	0.00000000	2.3127265	00:00:14

LC 49.879299

0.05/20048006 0.00200943384 0.780399185 0.000000000 0.589048982 0.196349993 0.546634012 1.864308357 14.500000954

# 51.9441497 U# 51.7791909 FH# 0.28290464 FS# 1.31701484 PD# 103.7123417

TA# 1.30243027 XHH# -16.732001 ZHH# 0.000007 PH# 100.0112464 FHH# -0.01499897

LC 49.879299 474.842010 0.000000 101.301003 XCH XCH ZCH LF 100.000000

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



```

5 OPEN "LP:" FOR OUTPUT AS FILE #1
7 PRINT #1, '*****'
8 PRINT #1, 'ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN'
9 PRINT #1, ' '
10 READ D, D1, D2
20 READ D0
30 READ F
40 READ C
50 READ N
60 READ G0
70 PRINT #1, 'ISHODNYE DANNYE DLQ RASCHETA GRAN, ZNAЧ, ZBK I GAM, K'
80 PRINT #1, 'DA='; D, 'DB='; D1, 'CA='; C
90 PRINT #1, 'FIK='; F
100 PRINT #1, 'NIU='; N
102 PRINT #1, ' '
103 PRINT #1, '-----REZULTATY RASCIOTA -----'
105 PRINT #1, 'DB', 'ZB K', 'GAM, K', 'ZB K PR.', 'GAM, K PR.'
110 LET P=3.14159/180
115 LET G8=-90
118 LET G5=G8
120 LET P2=180/3.14159
130 LET G9=ATN(SQR((D/(D1*COS(F*P)))^2-1))*P2-F
132 LET T=ATN(N)*P2
135 PRINT 'GAM, MAX='; G9
140 LET G=G9
142 PRINT 'DB='; D1
144 LET G=G0+G
145 LET G=G-G0
147 LET G9=G9-1.00000E-04
150 LET K=(SIN(F*P))/(COS(F*P))
152 LET Q=(SIN((G+F-T)*P))/(COS((G+F-T)*P))
160 LET Z=((D+C*K)*Q-C)/(1-K*Q)
165 LET S1=SIN((G+F)*P)
166 LET S2=SIN(G*P)
167 LET S3=SIN(F*P)
168 LET C1=COS(F*P)
170 LET C2=COS(G*P)
175 LET Z0=(-D*S1*S2+C1*(D-D1*C2))/(S1*(S2*K-C2)-S3)
180 LET Z0=Z0-C
183 IF G<G8 THEN 240
185 IF G<G5 THEN 200
188 IF G<0 THEN 470
190 IF Z0>Z THEN 145
192 IF G>=G9 THEN 198
194 LET Z8=Z
195 LET G8=G
197 GO TO 480
198 LET G5=G
200 IF G<0 THEN 490
205 IF Z>Z0 THEN 145
210 LET Z8=Z
220 LET G8=G
230 GO TO 145
240 IF G<0 THEN 480
250 IF Z0>Z THEN 145
260 LET Z7=Z
270 LET G7=G
280 PRINT #1, D1, Z8, G8, Z7, G7
300 LET D1=D1-D0
310 IF D1>=D2 THEN 115
315 GO TO 500
410 DATA 30, 30, 29
420 DATA .1
430 DATA 0
440 DATA 1.5
450 DATA .1
460 DATA .01666666
470 PRINT #1, D1, 'GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ, DIETALIEJ'

```

480 PRINT #1, D1, Z8, G8

485 GO TO 300

490 PRINT #1, D1, 'WOZMOZNO CZTO BUDIET SOJ. DIET. BIEZ IH ZAKLINIWANIA.'

500 END

продолжение прилож. 2.1

Обозначение идентификаторов программы ZAKLIN

C - CA

C1 -  $\cos \varphi_k$

C2 -  $\cos \gamma$

D - DA

D $\emptyset$  -  $\Delta$  dB

D1 - dB

D2 - dBmin

F -  $\varphi_k$

G -  $\gamma$

G $\emptyset$  -  $\gamma_{\text{ш}}$

G7 -  $\gamma_k$  (G8)

G9 -  $\gamma_{\text{max}}$

K -  $\text{tg } \varphi_k$

N -  $\rho$

P -  $\pi/180$

P2 -  $180/\pi$

Q -  $\text{tg}(\gamma + \varphi_k - \varphi_{T1})$

S1 -  $\sin(\gamma + \varphi_k)$

S2 -  $\sin \gamma$

S3 -  $\sin \varphi_k$

Z - Z<sub>B</sub>

Z $\emptyset$  - Z<sub>B</sub>\*

Z7 (Z8) - Z<sub>Bk</sub>

T -  $\varphi_{T1}$

\*\*\*\*\*  
ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN

ISHODNYE DANNYE DLQ RASCHETA GRAN.ZNA4. ZBK I GAM.K  
DA= 30 DB= 30 CA= 1.5  
FIK= 0  
NIU= .1

-----REZULTATY RASCIOTA -----

DB	ZB K	GAM.K	ZB K PR.	GAM.K PR.
30	GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ,DIETALIEJ			
29.9	-3.21985	2.42952		
29.8	WOZMOZNO CZTO BUDIET SOJ,DIET,BIEZ IH ZAKLINIWANIA			

\*\*\*\*\*  
ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN

ISHODNYE DANNYE DLQ RASCHETA GRAN.ZNA4. ZBK I GAM.K  
DA= 30 DB= 30 CA= 1.5  
FIK= 0  
NIU= .2

-----REZULTATY RASCIOTA -----

DB	ZB K	GAM.K	ZB K PR.	GAM.K PR.
30	GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ,DIETALIEJ			
29.9	-6.95936	.996191		
29.8	-6.36268	2.10297		
29.7	-5.67192	3.39294		
29.6	-4.85257	4.93346		
29.5	-3.75637	7.00869		
29.4	WOZMOZNO CZTO BUDIET SOJ,DIET,BIEZ IH ZAKLINIWANIA			

\*\*\*\*\*  
ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN

ISHODNYE DANNYE DLQ RASCHETA GRAN.ZNA4. ZBK I GAM.K  
DA= 30 DB= 30 CA= 1.5  
FIK= 0  
NIU= .3

-----REZULTATY RASCIOTA -----

DB	ZB K	GAM.K	ZB K PR.	GAM.K PR.
30	GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ,DIETALIEJ			
29.9	-10.1324	.646191		
29.8	-9.75189	1.31964		
29.7	-9.34591	2.04294		
29.6	-8.92377	2.80012		
29.5	-8.47603	3.60865		
29.4	-7.99766	4.47839		
29.3	-7.48426	5.41823		
29.2	-6.92723	6.44492		
29.1	-6.30303	7.60334		

- 210 - ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРОВ. 2.2  
 \*\*\*\*\*  
 ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN

ISHODNYE DANNYE DLQ RASCHETA GRAN.ZNA4. ZBK I GAM.K  
 DA= 30 DB= 30 CA= 1.5  
 FIK= 5  
 NIU= .1

-----REZULTATY RASCIOTA -----  
 DB ZB K GAM.K ZB K PR. GAM.K PR  
 30 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.9 WOZMOZNO CZTO BUDIET SOJ.DIET.BIEZ IH ZAKLINIWANIA

\*\*\*\*\*  
 ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN

ISHODNYE DANNYE DLQ RASCHETA GRAN.ZNA4. ZBK I GAM.K  
 DA= 30 DB= 30 CA= 1.5  
 FIK= 5  
 NIU= .2

-----REZULTATY RASCIOTA -----  
 DB ZB K GAM.K ZB K PR. GAM.K PR  
 30 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.9 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.8 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.7 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.6 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.5 -1.87376 5.59538  
 29.4 WOZMOZNO CZTO BUDIET SOJ.DIET.BIEZ IH ZAKLINIWANIA

\*\*\*\*\*  
 ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN

ISHODNYE DANNYE DLQ RASCHETA GRAN.ZNA4. ZBK I GAM.K  
 DA= 30 DB= 30 CA= 1.5  
 FIK= 5  
 NIU= .3

-----REZULTATY RASCIOTA -----  
 DB ZB K GAM.K ZB K PR. GAM.K PR  
 30 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.9 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.8 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.7 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.6 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.5 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.4 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.3 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.2 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
 29.1 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ

\*\*\*\*\*  
ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN

ISHODNYE DANNYE DLQ RASCHETA GRAN.ZNA4. ZBK I GAM.K  
DA= 30 DB= 30 CA= 1.5  
FIK= 10  
NIU= .1

-----REZULTATY RASCIOTA -----  
DB ZB K GAM.K ZB K PR. GAM.K PR  
30 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.9 WOZMOZNO CZTO BUDIET SOJ.DIET.BIEZ IH ZAKLINIWANIA

\*\*\*\*\*  
ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN

ISHODNYE DANNYE DLQ RASCHETA GRAN.ZNA4. ZBK I GAM.K  
DA= 30 DB= 30 CA= 1.5  
FIK= 10  
NIU= .2

-----REZULTATY RASCIOTA -----  
DB ZB K GAM.K ZB K PR. GAM.K PR  
30 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.9 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.8 -1.928 .490518  
29.7 WOZMOZNO CZTO BUDIET SOJ.DIET.BIEZ IH ZAKLINIWANIA

\*\*\*\*\*  
ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN-ZAKLIN

ISHODNYE DANNYE DLQ RASCHETA GRAN.ZNA4. ZBK I GAM.K  
DA= 30 DB= 30 CA= 1.5  
FIK= 10  
NIU= .3

-----REZULTATY RASCIOTA -----  
DB ZB K GAM.K ZB K PR. GAM.K PR  
30 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.9 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.8 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.7 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.6 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.5 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.4 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.3 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.2 GARANTIROWANNJE ZAKLINIWANIE SOJ.DIETALIEJ  
29.1 -1.98545 5.76955

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

	X <sub>c</sub> , мм			Z <sub>c</sub> , мм			γ, град		
	1	3	5	1	3	5	1	3	5
<del>t, × 10<sup>-3</sup>сек δ<sub>H</sub>, рад.</del>									
0	-2,93	-3,82	-4,73	25,24	25,72	26,16	1,00	3,0	5,0
2	-2,18	-3,10	-4,04	24,30	24,73	25,14	1,98	4,20	6,39
4	-1,44	-2,40	-3,37	23,34	23,72	24,08	3,07	5,51	7,89
6	-1,41	-2,34	-3,28	21,38	21,78	22,14	3,24	5,81	8,31
8	-1,37	-2,26	-3,18	19,43	19,83	20,21	3,42	6,12	8,77
10	-1,32	-2,18	-3,06	17,48	17,89	18,29	3,60	6,46	9,25
12	-1,26			15,53			3,81		
14	-1,19			13,58			4,02		
Z <sub>B</sub> , мм	-10,33	-5,30	-4,04						

$D_A = 30 \text{ мм}; d_B = 29 \text{ мм}; C_A = 2 \text{ мм}; l_C = 25 \text{ мм};$   
 $l_F = 50 \text{ мм}; m = 0,344 \text{ кг}; J_C = 93,7 \text{ кг мм}^2; \delta X_H / 2 = 2,5 \text{ мм}; \varphi_A = 45^\circ; \varepsilon = 0^\circ; \varphi_K = 0^\circ$



	$X_c, \text{ мм}$			$Z_c, \text{ мм}$			$\delta, \text{ град.}$		
	15	30	45	15	30	45	15	30	45
$t \cdot 10^{-3} \text{ с}$									
$\varphi_A, \text{ град.}$									
0	-3,26	-3,88	-4,73	26,16	26,16	26,16	5,00	5,00	5,00
2	-3,08	-3,45	-4,04	24,28	24,55	25,14	5,80	6,49	6,39
4	-3,02	-3,03	-3,37	22,34	22,92	24,08	6,11	8,01	7,89
6	-2,94	-2,94	-3,28	20,39	20,98	22,14	6,44	8,44	8,31
8	-2,86	-2,82	-3,18	18,45	19,06	20,21	6,79	8,91	8,77
10	-2,75		-3,06	16,52		18,29	7,17		9,25
12	-2,63			14,59			7,57		
$Z_0, \text{ мм}$	-8,27	-3,39	-4,04	$J_A = 30 \text{ мм}; d_B = 29 \text{ мм}; C_A = 2 \text{ мм}; l_C = 25 \text{ мм};$ $J_A = 30 \text{ мм}; d_B = 29 \text{ мм}; C_A = 2 \text{ мм}; l_C = 25 \text{ мм};$					

$l_f = 50 \text{ мм}; m = 0,344 \text{ кг}; J_c = 93,7 \text{ кг} \cdot \text{мм}^2; \mu = 0,15; \delta x_H / 2 = 2,5 \text{ мм}; \gamma_H = 5^\circ;$

$\varepsilon = 0^\circ; V_0 = 0$

$t, \times 10^{-3} c$	$X_c, \text{ мм}$		$Z_c, \text{ мм}$		$\delta, \text{ град.}$	
	0	10	0	10	0	10
0	-4,73	-4,73	26,16	26,16	5,00	5,00
2	-4,05	-4,04	25,22	25,14	6,10	6,39
4	-3,39	-3,37	24,25	24,08	7,32	7,89
6	-3,31	-3,28	22,31	22,14	7,70	8,31
8	-3,21	-3,18	20,38	20,21	8,12	8,77
10	-3,10	-3,06	18,46	18,29	8,56	9,25
12	-2,96		16,55		9,03	
$Z_B, \text{ мм}$	-5,86	-4,04	$d_A = 30 \text{ мм}; d_B = 29 \text{ мм}; \mu = 0,2;$			

$c_A = 2 \text{ мм}; l_c = 25 \text{ мм}; l_f = 50 \text{ мм}; J_c = 93,7 \text{ кг мм}^2; m = 0,344 \text{ кг};$   
 $\varphi_A = 45^\circ; \varphi_k = 0^\circ; \delta_H = 5^\circ; \delta X_H / 2 = 2,5 \text{ мм}$

	$X_c, \text{ мм}$			$Z_c, \text{ мм}$			$\delta, \text{ град}$		
	0,1	0,15	0,20	0,1	0,15	0,20	0,1	0,15	
$t, \times 10^{-3} \text{ сек}$	0,1	0,15	0,20	0,1	0,15	0,20	0,1	0,15	0,20
0	-4,73	-4,73	-4,73	26,16	26,16	26,16	5,00	5,00	5,00
2	-4,54	-4,55	-4,05	25,00	25,08	25,22	6,70	6,45	6,10
4	-3,87	-3,89	-3,39	23,85	24,00	24,25	8,52	8,02	7,32
6	-3,78	-3,80	-3,31	21,91	22,07	22,31	8,98	8,45	7,70
8	-3,67	-3,70	-3,21	19,98	20,14	20,38	9,48	8,91	8,12
10	-3,54	-3,57	-3,10	18,05	18,21	18,46	10,01	9,41	8,56
12	-3,38	-3,42	-2,96	16,14	16,30	16,55	10,58	9,93	9,03
14	-3,19	-3,25		14,23	14,40		11,17	10,48	
$Z_B, \text{ мм}$	-7,57	-7,63	-5,86						

$D_A = 30 \text{ мм}; d_B = 29 \text{ мм}; C_A = 2 \text{ мм}; l_c = 25 \text{ мм}; J_c = 93,7 \text{ кг} \cdot \text{мм}^2; m = 0,344 \text{ кг}$   
 $V_U = 0; l_F = 50 \text{ мм}; \gamma_H = 5^\circ; \delta X_H / 2 = 2,5 \text{ мм}; \varphi_A = 45^\circ; \varphi_K = 0; \varepsilon = 0$

X, 10 <sup>-3</sup>	X <sub>c</sub> , мм			Z <sub>c</sub> , мм			δ, град			N <sub>1</sub> , Н		
	0	100	200	0	100	200	0	100	200	0	100	200
0	-4,73	-4,73	-4,73	26,16	26,16	26,16	5,00	5,00	5,00	1,97	1,85	1,48
2	-4,04	-4,08	-4,21	25,14	25,08	24,90	6,39	6,30	6,04	1,91	1,79	1,45
4	-3,37	-3,45	-3,70	24,08	23,97	23,63	7,89	7,71	7,15	0,15	0,31	0,81
6	-3,28	-3,27	-3,24	22,14	22,06	21,79	8,31	8,56	9,33	0,18	0,37	0,97
8	-3,18	-3,06	-2,70	20,21	20,16	20,01	8,77	9,48	11,65	0,21	0,37	0,97
10	-3,06			18,29			9,25					
MM	-4,04	-2,10	-1,54									

$d_A = 30 \text{ мм}; d_B = 29 \text{ мм}; C_A = 2 \text{ мм}; l_C = 25 \text{ мм}; l_F = 50 \text{ мм}; m = 0,344 \text{ кг}; J_C = 93,7 \text{ кг мм}^2;$   
 $\mu = 0,15; \delta_{XH} / 2 = 2,5 \text{ мм}; \delta_H = 5^\circ; \varepsilon = 0; \psi_A = 45^\circ; \varphi_K = 0^\circ$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

DA, DB, DF, CA, CB, CF 12.24 6.00 6.00 50.00 0.00 0.00

LC 209.500000 JC 1352.199951 VU 0.000000 ZUH 416.284668 XCH -101.199020 ZCH 207.642258 LF 419.000000  
 GH, W, FA, FK, ЭПСИЛОН, МЮ, М, МБ, Н 8.49999904633 0.00074322411 53.2999995422 0.000000000 0.000000000 0.100000001 0.092000000 10.923778534 3.0000  
 K= 209.521484; Q= 209.521484; FH= 0.82040867; FS=89,1795883; PO= 419.042969;  
 STA=89.1795425; XHH= -73.20000; ZHH= 0.00000; P\*= 419.00000; FD= 0.0000000;

221

AY	T	XC	ZC	G	XPC	ZPC	GP	XPP	ZPP	GPP
1	0.053	-91.5160599	169.8092346	18.09748	0.00000	0.00000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
1	0.110	-83.5546799	129.1096649	27.52209	0.00000	0.00000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
GH, DMDEL=		0.1403530	2.5513732							

РЕЗУЛЬТАТ РАСЧЕТА:

ZU=416.284668; XB= 15.913788; ZB= -55.2955475; XH= -29.2896805; ZH= -30.2585750;  
 DDB= -9.79393768; DDT= 0.0000000; ODM= 0.0000000;  
 STOP FROM 25 КОЛ-ВО ОБРАЩЕНИЙ К ДУ 2 0

СХОДНЫЕ ДАННЫЕ

LA,OB,DF,CA,CB,CF 30.00 29.00 35.00 2.00 0.00 2.00  
 LC 25.000000 JC 93.739998 VU 100.000000 ZUH 52.598621 XCH -4.734069 ZCH 26.168623 LF 50.000000  
 SH,W,FA,FK,ЭПСИЛОН,МО,М,МБ,Н  
 4.99999952316 0.01078714989 45.000000000 0.000000000 0.000000000 0.150000000 0.340116002 2.938507557 14.500000000  
 KE 28.9000692; Q= 30.516390; FH=30.1137314; FS=55.0079803; PO= 59.363289;  
 STA=57.3807526; XHH= -17.00000; ZHH= 0.00000; P\*= 50.089920; FD= 0.0599282;

222

AY	T	XC	ZC	G	XPC	ZPC	GP	XPP	ZPP	GPP
1	0.002	-4.0866404	25.0825005	6.30371	105.39025*****	3.90830771	0.00000000	0.00000000	0.00000000	3.9883077
1	0.004	-3.4585762	23.9702320	7.71133	105.39025*****	3.98910403	0.00000000	0.00000000	0.00000000	3.9891040
2	0.006	-3.2795229	22.0604038	8.56742	105.41131*****	3.98990035	0.00000000	0.00000000	0.00000000	3.9899000
008	-3.0670103	20.1636600	9.48932	105.43237*****	3.99069667	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	3.9906967
SH,OMDEL=		0.0872665	14.1264477							

Продолжение прилож.3.2.

РЕЗУЛЬТАТ РАСЧЕТА:

ZU= 52.538620; XB= 15.355762; ZB= -2.1037254; XH= -13.8933907; ZH= -4.8207378;  
 QDQ= -0.35576248; DDT= 1.49863601; DDW= 3.21218538;  
 STOP FROM 25 КОЛ-ВО ОБРАЩЕНИЙ К ДУ 2 2

ВРЕМЯ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ: 00:00:29

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

DA, DB, DF, CA, CB, CF 30.00 29.00 35.00 2.00 0.00 2.00  
 LC 25.000000 93.739998 200.000000 52.590621 XCH -4.734069 ZCH 26.168623 LF 50.000000  
 H, W, FA, FK, ЭПСИЛОН, МО, М, МВ, Н 0.01078714989 45.000000000 0.000000000 0.150000006 0.344116002 2.938507557 14.500000  
 S= 28.900692; Q= 30.516390; FH=30.1137314; FS=55.0079803; P0= 59.363289;  
 ЭТА=57.3807526; ХНН= -17.00000; ZНН= 0.00000; P\* = 50.089920; FD= 0.0599282;

223

DU	T	XC	ZC	G	XPC	ZPC	GP	XPP	ZPP	GPP
1	0.002	-4.2156973	24.9078846	6.04382	210.78050	*****	7.97661543	0.00000000	0.00000000	7.9766154
	004	-3.7008785	23.6315823	7.15676	210.78050	*****	7.97820807	0.00000000	0.00000000	7.9782081
	2	0.006	-3.2082007	21.7989635	9.33021	210.82262	*****	7.97980070	0.00000000	7.9798007
	2	0.008	-2.7041385	20.0122014	11.65593	210.86473	*****	7.98139334	0.00000000	7.9813933
	3H, OMDL=	0.0872665	14.1264477							

Продолжение прилож.3.2.

