

УДК 62-229.324::621.91::62-187 (045)

А. Н. Зелинский, к.т.н., доц., академик МАНЭБ, проф.**А. М. Зинченко**, к.э.н., доц., зав. кафедрой**Н. А. Денисова**, к.т.н., доц.**Ю. В. Пипкин**, ассист.

Донбасский государственный технический университет, Алчевск, ЛНР

Тел./Факс: +38 (06442) 2-68-87; E-mail: info@dstu.education

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ БАЗИРОВАНИЯ ПРИ УСТАНОВКЕ ЗАГОТОВОК НА ОПРАВКИ

Выполнен анализ существующих зависимостей для определения погрешностей базирования при установке заготовок на оправках. Приведены методика и порядок построения расчетных схем, формирования размерных цепей, применения графовых моделей для выявления элементарных составляющих погрешностей базирования. Предложены формулы для расчета погрешностей базирования с неорганизованной сменой баз при установке заготовок на оправки.

Ключевые слова: *точность обработки, базы, базирование, погрешность базирования, размерные связи, графовая модель, расчетные формулы.*

A. N. Zelinskiy, A. M. Zinchenko, N. A. Denisova, Y. V. Pipkin

DETERMINATION OF ERRORS BASED INSTALLATION BILLETS ON THE MANDREL

The analysis of the existing addictions at determination of errors during installation billets during locating on the mandrels. Set out the methodology and procedure of building design schemes, and the formation of dimensional chain, and use of graph models to identify the elementary constituents of errors of locating. Is proposed formulas for calculate the error of the locating during an unorganized change of locate when installing billets on the mandrel.

Keywords: *accuracy, locats, locating, errors of locating, dimensional chain, graph model, formulas.*

1 Введение

При механической обработке деталей на станках придание заготовке «требуемого положения» относительно выбранной системы координат принято называть базированием [1]. Под базированием понимают способность технологической системы при многократном повторении процесса установки заготовок обрабатываемой партии обеспечивать одно и тоже требуемое положение.

Количественной мерой точности обработки служит погрешность. Уменьшение погрешностей обработки ведет к повышению точности выполнения технологической операции; снижению припусков; в значительной мере определяет степень сложности и конструкцию приспособления, режущих и мерительных инструментов.

Основы теории базирования, фундаментальные понятия баз и погрешностей разработаны детально. Однако, для ряда случаев, например, установки заготовок на оправки, формулы, приведенные в справочниках, совпадают не для всех случаев. Более того, особенности описания погрешности базирования ε_b известными понятиями до настоящего времени вызывают затруднения. Так, Колесов И.М. отмечает, что «Усложнение размерных связей в результате не совмещения баз приводит к дополнительной погрешности выдерживаемого размера, нередко ее называют погрешностью базирования, что в принципе не верно» [2]. И поясняет это на примере установки заготовок в призмы. Причиной приведенному выше является сложность случаев неопределенности базирования при неорганизованной смене баз [3,4,5]. По нашему мнению,

это свидетельствует об актуальности дальнейших исследований механизма формирования погрешностей базирования.

Основная цель, которую преследуют авторы статьи, состоит в постановке и решении следующих задач:

- анализ существующих исследований, связанных с расчетом погрешностей ε_{δ} при установке заготовок на оправки;
- изложение позиции авторов на понятие «настроечная база» в случае неорганизованной смены баз и введение понятия «база настройки» (БН);
- разработка единой методики и модели построения схемы размерных связей формирования погрешностей ε_{δ} ;
- получение зависимостей для расчета погрешностей ε_{δ} при установке заготовок на оправки и сопоставление их с известными.

2 Основное содержание и результаты работы

Методика определения погрешностей базирования. Для большинства опубликованных исследований погрешностей ε_{δ} при механической обработке характерны следующие особенности:

- предметом исследования являются, прежде всего, факторы, влияющие на точность выполняемых размеров, а погрешностям взаимного расположения поверхностей, как правило, отводится часть допуска размера;
- зависимости для определения погрешности ε_{δ} с целью упрощения расчетов получены на основе идеализированных плоских схем вместо реальных пространственных;
- для случаев несовпадения технологических баз с измерительными погрешности формы и пространственные отклонения базовых и измерительных поверхностей заготовок считаются относительно малыми и в расчете погрешностей ε_{δ} не учитываются.

