

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

# **РАСЧЕТ ЗАЖИМНЫХ МЕХАНИЗМОВ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ**

Методические указания для выполнения  
курсового и дипломного проектирования  
для студентов специальности  
**1-36 01 01 «Технология машиностроения»**

Брест 2012

УДК 621.91.002

Методические указания предназначены для выполнения соответствующих разделов курсового проекта по «Технологии машиностроения» и дипломного проекта по специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения».

В указаниях приводится методика расчета сил закрепления заготовки в приспособлении и методика расчета зажимных механизмов приспособлений.

Составители: Ялковский Н.С, старший преподаватель  
Парфиевич А.Н, ассистент

Рецензент: Андросюк И.В., главный инженер УП «Гефест-техника»

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ ЗАЖИМНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

В конструкции большинства станочных приспособлений предусмотрены зажимные механизмы. Их назначение - обеспечить постоянство контакта заготовки с установочными элементами (опорами) приспособления и предотвратить смещение и вибрации заготовки в процессе обработки.

Зажимные устройства приспособлений могут приводиться в действие вручную (это, как правило, винтовые и эксцентриковые зажимы), так и иметь механизированный привод (пневматический, гидравлический, магнитный, привод от электродвигателя и т. д.). Применение механизированных зажимов предпочтительно, так как они обеспечивают постоянство силы зажима и сокращают затраты сил и времени на закрепление и открепление заготовки.

В приспособлениях, оснащенных механизированным приводом, часто применяются промежуточные зажимные механизмы (механизмы-усилители), в качестве которых используются клиновые и рычажные зажимные устройства, прихваты различных конструкций и т. д. Их применение позволяет:

1. Увеличить значение и изменить направление действия силы зажима.
2. Сделать конструкцию приспособления более компактной, облегчить процесс установки и закрепления заготовки в приспособлении.

При проектировании приспособления обязательно проводится расчет силы зажима, зажимного механизма и силового привода приспособления.

## 2. РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОЙ СИЛЫ ЗАЖИМА

Расчет сил закрепления заготовки проводят при конструировании новых приспособлений и при использовании имеющихся универсальных и переналаживаемых приспособлений, в последнем случае расчет носит проверочный характер.

В первом приближении расчет сил зажима заготовки сводится к задаче статики на равновесие заготовки под действием приложенных к ней внешних сил и проводится в следующей последовательности:

1. На схеме установки заготовки указываются силы, действующие на нее в процессе обработки, при этом обязательно учту подлежат силы резания, силы зажима, реакции опор и силы трения. При необходимости также указывают объемные силы (сила тяжести, инерционные и центробежные силы) и второстепенные силы, возникающие, например, при отводе режущего инструмента (сверла, метчика, развертки).
2. Из шести уравнений статики выбирают приемлемые для данной схемы нагружения и, исходя из условия равновесия сил и моментов, действующих на заготовку, определяется необходимая сила зажима.
3. На этапе расчетов в уравнение водится поправочный коэффициент  $k$  (коэффициент запаса зажимной силы), характеризующий неточность расчетов, непостоянство условий обработки и закрепления заготовки.

В качестве примера рассмотрим схему закрепления заготовки, приведенную на рисунке

1. На схеме приняты следующие обозначения:

$P_1$  и  $P_2$  - силы резания, возникающие при обработке;

$W$  - сила закрепления заготовки, величину которой необходимо определить;

$f_1$  и  $f_2$  - коэффициенты трения заготовки соответственно с зажимными и установочными элементами приспособления, их значения приведены в приложении;

$j_1$  и  $j_2$  - жесткость соответственно зажимных и установочных элементов.

Предполагается, что силы  $P_1$  и  $P_2$  определены на начальном этапе расчетов по формулам, известным из курса дисциплины "Теория резания".

Сила  $P_1$  направлена против зажимного устройства и может привести к отрыву заготовки от опор приспособления, чтобы этого не произошло, должно выполняться условие (условие равновесия сил, действующих на заготовку).

$$W = P_1 \cdot k, \quad (2.1)$$

где  $k$  - коэффициент запаса зажимной силы.

Методика определения коэффициента  $k$  изложена в приложении.

По этой же формуле определяется требуемая величина силы зажима  $W$  (ее минимальное значение).

Сила  $P_2$  стремится сдвинуть заготовку с опор приспособления, чему противодействуют силы трения, возникающие в местах контакта заготовки с опорами и зажимными элементами приспособления. Условие равновесия сил, действующих на заготовку, выразится формулой.

$$(W - P_1) \cdot f_2 + W \cdot f_1 = P_2 \cdot k \quad (2.2)$$

В данном выражение учтено, что составляющая  $P_1$  силы резания противодействует зажимному устройству приспособления и поэтому в контакте заготовка - установочные элементы приспособления действует сила (реакция опор), равная  $W - P_1$ .

Расчетная формула для определения силы зажима

$$W = \frac{P_2 \cdot k + P_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2} \quad (2.3)$$

Для дальнейших расчетов приспособления из двух значений  $W$ , определенных по формулам 2.1 и 2.3, выбирается наибольшее.

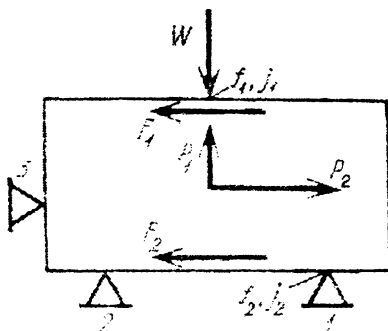


Рисунок 1 – Схема установки заготовки и схема действующих на нее сил

Вышеприведенные формулы получены с учетом предположения, что сила зажима создается зажимными устройствами второй группы (пневматическими, гидравлическими и пневмогидравлическими механизмами прямого действия), не имеющими в своем составе самотормозящих элементов.

В том случае, если зажимной механизм приспособления имеет в своей конструкции самотормозящие элементы (винтовые, эксцентриковые, клиновые безроликовые), сила  $P_1$  приводит к перераспределению реакций опор и зажимных элементов приспособления.

В качестве примера рассмотрим ту же схему закрепления заготовки.