РЕЗУЛЬТАТ РАСЧЕТА:

ZU= 52.478622; XB= 16.547699; ZB= -1.5426903; XH= -13.5032654; ZH= -5.2210960;  
 DDB= -0.77102166; DDT= 1.02747118; DDW= 2.76272035;  
 STOP FROM 25 КОЛ-ВО ОБРАЩЕНИЙ К ЛУ 2 2

ВРЕМЯ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ: 00:00:40



ПРИЛОЖЕНИЕ 4

## Обозначения идентификаторов программы DLIWAL

A - A	$K\emptyset - \delta$	Z4 - Z <sub>2-3</sub>
A1 - k <sub>1</sub>	K1 - $\varphi_A$	Z5 - Z <sub>1-3</sub>
A2 - k <sub>2</sub>	K2 - $\varphi_B$	Z6 - Z <sub>S</sub>
A3 - k <sub>3</sub>	K3 - $\varphi_F$	Z8 - Z <sub>C</sub>
A6 - a <sub>G</sub>	K5 - $\varepsilon$	X - X <sub>E</sub>
B1 - b <sub>1</sub>	K6 - $\varphi_H$	X3 - X <sub>B</sub>
B2 - b <sub>2</sub>	K7 - $\varphi_K$	X4 - X <sub>2-3</sub>
B3 - b <sub>3</sub>	K8 - $\varphi_{K'}$	X5 - X <sub>1-3</sub>
B - b <sub>E</sub>	L $\emptyset$ - l <sub>c</sub>	X6 - X <sub>S</sub>
D $\emptyset$ - $\delta_0$	L2 - l <sub>a</sub>	X8 - X <sub>C</sub>
D1 - D <sub>A</sub>	L3 - l <sub>F</sub>	Y8 - $\Delta F c \delta$
D2 - d <sub>B</sub>	L6 - k	Y9 - F $\delta$ on
D3 - D <sub>F</sub>	L8 - e	U - tg $\varphi_K$
D5 - $\varphi_a$	L9 - l <sub>kp</sub>	U7 - $\gamma/2$
D6 - d <sub>Bmin</sub>	M - m	C - cos $\varphi_R$
D7 - $\Delta d_B$	N3 - $\mu$	C1 - C <sub>A</sub>
D8 - (l <sub>a</sub> /l <sub>F</sub> )	N4 - f <sub>F</sub>	C2 - C <sub>B</sub>
F $\emptyset$ - F	R $\emptyset$ - $\rho$	C3 - C <sub>F</sub>
F5 - $\varphi_G$	R - R	
F6 - $\gamma_{\text{ли}}$	R5 - $\varphi_R$	
F7 - $\gamma_{\text{max}}$	S3 - X <sub>S'</sub>	
F8 - $\varphi_{T_1}$	S4 - Z <sub>S'</sub>	
G - G	Z - Z <sub>E</sub>	
G $\emptyset$ - d <sub>G</sub>	Z3 - Z <sub>B</sub>	

```

5 OPEN "LP:" FOR OUTPUT AS FILE #1
6 PRINT #1, '
7 PRINT #1, '*****'
8 PRINT #1, 'DLIWAL-DLIWAL-DLIWAL-DLIWAL-DLIWAL-DLIWAL-DLIWAL-DLIWAL'
9 PRINT #1, 'USTANAWLIWAJETSIA WAL'
10 READ D1,D4,D2,D3
20 READ C1,C2,C3
30 READ D6
40 READ L0,L3
50 READ K1,K2,K3
60 READ F6
70 READ K7,K8
80 READ D7
90 READ M
100 READ N3,N4
108 LET K5=0
110 LET P1=3.14159/180
112 LET I=1
115 LET P2=180/3.14159
116 GO TO 125
118 PRINT #1, '-----'
119 PRINT #1, 'NR.RIS.', ' NR.SOJEDINIENIA'
120 PRINT #1, ' DME 4.207.009 SB 1, 4-7 , 5-7'
122 PRINT #1, '-----'
125 PRINT #1, 'ISHODNYE DANNYE'
128 LET D5=ATN((.5*D3-.5*D2)/(L3-C2))*P2
130 PRINT #1, 'LF=';L3, 'DF=';D3, 'FIK=';K7
132 PRINT #1, 'MASSA WALA M=';M
133 PRINT #1, 'NIU=';N3, 'FF(KOEFF.TRIENIA)';N4
134 PRINT #1, 'FIA=';K1, 'FIB=';K2, 'FIF=';K3
135 PRINT #1, 'CA=';C1, 'CB=';C2, 'CF=';C3
136 PRINT #1, '
137 PRINT #1, '-----'
138 PRINT #1, 'DA(MM)', 'DB(MM)', 'EPS(GRAD)', 'F-SB, SILA(H)', 'GAM, DOP.'
139 PRINT #1, '-----'
145 IF K7=0 THEN 148
146 GO TO 150
148 LET K7=1.00000E-05
150 LET G=M*9.81
152 LET Y9=5*G
154 GO TO 162
155 PRINT #1, 'SILA TIAZIESTI G=';G
162 GO TO 500
180 GO TO 500
500 LET L6=SQR((L0-C2)^2+(.5*D2)^2)
510 LET K6=(ATN((.5*D2)/(L0-C2)))*P2
520 LET L8=SQR(L0^2+(.5*D2-C2*SIN(K2*P1)/COS(K2*P1))^2)
530 LET F5=(.5*D2-C2*SIN(K2*P1)/COS(K2*P1))/L0
531 LET F5=ATN(F5)*P2
620 LET F7=ATN(SQR((D1/(D2*COS(K7*P1)))^2-1))*P2-K7
622 LET K0=F7+F6
623 GO TO 754
625 LET K0=K0-F6
630 LET A=D1*SIN((K0+K7)*P1)*SIN(K0*P1)+COS(K7*P1)*(D2*COS(K0*P1)-D1)
632 LET U=SIN(K7*P1)/COS(K7*P1)
635 LET A=A/(SIN((K0+K7)*P1)*(SIN(K0*P1)*U-COS(K0*P1))-SIN(K7*P1))
640 LET X3=.5*D1-A*U
650 LET Z3=-(A+C1)
660 LET F8=ATN(N3)*P2
670 LET A2=SIN((K0+K7-F8)*P1)/COS((K0+K7-F8)*P1)
680 LET A3=-SIN((K0+F8)*P1)/COS((K0+F8)*P1)
690 LET B2=.5*D1*A2-C1
700 LET B3=Z3-A3*X3
710 LET X4=(B3-B2)/(A2-A3)
720 LET Z4=A2*X4+B2
722 GO TO 741
725 PRINT 'X4=';X4, 'X3=';X3
754 LET U7=K0/2

```

```

758 LET K0=K0-U7
759 LET F8=ATN(N3)*P2
760 LET A1=SIN((K0+K7+F8)*P1)/COS((K0+K7+F8)*P1)
770 LET A2=(K0+K7-F8)*P1
775 LET A2=SIN(A2)/COS(A2)
780 LET A3=-SIN((K7+F8)*P1)/COS((K7+F8)*P1)
790 LET B1=.5*D1*A1-C1
800 LET B2=.5*D1*A2-C1
801 LET U=SIN(K7*P1)/COS(K7*P1)
802 LET A=D1*SIN((K0+K7)*P1)*SIN(K0*P1)+COS(K7*P1)*(D2*COS(K0*P1)-D1)
804 LET A=A/(SIN((K0+K7)*P1)*(SIN(K0*P1)*U-COS(K0*P1))-SIN(K7*P1))
806 LET X3=.5*D1-A*U
808 LET Z3=-(A+C1)
810 LET B3=Z3-A3*X3
812 GO TO 820
815 PRINT #1, 'XB=';X3, 'ZB=';Z3
820 LET X5=(B3-B1)/(A1-A3)
830 LET Z5=A1*X5+B1
840 LET X4=(B3-B2)/(A2-A3)
850 LET Z4=A2*X4+B2
851 GO TO 855
852 PRINT #1, 'X4=';X4, 'X5=';X5
853 PRINT #1, 'Z4=';Z4, 'Z5=';Z5
855 IF X4<X5 THEN 870
860 LET X=X4
865 LET Z=Z4
868 GO TO 900
870 LET X=X5
875 LET Z=Z5
900 LET X8=X3-L6*SIN((K6+K0)*P1)
910 LET Z8=Z3+L6*COS((K6+K0)*P1)
912 GO TO 920
914 PRINT #1, 'XE=';X, 'ZE=';Z
915 PRINT #1, 'X8=';X8, 'Z8=';Z8
920 LET X6=X3-((L3-C2)*SIN((K0-D5)*P1))/COS(D5*P1)
930 LET Z6=Z3+((L3-C2)*COS((K0-D5)*P1))/COS(D5*P1)
932 GO TO 940
935 PRINT #1, 'X6=';X6, 'Z6=';Z6
940 LET A6=((Z8-Z6)*SIN(K5*P1)/COS(K5*P1)+X6-X8)
941 LET A6=A6/SQR(SIN(K5*P1)^2/(COS(K5*P1)^2)+1)
950 LET R=SQR((F0+G*COS(K5*P1))^2+(N4*F0+G*SIN(K5*P1))^2)
955 LET R5=(N4*F0+G*SIN(K5*P1))/(F0+G*COS(K5*P1))
956 LET R5=P2*ATN(R5)
957 IF R5=0 THEN 959
958 GO TO 962
959 LET R5=1.00000E-03
962 LET S=SIN(R5*P1)
963 LET C=COS(R5*P1)
964 LET B=Z-X*C/S
965 LET G0=G*A6/R
966 LET S3=X6-G0*C
967 LET S4=Z6+G0*S
968 LET D0=-S4+S3*C/S+B
969 GO TO 1026
970 LET Q=G/(R*COS(R5*P1)*SQR((SIN(K5*P1)/COS(K5*P1))^2+1))
975 GO TO 991
980 LET H=X-Z*SIN(R5*P1)/COS(R5*P1)+Q*(Z8*SIN(K5*P1)/COS(K5*P1)-X8)
990 LET K=Q*SIN(K5*P1)/COS(K5*P1)-SIN(R5*P1)/COS(R5*P1)
991 PRINT #1, 'BE=';B, 'DG=';G0, 'AG=';A6, 'D0=';D0
992 PRINT #1, 'GAM=';K0
993 PRINT #1, '-----'
995 GO TO 1026
1000 LET M1=Q-1
1010 LET L9=(H-Z3*K+X3*M1)*COS(D5*P1)
1015 LET Y=K*COS((K0-D5)*P1)+M1*SIN((K0-D5)*P1)
1017 PRINT #1, 'GAM=';K0, 'Q=';Q, 'H=';H, 'K=';K, 'M1=';M1
1018 IF Y=0 THEN 1020
1019 GO TO 1025
1020 LET Y=1.00000E-06

```

```
1025 LET L9=L9/Y+C2
1026 IF D0<0 THEN 1040
1027 GO TO 1035
1028 PRINT 'GAM=';K0,'L KR=';L9,'LF=';L3
1030 IF L9>L3 THEN 1040
1032 LET U7=U7/2
1034 PRINT 'GAM=';K0,'L KR.=';L9,'LF=';L3
1035 IF U7<U5 THEN 1048
1036 LET K0=K0+2*U7
1038 GO TO 758
1040 LET U7=U7/2
1042 IF U7<U5 THEN 1048
1045 GO TO 758
1048 PRINT #1,D1,D2,K5,F0,K0
1100 LET F0=F0+2*G
1120 IF F0<Y9 THEN 500
1130 LET F0=0
1190 LET K5=K5+15
1200 IF K5<40 THEN 500
1210 LET F0=0
1220 LET K5=0
1350 LET D2=D2-D7
1380 IF D2>=D6 THEN 162
1385 PRINT #1,'-----'
1400 LET D1=D4
1405 LET D2=D2+2*D7
1410 LET I=I+1
1420 IF I=1 THEN 162
1510 DATA 12,12,12,11
1520 DATA .5,.5,.5
1530 DATA 11.88
1540 DATA 50,100
1550 DATA 45,45,45
1560 DATA .16666
1570 DATA 0,0
1580 DATA .02
1590 DATA .16
1600 DATA .2,.2
2500 END
```

AL - DI THAL - DI THAL - DI THAL - DI THAL - DI THAL - DI THAL - DI THAL

HALOGENJETSTA NAH

IMVF JAHRE

58 DF= 11 FTK= 0  
 0 NALA M= .08  
 .1 FECKOFFF. TRIFENTAY .1  
 45 FTR= 45 FTF= 45  
 .3 CR= .5 DF= .5

MP	DB(MM)	FPS(GRAD)	F-SR. ST. B(H)	Sam. BOP. (GRAD)
	12	0	0	1.20195F-02
	12	0	1.5696	1.20195F-02
	12	0	3.1392	1.20195F-02
	12	15	0	1.20195F-02
	12	15	1.5696	1.20195F-02
	12	15	3.1392	1.20195F-02
	12	30	0	1.20195F-02
	12	30	1.5696	1.20195F-02
	12	30	3.1392	1.20195F-02
	11.99	0	0	.450431
	11.99	0	1.5696	.954628
	11.99	0	3.1392	.454628
	11.99	15	0	.91789
	11.99	15	1.5696	.424125
	11.99	15	3.1392	.92435F
	11.99	30	0	.406319
	11.99	30	1.5696	.984419
	11.99	30	3.1392	.424494
	11.96	0	0	1.47292
	11.96	0	1.5696	1.42542
	11.96	0	3.1392	1.4244
	11.96	15	0	1.4244
	11.96	15	1.5696	1.77946
	11.96	15	3.1392	1.8114
	11.96	30	0	.804542
	11.96	30	1.5696	1.7051
	11.96	30	3.1392	1.76488
	11.94	0	0	2.74486
	11.94	0	1.5696	2.78866
	11.94	0	3.1392	2.78186
	11.94	15	0	2.87665
	11.94	15	1.5696	2.54612
	11.94	15	3.1392	2.60865
	11.94	30	0	1.12361
	11.94	30	1.5696	2.41587
	11.94	30	3.1392	2.51588
	11.92	0	0	3.55722
	11.92	0	1.5696	3.46941
	11.92	0	3.1392	3.45284
	11.92	15	0	2.58791
	11.92	15	1.5696	3.23248
	11.92	15	3.1392	3.38869
	11.92	30	0	1.49543
	11.92	30	1.5696	3.84691
	11.92	30	3.1392	3.18689
	11.9	0	0	4.36545
	11.9	0	1.5696	4.15288
	11.9	0	3.1392	4.12436
	11.9	15	0	3.86925
	11.9	15	1.5696	3.85888
	11.9	15	3.1392	3.94143
	11.9	30	0	1.81457
	11.9	30	1.5696	3.57741
	11.9	30	3.1392	3.78621

II-DL.IVAL-DL.IVAL-DL.IVAL-DL.IVAL-DL.IVAL-DL.IVAL-DL.IVAL

AM.IVAJETA.NAL

NYE.DANNYE

00 DF= 11 FIK= 0  
 000LA M= .16  
 11 FF(KOEFF.TRIENIA) .1  
 45 FIB= 45 FIF= 45  
 2 CB= .5 CF= .5

D	DB(KMD)	EPS(GRAD)	F-SB. STLA(H)	GAM. TOP. (GRAD)
12		0	0	1.30195E-03
12		0	3.1392	1.30195E-03
12		0	6.2784	1.30195E-03
12		15	0	1.30195E-03
12		15	3.1392	1.30195E-03
12		15	6.2784	1.30195E-03
12		30	0	1.30195E-03
12		30	3.1392	1.30195E-03
12		30	6.2784	1.30195E-03
11.98		0	0	.945143
11.98		0	3.1392	.986116
11.98		0	6.2784	.899738
11.98		15	0	.422515
11.98		15	3.1392	.671961
11.98		15	6.2784	.751763
11.98		30	0	.210409
11.98		30	3.1392	.461542
11.98		30	6.2784	.582018
11.96		0	0	1.83625
11.96		0	3.1392	1.68954
11.96		0	6.2784	1.65759
11.96		15	0	.799609
11.96		15	3.1392	1.18197
11.96		15	6.2784	1.29082
11.96		30	0	.410553
11.96		30	3.1392	.851868
11.96		30	6.2784	1.04235
11.94		0	0	2.64117
11.94		0	3.1392	2.3085
11.94		0	6.2784	2.13713
11.94		15	0	1.14489
11.94		15	3.1392	1.60717
11.94		15	6.2784	1.7267
11.94		30	0	.601968
11.94		30	3.1392	1.19674
11.94		30	6.2784	1.43147
11.92		0	0	3.3564
11.92		0	3.1392	2.72549
11.92		0	6.2784	2.53027
11.92		15	0	1.46137
11.92		15	3.1392	1.97494
11.92		15	6.2784	2.10486
11.92		30	0	.786995
11.92		30	3.1392	1.50772
11.92		30	6.2784	1.77981
11.9		0	0	3.99501
11.9		0	3.1392	3.08773
11.9		0	6.2784	2.89632
11.9		15	0	1.75729
11.9		15	3.1392	2.3084
11.9		15	6.2784	2.4299
11.9		30	0	.966417
11.9		30	3.1392	1.79055
11.9		30	6.2784	2.07881



\*\*\*\*\*

HAL-DL IVAL-DL IVAL-DL IVAL-DL IVAL-DL IVAL-DL IVAL-DL IVAL-DL IVAL

HNANL IVALJETSIA MAL

UNYE IANNYE

00 DF= 11 FIK= 0  
 00 NOLA M= .04  
 .1 FF(KOEFF, TRIENIA) .1  
 .45 FIR= 45 FIF= 45  
 .5 GB= .5 CF= .5

-----

IM)	DB(NM)	EPS(GRAD)	F-SB. SILA(H)	GAM. IOP. (GRAD)
-----	--------	-----------	---------------	------------------

-----

12		0	0	1.30195E-03
12		0	.7848	1.30195E-03
12		0	1.5696	1.30195E-03
12		15	0	1.30195E-03
12		15	.7848	1.30195E-03
12		15	1.5696	1.30195E-03
12		30	0	1.30195E-03
12		30	.7848	1.30195E-03
12		30	1.5696	1.30195E-03
12		45	0	1.30195E-03
12		45	.7848	1.30195E-03
12		45	1.5696	1.30195E-03
11.98		0	0	.955324
11.98		0	.7848	.987564
11.98		0	1.5696	.994352
11.98		15	0	.926478
11.98		15	.7848	.975686
11.98		15	1.5696	.987564
11.98		30	0	.897631
11.98		30	.7848	.965585
11.98		30	1.5696	.986777
11.98		45	0	.666557
11.98		45	.7848	.957821
11.98		45	1.5696	.975686
11.96		0	0	1.89777
11.96		0	.7848	2.02319
11.96		0	1.5696	2.05158
11.96		15	0	1.79365
11.96		15	.7848	1.97784
11.96		15	1.5696	2.022
11.96		30	0	1.78819
11.96		30	.7848	1.938
11.96		30	1.5696	1.99716
11.96		45	0	1.36834
11.96		45	.7848	1.96487
11.96		45	1.5696	1.97784
11.94		0	0	2.32118
11.94		0	.7848	3.08617
11.94		0	1.5696	3.15897
11.94		15	0	2.66885
11.94		15	.7848	2.98184
11.94		15	1.5696	3.08641
11.94		30	0	2.43235
11.94		30	.7848	2.89463
11.94		30	1.5696	3.02424
11.94		45	0	1.81887
11.94		45	.7848	2.82551
11.94		45	1.5696	2.9796
11.92		0	0	3.71462
11.92		0	.7848	4.14539
11.92		0	1.5696	4.22143
11.92		15	0	3.37497
11.92		15	.7848	3.5848
11.92		15	1.5696	4.13648

20 DF= 11 FTK= 1  
A NALA M= .04  
.2 FF/KOEFF. TRIFENOL .2  
45 FTR= 45 FTF= 45  
.5 CR= .5 CF= .5

Q	BEYMMO	FPS(GRADO)	F-SR. STI PCH	BAB. PDP. (GRADO)
	12	0	0	1.29923E-03
	12	0	.7848	1.29923E-03
	12	0	1.5696	1.29923E-03
	12	15	0	1.29923E-03
	12	15	.7848	1.29923E-03
	12	15	1.5696	1.29923E-03
	12	30	0	1.29923E-03
	12	30	.7848	1.29923E-03
	12	30	1.5696	1.29923E-03
	12	45	0	1.29923E-03
	12	45	.7848	1.29923E-03
	12	45	1.5696	1.29923E-03
	11.98	0	0	1.28853E-03
	11.98	0	.7848	1.28853E-03
	11.98	0	1.5696	1.28853E-03
	11.98	15	0	1.28853E-03
	11.98	15	.7848	1.28853E-03
	11.98	15	1.5696	1.28853E-03
	11.98	30	0	1.28853E-03
	11.98	30	.7848	1.28853E-03
	11.98	30	1.5696	1.28853E-03
	11.98	45	0	1.28853E-03
	11.98	45	.7848	1.28853E-03
	11.98	45	1.5696	1.28853E-03
	11.96	0	0	1.42958E-03
	11.96	0	.7848	1.42958E-03
	11.96	0	1.5696	1.42958E-03
	11.96	15	0	1.42958E-03
	11.96	15	.7848	1.42958E-03
	11.96	15	1.5696	1.42958E-03
	11.96	30	0	1.42958E-03
	11.96	30	.7848	1.42958E-03
	11.96	30	1.5696	1.42958E-03
	11.96	45	0	1.42958E-03
	11.96	45	.7848	1.42958E-03
	11.96	45	1.5696	1.42958E-03
	11.94	0	0	1.21782E-03
	11.94	0	.7848	1.21782E-03
	11.94	0	1.5696	1.21782E-03
	11.94	15	0	1.21782E-03
	11.94	15	.7848	1.21782E-03
	11.94	15	1.5696	1.21782E-03
	11.94	30	0	1.21782E-03
	11.94	30	.7848	1.21782E-03
	11.94	30	1.5696	1.21782E-03
	11.94	45	0	1.21782E-03
	11.94	45	.7848	1.21782E-03
	11.94	45	1.5696	1.21782E-03
	11.92	0	0	1.43894E-03
	11.92	0	.7848	1.43894E-03
	11.92	0	1.5696	1.43894E-03
	11.92	15	0	1.43894E-03
	11.92	15	.7848	1.43894E-03
	11.92	15	1.5696	1.43894E-03
	11.92	30	0	1.43894E-03
	11.92	30	.7848	1.43894E-03
	11.92	30	1.5696	1.43894E-03

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

## Обозначения идентификаторов программы DLIWTU

A - A	G - G	Z - Z <sub>E</sub>
A1 - k <sub>1</sub>	G $\emptyset$ - d <sub>G</sub>	Z3 - Z <sub>B</sub>
A2 - k <sub>2</sub>	K $\emptyset$ - $\gamma$	Z4 - Z <sub>2-3</sub>
A3 - k <sub>3</sub>	K1 - $\varphi_A$	Z5 - Z <sub>1-3</sub>
A6 - a <sub>G</sub>	K2 - $\varphi_B$	X - X <sub>E</sub>
B - b <sub>E'</sub>	K3 - $\varphi_F$	X3 - X <sub>B</sub>
B1 - b <sub>1</sub>	K5 - $\varepsilon$	X4 - X <sub>2-3</sub>
B2 - b <sub>2</sub>	k7 - $\varphi_k$	X5 - X <sub>1-3</sub>
B3 - b <sub>3</sub>	L $\emptyset$ - l <sub>c</sub>	U - tg $\varphi_k$
C - cos $\varphi_R$	L3 - l <sub>F</sub>	U5 - точность расчета $\gamma$
C1 - C <sub>A</sub>	M - m	U7 - $\gamma/2$
C2 - C <sub>B</sub>	N3 - $\mu$	
C3 - C <sub>F</sub> (от D <sub>HA</sub> )	N4 - f <sub>F</sub>	
D - $\Delta d_B$	R $\emptyset$ - $\rho$	
D $\emptyset$ - $\delta_0$	R - R	
D1 - D <sub>A</sub>	Q1 - X <sub>Q</sub>	
D2 - d <sub>B</sub>	Q2 - Z <sub>Q</sub>	
D3 - D <sub>HA</sub>	Q3 - X' <sub>Q</sub>	
D4 - d <sub>Bmin</sub>	Q4 - Z' <sub>Q</sub>	
D5 - D <sub>A</sub> (второе значение)	S - sin $\varphi_R$	
F $\emptyset$ - F	S1 - X' <sub>S</sub>	
F6 - $\gamma_{\text{ш}}$	S2 - Z' <sub>S</sub>	
F7 - $\gamma_{\text{max}}$	S3 - X' <sub>SR</sub>	
F8 - $\varphi_{T_1}$	S4 - Z' <sub>SR</sub>	

```

5 OPEN "LP:" FOR OUTPUT AS FILE #1
6 PRINT #1, ' '
7 PRINT #1, '*****'
8 PRINT #1, 'DLIWU-DLIWU-DLIWU-DLIWU-DLIWU-DLIWU'
9 PRINT #1, 'USTANAWLIWAJETSIA WTULKA'
10 READ D1,D5,D2,D3
20 READ C1,C2,C3
30 READ L0,L3
40 READ N3,N4
50 READ K1,K2,K3
60 READ F6
70 READ K7
80 READ K5
90 READ M
105 READ D,D4
108 LET I=0
110 LET P1=3.14159/180
115 LET P2=180/3.14159
118 PRINT #1, '-----'
119 PRINT #1, 'NR. RIS. ', 'NR. SOJEDINIENIA'
120 PRINT #1, 'CP-50-130 F', '1-2'
128 PRINT #1, '-----'
129 PRINT #1, 'ISHODNYJE DANNYJE:'
130 PRINT #1, 'DHA=';D3, 'MASSA WTULKI M=';M
134 PRINT #1, 'FIA=';K1, 'FIB=';K2, 'FIF=';K3, 'FIK=';K7
135 PRINT #1, 'CA=';C1, 'CB=';C2, 'CF=';C3
136 PRINT #1, 'NIU';N3, 'FF(KOEFF. TRIENIA)=';N4
145 IF K7=0 THEN 148
146 GO TO 160
148 LET K7=1.00000E-05
160 PRINT #1, 'DLINA WTULKI LF=';L3
162 LET F0=0
165 PRINT #1, '-----'
170 PRINT #1, 'DA(MM)', 'DB(MM)', 'EPS(GRAD)', 'F-SB, SILA(H)', 'GAM, DOP. (
171 PRINT #1, '-----'
500 GO TO 590
550 LET M=D3-2-(D1-2*L3*SIN(K7*P1)/COS(K7*P1)/3)-2
560 LET M=3.14159*L3*R0*M/4
590 LET G=9.81*M
595 GO TO 620
600 PRINT #1, 'MASSA WTULKI M=';M, 'SILA TIAZIESTI=';G
620 LET F7=ATN(SQR((D1/(D2*COS(K7*P1))-2-1))*P2-K7
621 PRINT 'GAM, MAK.=';F7
622 LET K0=F7+F6
625 LET K0=K0-F6
630 LET A=D1*SIN((K0+K7)*P1)*SIN(K0*P1)+COS(K7*P1)*(D2*COS(K0*P1)-D1
632 LET U=SIN(K7*P1)/COS(K7*P1)
635 LET A=A/(SIN((K0+K7)*P1)*(SIN(K0*P1)*U-COS(K0*P1))-SIN(K7*P1))
640 LET X3=.5*D1-A*U
650 LET Z3=-(A+C1)
660 LET F8=ATN(N3)*P2
670 LET A2=SIN((K0+K7-F8)*P1)/COS((K0+K7-F8)*P1)
680 LET A3=-SIN((K0+F8)*P1)/COS((K0+F8)*P1)
690 LET B2=.5*D1*A2-C1
700 LET B3=Z3-A3*X3
710 LET X4=(B3-B2)/(A2-A3)
720 LET Z4=A2*X4+B2
722 LET X3=-X3
727 IF T X4=-X4