В дополнение к перечисленным особенностям и допущениям, принимаем в исследованиях погрешностей базирования следующие:

- погрешность ε_{δ} рассматривается только для случаев обработки заготовок на предварительно настроенных станках методом автоматического получения размеров;
- для упрощения ограничимся рассмотрением только случаев обработки заготовок на центровых цилиндрических жестких и разжимных оправках;
- принимаем, что погрешность ε_{δ} численно равна разности между наибольшим и наименьшим расстояниями (предельная величина рассеяния размеров в обрабатываемой партии) между базой настройки инструмента и измерительной базой заготовок в направлении выдерживаемого размера. Это положение отличается от общепринятого введением понятия «базы настройки» вместо «технологической базы» (ТБ).

В таблице 1 приведены зависимости для расчета погрешностей ε_{δ} при установке заготовок на оправки, опубликованные в справочниках Вардашкина Б.Н. [6, С.525], Косиловой А.Г. и Дальского А.М. [7, С.46] и в учебнике Корсакова В.С. [8, С.44]. Здесь H_1 и H_2 – размеры от обрабатываемой поверхности (ОП) соответственно до нижней и

до верхней образующих наружного диаметра заготовки, размер H_3 – до оси наружной поверхности заготовки, размер H_4 – до оси базового отверстия (рис. 1).

Таблица 1. Формулы для расчета погрешностей базирования

№ п/п	Размер	Расчетная формула ε_{δ}	Авторы
Оправка с натягом и разжимная			
1	H_1, H_2	$0,5 \cdot T_d + 2 \cdot e$	Вардашкин Б.Н., Косилова А.Г., Корсаков В.С.
2	H_3	$2 \cdot e$	
3	H_4	0	
Цилиндрическая оправка с зазором			
4	H_1, H_2	$0,5 \cdot T_d + 2 \cdot e + T_D + T_{dn} + 2 \cdot \Delta$	Вардашкин Б.Н., Косилова А.Г., Корсаков В.С.
5	H_3	$2 \cdot e + T_D + T_{dn} + 2 \cdot \Delta$	
6	H_4	$(0,5 \cdot T_D)^* + T_{dn} + 2 \cdot \Delta$	Вардашкин Б.Н.
		$(T_D) + T_{dn} + 2 \cdot \Delta$	Косилова А.Г., Корсаков В.С.
Оправка с односторонним прижатием заготовок			
7	H_1, H_2	$0,5 \cdot T_D + 2 \cdot e + (T_{dn})$	Вардашкин Б.Н.
		$0,5 \cdot T_d + 2 \cdot e + (0,5 \cdot T_{dn})$	Косилова А.Г.
		$0,5 \cdot T_d + 2 \cdot e + (0,5 \cdot T_{dn}) + 0,5 \cdot T_D$	Корсаков В.С.
8	H_3	$2 \cdot e + 0,5 \cdot T_D + 0,5 \cdot T_{dn}$	Вардашкин Б.Н., Косилова А.Г., Корсаков В.С.
9	H_4	$0,5 \cdot T_D + 0,5 \cdot T_{dn}$	
* – круглыми скобками выделены составляющие, общие для разных источников по смысловому содержанию, но отличные по расчетной формуле; D- диаметр отверстия заготовки; d - наружный диаметр заготовки; d_n – диаметр оправки; e – эксцентриситет между осями отверстия и наружной поверхности заготовки; Δ – минимальный гарантированный радиальный зазор; T_d , T_D , T_{dn} – допуски соответственно на размеры d, D и d_n .			