Так же как и в предыдущем случае, сила  $P_1$  может привести к отрыву заготовки от опор приспособления, чтобы этого не произошло, должно выполняться условие:

$$W = P_1 \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2} \cdot k \quad (2.4)$$

Сила  $P_2$  стремится сдвинуть заготовку с опор приспособления, чему противодействуют силы трения, в местах контакта заготовки с опорами и зажимными элементами приспособления. Условие равновесия действующих на заготовку сил и расчетная формула примут вид:

$$(W + P_1 \cdot \frac{j_1}{j_1 + j_2}) \cdot f_1 + (W - P_1 \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2}) \cdot f_2 = P_2 \cdot k \quad (2.5)$$

$$W = (P_2 \cdot k - P_1 \cdot \frac{j_1}{j_1 + j_2} \cdot f_1 + P_1 \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2} \cdot f_2) / (f_1 + f_2) \quad (2.6)$$

В данных выражениях учтено, что составляющая  $P_1$  приводит к перераспределению реакций опор и зажимного элемента, которые могут быть выражены формулами:  
реакция установочных элементов (опор) приспособления

$$W - P_1 \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2}; \quad (2.7)$$

реакция зажимных элементов

$$W + P_1 \cdot \frac{j_1}{j_1 + j_2}; \quad (2.8)$$

жесткость  $j_1$ , как правило, больше  $j_2$ , поэтому

$$\frac{j_1}{j_1 + j_2} = 0,3...0,4 \quad \frac{j_2}{j_1 + j_2} = 0,6...0,7 \quad (2.9)$$

Меньшие значения в первом соотношении и большие во втором следует принимать в случае использования зажимных механизмов пониженной жесткости.

Для дальнейших расчетов приспособления из двух значений  $W$ , определенных по формулам 2.4 и 2.6, выбирается наибольшее.

Следует отметить, что расчет по приведенным формулам проводится не только при установке заготовки на плоскость, но и при установке на плоскость и два пальца, а также при установке на плоскость и палец или в втулку, когда сдвигающая сила проходит через ось установочного элемента и может привести к смещению заготовки. Во всех перечисленных случаях силам резания (в частности силе  $P_2$ ) должны противодействовать силы трения в контакте заготовки с элементами приспособления. Боковые поверхности пальцев и втулок не должны воспринимать силы резания, в противном случае:

1. В процессе обработки возможно смещение заготовки в пределах зазора между базовой поверхностью (отверстием, цилиндрическим буртиком) и установочным элементом, что изменяет первоначальное положение заготовки, достигнутое базированием.
2. Имеет место значительный износ установочных элементов (боковой поверхности пальца, втулки) быстро приводящий к потере точности приспособления.

По аналогичной методике могут быть рассчитаны силы зажима и для других случаев установки заготовки и действующих на нее сил.

Рассмотрим уравнения равновесия и формулы для расчета зажимных сил, предупреждающих смещение заготовки.

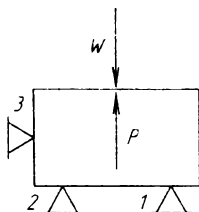


Рисунок 2 – Схема установки, при которой силы резания стремятся оторвать заготовку от опор

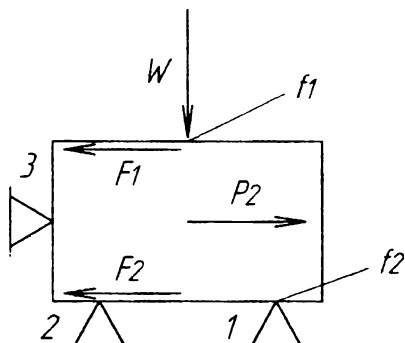
На заготовку действует сила, стремящаяся оторвать ее от опор. Зажимное устройство должно обеспечить надежный контакт заготовки с установочными элементами 1 и 2.

Условие равновесия сил и расчетная формула:  
для зажимов второй группы

$$W = P_1 \cdot k; \quad (2.10)$$

для зажимов первой группы

$$W = P_1 \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2} \cdot k \quad (2.11)$$



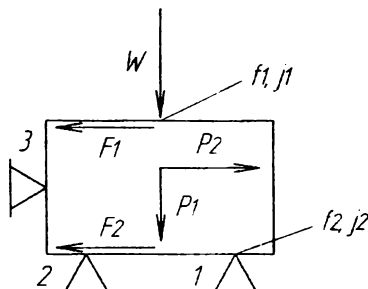
**Рисунок 3 – Схема установки, при которой силы резания стремятся сдвинуть заготовку**

На заготовку действует сила, стремящаяся сдвинуть ее с опор. Зажимное устройство должно предупредить смещение заготовки на опорах 1 и 2 в сторону от установочного элемента 3. Возможному смещению заготовки препятствуют силы трения в местах контакта заготовки с опорами и зажимными элементами приспособления.

Условие равновесия сил и расчетная формула:  
для зажимов первой и второй группы

$$W \cdot f_2 + W \cdot f_1 = P_2 \cdot k; \quad (2.12)$$

$$W = \frac{P_2 \cdot k}{f_1 + f_2} \quad (2.13)$$



**Рисунок 4 – Схема установки, при которой силы резания стремятся сдвинуть заготовку и прижимают ее к опорам**

На заготовку действует сила, стремящаяся сдвинуть ее и прижимающая заготовку к опорам приспособления. Зажимное устройство должно предупредить смещение заготовки на опорах 1 и 2 в сторону от установочного элемента 3. Возможному смещению препятствуют силы трения в контакте заготовки с установочными и зажимными элементами приспособления.

Условие равновесия сил и расчетная формула:  
для зажимов второй группы:

$$(W + P_1) \cdot f_2 + W \cdot f_1 = P_2 \cdot k; \quad (2.14)$$

$$W = \frac{P_2 \cdot k - P_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2}; \quad (2.15)$$

для зажимов первой группы

$$(W - P_1 \cdot \frac{j_1}{j_1 + j_2}) \cdot f_1 + (W + P_1 \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2}) \cdot f_2 = P_2 \cdot k; \quad (2.16)$$

$$W = (P_2 \cdot k + P_1 \cdot \frac{j_1}{j_1 + j_2} \cdot f_1 - P_1 \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2} \cdot f_2) / (f_1 + f_2). \quad (2.17)$$

Рассмотрим уравнения равновесия и формулы для расчета зажимных сил, предупреждающих поворот заготовки под действием момента сил.

Цилиндрическая заготовка радиусом  $r$  установлена в трехкулачковом патроне и находится под действием момента сил обработки  $M_p$  и осевой силы  $P$ . Возможному повороту заготовки под действием момента  $M_p$  противодействуют создаваемые силами  $W$  и  $P$  моменты трения в контакте кулачков с наружной цилиндрической поверхностью заготовки и в контакте уступов кулачков радиусом  $r_{cp}$  с торцевой поверхностью заготовки.

Условие равновесия моментов и расчетная формула для случая, когда сила  $P$  направлена в сторону патрона.