```

```

725 PRINT 'X2=3=';X4,'XB=';X3
730 IF X3>X4 THEN 625
740 GO TO 754
750 PRINT 'GAM=';K0
754 LET U7=K0/2
756 LET U5=.05
758 LET K0=K0-U7
759 IF K0<=0 THEN 1060
760 LET A1=SIN((K0+K7+F8)*P1)/COS((K0+K7+F8)*P1)
762 GO TO 770
765 PRINT #1,' '
766 PRINT #1,'-----'
770 LET A2=SIN((K0+K7-F8)*P1)/COS((K0+K7+F8)*P1)
780 LET A3=-SIN((K7+F8)*P1)/COS((K7+F8)*P1)
790 LET B1=.5*D1*A1-C1
800 LET B2=.5*D1*A2-C1
802 LET A=D1*SIN((K0+K7)*P1)*SIN(K0*P1)+COS(K7*P1)*(D2*COS(K0*P1)-D1)
804 LET A=A/(SIN((K0+K7)*P1)*(SIN(K0*P1)*U-COS(K0*P1))-SIN(K7*P1))
806 LET X3=.5*D1-A*SIN(K7*P1)/COS(K7*P1)
808 LET Z3=-(A+C1)
810 LET B3=Z3-A3*X3
820 LET X5=(B3-B1)/(A1-A3)
830 LET Z5=A1*X5+B1
840 LET X4=(B3-B2)/(A2-A3)
845 LET Z4=A2*X4+B2
850 LET X3=-X3
852 LET X4=-X4
853 LET X5=-X5
855 IF X5<X4 THEN 870
860 LET X=X4
865 LET Z=Z4
868 GO TO 880
870 LET X=X5
875 LET Z=Z5
880 LET Q1=X
885 LET Q2=Z
890 GOSUB 2000
892 LET X=Q3
894 LET Z=Q4
895 GO TO 910
900 PRINT #1,'GAM=';K0,'XE=';X,'ZE=';Z
910 LET Q1=-.5*D3
915 LET Q2=-L3
920 GOSUB 2000
925 LET S1=Q3
930 LET S2=Q4
935 LET A6=SIN((K5+K0)*P1)/COS((K5+K0)*P1)
940 LET A6=-((-L0+L3)*A6-.5*D3)/SQR(A6*A6+1)
950 LET R=SQR((F0+G*COS(K5*P1))^2+(N4*F0+G*SIN(K5*P1))^2)
960 LET R5=(N4*F0+G*SIN(K5*P1))/(F0+G*COS(K5*P1))
961 LET R5=P2*ATN(R5)
962 IF R5=0 THEN 964
963 GO TO 965
964 LET R5=1.00000E-04
965 LET S=SIN(R5*P1)
966 LET C=COS(R5*P1)
970 LET B=Z-X*C/S
975 LET G0=G*A6/R/C
978 LET S3=S1+G0*C
980 LET S4=S2-G0*S
981 LET D0=S4-S3*C/S-B
982 GO TO 990
984 PRINT #1,'R=';R,'FIR=';R5
985 PRINT #1,'AG=';A6,'D0=';D0
986 PRINT #1,'BE PR=';B,'DG=';G0
987 PRINT #1,'X PR SR=';S3,'Z PR SR=';S4
990 IF D0<0 THEN 1000
992 LET U7=U7/2

```

```
996 LET K0=K0+2*U7
998 GO TO 758
1000 LET U7=U7/2
1005 IF U7<US THEN 1015
1010 GO TO 758
1015 IF D0<0 THEN 1060
1020 PRINT #1,D1,D2,K5,F0,K0
1050 GO TO 1300
1060 PRINT #1,D1,D2,K5,F0,K0
1300 LET F0=F0+2*G
1310 LET Y9=5*G
1320 IF F0<Y9 THEN 500
1330 LET F0=0
1340 LET K5=K5+10
1350 IF K5<31 THEN 500
1360 LET F0=0
1370 LET K5=0
1380 LET D2=D2-D
1390 IF D2>=D4 THEN 500
1395 PRINT #1,'-----'
1400 LET D1=D5
1402 LET D2=D2+2*D
1410 LET I=I+1
1420 IF I=1 THEN 500
1430 GO TO 2500
1510 DATA 14.74,14.5,14.5,22
1520 DATA .3,.3,.3
1530 DATA 7,12
1540 DATA .2,.2
1550 DATA 45,45,45
1560 DATA .166666
1570 DATA 0
1580 DATA 0
1590 DATA 2.1E-3
1605 DATA .24,14.26
1990 GO TO 2500
2000 LET S=SIN(K0*P1)
2010 LET C=COS(K0*P1)
2020 LET P3=X3+.5*D2*C-C2*S
2030 LET P4=Z3-(.5*D2*S+C2*C)
2040 LET P5=-P3*C+P4*S
2050 LET P6=-P3*S-P4*C
2060 LET Q3=P5-Q2*S+Q1*C
2070 LET Q4=P6+Q2*C+Q1*S
2090 RETURN
2500 END
```



\*\*\*\*\*

DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU

USTANAWLIWAJETSIA WTULKA

NR.RIS.

NR.SOJEDINIENIA

CP-50-130 F

1-2

ISHODNYJE DANNYJE:

DHA= 22            MASSA WTULKI M= 1.20000E-03  
 FIA= 45           FIB= 45           FIF= 45           FIK= 0  
 CA= .3            CB= .3            CF= .3  
 NIU .1            FF(KOEFF.TRIENIA)= .1  
 DLINA WTULKI LF= 24

DA(MM)	DB(MM)	EPS(GRAD)	F-SB,SILA(H)	GAM.DOP.(GRA
14.74	14.5	0	0	8.00776
14.74	14.5	0	.023544	10.2726
14.74	14.5	0	.047088	10.2726
14.74	14.5	10	0	6.87535
14.74	14.5	10	.023544	10.2726
14.74	14.5	10	.047088	10.2726
14.74	14.5	20	0	6.22825
14.74	14.5	20	.023544	9.94903
14.74	14.5	20	.047088	10.2726
14.74	14.26	0	0	12.772
14.74	14.26	0	.023544	14.6048
14.74	14.26	0	.047088	14.6048
14.74	14.26	10	0	11.0538
14.74	14.26	10	.023544	14.6048
14.74	14.26	10	.047088	14.6048
14.74	14.26	20	0	9.45016
14.74	14.26	20	.023544	14.6048
14.74	14.26	20	.047088	14.6048
14.5	14.5	0	0	-4.99934E-01
14.5	14.5	0	.023544	-4.99934E-01
14.5	14.5	0	.047088	-4.99934E-01
14.5	14.5	10	0	-4.99934E-01
14.5	14.5	10	.023544	-4.99934E-01
14.5	14.5	10	.047088	-4.99934E-01
14.5	14.5	20	0	-4.99934E-01
14.5	14.5	20	.023544	-4.99934E-01
14.5	14.5	20	.047088	-4.99934E-01
14.5	14.26	0	0	8.07394
14.5	14.26	0	.023544	10.3575
14.5	14.26	0	.047088	10.3575
14.5	14.26	10	0	6.93217
14.5	14.26	10	.023544	10.3575
14.5	14.26	10	.047088	10.3575
14.5	14.26	20	0	6.27973
14.5	14.26	20	.023544	10.0313
14.5	14.26	20	.047088	10.3575

\*\*\*\*\*  
DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU  
USTANAWLIWAJETSIA WTULKA

NR. RIS.  
CP-50-130 F

NR. SOJEDINIENIA  
1-2

ISHODNYJE DANNYJE:

DHA= 22            MASSA WTULKI M= 2.10000E-03  
FIA= 45            FIB= 45            FIF= 45            FIK= 0  
CA= .3            CB= .3            CF= .3  
NIU .1            FF(KOEFF. TRIENIA)= .1  
DLINA WTULKI LF= 12

DA(MM)	DB(MM)	EPS(GRAD)	F-SB.SILA(H)	GAM.DOP.(GRAD)
14.74	14.5	0	0	8.49307
14.74	14.5	0	.041202	10.2726
14.74	14.5	0	.082404	10.2726
14.74	14.5	10	0	7.68421
14.74	14.5	10	.041202	10.2726
14.74	14.5	10	.082404	10.2726
14.74	14.5	20	0	7.03712
14.74	14.5	20	.041202	10.2726
14.74	14.5	20	.082404	10.2726
14.74	14.5	30	0	6.39003
14.74	14.5	30	.041202	10.2726
14.74	14.5	30	.082404	10.2726
14.74	14.26	0	0	14.4902
14.74	14.26	0	.041202	14.6048
14.74	14.26	0	.082404	14.6048
14.74	14.26	10	0	12.772
14.74	14.26	10	.041202	14.6048
14.74	14.26	10	.082404	14.6048
14.74	14.26	20	0	11.3975
14.74	14.26	20	.041202	14.6048
14.74	14.26	20	.082404	14.6048
14.74	14.26	30	0	10.252
14.74	14.26	30	.041202	14.6048
14.74	14.26	30	.082404	14.6048
14.5	14.5	0	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	0	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	0	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.5	10	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	10	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	10	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.5	20	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	20	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	20	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.5	30	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	30	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	30	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.26	0	0	8.56327
14.5	14.26	0	.041202	10.3575
14.5	14.26	0	.082404	10.3575
14.5	14.26	10	0	7.74772
14.5	14.26	10	.041202	10.3575
14.5	14.26	10	.082404	10.3575
14.5	14.26	20	0	7.09528
14.5	14.26	20	.041202	10.3575
14.5	14.26	20	.082404	10.3575
14.5	14.26	30	0	6.44284
14.5	14.26	30	.041202	10.3575
14.5	14.26	30	.082404	10.3575

\*\*\*\*\*  
 DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU  
 USTANAWLIWAJETSIA WTULKA

NR. RIS.  
 CP-50-130 F

NR. SOJEDINIENIA  
 1-2

ISHODNYJE DANNYJE:

DHA= 22            MASSA WTULKI M= 2.10000E-03  
 FIA= 45            FIB= 45            FIF= 45            FIK= 0  
 CA= .3            CB= .3            CF= .3  
 NIU .1            FF(KOEFF.TRIENIA)= .1  
 DLINA WTULKI LF= 40

DA(MM)	DB(MM)	EPS(GRAD)	F-SB.SILA(H)	GAM.DOP.(GRAD)
14.74	14.5	0	0	7.36066
14.74	14.5	0	.041202	8.65485
14.74	14.5	0	.082404	8.97839
14.74	14.5	10	0	6.22825
14.74	14.5	10	.041202	8.00776
14.74	14.5	10	.082404	8.65485
14.74	14.5	20	0	4.61053
14.74	14.5	20	.041202	7.52244
14.74	14.5	20	.082404	8.16953
14.74	14.5	30	0	3.47812
14.74	14.5	30	.041202	7.03712
14.74	14.5	30	.082404	7.84598
14.74	14.26	0	0	11.3975
14.74	14.26	0	.041202	12.6575
14.74	14.26	0	.082404	12.8866
14.74	14.26	10	0	9.22106
14.74	14.26	10	.041202	11.8557
14.74	14.26	10	.082404	12.3138
14.74	14.26	20	0	7.15921
14.74	14.26	20	.041202	11.1684
14.74	14.26	20	.082404	11.9702
14.74	14.26	30	0	5.78464
14.74	14.26	30	.041202	10.5956
14.74	14.26	30	.082404	11.512
14.5	14.5	0	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	0	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	0	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.5	10	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	10	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	10	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.5	20	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	20	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	20	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.5	30	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	30	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	30	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.26	0	0	7.4215
14.5	14.26	0	.041202	8.72638
14.5	14.26	0	.082404	9.0526
14.5	14.26	10	0	6.27973
14.5	14.26	10	.041202	8.07394
14.5	14.26	10	.082404	8.72638
14.5	14.26	20	0	4.48552
14.5	14.26	20	.041202	7.58461
14.5	14.26	20	.082404	8.23705
14.5	14.26	30	0	3.50686
14.5	14.26	30	.041202	7.09528
14.5	14.26	30	.082404	7.91083

\*\*\*\*\*

DLIWU-DLIWU-DLIWU-DLIWU-DLIWU-DLIWU

USTANAWLIWAJETSIA WTULKA

NR. RIS.

NR. SOJEDINIENIA

CP-50-130 F

1-2

ISHODNYJE DANNYJE:

DHA= 22 MASSA WTULKI M= 2.10000E-03

FIA= 45 FIB= 45 FIF= 45 FIK= 0

CA= .3 CB= .3 CF= .3

NIU .15 FF(KOEFF.TRIENIA)= .15

DLINA WTULKI LF= 40

DA(MM)	DB(MM)	EPS(GRAD)	F-SB,SILA(H)	GAM,DOP.(GRA)
14.74	14.5	0	0	5.58116
14.74	14.5	0	.041202	6.06648
14.74	14.5	0	.082404	6.22825
14.74	14.5	10	0	4.93407
14.74	14.5	10	.041202	5.74294
14.74	14.5	10	.082404	6.06648
14.74	14.5	20	0	3.63989
14.74	14.5	20	.041202	5.58116
14.74	14.5	20	.082404	5.90471
14.74	14.5	30	0	2.66925
14.74	14.5	30	.041202	5.25762
14.74	14.5	30	.082404	5.74294
14.74	14.26	0	0	9.5647
14.74	14.26	0	.041202	10.1374
14.74	14.26	0	.082404	10.1374
14.74	14.26	10	0	8.07559
14.74	14.26	10	.041202	9.5647
14.74	14.26	10	.082404	9.90835
14.74	14.26	20	0	6.01374
14.74	14.26	20	.041202	9.10651
14.74	14.26	20	.082404	9.5647
14.74	14.26	30	0	4.75372
14.74	14.26	30	.041202	8.64833
14.74	14.26	30	.082404	9.33561
14.5	14.5	0	0	-4.99934E-0
14.5	14.5	0	.041202	-4.99934E-0
14.5	14.5	0	.082404	-4.99934E-0
14.5	14.5	10	0	-4.99934E-0
14.5	14.5	10	.041202	-4.99934E-0
14.5	14.5	10	.082404	-4.99934E-0
14.5	14.5	20	0	-4.99934E-0
14.5	14.5	20	.041202	-4.99934E-0
14.5	14.5	20	.082404	-4.99934E-0
14.5	14.5	30	0	-4.99934E-0
14.5	14.5	30	.041202	-4.99934E-0
14.5	14.5	30	.082404	-4.99934E-0
14.5	14.26	0	0	5.7904
14.5	14.26	0	.041202	6.11662
14.5	14.26	0	.082404	6.27973
14.5	14.26	10	0	4.97485
14.5	14.26	10	.041202	5.95351
14.5	14.26	10	.082404	6.11662
14.5	14.26	20	0	3.66997
14.5	14.26	20	.041202	5.62729
14.5	14.26	20	.082404	5.95351
14.5	14.26	30	0	2.69131
14.5	14.26	30	.041202	5.46418
14.5	14.26	30	.082404	5.7904



\*\*\*\*\*

DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU-DLIWTU  
 USTANAWLIWAJETSIA WTULKA

NR. RIS.  
 CP-50-130 F

NR. SOJEDINIENIA  
 1-2

ISHODNYJE DANNYJE:

DHA= 22            MASSA WTULKI M= 2.10000E-03  
 FIA= 45           FIB= 45           FIF= 45           FIK= 0  
 CA= .3            CB= .3            CF= .3  
 NIU .2            FF(KOEFF. TRIENIA)= .2  
 DLINA WTULKI LF= 40

DA (MM)	DB (MM)	EPS (GRAD)	F-SB, SILA (H)	GAM. DOP. (GRAD)
14.74	14.5	0	0	4.44046
14.74	14.5	0	.041202	4.54494
14.74	14.5	0	.082404	4.54494
14.74	14.5	10	0	4.02253
14.74	14.5	10	.041202	4.44046
14.74	14.5	10	.082404	4.54494
14.74	14.5	20	0	2.97772
14.74	14.5	20	.041202	4.33598
14.74	14.5	20	.082404	4.44046
14.74	14.5	30	0	2.24635
14.74	14.5	30	.041202	4.2315
14.74	14.5	30	.082404	4.33598
14.74	14.26	0	0	8.07559
14.74	14.26	0	.041202	8.19014
14.74	14.26	0	.082404	8.19014
14.74	14.26	10	0	7.15921
14.74	14.26	10	.041202	7.84649
14.74	14.26	10	.082404	7.96104
14.74	14.26	20	0	5.09736
14.74	14.26	20	.041202	7.50285
14.74	14.26	20	.082404	7.73195
14.74	14.26	30	0	3.95188
14.74	14.26	30	.041202	7.27376
14.74	14.26	30	.082404	7.6174
14.5	14.5	0	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	0	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	0	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.5	10	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	10	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	10	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.5	20	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	20	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	20	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.5	30	0	-4.99934E-06
14.5	14.5	30	.041202	-4.99934E-06
14.5	14.5	30	.082404	-4.99934E-06
14.5	14.26	0	0	4.49729
14.5	14.26	0	.041202	4.6031
14.5	14.26	0	.082404	4.70892
14.5	14.26	10	0	4.07401
14.5	14.26	10	.041202	4.49729
14.5	14.26	10	.082404	4.6031
14.5	14.26	20	0	3.01583
14.5	14.26	20	.041202	4.39147
14.5	14.26	20	.082404	4.49729
14.5	14.26	30	0	2.2751
14.5	14.26	30	.041202	4.28565
14.5	14.26	30	.082404	4.39147

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

8

Обозначения идентификаторов программы К Х К Г А М

A-A	F $\emptyset$ -F <sub>ZW</sub>	K8- $\psi_k^p$	W7-F <sub>Z</sub>
A1-k <sub>1</sub>	F1- $\psi_F$	K9- $\psi_W$	Z-Z <sub>E</sub>
A2-k <sub>2</sub>	F2- $\psi_k^p$	K-k <sub>x</sub>	Z2-Z <sub>DH</sub>
A3-k <sub>3</sub>	F4-k <sub>x</sub>	L $\emptyset$ -l <sub>c</sub>	Z3-Z <sub>B</sub>
A5-a <sub>M</sub>	F5- $\psi_G$	L2-l <sub>o</sub>	Z4-Z <sub>2-3</sub>
A6-a <sub>G</sub>	F6- $\gamma_{\text{ш}}$	L3-l <sub>F</sub>	Z5-Z <sub>1-3</sub>
A9-a	F7- $\gamma_{\text{max}}$	L4-l <sub>w</sub>	Z7-Z <sub>W</sub>
A8-l	F8- $\psi_{T_1}$	L5-l <sub>wa</sub>	Z8-Z <sub>c</sub>
B1-b <sub>1</sub>	F9- $\Delta\gamma$	L6-k	Z6-Z <sub>s</sub>
B2-b <sub>2</sub>	G-G	L7-a <sub>w</sub>	X-X <sub>E</sub>
B3-b <sub>3</sub>	G $\emptyset$ -k <sub>x</sub>	L8-e	X $\emptyset$ -X <sub>CH</sub>
B-b	G5-G <sub>W</sub>	L9-l <sub>xp</sub>	X2-X <sub>DH</sub>
B5-F <sub>X<sub>o</sub></sub>	G3-G <sub>W/G</sub>	L1-l <sub>y</sub>	X3-X <sub>B</sub>
B6-F <sub>Z<sub>o</sub></sub>	G4-l <sub>cw/l<sub>c</sub></sub>	M-m	X4-X <sub>2-3</sub>
B7-M <sub>o</sub>	G6-l <sub>cw</sub>	M8-l <sub>w/2</sub>	X5-X <sub>1-3</sub>
C1-CA	G7-F <sub>X<sub>W</sub></sub>	N3-y	X6-X <sub>WH</sub>
C2-C <sub>B</sub>	G8-M <sub>WG</sub>	N4-f <sub>F</sub>	X7-X <sub>W</sub>
C3-C <sub>F</sub>	K $\emptyset$ - $\gamma$	P3-X <sub>o'o</sub>	X8-X <sub>c</sub>
D1-DA	K1- $\psi_A$	R $\emptyset$ - $\rho$	X9- $\Delta X$
D2-d <sub>B</sub>	K2- $\psi_B$	R-R	U4- $\Delta d_B$
D3-D <sub>F</sub>	K3- $\psi_F$	R5- $\psi_R$	U5-d <sub>Bmin</sub>
D5- $\psi_a$	K4- $\gamma_H$	Q1-X <sub>E</sub>	v6-0.5D1
D-d	K5- $\epsilon$	Q2-Z <sub>E</sub>	v7- $\gamma_{\text{max}}(F7)$
D6- $\delta X_H/2$	K6- $\psi_H$	W5-X <sub>cw</sub>	
D4-D1/2	K7- $\psi_k$	W6-Z <sub>cw</sub>	



```

5 OPEN "LP:" FOR OUTPUT AS FILE #1
6 PRINT #1, '*****'
7 PRINT #1, 'KXKGAM-KXKGAM-KXKGAM-KXKGAM-KXKGAM-KXKGAM'
8 PRINT
10 READ D1, D2
15 READ U4, U5
20 READ C1, C2
30 READ L0, L3
40 READ L4, L7
50 READ K1, K2
60 READ K4, K5, F6
70 READ K7, K8
80 READ F0
85 READ G3, G4
90 READ M
100 READ N3
105 READ Z2
106 PRINT #1, 'PROGRAMMA RASCIOTA ZOSTKOSTI KX I KGAM UPRUGIH ELIEMIEN
107 PRINT #1, 'SBOROCNOGO USTROJSTWA'
108 LET X2=K1*3.14159/180
109 LET X2=-(.5*D1+C1*SIN(X2)/COS(X2))
110 LET P1=3.14159/180
112 LET M8=L4/2
115 LET P2=180/3.14159
117 GO TO 125
118 PRINT #1, '-----
119 PRINT #1, 'NR.RIS.', 'NR.SOJEDINIENIA'
120 PRINT #1, '4.212.001 SB 7', ' '
124 PRINT #1, '-----
125 PRINT #1, '-----ISHODNYE DANNYE-----'
130 PRINT #1, 'DA=';D1, 'DB=';D2, 'CA=';C1, 'CB=';C2
131 LET U3=K4
135 PRINT #1, 'LC=';L0, 'LF=';L3, 'AW=';L7
140 PRINT #1, 'FIA=';K1, 'FIB=';K2, 'FIK=';K7
145 PRINT #1, 'NIU=';N3, 'MASSA DIETALI M=';M, 'SBOR.SILA F=';F0
148 GO TO 186
150 PRINT #1, 'GAM.H=';K4, 'EPS=';K5, 'GAM.U=';F6
186 LET D6=-((.5*D2-C2*SIN(K2*P1)/COS(K2*P1))*COS(K4*P1)+X2)
188 PRINT #1, 'DEL XH/2=';D6, 'GAM.H=';K4
190 GOSUB 1478
400 LET I0=0
445 GO TO 500
500 LET L6=SQR((L0-C2)^2+(.5*D2)^2)
505 LET I=0
508 LET K4=U3
510 LET K6=(ATN((.5*D2)/(L0-C2)))*P2
520 LET L8=SQR(L0^2+(.5*D2-C2*SIN(K2*P1)/COS(K2*P1))^2)
530 LET F5=(.5*D2-C2*SIN(K2*P1)/COS(K2*P1))/L0
531 LET F5=ATN(F5)*P2
533 IF K4>0 THEN 540
535 LET X2=.5*D1+C1*SIN(K1*P1)/COS(K1*P1)-D2*COS(K4*P1)
536 LET Z2=D2*SIN(K4*P1)
538 LET K4=-U3
540 LET X0=X2+L8*SIN((F5-K4)*P1)
550 LET Z0=Z2+L8*COS((F5-K4)*P1)
584 LET G6=G4*L0
590 LET G=9.81*M
597 LET G5=G3*G
600 LET L5=SQR(L4^2+L7^2)
605 LET K9=(ATN(L7/L4))*P2
610 IF I0>0 THEN 741
618 LET F7=SQR((D1/(D2*COS(K7*P1)))^2-1)
620 LET F7=(ATN(F7))*P2-K7
622 LET K0=F7+1/60
625 LET K0=K0-1/60
630 LET A=D1*SIN((K0+K7)*P1)*SIN(K0*P1)+COS(K7*P1)*(D2*COS(K0*P1)-D1)
632 LET U=SIN(K7*P1)/COS(K7*P1)
635 LET A=A/(SIN((K0+K7)*P1)*(SIN(K0*P1)*U-COS(K0*P1))-SIN(K7*P1))