Несовпадение формул 6 и 7 в авторитетных источниках свидетельствует о том, что существующие понятия «настроечной базы» [9,С.88] и «исходной базы» [5], принадлежащих заготовке, не позволяют определить начало отсчета системы координат для наладки положения режущего инструмента. В то время как, статическая настройка технологической системы, имеющая целью придать режущему инструменту положение относительно исполнительных поверхностей станка или приспособления, обеспечивает получение размеров с требуемой точностью в партии деталей [2,3].

Способы и средства настройки инструмента относительно станка и установочных элементов (УЭ) приспособления изложены в литературе [2].

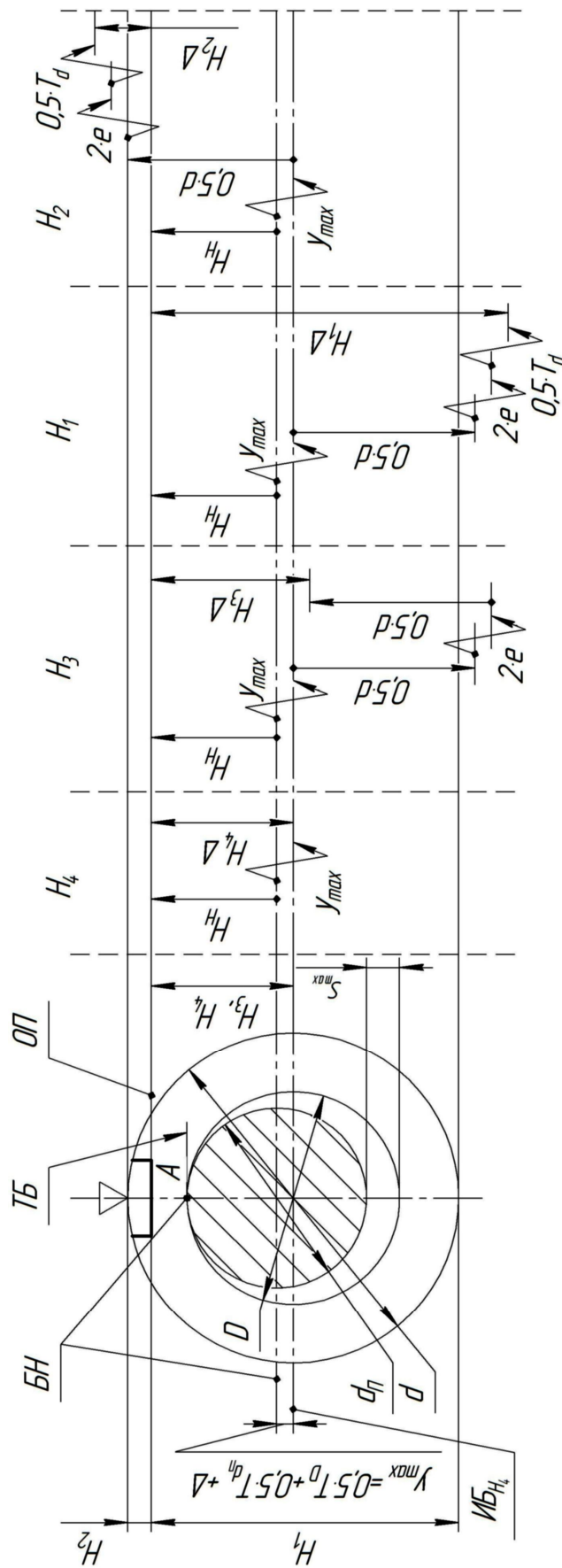


Рис. 1. Схема установки заготовок с односторонним прижатием.

Поддерживая эту точку зрения реальную поверхность (или ось) установочного элемента приспособления, от которого фактически осуществляется отсчет положения режущего инструмента при наладке его на обработку, будем называть «базой настройки» (БН). Это понятие ранее было введено в работах [10] и [11]. Оно принципиально отличается от понятий «настроечной базы» и «исходной базы» тем, что БН принадлежит не заготовке, а УЭ приспособления.