Для зажимов первой и второй группы:

$$3W \cdot f_1 \cdot r = M_p \cdot k; \quad (2.18)$$

$$W = \frac{M_p \cdot k}{3f_1 \cdot r} \quad (2.19)$$

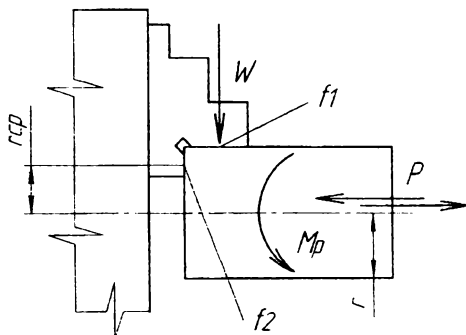


Рисунок 5 – Схема сил действующих на заготовку при ее установке в патроне

Если сила  $P$ , возникающая при обработке, удовлетворяет условию

$$P \geq 3W \cdot f_1, \quad (2.20)$$

условие равновесия моментов и расчетная формула примут вид

$$3W \cdot f_1 \cdot r + (P - 3W \cdot f_1) \cdot f_2 \cdot r_{cp} = M_p \cdot k; \quad (2.21)$$

$$W = \frac{M_p \cdot k - P \cdot f_2 \cdot r_{cp}}{3f_1 \cdot r - 3f_1 \cdot f_2 \cdot r_{cp}} \quad (2.22)$$

В том случае, когда сила  $P$  направлена от патрона и стремится вытянуть заготовку из кулачков, условие равновесия моментов и расчетная формула соответствуют выражениям 2.18 и 2.19.

Условие равновесия сил и расчетная формула, определенные исходя из действия силы  $P$ , имеют вид

$$3W \cdot f_1 = P \cdot k; \quad (2.23)$$

$$W = \frac{P \cdot k}{3f_1}. \quad (2.24)$$

В качестве необходимой силы зажима для дальнейших расчетов из двух значений  $W$ , определенных по формулам 2.19 и 2.24, выбирается наибольшее.

Цилиндрическая заготовка диаметром  $D$  устанавливается по выточке (отверстию) и поджимается к трем точечным опорам двумя или несколькими прихватами. При этом реакции всех трех точек имеют одинаковое значение. На заготовку действуют момент сил обработки  $M_p$  и осевая сила  $P$ . Возможному повороту заготовки противодействуют момент трения между заготовкой и зажимными элементами приспособления, а также между заготовкой и установочными элементами.

Условие равновесия моментов и расчетная формула:

для зажимов второй группы

$$W \cdot f_1 \cdot r_1 + (W + P) \cdot f_2 \cdot r_2 = M_p \cdot k; \quad (2.25)$$

$$W = \frac{M_p \cdot k - P \cdot f_2 \cdot r_2}{f_1 \cdot r_1 + f_2 \cdot r_2} \quad (2.26)$$

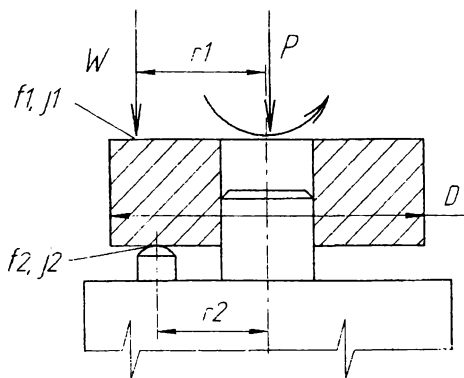


Рисунок 6 – Схема сил, действующих на заготовку при ее установке по отверстию



Для зажимов первой группы

$$(W - P \cdot \frac{j_1}{j_1 + j_2}) \cdot f_1 \cdot r_1 + (W + P \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2}) \cdot f_2 \cdot r_2 = M_p \cdot k; \quad (2.27)$$

$$W = (M_p \cdot k + P \cdot \frac{j_1}{j_1 + j_2} \cdot f_1 \cdot r_1 - P \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2} \cdot f_2 \cdot r_2) / (f_1 \cdot r_1 + f_2 \cdot r_2). \quad (2.28)$$

Выражения, стоящие в скобках в формуле 2.27, являются реакциями соответственно зажимного механизма и установочных элементов приспособления.

Приведенные выше расчетные формулы получены из предположения, что зажимное устройство приспособления обладает достаточной жесткостью в тангенциальном направлении и воспринимает момент сил резания  $M_p$ .

В том случае если жесткость зажима незначительна, моменту  $M_p$  будет противодействовать только момент сил трения в местах контакта заготовки с опорами приспособления. Момент трения между заготовкой и зажимом в этом случае не учитывается.

Расчетные формулы примут вид:

для зажимов второй группы

$$W = \frac{M_p \cdot k - P \cdot f_2 \cdot r_2}{f_2 \cdot r_2} \quad (2.29)$$

для зажимов первой группы

$$W = (M_p \cdot k - P \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2} \cdot f_2 \cdot r_2) / (f_2 \cdot r_2). \quad (2.30)$$

Цилиндрическая заготовка устанавливается во втулку поверхностью диаметром  $D_1$  и равномерно поджимается силой  $W$  к кольцевой поверхности диаметрами  $D$  и  $d$ . На заготовку действуют момент  $M_p$  и осевая сила  $P$ . Повороту заготовки препятствуют создаваемые силами  $W$  и  $P$  моменты трения в контакте зажимного элемента и заготовки и в контакте заготовки и установочного элемента.

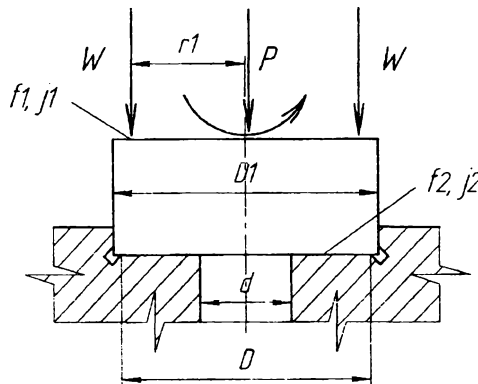


Рисунок 7 – Схема сил, действующих на заготовку при ее установке по наружной поверхности

Поскольку контакт между заготовкой и опорами приспособления происходит по кольцевой поверхности, в расчетах учитывается приведенный ее радиус, определяемый по формуле

$$r_{np} = \frac{1}{3} \cdot \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \quad (2.31)$$

Условие равновесия моментов и расчетная формула:  
для зажимов второй группы

$$W \cdot f_1 \cdot r_1 + (W + P) \cdot f_2 \cdot r_{np} = M_p \cdot k; \quad (2.32)$$

$$W = \frac{M_p \cdot k - P \cdot f_2 \cdot r_{np}}{f_1 \cdot r_1 + f_2 \cdot r_{np}}; \quad (2.33)$$

для зажимов первой группы

$$(W - P \cdot \frac{j_1}{j_1 + j_2}) \cdot f_1 \cdot r_1 + (W + P \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2}) \cdot f_2 \cdot r_{np} = M_p \cdot k; \quad (2.34)$$

$$W = (M_p \cdot k + P \cdot \frac{j_1}{j_1 + j_2} \cdot f_1 \cdot r_1 - P \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2} \cdot f_2 \cdot r_{np}) / (f_1 \cdot r_1 + f_2 \cdot r_{np}). \quad (2.35)$$

Приведенные расчетные формулы получены для зажимного устройства, обладающего достаточной жесткостью в тангенциальном направлении и воспринимающего момент сил резания  $M_p$ .