```

```

650 LET Z3=- (A+C1)
660 LET F8=ATN(N3)*P2
670 LET A2=SIN((K0+K7-F8)*P1)/COS((K0+K7-F8)*P1)
680 LET A3=-SIN((K0+F8)*P1)/COS((K0+F8)*P1)
690 LET B2=.5*D1*A2-C1
700 LET B3=Z3-A3*X3
710 LET X4=(B3-B2)/(A2-A3)
720 LET Z4=A2*X4+B2
730 IF X4>=X3 THEN 625
732 PRINT 'GAM. MAX=';K0, 'GAM. MAX=K0=?'
735 INPUT K0
736 LET V7=K0
741 LET X6=X6-L5*SIN((K4-K9)*P1)
755 LET K0=K0+F6
756 LET I=0
758 LET K0=K0-F6
759 LET F8=(ATN(N3))*P2
760 LET A1=SIN((K0+K7+F8)*P1)/COS((K0+K7+F8)*P1)
770 LET A2=SIN((K0+K7-F8)*P1)/COS((K0+K7-F8)*P1)
780 LET A3=-SIN((K7+F8)*P1)/COS((K7+F8)*P1)
790 LET B1=.5*D1*A1-C1
795 LET U=SIN(K7*P1)/COS(K7*P1)
800 LET B2=.5*D1*A2-C1
801 LET V=SIN((K0+K7)*P1)*(SIN(K0*P1)*U-COS(K0*P1))-SIN(K7*P1)
802 LET A=D1*SIN((K0+K7)*P1)*SIN(K0*P1)+COS(K7*P1)*(D2*COS(K0*P1)-D1)
803 IF V=0 THEN 813
804 LET A=A/V
806 LET X3=.5*D1-A*SIN(K7*P1)/COS(K7*P1)
808 LET Z3=- (A+C1)
810 LET B3=Z3-A3*X3
812 GO TO 820
813 LET V=1.00000E-04
815 GO TO 804
820 LET X5=(B3-B1)/(A1-A3)
830 LET Z5=A1*X5+B1
832 LET V3=A2-A3
833 IF V3=0 THEN 835
834 GO TO 840
835 LET V3=1.00000E-05
840 LET X4=(B3-B2)/(A2-A3)
850 LET Z4=A2*X4+B2
855 IF X4<X5 THEN 870
860 LET X=X4
865 LET Z=Z4
868 GO TO 880
870 LET X=X5
875 LET Z=Z5
880 LET X7=X3-.5*D2*COS(K0*P1)+C2*SIN(K0*P1)-L5*SIN((K0-K9)*P1)
885 LET V6=.5*D1
887 IF X>V6 THEN 758
890 LET Z7=Z3-.5*D2*SIN(K0*P1)-C2*COS(K0*P1)+L5*COS((K0-K9)*P1)
900 LET X8=X3-L6*SIN((K6+K0)*P1)
910 LET Z8=Z3+L6*COS((K6+K0)*P1)
912 LET W5=X8-(G6-L0)*SIN(K0*P1)
914 LET W6=Z8+(G6-L0)*COS(K0*P1)
920 LET T4=SIN(K5*P1)/COS(K5*P1)
922 LET A5=- (X7-W5+(W6-Z7)*T4)/SQR(T4*T4+1)
930 LET M1=G5*A5
940 LET X9=X7-X6
950 LET W7=F0+G5*COS(K5*P1)
952 LET G7=(.5*D1+2*X7-X)*W7
955 LET G7=G7/(2*Z7+C1-Z)
960 LET K=G7/X9
970 LET F9=K4-K0
980 LET G8=(X-X7)*F0+(Z7-Z)*G7
982 LET G0=G8/F9
1010 LET B5=F0*SIN(K0*P1)+G7*COS(K0*P1)
1012 LET B6=F0*COS(K0*P1)-G7*SIN(K0*P1)

```

```

1030 PRINT #1,L4,K0,K,G0,X
1040 LET I=I+1
1042 LET I0=I0+1
1050 IF I<7 THEN 758
1060 GO TO 1100
1095 IF K0>0 THEN 758
1100 LET L4=L4-5
1103 LET K0=V7+F6
1105 PRINT #1,'-----'
1110 IF L4>=1 THEN 500
1200 LET K4=K4-3
1204 LET D6=-((.5*D2-C2*SIN(K2*P1)/COS(K2*P1))*COS(K4*P1)+X2)
1210 IF K4>6 THEN 500
1211 PRINT 'GAM.HACZ.=';K4+3
1212 GO TO 2500
1215 PRINT #1,'-----'
1220 LET K4=6
1230 LET K5=K5+45
1240 IF K5<0 THEN 500
1250 LET K5=0
1260 LET L4=L4-2*M8
1265 GOSUB 1478
1270 IF L4>=0 THEN 500
1275 GO TO 2500
1280 LET D2=D2-U4
1285 LET L4=2*M8
1286 GOSUB 1478
1290 IF D2<=U5 THEN 2500
1470 GO TO 500
1478 GO TO 1482
1482 PRINT #1,'-----'
1483 PRINT #1,'LW(MM)', 'GAM.CEN(GR)', 'KX(H/MM)', 'KG(HMM/GR)', 'XE(MM)'
1486 PRINT #1,'-----'
1490 RETURN
1510 DATA 30,29.9
1515 DATA .001,1
1520 DATA 1.5,0
1530 DATA 50,100
1540 DATA 30,0
1550 DATA 45,45
1560 DATA 1,0,.1
1570 DATA 0,0
1580 DATA 300
1585 DATA 0,0
1590 DATA .8
1600 DATA .16
1605 DATA 0
1650 GO TO 2100
2100 IF K0>0 THEN 758
2102 PRINT #1,'*****'
2500 END

```

PROGRAMA RASCIUTA ZOSIKOSTI KX I KVAM UPRUGIH ELIEMENTUW  
 SPORODNOG USTROJSTWA

ISHODNYE DANNYE

DA= 30.03      DB= 27.93      CA= 1      CB= 1  
 LC= 50      LF= 100      AM= 0  
 FIA= 85      FIB= 45      FIK= 0  
 NIU= .12      MASSA DIETALI K= .8      SBOR.SILA F= 300  
 DEL XH/2= 2.02553      UAM.H= .5

LW(NM)	GRIL.CEN(GR)	KX (H/MM)	KG (HMM/GR)	XE (NM)
30	.84	-56.4386	-12316.1	12.8262
30	.815	-376.607	-10149	5.9528
30	.79	-828.715	-7053.50	-1.80982
30	.765	-1481.74	-2600.84	-10.6477
30	.74	-2043.14	167.757	-15.3062
30	.715	-2447.48	547.754	-15.8684
25	.84	67.6334	-12327.9	12.8262
25	.815	354.853	-10190.6	5.9528
25	.79	657.812	-7100.94	-1.80982
25	.765	987.825	-2633.15	-10.6477
25	.74	1128.84	-164.136	-15.3062
25	.715	1098.44	535.624	-15.8684
20	.84	36.8203	-12346.7	12.8262
20	.815	188.746	-10257.1	5.9528
20	.79	364.306	-7198.73	-1.80982
20	.765	571.618	-2686.29	-10.6477
20	.74	679.753	158.122	-15.3062
20	.715	684.524	515.443	-15.8684
15	.84	37.5691	-12381	12.8262
15	.815	184.076	-10361.1	5.9528
15	.79	361.039	-7369.6	-1.80982
15	.765	580.157	-2790.1	-10.6477
15	.74	703.28	146.191	-15.3062
15	.715	716.883	475.175	-15.8684
10	.84	54.8295	-12464	12.8262
10	.815	261.438	-10693.2	5.9528
10	.79	529.962	-7821.0	-1.80982
10	.765	894.186	-3083.09	-10.6477
10	.74	1122.18	111.084	-15.3062
10	.715	1159.91	355.171	-15.8684
5	.84	175.534	-12931.1	12.8262
5	.815	957.43	-12965.6	5.9528
5	.79	2638.84	-12484.6	-1.80982
5	.765	8861.7	-9385.87	-10.6477
5	.74	34406.2	-2293.82	-15.3062
5	.715	103626	-23759	-15.8684
0	.84	-120.772	-11785	12.8262
0	.815	-420.569	-8570.13	5.9528
0	.79	-675.329	-5270.83	-1.80982
0	.765	-895.184	-1721.21	-10.6477
0	.74	-983.738	257.947	-15.3062
0	.715	-982.562	847.464	-15.8684
-5	.84	167.279	-12951.1	12.8262
-5	.815	912.489	-12965.6	5.9528
-5	.79	2515.2	-12484.6	-1.80982
-5	.765	8447.21	-9385.87	-10.6477
-5	.74	32799.8	-2293.82	-15.3062
-5	.715	98796.1	-23759	-15.8684

KXKQAN-KXKQAN-KXKQAN-KXKQAN-KXKQAN-KXKQAN  
 PROGRAMMA RASCHETA ZOSIKOSTI KX I KQAN UPURVIM EI IEMJENTOM  
 SPOBUCIVOM ISTEKOJSTVA

ISKONNYE DANNYE

OA= 30.03      OB= 29.98      CA= 1      CB= 1  
 LC= 50      LF= 100      AW= 0  
 FA= 45      FB= 45      FK= 0  
 HIU= .12      MASSA DETALI M= .8      SPOB.SILA F= 300  
 DEL XH/2= 2.02713      GAM.H= 1

LM (MM)	DAN.CEN (GR)	KX (H/MM)	KQ (MM/GR)	XE (MM)
30	.84	61.7229	26171.7	12.8267
30	.815	339.907	17280.8	5.9528
30	.79	616.059	9740.67	-1.80982
30	.765	902.149	2932.88	-10.6477
30	.74	1008.17	-154.853	-15.3062
30	.715	963.113	-413.218	-15.8684
25	.84	16.4087	26196.8	12.8262
25	.815	90.8285	17351.5	5.9528
25	.79	176.124	9817.11	-1.80982
25	.765	275.765	2969.3	-10.6477
25	.74	327.627	-151.51	-15.3062
25	.715	530.6	-404.067	-15.8684
20	.84	14.0229	26236.7	12.8262
20	.815	72.7827	17464.8	5.9528
20	.79	142.19	9941.1	-1.80982
20	.765	225.748	3029.72	-10.6477
20	.74	271.549	-145.959	-15.3062
20	.715	276.527	-388.843	-15.8684
15	.84	16.3749	26309.6	12.8262
15	.815	80.687	17676	5.9528
15	.79	159.108	10177.1	-1.80982
15	.765	257.057	3146.28	-10.6477
15	.74	313.276	-134.946	-15.3062
15	.715	321.02	-358.465	-15.8684
10	.84	25.655	26486	12.8262
10	.815	122.653	18207.3	5.9528
10	.79	249.284	10801.5	-1.80982
10	.765	421.709	3476.67	-10.6477
10	.74	530.608	-102.539	-15.3062
10	.715	549.866	-267.936	-15.8684
5	.84	86.2088	27521.1	12.8262
5	.815	470.664	22076.5	5.9528
5	.79	1298.46	17240.6	-1.80982
5	.765	4364.59	10584.1	-10.6477
5	.74	16961.9	2117.37	-15.3062
5	.715	51134.6	17923.5	-15.8684
0	.84	-61.7184	25043.1	12.8262
0	.815	-214.866	14592.4	5.9528
0	.79	-344.927	7278.77	-1.80982
0	.765	-457.097	1940.94	-10.6477
0	.74	-502.16	-238.105	-15.3062
0	.715	-501.446	-635.544	-15.8684
-5	.84	82.2237	27521.1	12.8262
-5	.815	440.926	22076.5	5.9528
-5	.79	1238.54	17240.6	-1.80982
-5	.765	4163.36	10584.1	-10.6477
-5	.74	16180.5	2117.37	-15.3062
-5	.715	48997.5	17923.5	-15.8684



\*\*\*\*\*

KKKBAM-KKKBAM-KKKBAM-KKKBAM-KKKBAM-KKKBAM  
PROGRAMA BASSUTA ZHITKOSTI KX I KBAM UPRUGIH ELEMIENITUM  
SMOROCHUBA USTRUJETA

-----ISPOBRYE DANNYE-----  
DA= 30.03      DB= 29.98      CA= 1      CB= 1  
LC= 50      LF= 100      AM= 0  
FA= 45      FB= 45      FK= 0  
RIU= .12      BASSA DIETALI H= .8      SPOR.SILA F= 300  
DEL XH/2= 2.03352      GAM.H= 2

LG(MM)	GAM.CEN(DR)	KX(H/MM)	KG(HMM/BR)	XE(MM)
35	.84	7.77373	3607.5	12.8262
35	.815	50.6171	2690.3	5.9528
35	.79	99.7689	1681.53	-1.80982
35	.765	153.759	553.422	-10.6477
35	.74	181.501	-32.4141	-15.3062
35	.715	182.418	-93.0014	-15.8684
30	.84	4.12716	3609.89	12.8262
30	.815	24.8439	2697.84	5.9528
30	.79	48.8132	1690.53	-1.80982
30	.765	76.9531	558.079	-10.6477
30	.74	92.0309	-31.9537	-15.3062
30	.715	93.6097	-91.6475	-15.8684
25	.84	3.71644	3613.36	12.8262
25	.815	20.7305	2700.88	5.9528
25	.79	40.6956	1703.8	-1.80982
25	.765	64.4923	565.008	-10.6477
25	.74	77.5333	-31.264	-15.3062
25	.715	79.1511	-89.618	-15.8684
20	.84	4.13719	3618.85	12.8262
20	.815	21.5641	2726.58	5.9528
20	.79	42.3559	1725.32	-1.80982
20	.765	67.6063	576.41	-10.6477
20	.74	81.7536	-30.1184	-15.3062
20	.715	83.6896	-86.2415	-15.8684
15	.84	5.44845	3628.92	12.8262
15	.815	26.9244	2759.54	5.9528
15	.79	53.2445	1766.27	-1.80982
15	.765	86.268	598.685	-10.6477
15	.74	105.433	-27.846	-15.3062
15	.715	108.343	-79.504	-15.8684
10	.84	9.13393	3653.24	12.8262
10	.815	43.7337	2842.5	5.9528
10	.79	89.0193	1874.65	-1.80982
10	.765	150.818	661.553	-10.6477
10	.74	190.047	-21.1589	-15.3062
10	.715	197.238	-59.4255	-15.8684
5	.84	31.9777	3796.02	12.8262
5	.815	174.685	3446.54	5.9528
5	.79	482.197	2992.17	-1.80982
5	.765	1621.78	2013.97	-10.6477
5	.74	6306.25	436.918	-15.3062
5	.715	19022.3	3975.25	-15.8684
0	.84	-23.471	3454.72	12.8262
0	.815	-81.6974	2228.14	5.9528
0	.79	-131.127	1763.26	-1.80982
0	.765	-173.739	369.329	-10.6477
0	.74	-190.862	-89.1327	-15.3062

ISPOBNIYE DANNYE

LA= 30.03      OB= 28.98      CA= 1      CB= 1  
 LC= 50      LF= 100      CU= 0  
 PIG= 45      FIB= 45      FIK= 0  
 MIU= .12      MASA DETALI n= .8      SPOR. SILA F= 300  
 BEC KH/3= 2.04417      DNM.H= 3

LO (mm)	SAR. DEK (GR)	KX (H/MP)	KU (MM/GR)	XE (mm)
30	.94	6.50748	1938.64	12.8262
30	.82	32.5758	1562.52	7.3903
30	.8	51.5423	1148.65	1.40686
30	.78	94.113	689.139	-5.2034
30	.76	131.017	174.916	-12.5424
30	.74	144.637	-17.8148	-15.3062
30	.72	145.168	-44.6679	-15.7527
30	.7	147.842	-72.511	-16.2249
-----				
25	.84	4.0985	1940.51	12.8262
25	.82	18.8772	1567.87	7.3903
25	.8	35.6225	1155.84	1.40686
25	.78	54.7669	695.731	-5.2034
25	.76	74.8305	177.266	-12.5424
25	.74	85.3763	-17.4303	-15.3062
25	.72	86.7636	-43.6843	-15.7527
25	.7	88.2489	-70.8793	-16.2249
-----				
20	.84	4.03516	1943.46	12.8262
20	.82	17.4272	1576.49	7.3903
20	.8	32.805	1167.45	1.40686
20	.78	50.6462	706.484	-5.2034
20	.76	71.5481	181.146	-12.5424
20	.74	79.8509	-16.7917	-15.3062
20	.72	81.3538	-42.0481	-15.7527
20	.7	82.963	-68.1594	-16.2249
-----				
15	.84	5.03028	1948.86	12.8262
15	.82	20.5886	1592.29	7.3903
15	.8	38.8367	1189.35	1.40686
15	.78	60.5189	727.148	-5.2034
15	.76	86.65	188.771	-12.5424
15	.74	97.3834	-15.5248	-15.3062
15	.72	99.5228	-38.7865	-15.7527
15	.7	101.824	-62.7157	-16.2249
-----				
10	.84	8.20371	1961.93	12.8262
10	.82	37.4342	1631.88	7.3903
10	.8	62.3066	1246.06	1.40686
10	.78	100.018	783.149	-5.2034
10	.76	148.961	210.616	-12.5424
10	.74	170.754	-11.7965	-15.3062
10	.72	175.876	-29.0928	-15.7527
10	.7	181.472	-46.3685	-16.2249
-----				
5	.84	28.411	2038.6	12.8262
5	.82	122.98	1906.01	7.3903
5	.8	288.66	1743.04	1.40686
5	.78	652.518	1497.5	-5.2034
5	.76	2082.96	835.538	-12.5424
5	.74	5603.73	243.581	-15.3062
5	.72	11994.6	1361.07	-15.7527
5	.7	-69400.1	-13607.5	-16.2249
-----				
0	.84	-20.8878	1055.64	12.8262
0	.82	-63.0874	1382.34	7.3903
0	.8	-99.0332	201.675	1.40686



Кодовый перечень элементов и их характеристик

Кодовый перечень элементов и их характеристик

Продольная жесткость элементов, кг/мм при первом элементе

Элементы и их характеристики

Элементы и их характеристики

D<sub>0</sub>= 50      D<sub>1</sub>= 27.4      R<sub>A</sub>= 1      C<sub>B</sub>= 1  
 L<sub>0</sub>= 50      L<sub>1</sub>= 150      R<sub>B</sub>= 0  
 F<sub>10</sub>= 40      F<sub>11</sub>= 40      F<sub>12</sub>= 0  
 R<sub>10</sub>= 1.0      R<sub>11</sub>= 1.0      R<sub>12</sub>= 1.0      S<sub>0</sub>= 2.0      S<sub>1</sub>= 2.0  
 D<sub>0</sub>L<sub>0</sub> R<sub>0</sub> F<sub>0</sub> S<sub>0</sub>      D<sub>1</sub>L<sub>1</sub> R<sub>1</sub> F<sub>1</sub> S<sub>1</sub>      D<sub>2</sub>L<sub>2</sub> R<sub>2</sub> F<sub>2</sub> S<sub>2</sub>

Элемент	Средняя жесткость (кг/мм)	К <sub>1</sub> (кг/мм)	К <sub>2</sub> (кг/мм)	К <sub>3</sub> (кг/мм)
30	1.0	-5.80299	-5243.17	12.9478
30	1.7	-118.99	-4064.07	7.47423
30	1.6	-324.263	-3963.27	4.07305
30	1.5	-720.293	-2074.79	-8.48143
30	1.4	-1344.59	153.905	-15.4775
30	1.3	-2304.51	809.74	-16.7767
25	1.8	17.0334	-5247.13	12.9478
25	1.7	141.545	-4878.17	7.47423
25	1.6	372.987	-3913.55	4.07305
25	1.5	423.017	-2055.31	-8.48143
25	1.4	517.123	159.94	-15.4775
25	1.3	499.35	729.076	-16.7767
20	1.8	11.1334	-5253.42	12.9478
20	1.7	73.2314	-4900.74	7.47423
20	1.6	151.257	-4021.76	4.07305
20	1.5	252.65	-2009.06	-8.48143
20	1.4	331.221	153.324	-15.4775
20	1.3	339.392	754.375	-16.7767
15	1.8	13.4927	-5274.93	12.9478
15	1.7	72.4165	-4942.71	7.47423
15	1.6	151.047	-4012.36	4.07305
15	1.5	239.764	-2155	-8.48143
15	1.4	351.721	140.053	-15.4775
15	1.3	369.101	683.965	-16.7767
10	1.8	22.4299	-5292.76	12.9478
10	1.7	104.604	-5047.86	7.47423
10	1.6	223.082	-4261.24	4.07305
10	1.5	404.222	-2341.14	-8.48143
10	1.4	579.408	99.9231	-15.4775
10	1.3	627.425	464.372	-16.7767
5	1.8	79.4833	-5456.36	12.9478
5	1.7	382.314	-5793.81	7.47423
5	1.6	1077	-6137.14	4.07305
5	1.5	4058.55	-6366.8	-8.48143
5	1.4	-43664.0	6934.97	-15.4775
5	1.3	-9441.04	8070.95	-16.7767
0	1.8	-59.0425	-5065.37	12.9478
0	1.7	-179.246	-4319.01	7.47423
0	1.6	-297.001	-3197.82	4.07305
0	1.5	-410.577	-1476.56	-8.48143
0	1.4	-473.425	257.659	-15.4775
0	1.3	-475.228	1272.74	-16.7767
-5	1.8	75.7397	-5486.76	12.9478
-5	1.7	344.355	-5793.81	7.47423
-5	1.6	1026.58	-6137.14	4.07305
-5	1.5	3839.18	-6366.8	-8.48143
-5	1.4	-41654.5	6934.97	-15.4775

КККОАМ КХКОАМ КХКОАМ КХКОАМ КХКОАМ КХКОАМ

PROGRAMMA RABBITATA ZOSTKOSTI KX J KBAK UPKOVIN ELIEMENTOM

SEBODENOGG USTROJENJA

-----ISHODNYE DANNYE-----

DA= 30      DB= 29.9      CA= 1      CB= 1  
 LD= 50      LF= 100      MW= 0  
 FIA= 45      FID= 45      FIK= 0  
 NIU= .12      MASSA DIETALI N= .8      SEOR.VILA P= 300  
 DEL XH/2= 2.0585      DAM.H= 2

LM (MM)	DAN.CEN (GR)	KX (G/HR)	KG (MM/HR)	XF (MM)
30	1.8	9.89796	20977.7	12.9478
30	1.7	137.052	11349.5	7.47423
30	1.6	254.825	5940.41	487305
30	1.5	378.935	2024.79	-8.48143
30	1.4	446.607	-109.27	-15.4775
30	1.3	418.923	-347.031	-16.7767
25	1.8	3.63861	20988.5	12.9478
25	1.7	34.0937	11387.4	7.47423
25	1.6	72.2629	5975.33	487305
25	1.5	121.518	2055.31	-8.48143
25	1.4	159.499	-106.627	-15.4775
25	1.3	163.99	-338.175	-16.7767
20	1.8	4.12272	21013.7	12.9478
20	1.7	27.8247	11435.1	7.47423
20	1.6	58.8887	6031.89	487305
20	1.5	100.665	2009.06	-8.48143
20	1.4	134.903	-102.216	-15.4775
20	1.3	141.153	-323.304	-16.7767
15	1.8	5.81238	21059.7	12.9478
15	1.7	31.5457	11538	7.47423
15	1.6	66.5177	6139.29	487305
15	1.5	115.612	2155	-8.48143
15	1.4	158.165	-93.3603	-15.4775
15	1.3	167.662	-293.120	-16.7767
10	1.8	10.4427	21171.1	12.9478
10	1.7	48.958	11778.4	7.47423
10	1.6	104.941	6421.89	487305
10	1.5	191.127	2341.16	-8.48143
10	1.4	275.335	-68.6154	-15.4775
10	1.3	299.64	-199.016	-16.7767
5	1.8	10.9904	21025.4	12.9478
5	1.7	187.892	13518.9	7.47423
5	1.6	530.247	9206.77	487305
5	1.5	2001.75	3364.8	-8.48143
5	1.4	-21574.7	-4423.31	-15.4775
5	1.3	-4673.23	-3458.90	-16.7767
0	1.8	30.224	20261.5	12.9478
0	1.7	-91.8773	10077.7	7.47423
0	1.6	-151.841	4796.74	487305
0	1.5	-209.775	1476.53	-8.48143
0	1.4	-242.758	-171.772	-15.4775
0	1.3	-242.511	-548.44	-16.7767
0	1.8	57.1820	21825.4	12.9478
0	1.7	179.211	13513.9	7.47423
0	1.6	505.789	9306.77	487305
0	1.5	1909.37	4366.8	-8.48143
0	1.4	-20303.1	-4627.31	-15.4775
0	1.3	-4458.75	-3858.00	-16.7767