Рассмотрим структуру и механизм формирования погрешностей ε_{δ} при установке заготовок на оправки.

1) Обработка заготовок на цилиндрических жестких оправках с натягом.

Каждая заготовка поступает на обработку предварительно напрессованной на оправку. Изготовление самих оправок неизбежно сопровождается смещением оси центровых отверстий относительно оси наружной рабочей поверхности. Обозначим максимальную величину этого несовпадения осей в партии оправок через e_1 .

Тогда погрешность ε_{δ} для размера H_4 при обработке заготовок будет равна $2 \cdot e_1$. Это значение следует ввести в формулы 1-3 табл.1.

Если каждая оправка с заготовкой устанавливается в самоцентрирующий зажимной механизм приспособления не центровыми отверстиями, а наружной поверхностью ступени, тогда ε_{δ} размера H_4 будет равна погрешности установки ε_y зажимного механизма. При такой схеме установки в формулы 1-3 следует ввести погрешность ε_y .

2) Обработка партии заготовок на разжимной оправке.

При установке на оправку без зазора, база БН – ось наружного диаметра оправки совпадает с технологической (ТБ) и измерительной (ИБ) базами заготовок. Следовательно, расчет погрешностей ε_{δ} при обработке заготовок на разжимной оправке может быть выполнен по формулам 1-3 (табл.1). Погрешности изготовления приспособления и оправки при обработке партии заготовок остаются постоянными, не вызывают рассеяния размеров и могут быть при необходимости предварительно компенсированы настройкой инструмента по методу пробных деталей [2].

3) Установка заготовок на цилиндрическую жесткую оправку с зазором.

При обработке партии заготовок, некоторые из них могут занимать любое положение в пределах зазора в направлении выполняемого размера. Базой настройки режущего инструмента является ось центров приспособления, с которой совмещена ось центровых отверстий оправки. Измерительной базой (ИБ) размера H_4 заготовок является ось базового отверстия. Положение ТБ не постоянно и для каждой заготовки принимает произвольное положение, определяемое местом контакта отверстия заготовки с установочной поверхностью оправки. Возможное максимальное одностороннее смещение ИБ относительно БН обозначим через y_{\max} . Тогда к формулам 1-3 следует добавить величину максимального диаметального зазора.

$$S_{\max} = 2 \cdot y_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = T_D + T_{dn} + 2 \cdot \Delta$$

Величину погрешностей ε_{δ} можно определять по формулам 4-6 Корсакова В.С. [8] и Косиловой А.Г., Дальского А.М. [7].

4) Обработка на жесткой оправке с односторонним прижатием заготовок.

Такой способ установки позволяет придать ТБ (точка А, рис.1) постоянное фиксированное положение для всех заготовок обрабатываемой партии. Расстояние от ТБ заготовок до базы БН (оси центровых отверстий оправки) неизменно, но вызывает рассеяние положения ИБ, которое равно половине фактического диаметра оправки, т.е. $0,5 \cdot d_{н.ф.}$. Положение ИБ - оси отверстия заготовок связано с ТБ размером $0,5 \cdot D$ с допуском $0,5 \cdot T_D$. Исходя из схемы (рис. 1), получаем:

$$\varepsilon_{\delta}^{H_4} = 0,5 \cdot T_D; \quad \varepsilon_{\delta}^{H_3} = 0,5 \cdot T_D + 2 \cdot e; \quad \varepsilon_{\delta}^{H_2} = \varepsilon_{\delta}^{H_1} = 0,5 \cdot T_D + 2 \cdot e + 0,5 \cdot T_d$$

Полученные зависимости не совпадают с формулами 7-9 таблицы 1.

Размерные связи формирования погрешности ε_{δ} приведены на рисунке 1. Здесь в качестве БН принята ось центров приспособления. Если принять в качестве БН фактическую поверхность оправки (точка А), совпадающую с ТБ, схема формирования ε_{δ} будет иметь другой вид, но предлагаемые нами формулы расчета не изменяются. Анализ размерных связей для выявления погрешностей ε_{δ} позволил предложить следующий порядок построения схем [11]:

1. Построение составляющих звеньев размерной цепи на схеме формирования погрешностей базирования следует начинать от БН (УЭ приспособления) и направлять: с одной стороны к положению РИ (ОП); с другой – последовательно к измерительной базе (ИБ) заготовки.