В том случае если жесткость зажима незначительна, моменту  $M_p$  будет противодействовать только момент сил трения в местах контакта заготовки с опорами приспособления. Момент трения между заготовкой и зажимом в этом случае не учитывается.

Расчетные формулы примут вид:  
для зажимов второй группы

$$W = \frac{M_p \cdot k - P \cdot f_2 \cdot r_{np}}{f_2 \cdot r_{np}}; \quad (2.36)$$

для зажимов первой группы

$$W = (M_p \cdot k - P \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2} \cdot f_2 \cdot r_{np}) / (f_2 \cdot r_{np}) \quad (2.37)$$

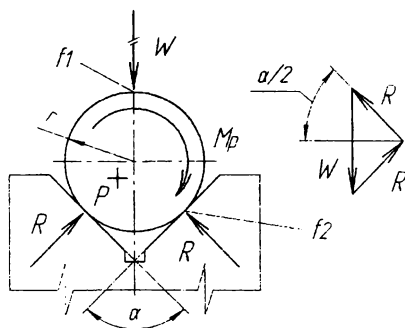


Рисунок 8 – Схема сил, действующих на заготовку при ее установке в призму

Цилиндрическая заготовка радиусом  $r$  установлена в призме с углом  $\alpha$  и находится под действием момента обработки  $M_p$  и осевой силы  $P$ . Возможному сдвигу вдоль оси и повороту заготовки противодействуют силы и моменты трения создаваемые в контакте заготовки с установочными и зажимными элементами приспособления.

Условие равновесия моментов и расчетная формула:  
для зажимов первой и второй группы

$$W \cdot f_1 \cdot r + \frac{W}{\sin(\alpha/2)} \cdot f_2 \cdot r = M_p \cdot k; \quad (2.38)$$

$$W = M_p \cdot k / (f_1 \cdot r + \frac{1}{\sin(\alpha/2)} \cdot f_2 \cdot r). \quad (2.39)$$

Условие равновесия сил и расчетная формула исходя из действия силы  $P$  для зажимов первой и второй группы

$$W \cdot f_1 + \frac{W}{\sin(\alpha / 2)} \cdot f_2 = P \cdot k; \quad (2.40)$$

$$W = P \cdot k / \left( f_1 + \frac{1}{\sin(\alpha / 2)} \cdot f_2 \right). \quad (2.41)$$

В качестве необходимой силы зажима для дальнейших расчетов из двух значений  $W$  выбирается наибольшее.

После определения необходимых сил зажима заготовки выполняется расчет зажимного механизма и силового привода приспособления.

Силы зажима заготовок также могут быть определены по формулам, приведенным в [1, 2, 3].

### 3. ЗАЖИМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Ниже рассмотрены наиболее распространенные зажимные механизмы, используемые в станочных приспособлениях. Приведенные формулы определяют зависимости для нахождения силы  $P$ , необходимой для приведения в действие зажимного механизма, исходя из усилия  $W$ , этим механизмом развиваемого.

#### 3.1 Рычажные зажимы

Угловой рычажный механизм с равными плечами  $l_1 = l_2 = l$

$$P = W \cdot \frac{l + h_2 \cdot f_2 + 1,41 \cdot \rho}{l - h_1 \cdot f_1} \quad (3.1)$$

Угловой рычаг  $l_1 > l_2$ , где  $l_1$  - плечо действия силы  $P$

$$P = W \cdot \frac{l_2 + h_2 \cdot f_2 + 0,96 \cdot \rho}{l_1 - h_1 \cdot f_1 - 0,4 \cdot \rho} \quad (3.2)$$

Угловой рычаг  $l_1 < l_2$ , где  $l_1$  - плечо действия силы  $P$

$$P = W \cdot \frac{l_2 + h_2 \cdot f_2 + 0,4 \cdot \rho}{l_1 - h_1 \cdot f_1 - 0,96 \cdot \rho}, \quad (3.3)$$

где  $h_1$  - расстояние от оси вращения рычага до точки приложения силы зажима, измененное в направлении действия этой силы;

$h_2$  - расстояние от оси вращения рычага до точки приложения приводной силы, в направлении действия силы;

$f_1$  и  $f_2$  - коэффициенты трения соответственно на поверхности контакта рычага и закрепляемой заготовки и на поверхности, воспринимающей усилие от привода, для практических расчетов можно принимать оба коэффициента равными 0,1

$\rho$  - радиус круга трения.

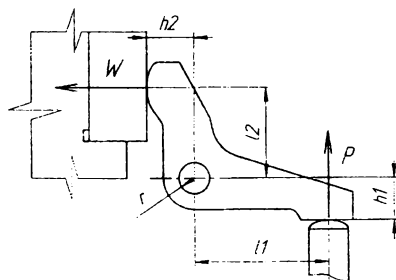


Рисунок 9 – Двухплечевой угловой рычажный зажимной механизм

Величина  $\rho$  определяется по формуле

$$\rho = r \cdot f, \quad (3.4)$$

где  $f$  - коэффициент трения на оси рычага, равен 0,18...0,20;

$r$  - радиус оси рычага.

Для прямого рычага расчет ведется по формуле

$$P = W \cdot \frac{l_2 + h_2 \cdot f_2 + \rho / \cos \varphi}{l_1 - h_1 \cdot f_1 - \rho / \cos \varphi}, \quad (3.5)$$

где  $\varphi$  - угол трения в контакте рычага с заготовкой, принимается равным  $6^\circ$ .