КККККК КККККК КККККК КККККК КККККК КККККК  
 ПРОГРАММА РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ КХ I КВАР ИРРММММ ЭЛЕМЕНТОВ  
 ЭБОРСИЛА ДИТОКТИНА

----- ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ -----  
 GA= 50      GB= 29.9      CA= 1      CB= 1  
 LC= 50      LF= 100      AM= 0  
 FIA= 45      FID= 45      FIK= 0  
 RIU= .12      МАССА ДЕТАЛИ M= .0      ЭБОР.СИЛА F= 300  
 DEL KH/2= 2.08911      GAM.H= 3

LW(MM)	GAM.CEN(CR)	KX(H/CR)	KG(MMM/CR)	XE(MM)
30	1.8	2.67292	3495.44	12.9478
30	1.7	43.5019	2619.11	7.47423
30	1.6	91.5066	1697.26	4.87305
30	1.5	150.064	678.263	-8.48143
30	1.4	191.569	-40.9763	-15.4775
30	1.3	192.073	-142.095	-16.7767
25	1.8	2.05623	3498.09	12.9478
25	1.7	19.3861	2626.71	7.47423
25	1.6	41.6672	1707.24	4.87305
25	1.5	70.9675	685.103	-8.48143
25	1.4	94.3142	-39.985	-15.4775
25	1.3	98.1278	-139.249	-16.7767
20	1.8	2.53035	3502.20	12.9478
20	1.7	17.1793	2639.86	7.47423
20	1.6	36.5701	1723.4	4.87305
20	1.5	62.8637	696.353	-8.48143
20	1.4	84.7198	-38.331	-15.4775
20	1.3	89.1241	-132.123	-16.7767
15	1.8	3.70481	3509.95	12.9478
15	1.7	20.1693	2661.46	7.47423
15	1.6	43.6591	1754.08	4.87305
15	1.5	74.3681	718.333	-8.48143
15	1.4	102.044	-38.0131	-15.4775
15	1.3	108.409	-120.7	-16.7767
10	1.8	4.80706	3528.51	12.9478
10	1.7	31.9617	2718.00	7.47423
10	1.6	68.6222	1834.82	4.87305
10	1.5	125.173	780.308	-8.48143
10	1.4	180.609	-24.9808	-15.4775
10	1.3	196.858	-81.940	-16.7767
5	1.8	25.9395	3637.57	12.9478
5	1.7	124.578	3119.74	7.47423
5	1.6	351.774	2630.5	4.87305
5	1.5	1328.77	2122.27	-8.48143
5	1.4	-14329.9	-1733.74	-15.4775
5	1.3	-3105.75	-1424.28	-16.7767
0	1.8	-20.3146	3376.91	12.9478
0	1.7	-41.6191	2325.62	7.47423
0	1.6	-102.612	1370.5	4.87305
0	1.5	-140.984	492.186	-8.48143
0	1.4	-163.025	-64.6147	-15.4775
0	1.3	-162.825	-224.601	-16.7767
-5	1.8	24.6508	3637.57	12.9478
-5	1.7	118.853	3119.74	7.47423
-5	1.6	335.627	2630.5	4.87305
-5	1.5	1267.84	2122.27	-8.48143
-5	1.4	-13873.6	-1733.74	-15.4775
-5	1.3	-2943.67	-1424.28	-16.7767

КАКОВАИ-КХКОВИ-КХКОВИ-КАКОВАИ-КАКОВАИ-КХКОВИ  
 ПРОБЛЕМА КРАСИТА ЗОСТКУСТИ КХ I КОВАИ ПРРИУДИН ЕЛЈЕНТЕНИИ  
 СВОРОДОВО УСТРОЈСТВА

-----ИЗНОСИТЕ ДАНИТЕ-----

DA= 20      DB= 29.9      CA= 1.5      CB= 1  
 LC= 50      LF= 100      AG= 0  
 FIA= 45      FIB= 45      FIK= 0  
 NID= .12      МАСА ДИСТАЛИ М= .8      СВОР. СИЛА F= 300  
 DEL XH/2= 2.55212      ДАН. Н# 1

LG (MM)	BAR. LEN (MM)	KX (H/MM)	KY (MM/MM)	XE (MM)
30	1.8	-5.80299	-5243.17	12.9478
30	1.7	-118.99	-4064.07	7.47427
30	1.6	-324.263	-3760.27	.487305
30	1.5	-720.283	-2034.79	-8.48146
30	1.4	-1344.69	163.905	-15.4775
30	1.3	-2204.51	809.74	-16.7767
25	1.8	17.0336	-5247.13	12.9478
25	1.7	141.545	-4878.17	7.47423
25	1.6	272.987	-3983.55	.487305
25	1.5	423.017	-2055.31	-8.48143
25	1.4	517.123	159.94	-15.4775
25	1.3	499.35	789.076	-16.7767
20	1.8	11.1334	-5253.42	12.9478
20	1.7	73.2314	-4900.74	7.47422
20	1.6	151.257	-4021.26	.487305
20	1.5	252.65	-2089.06	-8.48143
20	1.4	331.221	153.324	-15.4775
20	1.3	339.392	754.375	-16.7767
15	1.8	13.4927	-5264.93	12.9478
15	1.7	72.4165	-4942.71	7.47423
15	1.6	151.047	-4092.86	.487305
15	1.5	259.764	-2155	-8.48143
15	1.4	351.721	140.053	-15.4775
15	1.3	369.101	683.965	-16.7767
10	1.8	22.4299	-5292.76	12.9478
10	1.7	104.604	-5047.86	7.47423
10	1.6	223.082	-4281.26	.487305
10	1.5	404.227	-2341.16	-8.48143
10	1.4	579.408	99.9231	-15.4775
10	1.3	627.425	464.372	-16.7767
5	1.8	79.4853	-5456.36	12.9478
5	1.7	362.314	-5793.81	7.47423
5	1.6	1077	-6137.84	.487305
5	1.5	4058.55	-6366.8	-8.48143
5	1.4	-43664.8	6934.97	-15.4775
5	1.3	-9441.04	8070.95	-16.7767
0	1.8	-59.0425	-5065.37	12.9478
0	1.7	-179.246	-4319.01	7.47423
0	1.6	-297.001	-3197.83	.487305
0	1.5	-410.577	-1476.56	-8.48143
0	1.4	-475.425	257.659	-15.4775
0	1.3	-475.228	1272.74	-16.7767
-5	1.8	75.7392	-5456.35	12.9478
-5	1.7	364.355	-5793.81	7.47423
-5	1.6	1026.58	-6137.84	.487305
-5	1.5	3869.18	-6366.8	-8.48143
-5	1.4	-41634.3	6934.97	-15.4775
-5	1.3	-9003.49	8770.95	-16.7767

ISIBERIE GARRYE

DB= 30 CB= 29.9 CA= 1.5 CB= 1  
 LC= 30 LF= 100 AU= 0  
 FIB= 45 FIC= 45 FIK= 0  
 RIU= .12 AGGSA BILYALI n= .8 SBOR.SILA F= 300  
 GEL XH/2= 2.55847 GAN.H= 2

LEVID	GAN.CEN(OR)	EX(H/MG)	RE(HMG/OR)	XE(BR)
30	1.9	9.89796	20972.7	12.9478
30	1.7	137.052	11349.5	7.47423
30	1.6	254.825	5940.41	.487305
30	1.5	378.935	2034.79	-8.48143
30	1.4	446.607	-109.27	-15.4775
30	1.3	418.923	-347.031	-16.7767
25	1.3	3.66841	20988.5	12.9478
25	1.7	34.0937	11382.4	7.47423
25	1.6	72.2829	5975.33	.487305
25	1.5	121.518	2055.31	-8.48143
25	1.4	159.499	-106.627	-15.4775
25	1.3	163.99	-338.175	-16.7767
20	1.8	4.12272	21013.7	12.9478
20	1.7	27.8247	11435.1	7.47423
20	1.6	58.8887	6031.89	.487305
20	1.5	100.665	2089.06	-8.48143
20	1.4	134.903	-102.216	-15.4775
20	1.3	141.153	-323.304	-16.7767
15	1.8	5.81738	21059.7	12.9478
15	1.7	31.5457	11533	7.47423
15	1.6	66.5177	6139.27	.487305
15	1.5	115.612	2155	-8.48143
15	1.4	158.165	-93.3693	-15.4775
15	1.3	167.662	-273.128	-16.7767
10	1.8	10.4427	21171.1	12.9478
10	1.7	48.955	11778.4	7.47423
10	1.6	104.941	6421.87	.487305
10	1.5	191.122	2341.16	-8.48143
10	1.4	275.375	-66.6134	-15.4775
10	1.3	299.64	-199.016	-16.7767
5	1.8	38.9944	21825.4	12.9478
5	1.7	137.892	13518.9	7.47423
5	1.6	530.247	9206.77	.487305
5	1.5	2001.75	6366.8	-8.48143
5	1.4	-21574.9	-4623.31	-15.4775
5	1.3	-4673.23	-3458.98	-16.7767
0	1.8	-30.224	20261.5	12.9478
0	1.7	-91.6973	10077.7	7.47423
0	1.6	-151.841	4796.74	.487305
0	1.5	-209.775	1476.56	-8.48143
0	1.4	-242.758	-171.777	-15.4775
0	1.3	-242.511	-545.46	-16.7767
-5	1.8	37.1898	21825.4	12.9478
-5	1.7	179.211	13518.9	7.47423
-5	1.6	505.789	9206.77	.487305
-5	1.5	1909.57	6366.8	-8.48143
-5	1.4	-20583.1	-4623.31	-15.4775
-5	1.3	-4453.75	-3458.98	-16.7767

ККККААА ККККААА ККККААА ККККААА ККККААА  
PROGRAMA KASLOPJA ZARISKUSTI KX J NEAR UPRESIH ELIENIENIOP  
SABODSIBODD BOKRILSUA

----- ISMORINE DANJE -----  
 GA= 50      GD= 29.7      CA= 1.5      CB= 1  
 LC= 50      LP= 100      AW= 0  
 FIN= 45      FIB= 45      FIK= 0  
 NIU= .12      MASSA DIETALI K= .8      S6OR.SILA F= 200  
 ALL KHZ= 2.55212      GAM.H= 1

LN (GR)	GAM. DEN (GR)	KX (H/KN)	KY (HMM/GR)	XL (GR)
30	1.8	-3.86866	-3495.44	12.9478
30	1.7	-79.3266	-3242.71	7.47423
30	1.6	-216.175	-2640.18	.487305
30	1.5	-480.189	-1356.53	-8.48143
30	1.4	-396.46	109.27	-15.4775
30	1.3	-1536.34	539.828	-16.7767
25	1.8	11.3557	-3498.09	12.9478
25	1.7	94.3633	-3252.11	7.47423
25	1.6	181.991	-2655.7	.487305
25	1.5	262.011	-1370.21	-8.48143
25	1.4	344.749	106.627	-15.4775
25	1.3	332.9	526.052	-16.7767
20	1.8	7.42225	-3502.28	12.9478
20	1.7	48.8209	-3267.16	7.47423
20	1.6	100.838	-2680.84	.487305
20	1.5	168.433	-1392.71	-8.48143
20	1.4	220.814	102.216	-15.4775
20	1.3	226.261	502.916	-16.7767
15	1.8	8.99511	-3509.95	12.9478
15	1.7	48.2777	-3295.14	7.47423
15	1.6	100.698	-2728.57	.487305
15	1.5	173.176	-1436.67	-8.48143
15	1.4	234.481	93.3685	-15.4775
15	1.3	246.067	455.972	-16.7767
10	1.8	14.9533	-3528.51	12.9478
10	1.7	69.7363	-3345.24	7.47423
10	1.6	148.722	-2854.17	.487305
10	1.5	269.482	-1560.78	-8.48143
10	1.4	386.272	66.6156	-15.4775
10	1.3	418.283	309.581	-16.7767
5	1.8	52.9902	-3637.57	12.9478
5	1.7	254.876	-3862.54	7.47423
5	1.6	717.999	-4091.9	.487305
5	1.5	2705.7	-4244.53	-8.48143
5	1.4	-29109.9	4623.31	-15.4775
5	1.3	-6294.03	5380.63	-16.7767
0	1.8	-39.3617	-3376.91	12.9478
0	1.7	-119.497	-3879.34	7.47423
0	1.6	-198.001	-2131.89	.487305
0	1.5	-273.718	-884.372	-8.48143
0	1.4	-316.95	171.753	-15.4775
0	1.3	-316.819	848.493	-16.7767







\*\*\*\*\*

KKKKAM-KKKKAM-KKKKAM-KKKKAM-KKKKAM-KKKKAM  
 PROGRAMMA RASCHETA ZOSTKOSTI KX I KUAM UPRIUGIH ELEMENTENOV  
 SPOROCHNOU USI SPOUSIBA

----- ISROBYE DANNYE -----  
 OA= 30.03      OB= 29.98      CA= 1.5      CB= 1  
 LC= 50      LF= 100      GA= 0  
 FIA= 45      FIB= 45      FIK= 0  
 NDU= .12      MASSA METALI M= .8      SPOR.SILA F= 700  
 DEL XH/2= 2.52553      GAM.H= .5

LW(MM)	GAM.CEN(GR)	KX(H/MM)	KG(HMM/GR)	XF(MM)
30	.84	-56.4386	-12316.1	12.8262
30	.815	-376.609	-10149	5.9528
30	.79	-828.715	-7053.53	-1.80982
30	.765	-1481.94	-2690.86	-10.4477
30	.74	-2043.14	167.757	-15.3062
30	.715	-2447.48	547.754	-15.8484

75	.84	67.4334	-12327.9	12.8262
25	.815	354.833	-10190.6	5.9528
25	.79	657.812	-7108.94	-1.80982
25	.765	987.825	-2634.15	-10.4477
25	.74	1128.84	164.136	-15.3062
25	.715	1098.44	549.624	-15.8484

20	.84	36.8203	-12346.7	12.8262
20	.815	188.746	-10257.1	5.9528
20	.79	364.306	-7198.73	-1.80982
20	.765	571.618	-2686.29	-10.4477
20	.74	679.753	158.122	-15.3062
20	.715	684.524	515.443	-15.8484

15	.84	27.5691	-12381	12.8262
15	.815	184.096	-10381.1	5.9528
15	.79	361.039	-7387.6	-1.80982
15	.765	580.157	-2790.1	-10.4477
DEL XH/2= 2.52713		GAM.H= 1		

LW(MM)	GAM.CEN(GR)	KX(H/MM)	KG(HMM/GR)	XF(MM)
30	.84	61.7229	26171.7	12.8262
30	.815	339.902	17280.8	5.9528
30	.79	616.059	9740.67	-1.80982
30	.765	902.149	2932.89	-10.4477
30	.74	1008.17	-154.853	-15.3062
30	.715	963.113	-413.218	-15.8484

25	.84	16.4887	26196.8	12.8262
25	.815	90.8235	17351.5	5.9528
25	.79	176.124	9817.11	-1.80982
25	.765	275.765	2969.3	-10.4477
25	.74	327.627	-151.51	-15.3062
25	.715	330.6	-404.067	-15.8484

20	.84	14.0229	26236.7	12.8262
20	.815	72.7827	17464.8	5.9528
20	.79	142.19	9941.1	-1.80982
20	.765	225.748	3029.22	-10.4477
20	.74	271.549	-145.959	-15.3062
20	.715	276.527	-388.843	-15.8484

15	.84	16.3749	26309.6	12.8262
15	.815	80.687	17676	5.9528
15	.79	159.108	10177.1	-1.80982
15	.765	287.057	3146.28	-10.4477

КХКВАН-КХКВАН-КХКВАН КХКВАН-КХКВАН-КХКВАН  
 PROGRAMMA RASCIUTA ZUSIKOSTI KX I KVAM UPRUVIN EI IEMIENTOU  
 SCORRIMENTO USTRUBLEVA

-----ISKONNYE DANNYE-----

DA= 30.03 DD= 29.98 CA= 1.5 CB= 1  
 LD= 50 LF= 100 AM= 0  
 FIA= 45 FIB= 45 FIK= 0  
 MIB= .12 MASSA METAL M= .8 SBOR.SILA F= 300  
 DEL KH/2= 2.52979 GAM.H= 1.5

LW (MM)	GAM.CEN (GR)	KX (H/MM)	KB (MM/GR)	XE (GR)
30	.84	19.9537	6344.65	12.0262
30	.815	117.117	4667.07	5.9528
30	.79	224.583	2881.04	-1.80982
30	.765	345.847	937.725	-10.8477
30	.74	404.365	-52.976	-15.3062
30	.715	402.42	-150.022	-15.8684
25	.84	9.38941	6350.75	12.0262
25	.815	52.0827	4686.17	5.9528
25	.79	101.68	2903.65	-1.80982
25	.765	160.261	949.367	-10.8477
25	.74	191.633	-51.8323	-15.3062
25	.715	194.594	-146.7	-15.8684
20	.84	8.66118	6360.41	12.0262
20	.815	45.0864	4716.78	5.9528
20	.79	88.3388	2940.33	-1.80982
20	.765	140.655	968.525	-10.8477
20	.74	169.673	-49.9332	-15.3062
20	.715	173.269	-141.172	-15.8684
15	.84	10.4695	6370.1	12.0262
15	.815	51.6686	4773.8	5.9528
15	.79	102.043	3010.12	-1.80982
15	.765	165.116	1005.95	-10.8477
15	.74	201.533	-46.1657	-15.3062
15	.715	206.827	-130.143	-15.8684
10	.84	16.7459	6420.85	12.0262
10	.815	80.1247	4917.31	5.9528
10	.79	162.98	3193.82	-1.80982
10	.765	275.932	1111.59	-10.8477
10	.74	347.465	-35.0792	-15.3062
10	.715	360.364	-97.2762	-15.8684
5	.84	57.1374	6671.79	12.0262
5	.815	312.042	5962.27	5.9528
5	.79	661.123	5099.33	-1.80982
5	.765	2895.44	3384.02	-10.8477
5	.74	11255.9	724.363	-15.3062
5	.715	33943.4	6507.26	-15.8684
0	.84	-41.4525	6071.05	12.0262
0	.815	-144.299	3941.01	5.9528
0	.79	-231.624	2152.88	-1.80982
0	.765	-306.919	620.973	-10.8477
0	.74	-337.159	-81.4569	-15.3062
0	.715	-336.636	-230.769	-15.8684
-5	.84	54.511	6671.79	12.0262
-5	.815	297.707	5962.27	5.9528
-5	.79	621.587	5099.33	-1.80982
-5	.765	2762.58	3384.02	-10.8477
-5	.74	10739.7	724.363	-15.3062
-5	.715	32387.6	6507.26	-15.8684

\*\*\*\*\*

KKHOAM-KXKOBAM-KXKOBAM-KXKOBAM-KXKOBAM-KXKOBAM  
 PROGRAMMA KROVOSTA ZOSTKOSTI KX I KHAM UPYUGIN EI IEMIENTOU  
 ЗВОКОННОУ УСТРОЙСІА

----- IZMENNYE DANNYE -----

DA= 30.03      SG= 27.98      LA= 1.5      CB= 1  
 CD= 50      LG= 100      AM= 0  
 FIA= 45      FIB= 45      FIK= 0  
 HIU= .12      KASSA DIETALI n= .8      SROR.SILA F= 300  
 DEL XH/2= 2.53352      HAM.H= 2

LY (MM)	GAM. LEN (GR)	KX (H/MM)	KB (HAM/GR)	XE (MM)
30	.84	11.9015	3609.89	12.8262
30	.815	70.7531	2697.84	5.9528
30	.79	137.334	1690.53	-1.80982
30	.765	213.948	558.079	-10.6477
30	.74	252.922	-31.9537	-15.3062
30	.715	254.369	-91.6475	-15.8684
25	.84	6.56393	3613.36	12.8262
25	.815	36.5113	2708.88	5.9528
25	.79	71.4754	1703.8	-1.80982
25	.765	112.959	565.008	-10.6477
25	.74	135.43	-31.264	-15.3062
25	.715	137.883	-89.618	-15.8684
20	.84	6.26591	3618.85	12.8262
20	.815	32.6607	2726.58	5.9528
20	.79	64.0767	1725.32	-1.80982
20	.765	102.157	576.41	-10.6477
20	.74	123.391	-30.1184	-15.3062
20	.715	126.168	-86.2415	-15.8684
15	.84	7.69506	3628.97	12.8262
15	.815	38.0039	2759.54	5.9528
15	.79	75.1106	1766.27	-1.80982
15	.765	121.624	590.685	-10.6477
15	.74	148.553	-27.846	-15.3062
15	.715	152.568	-79.504	-15.8684
10	.84	12.4303	3653.24	12.8262
10	.815	59.499	2842.5	5.9528
10	.79	121.073	1874.65	-1.80982
10	.765	205.062	661.553	-10.6477
10	.74	258.324	-21.1589	-15.3062
10	.715	268.018	-59.4255	-15.8684
5	.84	42.7309	3796.02	12.8262
5	.815	233.401	3446.54	5.9528
5	.79	644.199	2992.17	-1.80982
5	.765	2166.39	2013.97	-10.6477
5	.74	8423.01	436.918	-15.3062
5	.715	25404.4	3975.25	-15.8684
0	.84	-31.2075	3454.22	12.8262
0	.815	-108.63	2278.14	5.9528
0	.79	-174.362	1263.26	-1.80982
0	.765	-231.032	369.399	-10.6477
0	.74	-253.783	-49.1327	-15.3062
0	.715	-253.377	-140.957	-15.8684
-5	.84	40.7723	3796.02	12.8262
-5	.815	222.707	3446.54	5.9528
-5	.79	614.697	2992.17	-1.80982
-5	.765	2067.22	2013.97	-10.6477
-5	.74	8037.59	436.918	-15.3062
-5	.715	24242.5	3975.25	-15.8684

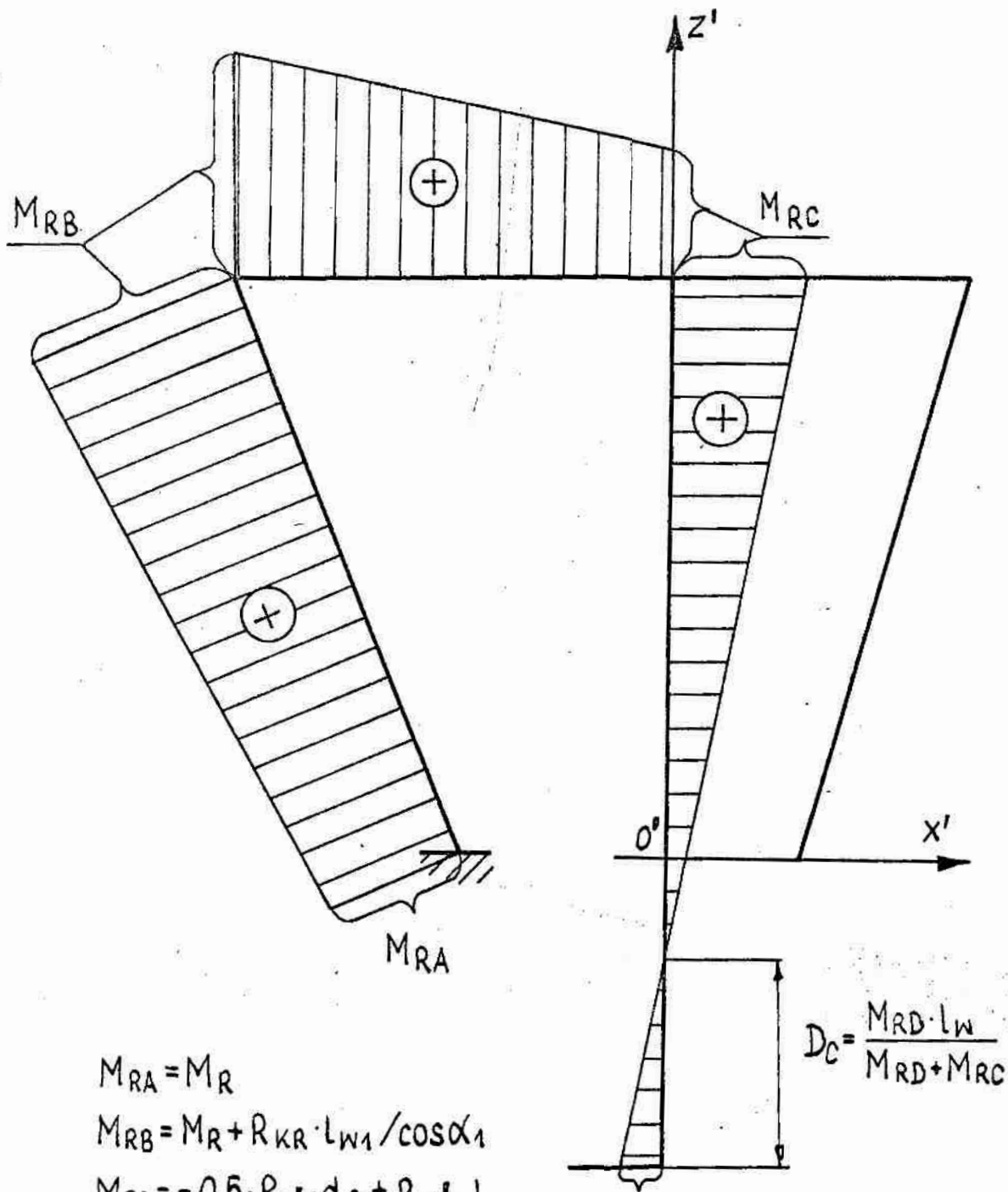
КККККК КККККК КККККК КККККК КККККК  
 ПРОГРАММА ВАСИЛИА ЗУСТКОСТИ КХ I КВАН ПРЯМОГІН ЕЛЕМЕНТОВ  
 БІОРОСІВНОУ ПОТЯЖІСТІНА