2. Замыкающее звено размерной цепи представляет собой выполняемый при обработке размер, связывающий обрабатываемую поверхность ОП с ИБ, максимальная величина изменения которого является погрешностью базирования ε_{δ} .

Такой способ построения размерных связей для расчета погрешностей ε_{δ} является универсальным, позволяющим выявить структуру, механизм формирования, элементарные составляющие погрешности базирования и соответственно их численные значения.

Однако, в ряде случаев, выявление размерных цепей непосредственно по схеме установки заготовок, может оказаться неудобной и трудоемкой задачей, особенно для случаев неорганизованной смены баз. Размерные связи формирования погрешностей базирования часто на схемах выступают не явно, а в скрытом виде. Процесс выявления таких связей можно упростить и облегчить, используя методы теории графов и сформулированные выше правила построения схем размерных цепей. Размерная цепь формирования ε_{δ} может быть представлена в виде графовой модели, несущей информацию необходимую для расчета.

Модели формирования погрешностей ε_{δ} приведены на рис. 2, 3 и 4.

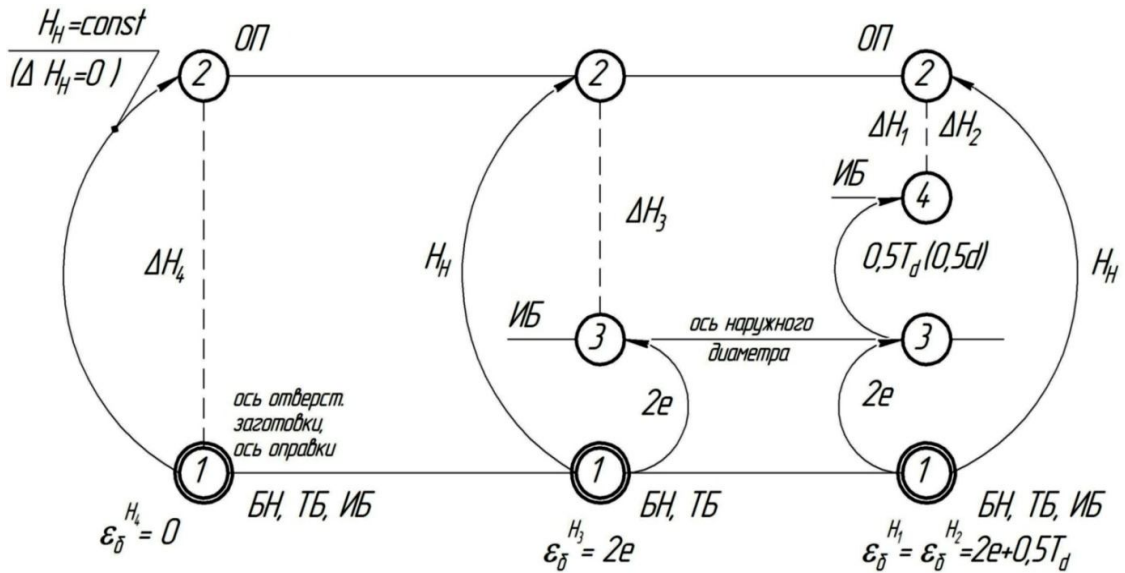


Рис. 2. Модель формирования погрешностей базирования на разжимной оправке.

Модель представляет собой ориентированный граф – дерево с корнем (вершина 1), соответствующим положению УЭ приспособления и являющимся БН инструмента. Вершина 2 графа символизирует положение РИ, постоянное для партии обрабатываемых заготовок, и для всех заданных чертежом размеров H_1, H_2, H_3, H_4 . Дуга графа $H_H = const$ отображает составляющее звено размерной цепи, направленное от БН к положению РИ (ОП).