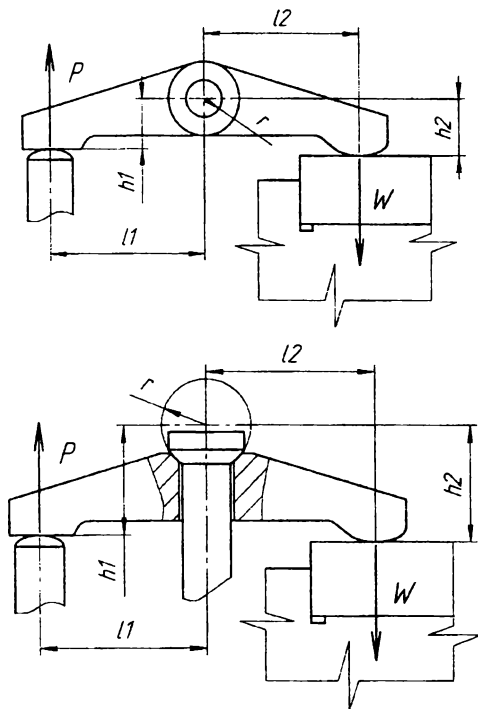


Рисунок 10 – Двухплечевые прямые рычажные зажимные механизмы

### 3.2 Клиновые зажимы

Сила  $P$ , необходимая для приведения в действие клинового механизма, определяется исходя из развиваемого им усилия  $W$  по формуле

$$P = W \cdot (\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg}\varphi_1), \quad (3.6)$$

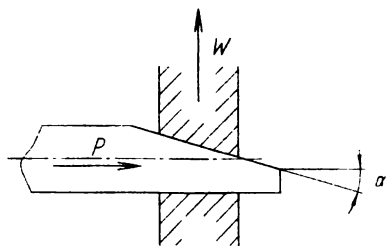
где  $\alpha$  - угол клина;

$\varphi$  - угол трения на наклонной поверхности клина;

$\varphi_1$  - угол трения в направляющих клина.

В случае если на всех перечисленных поверхностях имеет место трение скольжения, при практических расчетах можно принимать

$$\varphi = \varphi_1 \approx 6^\circ \quad \text{и} \quad \operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}\varphi_1 = 0,1$$



**Рисунок 11 – Клиновой зажимной механизм с трением скольжения на обеих поверхностях клина**

Из приведенной выше формулы легко могут быть получены расчетные зависимости для других разновидностей клиновых механизмов.

Клиновой механизм с роликом на наклонной поверхности клина.

$$P = W \cdot (\operatorname{tg}(\alpha + \phi_{np}) + \operatorname{tg} \phi_1), \quad (3.7)$$

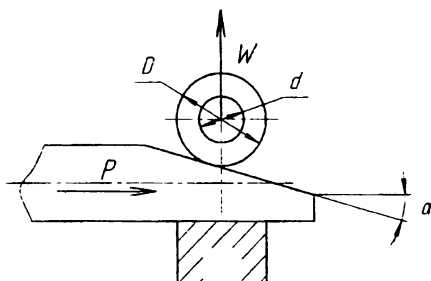
где  $\phi_{np}$  - приведенный коэффициент трения на наклонной поверхности клина.

Тангенс угла  $\phi_{np}$  рассчитывается по формуле

$$\operatorname{tg} \phi_{np} = \frac{d}{D} \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (3.8)$$

где  $d$  - диаметр оси ролика;

$D$  - наружный диаметр ролика.



**Рисунок 12 – Клиновой зажимной механизм с роликом на наклонной поверхности клина**

Клиновой механизм с роликом в направляющих клина

$$P = W \cdot (\operatorname{tg}(\alpha + \phi) + \operatorname{tg} \phi_{np1}) \quad (3.9)$$

Клиновой механизм с роликами на наклонной поверхности и в направляющих клина

$$P = W \cdot (\operatorname{tg}(\alpha + \phi_{np}) + \operatorname{tg} \phi_{np1}) \quad (3.10)$$

В любом случае тангенс приведенного угла трения определяется по формуле 3.8.

### 3.3 Клиноплунжерные зажимы

Распространенной разновидностью клиновых зажимов являются клиноплунжерные механизмы.

Исходной формулой для расчета силы, необходимой для приведения в действие подобных механизмов, является формула для клиноплунжерного механизма с двухпорным плунжером без роликов.

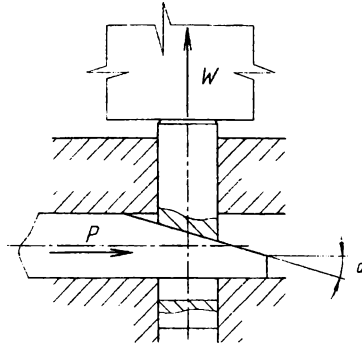
$$P = W \cdot \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg} \varphi_1}{1 - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot \operatorname{tg} \varphi_2}, \quad (3.11)$$

где  $\alpha$  - угол клина;

$\phi$  - угол трения на наклонной поверхности клина;  
 $\phi_1$  - угол трения в направляющих клина;  
 $\phi_2$  - угол трения в направляющих плунжера.

В случае если на всех перечисленных поверхностях имеет место трение скольжения, при практических расчетах можно принимать:

$$\phi = \phi_1 = \phi_2 \approx 6^\circ \quad \text{и} \quad \text{tg} \phi = \text{tg} \phi_1 = \text{tg} \phi_2 = 0,1$$



**Рисунок 13 – Двухопорный клиноплунжерный зажимной механизм**

Из приведенной выше формулы могут быть получены расчетные зависимости для всех разновидностей клиноплунжерных механизмов.

Клиноплунжерный механизм с одноопорным плунжером без роликов

$$P = W \cdot \frac{\text{tg}(\alpha + \phi) + \text{tg} \phi_1}{1 - \text{tg}(\alpha + \phi) \cdot \text{tg} \phi_{2np}} \quad (3.12)$$

где  $\phi_{2np}$  - приведенный коэффициент трения в направляющих плунжера.

Тангенс этого угла рассчитывается по формуле

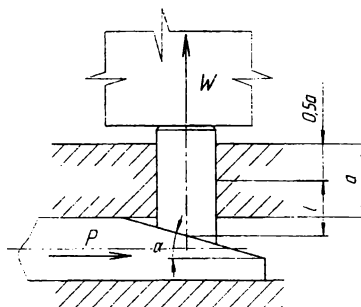
$$\text{tg} \phi_{2np} = \frac{3 \cdot l}{a} \cdot \text{tg} \phi_2, \quad (3.13)$$

где  $l$  - расстояние от средней точки контакта консольного плунжера с клином до середины направляющей плунжера;

$a$  - длина направляющей плунжера.