ІСНОВНІ ДАННІ-

Діа 30,03      ДР= 29.98      СР= 1.5      СР= 1  
 ЛР= 50      ЛР= 100      АМ= 0  
 ПІЛ= 45      ПІЛ= 45      ПІК= 0  
 ПІВ= .12      МАССА ДІЕТАЛИ М= .8      СБІВ. СІЛА F= 300  
 ВІЛ КМ/2= 2.54417      ВАН.Н= 3

ЛР (КГ)	ВАН. ДІЛ (ГР)	КХ (Н/ММ)	КБ (НММ/ГР)	ХЛ (ММ)
30	.84	6.58748	1938.64	12.8262
30	.815	39.4969	1463.13	5.9528
30	.79	77.3013	925.503	-1.80982
30	.765	121.397	308.379	-10.6477
30	.74	144.637	-17.8149	-15.3062
30	.715	146.573	-51.5392	-15.8684
25	.84	4.0985	1940.51	12.8262
25	.815	22.853	1469.12	5.9528
25	.79	44.8455	932.847	-1.80982
25	.765	71.0423	312.208	-10.6477
25	.74	85.3763	-17.4303	-15.3062
25	.715	87.1258	-50.3974	-15.8684
20	.84	4.03516	1943.46	12.8262
20	.815	21.0589	1478.72	5.9528
20	.79	41.3658	944.63	-1.80982
20	.765	66.0294	318.508	-10.6477
20	.74	79.8509	-16.7917	-15.3062
20	.715	81.7462	-48.499	-15.8684
15	.84	5.03023	1948.84	12.8262
15	.815	24.8607	1496.59	5.9528
15	.79	49.1688	967.052	-1.80982
15	.765	79.6732	330.817	-10.6477
15	.74	97.3834	-15.5248	-15.3062
15	.715	100.083	-44.7101	-15.8684
10	.84	8.20391	1961.93	12.8262
10	.815	39.284	1541.58	5.9528
10	.79	79.9688	1026.39	-1.80982
10	.765	135.496	365.556	-10.6477
10	.74	170.754	-11.7965	-15.3062
10	.715	177.23	-33.4187	-15.8684
5	.84	28.411	2038.6	12.8262
5	.815	155.208	1869.18	5.9528
5	.79	428.447	1638.25	-1.80982
5	.765	1441.05	1112.87	-10.6477
5	.74	5603.73	243.591	-15.3062
5	.715	16903.9	2235.53	-15.8684
0	.84	-20.8878	1855.04	12.8262
0	.815	-72.705	1235.51	5.9528
0	.79	-116.693	691.548	-1.80982
0	.765	-154.612	204.001	-10.6477
0	.74	-169.83	-27.3926	-15.3062
0	.715	-169.55	-79.2691	-15.8684
-5	.84	27.1124	2038.6	12.8262
-5	.815	148.115	1869.18	5.9528
-5	.79	408.875	1638.25	-1.80982
-5	.765	1375.24	1112.87	-10.6477
-5	.74	5347.88	243.591	-15.3062
-5	.715	16132.3	2235.53	-15.8684

ПРИЛОЖЕНИЕ 7



$$M_{RA} = M_R$$

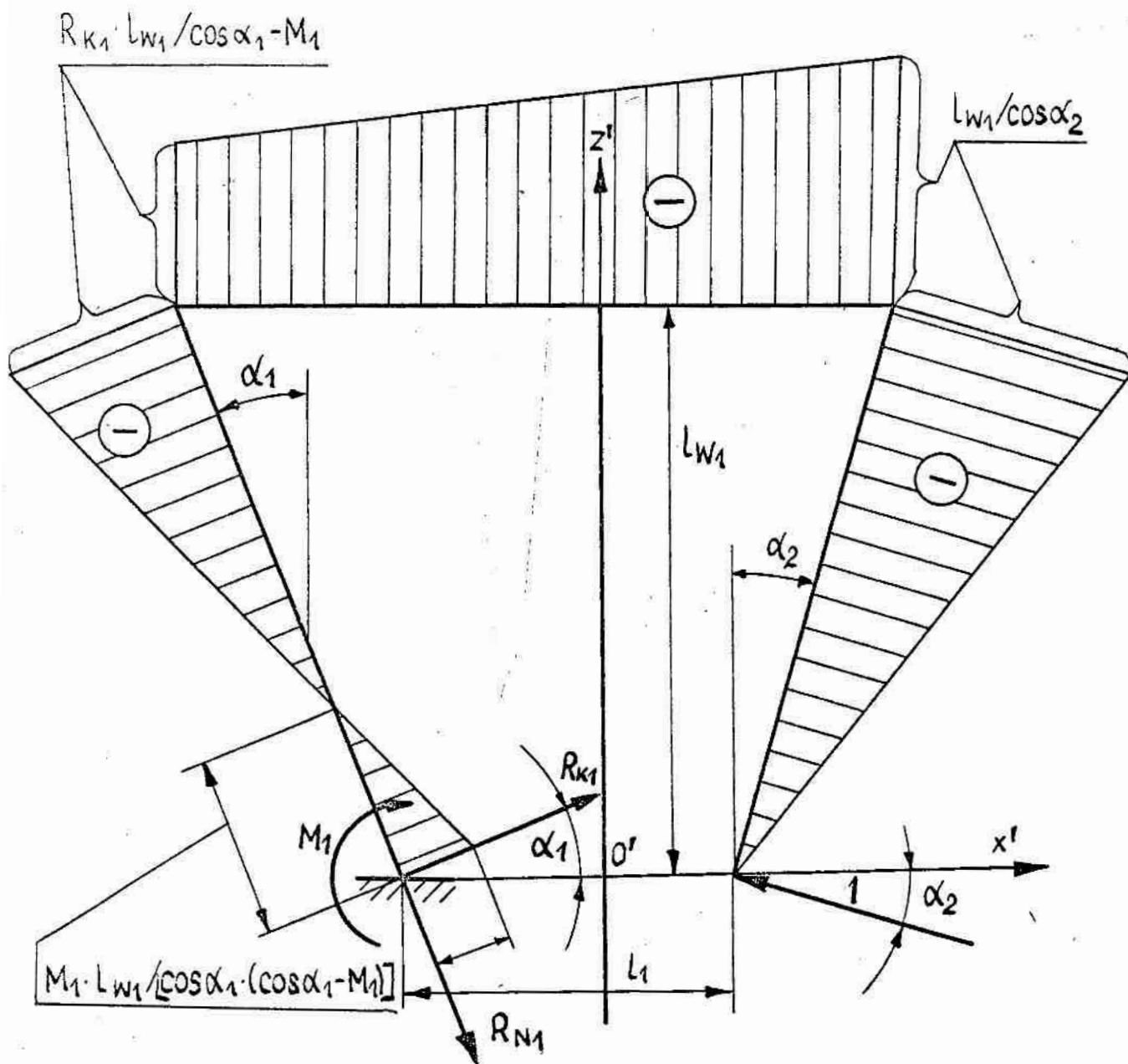
$$M_{RB} = M_R + R_{KR} \cdot L_{W1} / \cos \alpha_1$$

$$M_{RC} = -0,5 \cdot R_{z'} \cdot d_B + R_{x'} \cdot L_W$$

$$M_{RD} = 0,5 \cdot R_{z'} \cdot d_B$$

$$D_C = \frac{M_{RD} \cdot L_W}{M_{RD} + M_{RC}}$$

Эпюры изгибающих моментов от реакции в месте контакта соединяемых деталей /продолж. см. стр. 265 /



$$\Sigma x' = R_{K1} \cdot \cos \alpha_1 + R_{N1} \cdot \sin \alpha_1 - \cos \alpha_2 = 0$$

$$\Sigma z' = R_{K1} \cdot \sin \alpha_1 - R_{N1} \cdot \cos \alpha_1 + \sin \alpha_2 = 0$$

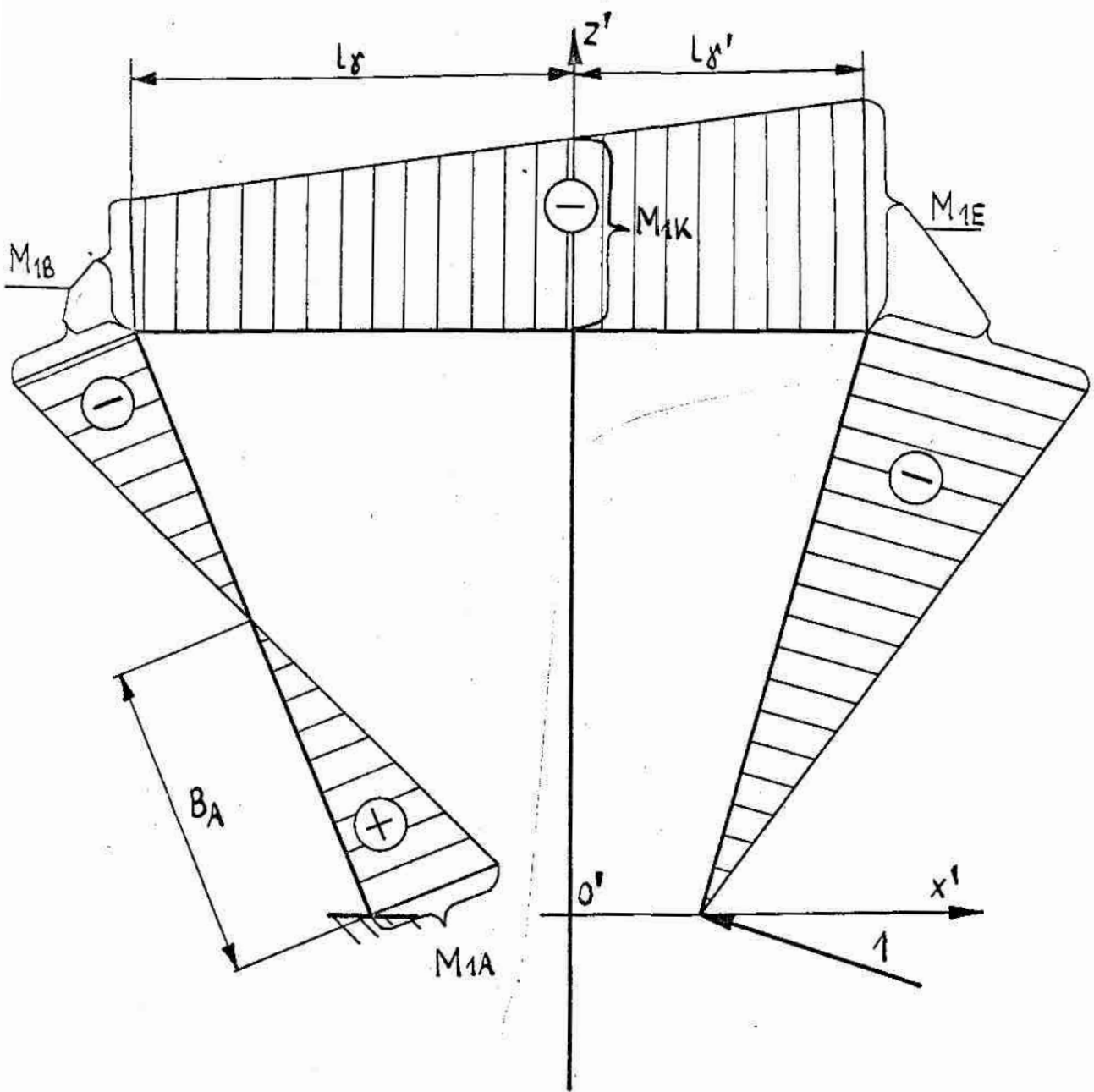
$$M_1 = L_1 \cdot \sin \alpha_2 = d_1$$

$$R_{K1} = (R_{N1} \cdot \cos \alpha_1 - \sin \alpha_2) \cdot \sin \alpha_1$$

$$\cdot R_{N1} = \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_1$$

Эпюры изгибающих моментов от единичной силы  $X=1$ /прод.см. стр. 266





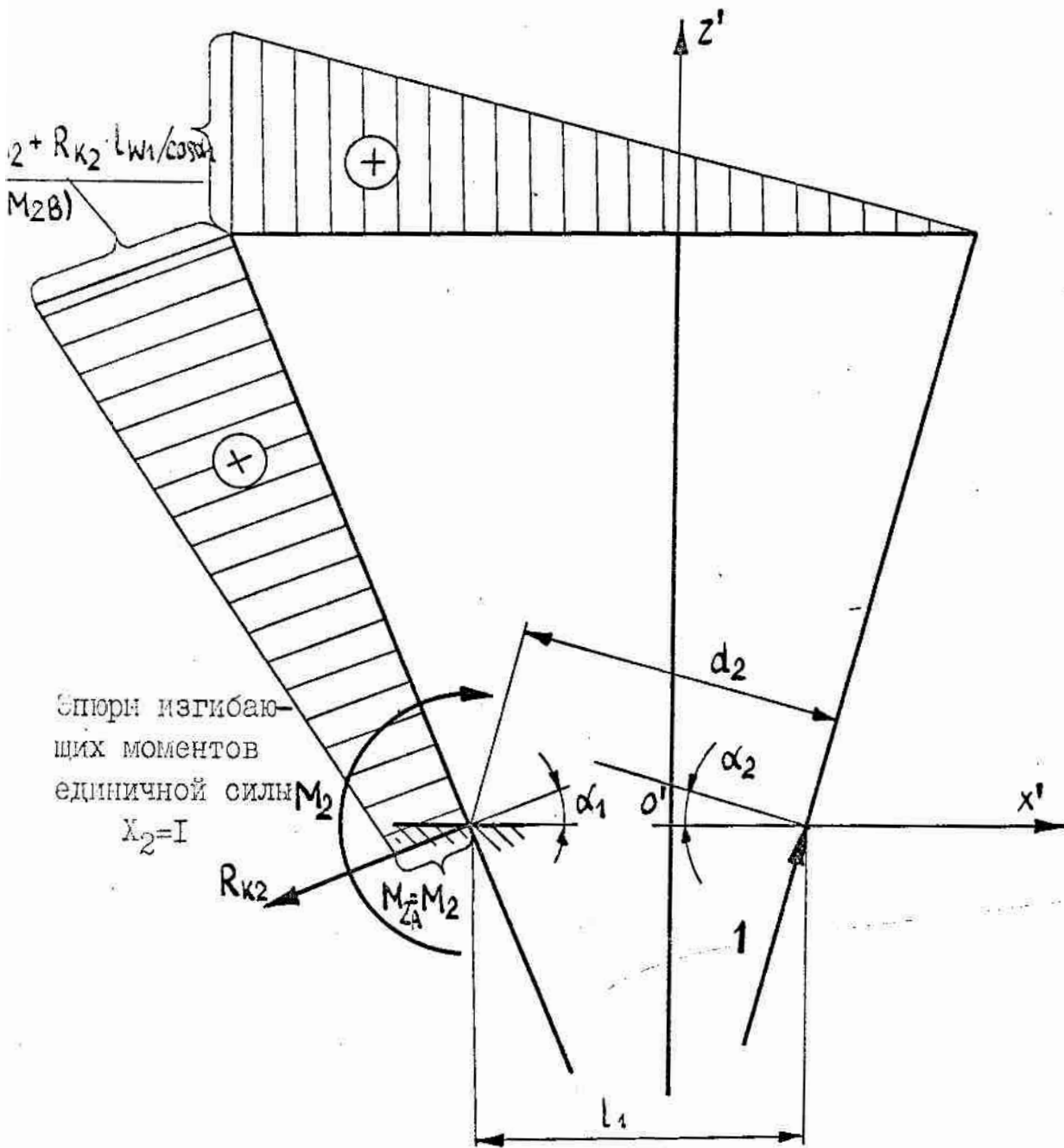
$$M_{1A} = M_1 ;$$

$$M_{1B} = R_{k1} \cdot L_{w1} / \cos \alpha_1 - M_1 ,$$

$$M_{1E} = L_{w1} / \cos \alpha_2 ,$$

$$B_A = M_{1A} \cdot L_{w1} / [\cos \alpha_1 (M_{1A} + M_{1B})] ,$$

$$M_{1K} = (M_{1E} \cdot L_\gamma + M_{1B} \cdot L_{\gamma'}) / (L_\gamma + L_{\gamma'})$$



$$M_2 = d_2 = l_1 \cdot \cos \alpha_2;$$

$$\Sigma X' = R_{N2} \cdot \sin \alpha_1 - R_{k2} \cdot \cos \alpha_1 + \sin \alpha_2 = 0;$$

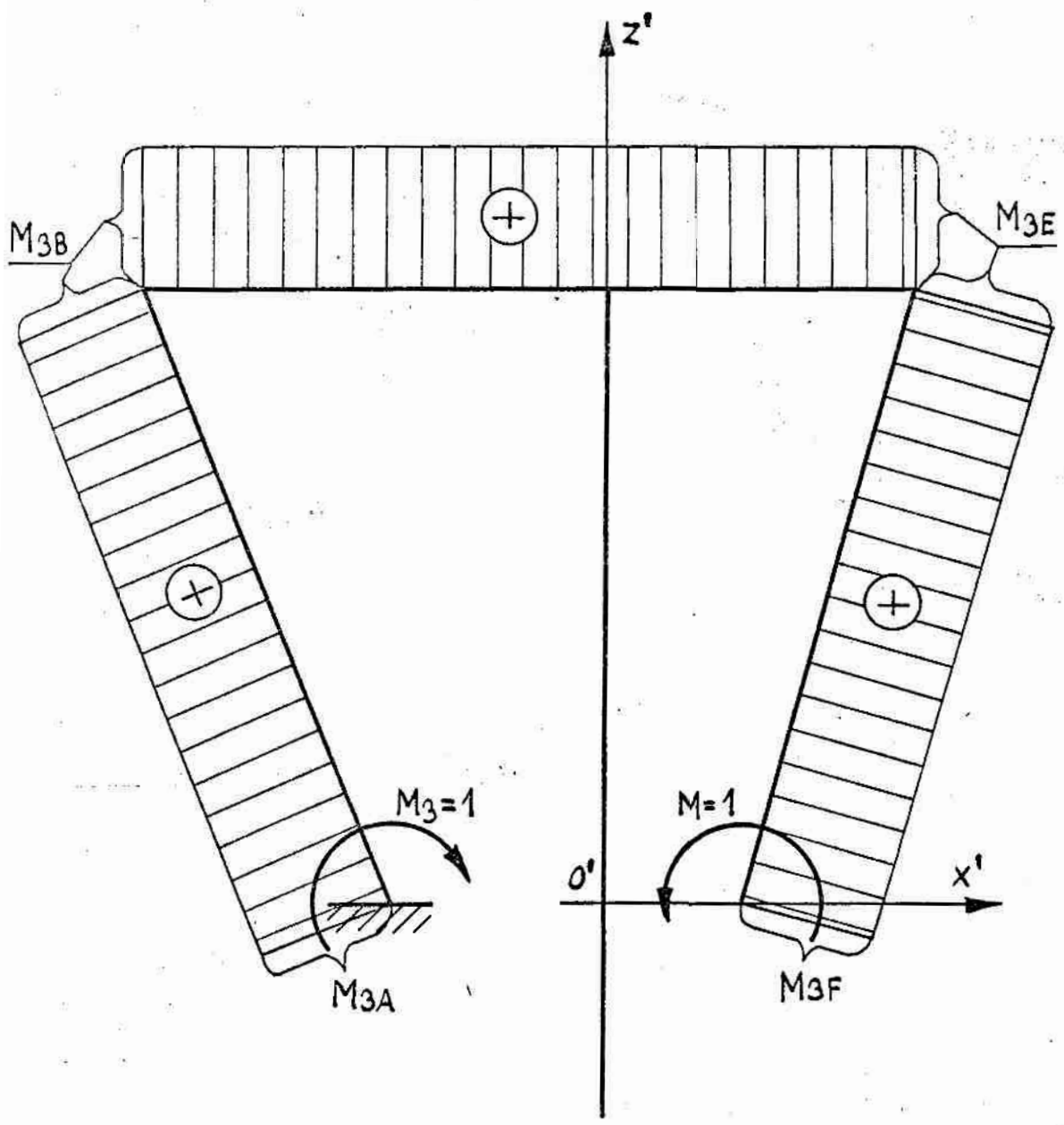
$$\Sigma Z' = -R_{N2} \cdot \cos \alpha_1 - R_{k2} \cdot \sin \alpha_1 + \cos \alpha_2 = 0;$$

$$R_{k2} = (R_{N2} \cdot \sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) / \cos \alpha_1;$$

$$R_{N2} = \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 - \sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2;$$

$$M_{2A} = M_2; \quad M_{2B} = M_2 + R_{k2} \cdot L_{w1} / \cos \alpha_1;$$

$$M_{2K} = M_{2B} \cdot L_{y'} / (L_y + L_{y'})$$



$$M_{3A} = M_{3B} = M_{3E} = M_{3F} = 1$$

Эпюры изгибающих моментов от единичного момента  $X_3=1$

Перемещения в направлении отброшенной связи

$$\begin{aligned} \delta_{1R} = & M_{1A} \cdot BA \cdot \frac{1}{2} [M_{RA} + (\frac{1}{3} BA \cdot \cos \alpha_1 / L_{W1})(M_{RB} - M_{RA})] / (E \cdot J_x) + \\ & - \frac{1}{2} M_{1B} (L_{W1} / \cos \alpha_1 - BA) \{ M_{RA} + [\frac{2}{3} (L_{W1} / \cos \alpha_1 - BA) + BA] \cdot \cos \alpha_1 (M_{RB} - M_{RA}) / L_{W1} \} / (E \cdot J_x) + \\ & - \{ M_{1B} \cdot L_y [M_{RC} + \frac{1}{2} (M_{RB} - M_{RC})] + (M_{1K} - M_{1B}) L_y \cdot \frac{1}{2} [M_{RC} + \frac{1}{3} (M_{RB} - M_{RC})] \} / (E \cdot J_y) ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{2R} = & \{ M_{2A} \cdot L_{W1} [M_{RA} + \frac{1}{2} (M_{RB} - M_{RA})] + (M_{2B} - M_{2A}) \cdot L_{W1} \cdot \frac{1}{2} [M_{RA} + \frac{2}{3} (M_{RB} - M_{RA})] \} / (E \cdot J_x \cdot \cos \alpha_1) + \\ & + L_y \{ M_{2K} [M_{RC} + \frac{1}{2} (M_{RB} - M_{RC})] + (M_{2B} - M_{2K}) \cdot \frac{1}{2} [M_{RC} + \frac{2}{3} (M_{RB} - M_{RC})] \} / (E \cdot J_y) ; \end{aligned}$$

$$\delta_{3R} = (L_{W1} / \cos \alpha_1) \cdot \frac{1}{2} (M_{RA} + M_{RB}) / (E \cdot J_x) + \frac{1}{2} \cdot L_y (M_{RB} + M_{RC}) / (E \cdot J_y) ;$$

$$\begin{aligned} \delta_{11} = & [M_{1A}^2 \cdot BA + M_{1B}^2 (L_{W1} / \cos \alpha_1 - BA)] / (3 \cdot E \cdot J_x) + \\ & + \{ M_{1B} (M_{1B} + M_{1E}) + (M_{1E} - M_{1B}) [M_{1B} + \frac{2}{3} (M_{1E} - M_{1B})] \} / [2 \cdot E \cdot J_y (L_y + L_y')] + \\ & + M_{1E}^2 \cdot L_{W1} / (3 \cdot E \cdot J_x \cdot \cos \alpha_2) ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{12} = & \{ M_{1A} \cdot BA \cdot [M_{2A} + \frac{1}{3} \cdot BA \cdot \cos \alpha_1 (M_{2B} - M_{2A}) / L_{W1}] \} / (2 \cdot E \cdot J_x) + \\ & - M_{1B} (L_{W1} / \cos \alpha_1 - BA) \{ M_{2A} + [\frac{2}{3} (L_{W1} / \cos \alpha_1 - BA) + BA] (M_{2B} - M_{2A}) \cdot \cos \alpha_1 \} / (2 \cdot E \cdot J_x \cdot L_{W1}) + \\ & - M_{2B} \cdot (L_y + L_y') \cdot [M_{1B} + \frac{1}{3} (M_{1E} - M_{1B})] / (2 \cdot E \cdot J_y) ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{13} = & [M_{1A} \cdot BA - M_{1B} (L_{W1} / \cos \alpha_1 - BA)] / (2 \cdot E \cdot J_x) - (M_{1B} - M_{1E}) (L_y + L_y') / (2 \cdot E \cdot J_y) + \\ & - M_{1E} \cdot L_{W2} / (2 \cdot E \cdot J_x \cdot \cos \alpha_2) ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{22} = & \{ M_{2A} (M_{2A} + M_{2B}) + (M_{2B} - M_{2A}) [M_{2A} + \frac{2}{3} (M_{2B} - M_{2A})] \} / [2 \cdot E \cdot J_x (\cos \alpha_1 / L_{W1})] + \\ & + M_{2B}^2 (L_y + L_y') / (3 \cdot E \cdot J_y) ; \end{aligned}$$

$$\delta_{23} = (M_{2A} + M_{2B}) \cdot L_{W1} / (2 \cdot E \cdot J_x \cdot \cos \alpha_1) + M_{2B} (L_y + L_y') / (2 \cdot E \cdot J_y) ;$$

$$\delta_{33} = L_{W1} / (E \cdot J_x \cdot \cos \alpha_1) + (L_y + L_y') / (E \cdot J_y) + L_{W1} / (E \cdot J_x \cdot \cos \alpha_2) ;$$

$$\delta_{21} = \delta_{12} \quad ; \quad \delta_{31} = \delta_{13} \quad ; \quad \delta_{32} = \delta_{23}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