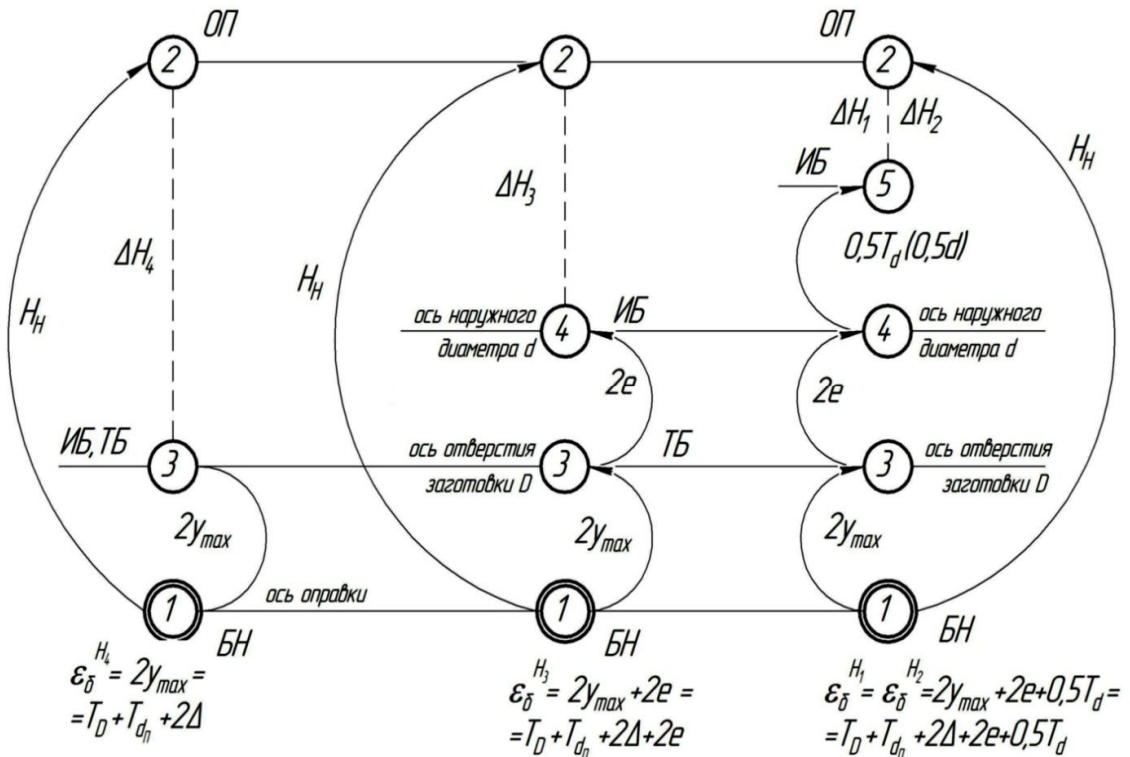


Рис. 3. Модель формирования погрешностей базирования на оправке с зазором.

Погрешность звена H_H , определяемая точностью наладки РИ на размер, является постоянной систематической погрешностью для партии обрабатываемых заготовок и влияния на величину ε_{δ} не оказывает.

Вторая ветвь графа образуется последовательно дугами, символизирующими составляющие звенья размерной цепи по пути следования от БН к ТБ и далее к ИБ. Число вершин и дуг второй ветви графа определяется количеством составляющих звеньев размерной цепи. Цикл смешанного графа образуется звеном ΔH_i - замыкающим звеном цепи. Предельная величина изменения замыкающего звена отражает погрешность базирования заданного конструкторского размера, численно равную сумме погрешностей каждого составляющего звена второй ветви графа.