На этапе проектирования зажимного механизма приспособления конкретные значения  $a$  и  $l$  могут быть неизвестны, поэтому может использоваться приближенное соотношение

$$l/a = 0,7$$



**Рисунок 14 – Одноопорный клиноплунжерный зажимной механизм**

Клиноплунжерный механизм с двухпорным плунжером и роликом на наклонной поверхности клина

$$P = W \cdot \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \phi_{np}) + \operatorname{tg}\phi_1}{1 - \operatorname{tg}(\alpha + \phi_{np}) \cdot \operatorname{tg}\phi_2} \quad (3.14)$$

где  $\phi_{np}$  - приведенный коэффициент трения на наклонной поверхности клина.

Тангенс угла  $\phi_{np}$  рассчитывается по формуле 3.8.

$$\operatorname{tg}\phi_{np} = \frac{d}{D} \cdot \operatorname{tg}\phi,$$

где  $d$  - диаметр оси ролика;

$D$  - наружный диаметр ролика;

$\phi$  - угол трения скольжения, равен  $6^\circ$ .

Клиноплунжерный механизмы с однопорным плунжером и роликом на наклонной поверхности клина

$$P = W \cdot \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \phi_{np}) + \operatorname{tg}\phi_1}{1 - \operatorname{tg}(\alpha + \phi_{np}) \cdot \operatorname{tg}\phi_{2np}} \quad (3.15)$$

Величина  $\phi_{np}$  определяется так же, как и для двухпорного механизма с роликом.

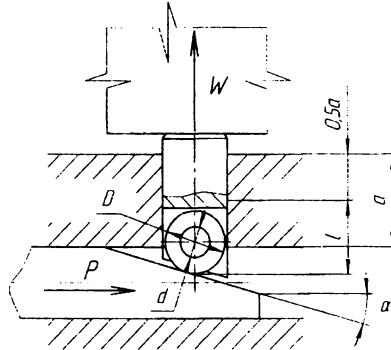


Рисунок 15 – Однопорный клиноплунжерный механизм с роликом на наклонной поверхности

Аналогичным образом могут быть получены расчетные формулы для определения силы  $P$  для клиноплунжерных механизмов с роликом в направляющих клина, для этого достаточно  $\operatorname{tg}\phi_1$  заменить тангенсом приведенного угла трения, определяемого по формуле 3.8.

Многоплунжерные клиновые механизмы чаще всего применяются в самоцентрирующих зажимах (патроны, оправки), а также в многоместных приспособлениях.

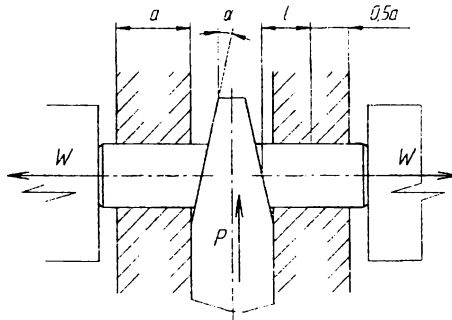


Рисунок 16 – Многоплунжерный зажимной механизм

При использовании многоплунжерного механизма без роликов расчетная формула имеет вид

$$P = W \cdot \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \phi)}{1 - \operatorname{tg}(\alpha + \phi) \cdot \operatorname{tg} \phi_{2np}} \quad (3.16)$$

Под величиной  $W$  в данном случае следует понимать суммарную силу, развиваемую всеми плунжерами клинового механизма.

В случае использования многоплунжерного механизма с роликами на наклонной поверхности клина формула примет вид

$$P = W \cdot \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \phi_{np})}{1 - \operatorname{tg}(\alpha + \phi_{np}) \cdot \operatorname{tg} \phi_{2np}} \quad (3.17)$$

Тангенсы приведенных углов трения определяются по формулам 3.8 и 3.13.

### 3.4 Г-образные прихваты

Для Г-образных прихватов расчет приводной силы выполняется по формуле

$$P = W \cdot \frac{1}{1 - 3 \cdot f \cdot l / h}, \quad (3.18)$$

где  $l$  - расстояние между осью прихвата и точкой приложения силы  $W$ ;

$f$  - коэффициент трения в направляющих прихвата, равен 0,05...0,1;

$h$  - длина опорной поверхности направляющей прихвата.

Если для возврата прихвата в исходное положение в его конструкцию введена пружина, то расчет ведется по формуле.

$$P = W \cdot \frac{1}{1 - 3 \cdot f \cdot l / h} - P_{пруж}, \quad (3.19)$$

где  $P_{пруж}$  - усилие возвратной пружины.

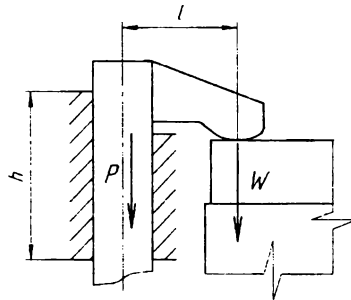


Рисунок 17 – Г-образный прихват

### 3.5 Рычажно-шарнирные зажимы

Однорычажные шарнирные механизмы.

При расчете усилия привода подобных механизмов в качестве исходных данных используется необходимое усилие  $N$  на рычаге. В этом случае расчету рычажно-шарнирного зажима предшествует расчет рычажного зажимного механизма.

Однорычажный шарнирный механизм с ползуном

$$P = N \cdot (\operatorname{tg}(\alpha + \beta) + \operatorname{tg} \phi), \quad (3.20)$$

где  $\alpha$  - угол, при котором осуществляется закрепление заготовки, принимается равным 8...10°, хотя может иметь и другие, как правило, большие значения;



$\beta$  - угол, учитывающий дополнительные потери на трение в шарнирах механизма, равен  $1,10^\circ$ ;  
 $\varphi$  - угол трения в направляющей ползуна, равен  $6^\circ$ .

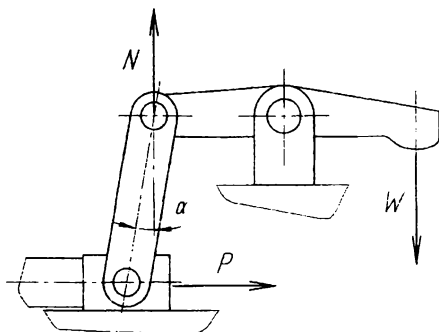


Рисунок 18 – Однорычажный шарнирный зажимной механизм с ползуном

Однорычажный шарнирный механизм с роликом

$$P = N \cdot (\operatorname{tg}(\alpha + \beta) + \operatorname{tg}\phi_{np}) \quad (3.21)$$

Тангенс угла  $\phi_{np}$  рассчитывается по формуле 3.8.