## Обозначения идентификаторов программы ADAUST

$A\emptyset - A_0$	D2-dB	G1-γ <sub>ou</sub>	L7-X <sub>QN</sub>	RZ-R2
A1-α <sub>1</sub>	D3-D <sub>F</sub>	G-γ	M-M	R1-R <sub>x</sub>
A2-α <sub>2</sub>	D-d	G2-γ <sub>коп'</sub>	MQ-D	R3-R <sub>x</sub> <sup>9</sup>
A-a	D6-dR <sub>1</sub>	G5-B1	M1-D1	R4-R <sub>2</sub> <sup>9</sup>
A3-B <sub>0</sub>	D9-d <sub>F</sub>	G6-B <sub>3</sub>	M2-D2	R6-R <sub>KR</sub>
A4-A <sub>1</sub>	D∅-δ <sub>D</sub>	G7-B <sub>4</sub>	M3-D3	R7-R <sub>NP</sub>
A5-B <sub>1</sub>	D5-d <sub>1</sub>	G8-B <sub>5</sub>	M4-M <sub>p</sub>	R8-R <sub>KP</sub>
B-b	D7-d <sub>2</sub>	H-h	M5-M <sub>RD</sub>	R9-R <sub>NP</sub>
B∅-b <sub>0</sub>	E-E	H∅-δ <sub>H</sub>	M6-M <sub>R</sub>	Q1-δ <sub>M</sub>
B5-b <sub>B</sub> (B7)	E1-R <sub>M</sub>	J-J <sub>x</sub>	M7-M <sub>RA</sub>	Q2-δ <sub>1,2</sub>
B6-b <sub>Q</sub>	E2-R <sub>K1</sub>	J1-J <sub>γ</sub>	M8-M <sub>RB</sub>	Q3-δ <sub>1,3</sub>
B8-k <sub>B</sub>	E3-M1	J2-J <sub>x'</sub>	M9-M <sub>RC</sub>	Q6-R <sub>1</sub>
B9-δ <sub>B</sub>	E4-M <sub>1A</sub>	K∅-k <sub>0</sub>	N∅-δ <sub>N</sub>	Q7-R <sub>2</sub>
B4-Z <sub>Bcp</sub>	E5-M <sub>1B</sub>	K1-φ <sub>A</sub>	N∅-N <sub>0</sub>	Q8-R <sub>3</sub>
C1-CA	E6-M <sub>1E</sub>	K2-φ <sub>B</sub>	N1-N <sub>1</sub>	S-δ <sub>S</sub>
C2-C <sub>B</sub>	E7-BA	K3-φ <sub>F</sub>	N3-ρ	S1-R <sub>N2</sub>
C3-C <sub>F</sub>	E8-M <sub>1K</sub>	K-k <sub>B</sub>	N4-γ <sub>0</sub>	S2-R <sub>K2</sub>
C4-D <sub>C</sub>	F-φ	K6-k <sub>Q</sub>	N5-f <sub>0</sub>	S3-M <sub>2</sub>
C-cosα <sub>1</sub>	F∅-F <sub>ZW</sub>	K7-φ <sub>K</sub>	O1-X <sub>0''</sub>	S4-M <sub>2A</sub>
C∅-cosα <sub>2</sub>	F1-φ <sub>δ<sub>S</sub></sub>	L1-L <sub>1</sub>	O2-Z <sub>0''</sub>	S5-M <sub>2B</sub>
C5-A <sub>1</sub>	F2-φ <sub>δ<sub>W</sub></sub>	L2-L <sub>W1</sub>	O3-X <sub>0'</sub>	S6-M <sub>2K</sub>
C6-A <sub>3</sub>	F3-φ <sub>H</sub>	L3-L <sub>W</sub>	O4-Z <sub>0'</sub>	S7-δ <sub>SRK</sub>
C7-A <sub>4</sub>	F4-φ <sub>1</sub>	L4-L <sub>γ</sub>	P3-P <sub>x</sub>	S8-δ <sub>SMP</sub>
C8-A <sub>5</sub>	F5-φ <sub>SM</sub>	L5-L <sub>γ''</sub>	P4-P <sub>2</sub>	T-t <sub>H</sub>
D1-DA	G∅-γ <sub>H</sub>	L6-L <sub>K</sub>	R-P	T∅-Δt

```
5 OPEN "LP:" FOR OUTPUT AS FILE #1
6 PRINT #1, '*****'
7 PRINT #1, 'ADAUST-ADAUST-ADAUST-ADAUST-ADAUST-ADAUST-ADAUST-ADAU
8 PRINT #1, '*****'
9 PRINT #1, ' '
10 READ D1,D2,D3
20 READ C1,C2,C3
30 READ K1,K2,K3
35 READ L6,L7,L8,L9
38 READ D9
40 READ K7
50 READ N3,N4,N5
55 READ F0
60 READ D
65 READ E
70 READ L3
75 READ L4,L5
80 READ L2
90 READ A1,A2
95 READ F5
100 READ B,H
110 READ G1
120 READ X4,Z4
130 READ T0
140 READ V
200 LET J1=8*(H-3)/12
210 LET J=3.14159*(D-4)/64
215 LET L=L2/COS(A1*3.14159/180)
220 LET J2=2*J
225 LET G0=G1+F5
230 LET P1=3.14159/180
240 LET P2=1/P1
250 PRINT 'DA=';D1,'DB=';D2,'DF=';D3
255 LET L1=L4+L5-L2*(SIN(A1*P1)/COS(A1*P1)+SIN(A2*P1)/COS(A2*P1))
260 PRINT 'CA=';C1,'CB=';C2,'CF=';C3
270 PRINT 'FIA=';K1,'FIB=';K2,'FIF=';K3
280 PRINT 'FIK=';K7
290 PRINT 'NIU=';N3,'NIU 0=';N4
300 PRINT 'DLINA UPR.EL. L=';L,'DIAM. UPR.EL. D=';D
310 PRINT 'SZIR. UPR.EL. B=';B,'WYSOTA UPR.EL. H=';H
320 PRINT 'LW1=';L2
330 PRINT 'ALFA 1=';A1,'ALFA 2=';A2
340 PRINT 'SKOROST SB. INSTRUM. VU=';V
350 PRINT 'SB. SILA FZW=';F0
360 PRINT 'L1=';L1
370 PRINT 'NACZ. UGOL SKR. OSIEJ GAM. H=';G0
400 LET K1=K1*P1
410 LET K2=K2*P1
420 LET K3=K3*P1
430 LET K7=K7*P1
440 LET A1=A1*P1
450 LET A2=A2*P1
460 LET G0=G0*P1
465 LET F5=F5*P1
468 LET G=G0
470 LET G1=G1*P1
480 LET W0=L1+L2*SIN(A2)/COS(A2)
482 LET W7=L2
484 LET T4=-L2*SIN(A1)/COS(A1)
486 LET T6=L2
488 LET Y4=L4*COS(ATN((W7-T6)/(W0-T4)))+T4
490 LET Y5=T6+L4*SIN(ATN((W7-T6)/(W0-T4)))
492 LET O1=Y4+L3*SIN(F5)
494 LET O2=Y5-L3*COS(F5)
498 LET T=-T0
500 LET T=T+T0
505 LET T7=Y4-V*T+COS(G1)
```



```

520 LET X5=X4-(Z4-Z5)*SIN(G1)/COS(G1)
522 LET X6=G1*COS(G1)+X5-02*SIN(G1)
525 LET Z6=01*SIN(G1)+Z5+02*COS(G1)
530 LET X7=X6-C2*SIN(G)-.5*02*COS(G)
540 LET Z7=Z6+C2*COS(G)-.5*02*SIN(G)
550 LET Z8=.5*02-C2*SIN(K2)/COS(K2)
560 LET X8=X6-Z8*COS(G)
570 LET Z8=Z6-Z8*SIN(G)
580 LET D8=-(.5*D1+C1*SIN(K1)/COS(K1))
600 LET K0=-COS(K1)/SIN(K1)
610 LET K=-COS(K2+G)/SIN(K2+G)
620 LET B0=-C1+K0*.5*D1
630 LET B5=Z8-K*X8
640 IF Z8>0 THEN 500
645 IF X8<D8 THEN 2990
650 LET D0=(Z8-K0*X8-B0)/SQR(K0*K0+1)
660 IF D0<0 THEN 740
670 LET N0=K*(-.5*D1-C1*SIN(K1)/COS(K1))+B5
675 LET N0=N0/SQR(K*K+1)
680 IF N0<0 THEN 740
685 IF Z8>0 THEN 500
690 LET H0=(Z7-K0*X7-B0)/SQR(K0*K0+1)
700 IF H0<0 THEN 740
710 LET T1=(C1-.5*K*D1+B5)/SQR(K*K+1)
720 IF T1<0 THEN 740
725 GO TO 740
730 GO TO 500
740 PRINT '*****-----T=';T,'-----*****'
745 PRINT 'XM=';Y4,'ZM=';Y5
750 PRINT #1,'X20=';01,'Z20=';02
760 PRINT 'X10=';X6,'Z10=';Z6,'ZP=';Z5
770 PRINT 'T=';T,'XP=';X5,'XH=';X7,'ZH=';Z7
775 PRINT 'XD=';X8,'ZD=';Z8,'D8=';D8
780 PRINT 'D0=';D0,'N0=';N0,'H0=';H0,'T1=';T1
785 PRINT #1,'X10=';X6,'Z10=';Z6,'ZP=';Z5
786 PRINT #1,'T=';T,'XP=';X5,'XH=';X7,'ZH=';Z7
787 PRINT #1,'XD=';X8,'ZD=';Z8,'D8=';D8
788 PRINT #1,'D0=';D0,'N0=';N0,'H0=';H0,'T1=';T1
800 IF Z7>0 THEN 1200
810 IF Z7>-C1 THEN 1100
820 IF G<0 THEN 900
830 IF G<(K1-K7) THEN 1000
850 LET F=K7+G
860 LET X=-(.5*D1+C1*SIN(K1)/COS(K1))
870 LET Z=0
880 GO TO 1300
900 LET F=K7
910 LET X=X7
920 LET Z=Z7
930 GO TO 1300
1000 LET F=K7
1010 LET X=X7
1020 LET Z=Z7
1030 GO TO 1300
1100 IF G<(K1-K7) THEN 1150
1110 GO TO 850
1150 LET F=K1
1160 LET X=X7
1170 LET Z=Z7
1180 GO TO 1300
1200 IF G<(K1-K2) THEN 1250
1210 LET F=K2+G
1220 LET X=-(.5*D1+C1*SIN(K1)/COS(K1))
1230 LET Z=0
1240 GO TO 1300
1250 LET F=K1
1260 LET X=X8
1270 LET Z=Z8

```

```

1280 GO TO 1500
1300 LET C5=COS(F)-N3*SIN(F)
1310 LET C6=COS(G1)+N4*SIN(G1)
1320 LET C7=COS(G2)-N4*SIN(G1)
1330 LET C8=F0*SIN(ATN(N5)-G1)*SQR(N5*N5+1)
1340 LET G5=SIN(F)+N3*COS(F)
1350 LET G6=-SIN(G1)+N4*COS(G1)
1360 LET G7=SIN(G1)+N4*COS(G1)
1370 LET G8=F0*COS(ATN(N5)-G1)*SQR(N5*N5+1)
1380 LET H1=C5*(L6-Z)-G5*(L7-X)
1385 LET H4=SIN(G1)-L8*(COS(G1)-N4*SIN(G1))
1390 LET H4=-D9*(N4*COS(G1)+H4)
1400 LET H5=SQR(N5*N5+1)*F0*(D9/2+N5*(L9-L6+Z))
1410 LET Q6=G5+C6*G6/C6
1420 LET Q7=G7+C7*G6/C6
1430 LET Q8=G8+C8*G6/C6
1440 LET N1=(Q8*H4/Q7+H5)/(H4*Q6/Q7-H1)
1450 PRINT #1, 'A1=';C5, 'A3=';C6, 'A4=';C7, 'A5=';C8
1460 PRINT #1, 'B1=';G5, 'B3=';G6, 'B4=';G7, 'B5=';G8
1470 PRINT #1, 'H1=';H1, 'H4=';H4, 'H5=';H5
1480 PRINT #1, 'R1=';Q6, 'R2=';Q7, 'R3=';Q8
1490 GO TO 1535
1500 LET A0=N4*SIN(G1)+COS(G1)
1505 LET A3=N4*COS(G1)-SIN(G1)
1510 LET A4=COS(F)-N3*SIN(F)
1515 LET T2=ATN(N3)
1520 LET A5=SIN(F)+N3*COS(F)
1525 LET N1=F0*(COS(G1)-A3*SIN(G1)/A0)
1530 LET N1=N1/(A3*A4/A0+A5)
1535 LET R=N1*SQR(N3*N3+1)
1540 LET N0=(F0*SIN(G1)+N1*A4)/A0
1550 LET R2=R*SIN(F+T2)
1560 LET R1=R*COS(F+T2)
1570 LET R3=R*COS(F+T2-G)
1580 LET R4=R*SIN(F+T2-G)
1582 PRINT 'N1=';N1, 'N0=';N0, 'R=';R
1584 PRINT 'RX=';R1, 'RZ=';R2
1586 PRINT 'RX PR.';R3, 'RZ PR.';R4
1587 PRINT #1, 'RX=';R1, 'RZ=';R2
1588 PRINT #1, 'RX PR.';R3, 'RZ PR.';R4
1590 LET K6=SIN(F+T2)/COS(F+T2)
1600 LET B6=Z-K6*X
1610 LET D6=(-K6*X5+Z5-B6)/(SQR(K6*K6+1))
1620 LET M6=R*D6
1630 LET R6=R3*COS(A1)+R4*SIN(A1)
1640 LET R7=R6*COS(A1)/SIN(A1)-R3/SIN(A1)
1642 PRINT 'DR1=';D6, 'MR=';M6
1644 PRINT 'RKR=';R6, 'RNR=';R7
1650 LET M7=M6
1655 LET M8=M6+R6*L2/COS(A1)
1660 LET M9=-.5*R4*D2+R3*L3
1670 LET M5=.5*R4*D2
1672 PRINT 'MRC=';M9, 'MRD=';M5
1674 PRINT 'MRA=';M7, 'MRB=';M8
1680 LET C4=(M5*L3)/(M5+M9)
1686 PRINT 'DC=';C4
1690 LET C0=COS(A2)
1695 LET C=COS(A1)
1700 LET E1=SIN(A1)*C0+SIN(A2)*C
1710 LET E2=(E1*C-SIN(A2))/SIN(A1)
1720 LET E3=L1*SIN(A2)
1730 LET E4=E3
1740 LET E5=E2*L2/C-E3
1750 LET E6=L2/C0
1760 LET E7=(E4*L2/C)/(E4+E5)
1770 LET E8=(E6*L4+E5*L5)/(L4+L5)
1780 PRINT 'RN1=';E1, 'RK1=';E2, 'M1=';E3
1785 PRINT 'MIA=';E4, 'M1B=';E5
1790 PRINT 'M1C=';E6, 'M1K=';E8

```

- 270 -

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИБЛИЖ. С.

```

1795 PRINT 'BA=';E7
1800 LET S1=C*C0-SIN(A1)*SIN(A2)
1810 LET S2=(S1*SIN(A1)+SIN(A2))/C
1820 LET S3=L1*C0
1830 LET S4=S3
1840 LET S5=S3+S2*L2/C
1850 LET S6=(S5*L5)/(L4+L5)
1860 PRINT 'M2=';S3,'RN2=';S1,'RK2=';S2
1870 PRINT 'M2A=';S4,'M2B=';S5,'M2K=';S6
1900 LET N=L2/C
1905 LET W1=E5*(N-E7)/2*(M7+(2*(N-E7)/3+E7)/N*(M8-M7))
1910 LET W1=-W1+E4*E7/2*(M7+E7/N/3*(M8-M7))
1912 LET W1=W1/E/J
1915 LET W1=W1-(E5*L4*(M9+M8)/2+(E8-E5)*L4/2*(M9+(M8-M9)/3))/E/J1
1920 LET W2=((S4*L2)/C)*.5*(M7+M8)
1925 LET W2=(W2+(S5-S4)*N/2*(M7+2*(M8-M7)/3))/E/J
1930 LET W2=W2+(S6*L4*(M9+M8)/2+(S5-S6)*L4/2*(M9+2*(M8-M9)/3))/E/
1940 LET W3=L2*(M7+M8)/(2*C*E*J)+L4*(M8+M9)/(2*E*J1)
1950 LET Q1=(E4*E7*E4+E5*E5*(L2/C-E7))/(6*E*J)
1955 LET Q1=Q1*2
1960 LET Q1=Q1+(E5*(E5+E6)+(E6-E5)*(E5+2*(E6-E5)/3))/(2*E*J1*(L4+
1970 LET Q1=Q1+(E6*L2/C0)*E6/(3*E*J2)
1980 LET Q5=S4+(2*(N-E7)/3+E7)*(S5-S4)/N
1990 LET Q2=(E4*E7*(S4+E7/3/N*(S5-S4))-E5*(N-E7)*Q5)/2/E/J
2000 LET Q2=Q2-S5*(L4+L5)*(E5+(E6-E5)/3)/(2*E*J1)
2010 LET Q3=(E4*E7-E5*((L2/C)-E7))/(2*E*J)
2020 LET Q3=Q3-(L4+L5)*(E5+E6)/(2*E*J1)
2030 LET Q3=Q3-E6*L2/C0/2/E/J2
2040 LET Y1=Q2
2050 LET Y2=(S4*(S4+S5)+(S5-S4)*(S4+2*(S5-S4)/3))*N/2/E/J
2060 LET Y2=Y2+S5*S5*(L4+L5)/(3*E*J1)
2070 LET Y3=(S4+S5)*L2/(2*C*E*J)+S5*(L4+L5)/(2*E*J1)
2080 LET U1=Q3
2090 LET U2=Y3
2100 LET U3=L2/(C*E*J)+(L4+L5)/(E*J1)+L2/(C0*E*J2)
2110 PRINT 'D1R=';W1,'D2R=';W2,'D3R=';W3
2120 PRINT 'D11=';Q1,'D12=';Q2,'D13=';Q3
2130 PRINT 'D21=';Y1,'D22=';Y2,'D23=';Y3
2135 PRINT 'D31=';U1,'D32=';U2,'D33=';U3
2150 LET M0=Q1*Y2*U3+Q2*Y3*U1+Q3*Y1*U2
2160 LET M0=M0-(Q3*Y2*U1+Q1*Y3*U2+Q2*Y1*U3)
2170 LET M1=- (W1*Y2*U3+Q2*Y3*W3+Q3*W2*U2)+Q3*Y2*W3
2180 LET M1=M1+W1*Y3*U2+Q2*W2*U3
2190 LET M2=- (Q1*W2*U3+W1*Y3*U1+Q3*Y1*W3)
2200 LET M2=M2+Q3*W2*U1+Q1*Y3*W3+W1*Y1*U3
2210 LET M3=- (Q1*Y2*W3+Q2*W2*U1+W1*Y1*U2)
2220 LET M3=M3+W1*Y2*U1+Q1*W2*U2+Q2*Y1*W3
2230 LET X1=M1/M0
2240 LET X2=M2/M0
2250 LET X3=M3/M0
2251 PRINT 'X1=';X1,'X2=';X2,'X3=';X3
2252 PRINT 'D=';M0
2260 LET D5=L1*SIN(A2)
2270 LET D7=L1*C0
2280 LET M4=X2*D7+X1*D5+X3
2290 LET P3=-X1*COS(A2-G)+X2*SIN(A2-G)+R1
2300 LET P4=X1*SIN(A2-G)+X2*COS(A2-G)+R2
2310 LET R8=- (P4*SIN(A1+G)+P3*COS(A1+G))
2320 LET R9=(R8*SIN(A1+G)+P4)/COS(A1+G)
2330 PRINT 'D1=';D5,'D2=';D7
2340 PRINT 'PX=';P3,'PZ=';P4
2345 PRINT 'RKP=';R8,'RNP=';R9,'MP=';M4
2400 LET S7=R8*((L2/C)-3)/(3*E*J)
2410 LET S8=M4*((L2/C)-2)/(2*E*J)
2420 LET S=S7+S8
2430 LET W4=X1*((L2/C0)-3)/(3*E*J2)
2440 LET W5=X3*((L2/C0)-2)/2/E/J2
2450 LET W=W4+W5

```

```

2460 LET F2=W*C0/L2
2470 LET W9=L1+(L2/C0)*SIN(A2+F2)
2480 LET W0=L1+(L2/C0)*SIN(A2)
2490 LET W6=(L2/C0)*COS(A2+F2)
2500 LET W7=(L2/C0)*C0
2510 LET T3=(L2/C)*SIN(A1+F1)
2515 LET T3=-T3
2520 LET T4=(L2/C)*SIN(A1)
2530 LET T5=(L2/C)*COS(A1+F1)
2540 LET T6=L2
2545 PRINT 'DS=';S,'DW=';W
2548 PRINT 'FIDS=';F1,'FIDW=';F2
2550 PRINT 'XW1=';W9,'XWH=';W0,'ZW1=';W6,'ZWH=';W7
2552 PRINT 'XS1=';T3,'XSH=';T4,'ZS1=';T5,'ZSH=';T6
2560 LET F3=ATN((W7-T6)/(W0-T4))
2570 LET F4=ATN((W6-T5)/(W9-T3))
2580 LET G2=(F4-F3)
2590 LET G=G-G2
2595 PRINT 'FIH=';F3,'F1=';F4,'GAM,KOR.=';G2,'GAM.=';G
2600 LET Y4=T3+L4*COS(F4)
2610 LET Y5=T5+L4*SIN(F4)
2620 LET O1=Y4+L3*SIN(F4+F5)
2630 LET O2=Y5-L3*COS(F4+F5)
2635 PRINT 'X0 2PR.=';O1,'Z0 2PR.=';O2
2640 LET O3=O1*COS(G1)+X5-O2*SIN(G1)
2650 LET O4=O1*SIN(G1)+Z5+O2*COS(G1)
2654 PRINT #1,'X0 PR.=';O3,'Z0 PR.=';O4
2655 PRINT #1,'XD=';X8,'ZD=';Z8,'1-WYJ WAR.-DO RASC.SIL'
2656 LET Z8=.5*O2-C2*SIN(K2)/COS(K2)
2657 LET X8=X6-Z8*COS(G)
2658 LET Z8=Z6-Z8*SIN(G)
2659 PRINT #1,'XD=';X8,'ZD=';Z8,'2-J WAR. RAS.-POSLIE RAS.SIL'
2660 LET X9=O3-C2*SIN(G)+D2*COS(G)/2
2670 LET Z9=O4+C2*COS(G)+D2*SIN(G)/2
2680 LET B8=COS(K7)/SIN(K7)
2690 LET B7=-C1-D1*COS(K7)/2/SIN(K7)
2700 LET B9=(Z9-B8*X9-B7)/SQR(B8*B8+1)
2705 GO TO 2720
2710 IF B9>0 THEN 500
2720 LET B4=D1*SIN(ATN(N3)+K7)/COS(ATN(N3))
2730 LET B4=- (B4*COS(K7)+C1)
2732 PRINT 'XB=';X9,'ZB=';Z9
2733 PRINT 'KB=';B8,'BB=';B7
2734 PRINT 'DDB=';B9,'ZB GRAN.=';B4
2740 IF B4>Z9 THEN 2770
2750 PRINT 'NIET SOJEDINIENIA IZ-ZA ZAKLINIWANIA SOJ.DIETALIEJ'
2760 GO TO 3000
2770 PRINT 'SOJEDINIENIE DIETALIEJ PROISHODIT-ZAKLINIWANIA NIET
2780 GO TO 3000
2810 DATA 140,99.5,122
2820 DATA 20,20,20
2830 DATA 45,45,45
2835 DATA 500,0,200,800
2838 DATA 80
2840 DATA 5.05
2850 DATA .15,.008,.1
2855 DATA 100
2860 DATA 10
2865 DATA 20000
2870 DATA 400
2875 DATA 100,50
2880 DATA 200
2890 DATA 14.036243,7.1250161
2895 DATA 5
2900 DATA 20,5
2910 DATA 2
2920 DATA -150.41
2922 DATA 250

```

2940 DATA 51.010075

2990 PRINT 'PROISHODIT TORCIEWOJE ZAKLINIWANIE'

3000 END

Продолжение обозначений идентификаторов со стр. 271.