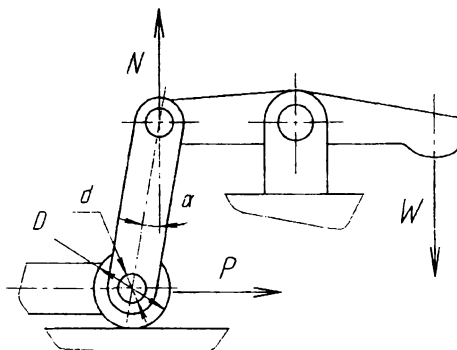


Рисунок 19 – Однорычажный шарнирный зажимной механизм с роликом

Двухрычажный шарнирный механизм одностороннего действия с плунжером.

$$P = W \cdot 2 \cdot \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}{1 - \operatorname{tg}\phi_{2np} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta)} \quad (3.22)$$

где  $\phi_{2np}$  - приведенный коэффициент трения в направляющих плунжера.

Тангенс этого угла рассчитывается по формуле 2.13.

$$\operatorname{tg}\phi_{2np} = \frac{3 \cdot l}{a} \cdot \operatorname{tg}\phi_2,$$

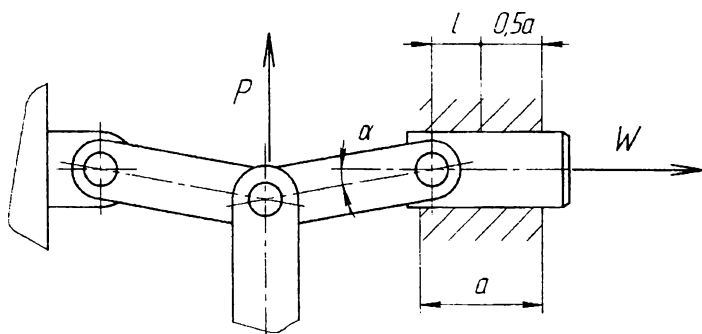
где  $l$  - расстояние от шарнира плунжера до середины направляющей плунжера;

$a$  - длина направляющей плунжера;

$\phi_2$  - угол трения в направляющих плунжера, равен  $6^\circ$ .

На этапе проектирования принимается приближенное соотношение

$$l/a = 0,7$$

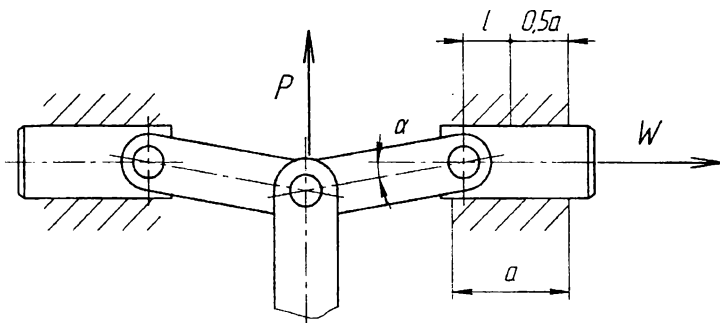


**Рисунок 20 – Двухрычажный шарнирный зажимной механизм одностороннего действия с плунжером**

Двухрычажный шарнирный механизм двухстороннего действия с плунжерами

$$P = W \cdot \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}{1 - \operatorname{tg}\phi_{2np} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta)} \quad (3.23)$$

В данном случае под величиной  $W$  следует понимать суммарное усилие, развиваемое обоими плунжерами механизма.



**Рисунок 21 – Двухрычажный шарнирный зажимной механизм двухстороннего действия с плунжерами**

Двухрычажный шарнирный механизм одностороннего действия.

По конструкции зажим аналогичен механизму, представленному на рисунке 20, с той лишь разницей, что закрепление заготовки осуществляется не плунжером, а рычагом.

$$P = N \cdot 2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta) \quad (3.24)$$

Двухрычажный шарнирный механизм двухстороннего действия.

По конструкции зажим аналогичен механизму, представленному на рисунке 21, с той лишь разницей, что закрепление заготовки осуществляется не плунжерами, а рычагами.

$$P = N \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta) \quad (3.25)$$

Под величиной  $N$  в данном случае следует понимать суммарное усилие, необходимое для приведения в действие обоих рычагов зажимного механизма.

#### 4. РАСЧЕТ СИЛОВЫХ ПРИВодОВ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

В данном разделе рассматривается методика расчет пневматических и гидравлических цилиндров, как наиболее часто используемых в качестве силовых узлов станочных приспособлений.

При расчёте пневмо- и гидроцилиндров основным определяемым параметром является их диаметр  $D$ .

В качестве исходной формулы при расчете используются.

а) для пневмо- и гидроцилиндров двухстороннего действия при подаче воздуха или масла в бесштоковую полость (толкающее усилие):

$$P = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot \eta, \text{ Н}; \quad (4.1)$$

при подаче воздуха или масла в штоковую полость (тянущее усилие):

$$P = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_{шт}^2)}{4} \cdot p \cdot \eta, \text{ Н}; \quad (4.2)$$

б) для пневмо- и гидроцилиндров одностороннего действия:

$$P = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot \eta - P_{пруж}, \text{ Н}, \quad (4.3)$$

где  $P$  - усилие, которое должен развивать цилиндр, Н;

$D$  - диаметр цилиндра, мм;

$d_{шт}$  - диаметр штока, мм;

$p$  - рабочее давление воздуха или масла, МПа;

$\eta$  - коэффициент полезного действия привода;

$P_{пруж}$  - сила сжатия возвратной пружины, Н.

Рабочее давление сжатого воздуха равно 0,4...0,6 МПа. Давление жидкости (масла) принимается равным 6...10 МПа.

Коэффициент полезного действия  $\eta$  для пневмоцилиндров принимается равным 0,85...0,95 (меньшие значения для цилиндров малых диаметров), для гидравлических цилиндров коэффициент равен 0,90...0,95.

Используя вышеприведенные формулы, можно получить расчетные зависимости для определения диаметра цилиндра по известной силе  $P$ , необходимой для закрепления заготовки (в случае, если закрепление осуществляется непосредственно) или для приведения в действие промежуточных зажимных механизмов приспособления.