T1- $\delta_T$	Z8-ZD
T2- $\varphi_{T1}$	X-XQ
T3-X <sub>S1</sub>	X1-X1
T4-X <sub>SH</sub>	X2-X2
T5-Z <sub>S1</sub>	X3-X3
T6-Z <sub>SH</sub>	X9-XB
W1- $\delta_{1R}$	X4-XPH
W2- $\delta_{2R}$	X5-XP
W3- $\delta_{3R}$	X6-X0'
W4- $\delta_{WX1}$	X7-XH
W5- $\delta_{WX3}$	X8-XD
W- $\delta_W$	Y1- $\delta_{21}$
W6-Z <sub>W1</sub>	Y2- $\delta_{22}$
W7-Z <sub>WH</sub>	Y3- $\delta_{23}$
W9-X <sub>W1</sub>	Y4-XM
W $\emptyset$ -X <sub>WH</sub>	Y5-ZM
Z-ZQ	U1- $\delta_{31}$
Z9-ZB	U2- $\delta_{32}$
Z4-ZPH	U3- $\delta_{33}$
Z5-ZP	V-VU
Z6-Z0'	
Z7-ZH	

и  
и  
и  
и  
и  
и  
и  
и  
и  
и  
и  
и

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

1

СХОДЯЩЕ ДАВАННЕ

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

LC 209,500000 1352,199951 12,24 6,00 6,00 50,00 0,00 0,00

Продолжение прилож. 3.2.

279

Y	T	XC	ZC	G	XPC	ZPC	GP	XPP	ZPP	GPP
0,055	-91,5160599	169,8092346	18,09748	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
0,110	-83,5546799	129,1096649	27,52209	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
1,000	DEL= 0,1483530	2,5513732								

РЕЗУЛЬТАТ РАСЧЕТА:

LU=416,204668; XB= 15,913788; ZB= -55,2955475; XH= -29,2096805; ZH= -30,2585750;  
 DDB= -9,79393768; DDT= 0,0000000; DDW= 0,0000000;  
 TOP FROM 25 КОЛ-ВО ОБРАЩЕНИЙ К ДУ 2 0



ПРИЛОЖЕНИЕ IO

KANGAM-KXKGM-KXKGM-KXKGM-KANGAM-KXKGM  
 PROGRAMMA KAJALAN BOSTROSI KX I KGM UPRUGIH ELIENIENTUM  
 JABROGAMA NSTRUJSTVA

ISROGNYE DAMEYE

GA= 30.03      EG= 29.98      CR= .9      KB= 0  
 LL= 50      LE= 100      AM= 0  
 PL= 45      PLE= 45      PIR= 0  
 AIB= .12      MASA DIETALI 8= .8      BROR.SILA F= 300  
 DEL KH/2= .707513      GRM.H= 1.05

ZVANK	GAM.DEN(OR)	KX(HH/HH)	KB(HHH/OR)	XE(MM)
30	.84	53.3555	19937.3	12.8262
30	.82	251.424	14802	7.39031
30	.8	463.034	10098.2	1.40686
30	.78	348.197	5657.84	-5.20839
30	.76	856.531	1248.29	-12.5424
30	.74	900.633	-130.307	-15.3062
30	.72	869.596	-309.661	-15.7527
-----				
25	.84	14.7009	19955	12.8262
25	.82	60.0340	14848.7	7.39031
25	.8	127.32	10156.5	1.40686
25	.78	193.892	5707.64	-5.20839
25	.76	269.333	1364.93	-12.5424
25	.74	296.485	-127.739	-15.3062
25	.72	298.588	-303.436	-15.7527
-----				
20	.84	12.4192	19982.4	12.8262
20	.82	54.0607	14921.8	7.39031
20	.8	101.369	10248.4	1.40686
20	.78	155.685	5787	-5.20839
20	.76	219.663	1391.75	-12.5424
20	.74	242.81	-123.579	-15.3062
20	.72	246.257	-293.334	-15.7527
-----				
15	.84	14.2259	20030.9	12.8262
15	.82	59.6544	15052.6	7.39031
15	.8	110.253	10415.2	1.40686
15	.78	170.959	5933.33	-5.20839
15	.76	243.313	1442.18	-12.5424
15	.74	272.313	-115.691	-15.3062
15	.72	277.439	-274.112	-15.7527
-----				
10	.84	21.1982	20139.6	12.8262
10	.82	84.051	15353.3	7.39031
10	.8	160.201	10810.8	1.40686
10	.78	254.365	6293.34	-5.20839
10	.76	373.517	1871.88	-12.5424
10	.74	424.944	-84.9735	-15.3062
10	.72	435.91	-223.226	-15.7527
-----				
5	.84	54.8535	20604.1	12.8262
5	.82	223.752	16772.9	7.39031
5	.8	471.319	12935.1	1.40686
5	.78	868.474	8601.51	-5.20839
5	.76	1306.02	2653.65	-12.5424
5	.74	2095.48	106.187	-15.3062
5	.72	2279.46	-303.164	-15.7527
-----				
0	.84	-68.5836	18687	12.8262
0	.82	-388.425	12051.7	7.39031
0	.8	-387.443	2220.57	1.40686
0	.78	-494.786	3886.73	-5.20839
0	.76	-593.751	761.695	-12.5424
0	.74	-606.513	-114.892	-15.3062
0	.72	-603.241	-507.238	-15.7527

PROGRAMMA KECERDASAN ZOSTROSI KK I KRAM UPRUBIH ELIEMENION  
 SPORODNOGO VEKOVOSTIA

ISKUPNYE DANNYE

OB= 30.03      SD= 29.28      OS= 1      OS= 0  
 KO= 50      LF= 100      KM= 0  
 FIR= 45      FIF= 45      FIK= 0  
 MIU= .12      MASA NIETALI K= .8      SPUR.SILA F= 300  
 OCL XH/2= 1.03013      MAM.H=-1.5

LU (cm)	GAN.ELN(CR)	KX(CM/MS)	Ku(CMM/CR)	YE(%)
30	.84	19.5791	6343.7	12.3262
30	.82	96.5888	5006.56	7.3903
30	.8	179.421	3606.51	1.40686
30	.78	267.599	2121.69	-5.2084
30	.76	368.827	528.375	-12.5424
30	.74	400.394	-53.152	-15.3062
30	.72	398.162	-131.01	-15.7527
25	.84	8.92837	6349.32	12.3262
25	.82	41.5289	5027.36	7.3903
25	.8	78.1006	3627.31	1.40686
25	.78	119.514	2140.36	-5.2084
25	.76	166.804	534.9	-12.5424
25	.74	184.474	-52.1048	-15.3062
25	.72	166.63	-128.576	-15.7527
20	.84	8.10882	6358.05	12.3262
20	.82	35.3729	5047.09	7.3903
20	.8	63.469	3660.15	1.40686
20	.78	102.3	2170.12	-5.2084
20	.76	143.983	545.411	-12.5424
20	.74	160.214	-50.408	-15.3062
20	.72	162.822	-124.103	-15.7527
15	.84	9.57722	6373.47	12.3262
15	.82	39.5329	5091.3	7.3903
15	.8	74.3966	3719.71	1.40686
15	.78	115.492	2775	-5.2084
15	.76	164.558	565.174	-12.5424
15	.74	184.379	-47.1898	-15.3062
15	.72	188.061	-115.971	-15.7527
10	.84	14.534	6408.05	12.3262
10	.82	57.6641	5193.03	7.3903
10	.8	109.976	3860.99	1.40686
10	.78	174.727	2360	-5.2084
10	.76	266.734	616	-12.5424
10	.74	292.193	-36.74	-15.3062
10	.72	299.99	-94.4417	-15.7527
5	.84	38.1012	6553.86	12.3262
5	.82	155.519	5673.16	7.3903
5	.8	327.677	4619.68	1.40686
5	.78	603.957	3225.56	-5.2084
5	.76	1117.16	1039.94	-12.5424
5	.74	1450.04	43.3144	-15.3062
5	.72	1536.47	128.261	-15.7527
0	.84	-62.2665	5944.29	12.3262
0	.82	-179.541	4076.31	7.3903
0	.8	-271.354	2908.56	1.40686
0	.78	-347.761	1845.09	-5.2084

ПРИЛОЖЕНИЕ II

\*\*\*\*\*

KXKQAM-KXKQAM-KXKQAM-KXKQAM-KXKQAM-KXKQAM  
 PROGRAMMA RASCIOTA LOGSTKOSTI KX I KQAM UPRUGIH ELIEMENTOM  
 SROKOCNOGO USTROJSTWA  
 EKSPERYMENT -L.A.S. ST.DRAPER (USA)

----- OSNOVNYE DANNYE -----

BA= 25.075    BB= 25    CA= .5    CB= .5  
 LC= 50    LF= 100    AM= 0  
 FIA= 45    FIB= 45    FIK= 0  
 NIU= .16    MASSA BIETALI M= .55    SROK.SILA F= 60  
 DEL XH/2= 1.05394    GAM.H= 3

LW(KM)	BAN.CEN(UR)	FXO(H)	MO(HMM)	XE(MM)
30	1.14	.985237	754.355	11.6342
30	1.12	4.46975	769.528	8.48195
30	1.1	8.30287	786.726	5.08889
30	1.08	12.5356	806.281	1.42927
30	1.06	17.2023	828.469	-2.50385
30	1.04	22.3764	853.772	-6.7455
20	1.14	1.55086	756.77	11.6342
20	1.12	7.07833	780.841	8.48195
20	1.1	13.2361	808.465	5.08889
20	1.08	20.1312	840.303	1.42927
20	1.06	27.8513	876.966	-2.50385
20	1.04	36.5587	919.465	-6.7455
10	1.14	3.6414	765.696	11.6342
10	1.12	16.9991	823.867	8.48195
10	1.1	32.6134	893.854	5.08889
10	1.08	51.0841	978.943	1.42927
10	1.06	73.1101	1083.00	-2.50385
10	1.04	99.835	1212.56	-6.7455
0	1.14	-10.4644	705.469	11.6342
0	1.12	-42.3314	566.555	8.48195
0	1.1	-70.2899	440.396	5.08889
0	1.08	-95.0298	324.486	1.42927
0	1.06	-116.974	217.419	-2.50385
0	1.04	-136.608	117.35	-6.7455

\*\*\*\*\*

KKKKAM-KKKKAM-KKKKAM-KKKKAM-KKKKAM-KKKKAM

PROGRAMMA BACCIOIA ZOSTKOSII KX I KRAM UPRUGIH ELIEKLEH:OU

SVAROSHHO OSTRKOSIUA

ERSPEKTYENT -LSA. ST. DRAPER (USA)

-----ICHENNYE DANNYE-----

DR= 25.075    DR= 25            CA= .5                    CR= .5  
 LC= 50        LF= 100            AW= 0  
 FID= 45       FID= 45            FIK= 0  
 RIU= .14      MASSA DIETALI M= .55        SACR. SILA F= 91  
 DEL XH/2= 1.05394            GAM.H= 3

LW (MM)	GAM. GEN (GR)	FXO (H)	MO (MM)	XE (MM)
30	1.14	1.49428	1144.11	11.6342
30	1.12	6.77913	1167.12	8.48195
50	1.1	12.5927	1193.2	5.08889
30	1.08	19.0124	1222.86	1.42927
30	1.06	26.0901	1256.51	-2.50385
30	1.04	33.9375	1294.89	-6.7455
-----				
20	1.14	2.35214	1147.77	11.6342
20	1.12	10.7355	1184.28	8.48195
20	1.1	20.0747	1226.17	5.08889
20	1.08	30.5323	1274.46	1.42927
20	1.06	42.2412	1330.07	-2.50385
20	1.04	55.4474	1394.52	-6.7455
-----				
10	1.14	5.52279	1161.31	11.6342
10	1.12	25.762	1249.53	8.48195
10	1.1	49.4637	1355.69	5.08889
10	1.08	77.4776	1484.73	1.42927
10	1.06	110.884	1642.67	-2.50385
10	1.04	151.416	1839.05	-6.7455
-----				
0	1.14	-15.871	1069.96	11.6342
0	1.12	-64.2026	859.276	8.48195
0	1.1	-106.606	667.933	5.08889
0	1.08	-144.129	492.138	1.42927
0	1.06	-177.41	329.752	-2.50385
0	1.04	-207.189	177.991	-6.7455

\*\*\*\*\*  
 КОМПЬЮТЕРНОЕ КОДИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕР-КОДИРОВАНИЕ  
 PROGRAMMA BASCULATA ZUSAMMENSETZUNG I KAMM UNTEREINER ELEMENTEN  
 VERBODENDE BOUTENSTUKEN  
 ERSPENNIENT -LAG. 21. DRAPER (USA)  
 ----- [ISKONNYE DANNYE] -----

SA= 25.075      OB= 25      CA= .5      CB= .5  
 LB= 50      LP= 100      AW= 0  
 FA= 45      FB= 45      FK= 0  
 RA= .16      WACSA DIETALI M= .55      SACR. SILA F= 85  
 DEL. XH/2= 1.05394      GAM.H= 3

LM (MM)	GAM. GEN (GR)	Fx0 (H)	MO (MM)	Xe (MM)
25	1.14	1.70705	1070	11.6342
25	1.12	7.78251	1096.37	8.48195
25	1.1	14.4564	1126.4	5.08889
25	1.08	21.888	1160.73	1.42927
25	1.06	30.1301	1199.9	-2.50385
25	1.04	39.3282	1244.84	-6.7455
25	1.02	49.6204	1295.53	-11.3174
25	1	52.9683	1316.76	-12.7339
-----				
20	1.14	2.19706	1072.09	11.6342
20	1.12	10.0276	1106.19	8.48195
20	1.1	18.7511	1145.33	5.08889
20	1.08	28.5192	1190.43	1.42927
20	1.06	39.4561	1242.37	-2.50385
20	1.04	51.7915	1302.58	-6.7455
20	1.02	65.7587	1372.59	-11.3174
20	1	70.3689	1400.23	-12.7339
-----				
15	1.14	3.08165	1075.87	11.6342
15	1.12	14.1594	1124.11	8.48195
15	1.1	26.6758	1180.25	5.08889
15	1.08	40.9148	1245.95	1.42927
15	1.06	57.1433	1322.92	-2.50385
15	1.04	75.8188	1413.87	-6.7455
15	1.02	97.454	1521.97	-11.3174
15	1	104.795	1535.38	-12.7339
-----				
10	1.14	5.15885	1004.74	11.6342
10	1.12	24.0821	1167.15	8.48195
10	1.1	46.2024	1266.29	5.08889
10	1.08	72.3692	1396.84	1.42927
10	1.06	103.573	1534.34	-2.50385
10	1.04	141.433	1717.8	-6.7455
10	1.02	188.133	1949.34	-11.3174
10	1	205.167	2046.89	-12.7339
-----				
5	1.14	15.8236	1130.27	11.6342
5	1.12	80.4846	1411.76	8.48195
5	1.1	172.392	1822.36	5.08889
5	1.08	312.987	2464.59	1.42927
5	1.06	552.402	3578.4	-2.50385
5	1.04	1050.82	5930.11	-6.7455
5	1.02	2706.34	13817.5	-11.3174
5	1	4861.8	24385.6	-12.7339
-----				
0	1.14	-14.8245	997.414	11.6342
0	1.12	-59.9595	802.62	8.48195
0	1.1	-99.5774	623.894	5.08889
0	1.08	-134.626	459.889	1.42927
0	1.06	-165.713	308.01	-2.50385
0	1.04	-193.628	166.266	-6.7455
0	1.02	-218.514	32.8196	-11.3174
0	1	-274.68	-17.0971	-12.7339





КХКВАН-КХКВАН-КХКВАН-КХКВАН-КХКВАН-КХКВАН  
 RESEARCH LABORATORY OF THE U.S. ARMY AIRCRAFT MATERIALS  
 DEVELOPMENT CENTER  
 COMPLIMENT - LAB. ST. DRAPER (100)

ISOPHOTE DATA

GA= 25.22/      GB= 25      HA= .5      LB= .5  
 LC= 50      LF= 100      HM= 0  
 PIA= 45      PIS= 45      FIK= 0  
 RIU= .22      MASSA METALI N= .55      SPRINGILA F= 50  
 DEL  $\lambda/2$ = 1.17923      BAN.H= 6

LW (MM)	BAN. LEN (GR)	F $\lambda$ (M)	NO (MM)	XE (MM)
25	2.6	2.00026	736.756	11.1122
25	2.4	14.2497	810.004	2.4896
25	2.2	33.8432	942.576	-9.58369
25	2	41.7431	1017.82	-13.6915
25	1.8	45.6668	1078.21	-15.3199
25	1.6	50.928	1164.78	-17.3507
25	1.4	50.346	1296.43	-19.984
25	1.2	69.5309	1514.15	-23.4887
20	2.6	2.6046	740.082	11.1122
20	2.4	18.8726	837.373	2.4896
20	2.2	46.0523	1020.87	-9.58369
20	2	57.6339	1129.12	-13.6915
20	1.8	63.7655	1218.06	-15.3199
20	1.6	72.2149	1348.49	-17.3507
20	1.4	84.5926	1553.46	-19.984
20	1.2	104.45	1909.53	-23.4887
15	2.6	3.73223	746.289	11.1122
15	2.4	27.9345	891.024	2.4896
15	2.2	72.0417	1187.55	-9.58369
15	2	93.0603	1377.26	-13.6915
15	1.8	105.628	1541.52	-15.3199
15	1.6	124.077	1796.05	-17.3507
15	1.4	153.761	2230.69	-19.984
15	1.2	209.375	3099.29	-23.4887
10	2.6	6.5817	761.971	11.1122
10	2.4	53.7368	1043.79	2.4896
10	2.2	165.364	1786.04	-9.58369
10	2	241.513	2417.05	-13.6915
10	1.8	307.515	3101.44	-15.3199
10	1.6	440.234	4524.44	-17.3507
10	1.4	643.294	6981.9	-19.984
10	1.2	961.048	11220.4	-23.4887
5	2.6	27.8269	878.7	11.1122
5	2.4	704.048	4893.99	2.4896
5	2.2	-559.813	-2864.63	-9.58369
5	2	-405.743	-9115.42	-13.6915
5	1.8	-332.447	-1882.02	-15.3199
5	1.6	-284.374	-1228.82	-17.3507
5	1.4	-242.017	-1644.37	-19.984
5	1.2	-207.47	-1627.5	-23.4887
0	2.6	-12.4901	657.005	11.1122
0	2.4	-63.4175	350.169	2.4896
0	2.2	-103.951	53.8804	-9.58369
0	2	-110.256	-46.8164	-13.6915
0	1.8	-108.948	-116.453	-15.3199
0	1.6	-107.475	-207.209	-17.3507
0	1.4	-105.823	-310.897	-19.984
0	1.2	-103.979	-453.823	-23.4887

\*\*\*\*\*

XX

XX  
KONKALMA BASCHUTA ZUSTRUSTI KX I KHAM UPRUGIM ELEMENNTIM  
ZABRUBNOO USTRUISINA

EXPERIMENT PLAR. ST. DRAPER (USA)

----- ICHUVAYE DANNYE -----

GA= 20.227      DC= 25      CA= .5      CB= .5  
LC= 50      LF= 100      AM= 0  
Flw= 95      FIB= 45      FIK= 0  
RID= .22      MASSA DIELALI N= .55      SBOR. SILA F= 159  
DEL. XH/2= 1.17923      KAM. N= 6

LU (MM)	GAM. CEN (MM)	FXO (H)	MO (MMH)	YE (MM)
25	2.6	5.48346	2019.73	11.1122
25	2.4	39.0644	2220.53	2.4896
25	2.2	92.7772	2583.96	-9.58369
25	2	114.434	2790.23	-13.6915
25	1.8	125.19	2955.79	-15.3199
25	1.6	139.613	3193.11	-17.3587
25	1.4	159.949	3554.15	-19.984
25	1.2	190.742	4150.85	-23.4887
-----				
20	2.6	7.14019	2028.85	11.1122
20	2.4	51.7369	2295.56	2.4896
20	2.2	126.247	2798.61	-9.58369
20	2	157.996	3095.35	-13.6915
20	1.8	174.805	3339.16	-15.3199
20	1.6	197.969	3696.72	-17.3587
20	1.4	231.9	4258.63	-19.984
20	1.2	286.337	5234.75	-23.4887
-----				
15	2.6	10.2315	2045.86	11.1122
15	2.4	76.5709	2442.64	2.4896
15	2.2	197.494	3255.52	-9.58369
15	2	255.114	3775.58	-13.6915
15	1.8	289.567	4225.89	-15.3199
15	1.6	340.141	4923.65	-17.3587
15	1.4	421.517	6115.17	-19.984
15	1.2	573.975	8496.32	-23.4887
-----				
10	2.6	18.0429	2068.85	11.1122
10	2.4	147.313	2861.42	2.4896
10	2.2	453.325	4896.21	-9.58369
10	2	662.08	6626.06	-13.6915
10	1.8	843.014	8002.23	-15.3199
10	1.6	1006.85	12403.2	-17.3587
10	1.4	2311.79	24622.8	-19.984
10	1.2	-126391	-1.43118E+06	-23.4887
-----				
5	2.6	76.2842	2409.4	11.1122
5	2.4	1930.06	13416.3	2.4896
5	2.2	-1534.66	-7853.03	-9.58369
5	2	-1112.3	-5802.05	-13.6915
5	1.8	-925.075	-5159.32	-15.3199
5	1.6	-779.576	-4739.36	-17.3587
5	1.4	-663.46	-4507.84	-19.984
5	1.2	-568.809	-4461.86	-23.4887
-----				
0	2.6	-34.2401	1801.1	11.1122
0	2.4	-173.852	959.947	2.4896
0	2.2	-384.97	161.413	-9.58369
0	2	-302.254	-128.342	-13.6915
0	1.8	-298.667	-319.241	-15.3199
0	1.6	-294.629	-554.331	-17.3587
0	1.4	-290.102	-852.291	-19.984
0	1.2	-288.646	-1266.24	-23.4887