Для цилиндров двухстороннего действия расчет ведется по формулам: при подаче воздуха или масла в бесштоковую полость

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\pi \cdot p \cdot \eta}}, \text{ мм}; \quad (4.4)$$

при подаче воздуха или масла в штоковую полость

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\pi \cdot p \cdot \eta} + d_{шт}^2}, \text{ мм}. \quad (4.5)$$

Для пневматических цилиндров соотношение диаметров штока и цилиндра ( $d_{шт}/D$ ) изменяется от 0,20 - для цилиндров большого диаметра до 0,35 - для цилиндров малых диаметров. С учетом соотношения  $d_{шт}/D$  расчетная формула примет вид

$$D = (1,96...1,87) \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot p \cdot \eta}}, \text{ мм}. \quad (4.6)$$

Значение 1,96 принимают для цилиндров больших диаметров, 1,87 - для малых.

Для гидравлических цилиндров соотношение диаметров штока и цилиндра примерно составляет 0,50. С учетом этого расчетная формула примет вид

$$D = 1,73 \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot \rho \cdot \eta}}, \text{ мм.} \quad (4.7)$$

Для пневмо- и гидроцилиндров одностороннего действия расчет ведется по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4(P - P_{\text{пруж}})}{\pi \cdot \rho \cdot \eta}}, \text{ мм.} \quad (4.8)$$

Найденную величину  $D$  округляют в большую сторону до стандартного значения. По принятому диаметру цилиндра и необходимой величине рабочего хода выбирают стандартный цилиндр.

Основные характеристики пневматических и гидравлических цилиндров приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Основные параметры стационарных пневмоцилиндров, мм.

$D$	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320
$d_{\text{шт}}$	12	14	18	18	25	25	32	40	40	63	80

Таблица 2 - Основные параметры гидроцилиндров, мм.

$D$	40	50	63	80	100
$d_{\text{шт}}$	22	25	32	36	45

После выбора стандартного пневмо- или гидроцилиндра определяют действительное значение силы, развиваемой приводом, и силы закрепления заготовки. Найденные значения используют при расчете приспособления на прочность.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Коэффициент запаса зажимной силы ( $k$ ) определяется как произведение ряда первичных коэффициентов, характеризующих условия установки, закрепления и обработки заготовки, а также особенности конструкции приспособления. Коэффициент рассчитывается по формуле.

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6,$$

где  $k_0$  - гарантированный коэффициент запаса, для всех случаев равен 1,5;

$k_1$  - коэффициент, учитывающий увеличение сил резания при прогрессирующем затуплении режущего инструмента, значения приведены в таблице 1;

$k_2$  - коэффициент, учитывающий неравномерность сил резания из-за непостоянства снимаемого при обработке припуска:

для черновой обработки коэффициент равен 1,2;

для чистовой обработки - 1,0;

$k_3$  - коэффициент, учитывающий увеличение силы резания при прерывистом резании, при прерывистом тчении и торцевом фрезеровании равен 1,2;

$k_4$  - коэффициент, учитывающий постоянство силы зажима, развиваемой силовым приводом приспособления:

для пневматических и гидравлических цилиндров, электромеханических и магнитных зажимных устройств коэффициент равен 1,0;

для ручных зажимов - 1,3;

если на силу развиваемую приводом оказывает влияние отклонение размеров заготовки, что имеет место при использовании пневмокамер, рычажно-шарнирных зажимов, приспособлений с упругими элементами (мембранных патронов, оправок с гидропластмассой и гофрированными втулками), коэффициент равен 1,2;

$k_5$  - коэффициент, характеризующий удобство расположения рукояток ручных зажимов:

при удобном расположении рукояток и малом диапазоне их поворота (менее 90°) коэффициент равен 1,0;

при неудобном расположении и большом диапазоне поворота - 1,2;

$k_6$  - коэффициент, учитываемый при наличии крутящих моментов, стремящихся повернуть обрабатываемую деталь на базовой плоскости,

при установке заготовки на точечные опоры коэффициент равен 1,0;

при установке на опорные элементы с большой поверхностью контакта макронеровности базовой поверхности вызывают неопределенность мест контакта заготовки с опорами приспособления относительно центра поворота, в этом случае коэффициент равен 1,5.

Таблица 3 - Значения коэффициента  $k_2$

Метод обработки	Силовые компоненты резания	Материал обрабатываемой заготовки	Коэффициент $k_2$
Сверление	$M_p$ $P_o$	Сталь и чугун	1,2 1,1
Предварительное зенкерование	$M_p$ $P_o$	Сталь и чугун	1,3 1,2
Чистовое зенкерование	$M_p$ $P_o$	Сталь и чугун	1,2 1,2
Предварительное точение и растачивание	$P_z$ $P_y$ $P_x$	Сталь и чугун Сталь (чугун) Сталь (чугун)	1,0 1,4 (1,2) 1,6 (1,25)
Чистовое точение и растачивание	$P_z$ $P_y$ $P_x$	Сталь (чугун) Сталь (чугун) Сталь (чугун)	1,0 (1,05) 1,05 (1,4) 1,0 (1,3)
Фрезерование цилиндрической фрезой предварительное и чистовое	$P_z$	Сталь Чугун	1,6...1,8 1,2 1,4
Фрезерование торцевой фрезой предварительное и чистовое	$P_z$	Сталь Чугун	1,6...1,8 1,2 1,4
Шлифование	$P_z$	Сталь и чугун	1,1...1,2
Протягивание	$P_z$	Сталь и чугун	1,5

Таблица 4 - Значения коэффициента трения

Условия трения	$f$
Заготовка контактирует с опорами или зажимными механизмами приспособления: - обработанными поверхностями - необработанными поверхностями	0,15 0,2...0,25
Заготовка контактирует с опорами или зажимными механизмами приспособления, имеющими рифления.	0,7

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога машиностроителя: в 2-х т. / Под ред. А.М. Дальского. - М.: Машиностроение, 2003. – Т.2.
2. Горохов, В.А. Проектирование технологической оснастки. – Мн.: Бервита, 1997.
3. Антонок, В.Е. Конструктору станочных приспособлений. Справочное пособие. - Мн.: Беларусь, 1991.
4. Технологическая оснастка / М.Ф. Пашкевич, Ж.А. Мрочек, Л.М. Кожуро, В.М. Пашкевич. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2002.

Учебное издание

Составители:

*Ялковский Николай Степанович*

*Парфиевич Андрей Николаевич*

# **РАСЧЕТ ЗАЖИМНЫХ МЕХАНИЗМОВ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ**

Методические указания для выполнения  
курсового и дипломного проектирования  
для студентов специальности  
**1-36 01 01 «Технология машиностроения»**

Ответственный за выпуск: Ялковский Н.С.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.

Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 27.01.2012 г. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага «Снегурочка».  
Гарнитура Arial Narrow. Усл. п. л. 1,4. Уч. изд. л. 1,5. Заказ № 83. Тираж 50 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет»  
224017 г. Брест, ул. Московская, 267.