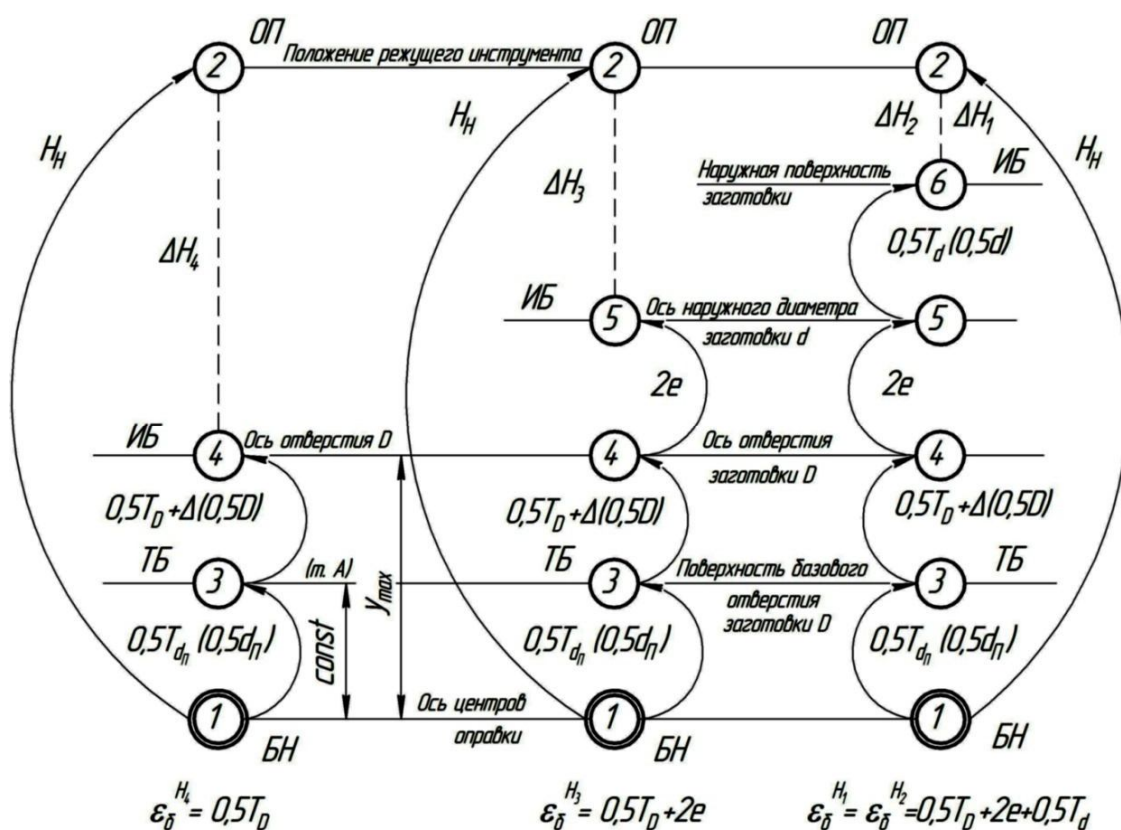


Рис. 4. Модель формирования погрешностей базирования с односторонним прижатием заготовок.

Сравнение моделей, представленных на рисунках 2,3 и 4 с моделями для установки заготовок в призмы [11], а также способа выявления звеньев формирования погрешностей ε_{δ} , показывает их структурное соответствие. Это свидетельствует о возможности единого подхода к определению ε_{δ} для случаев смены баз при установке заготовок в призмы и на оправки.

3 Уточненные формулы, рекомендуемые для расчета погрешностей базирования

1. Оправки с натягом

1.1. Установка в центрах:

$$\varepsilon_{\delta}^{H4} = 2 \cdot e;$$

$$\varepsilon_{\delta}^{H3} = 2 \cdot e + 2 \cdot e_1;$$

$$\varepsilon_{\delta}^{H1} = \varepsilon_{\delta}^{H2} = 2 \cdot e + 2 \cdot e_1 + 0,5 \cdot T_d,$$

где e - смещение (эксцентриситет) оси базового отверстия заготовки относительно оси ее наружной поверхности;

e_1 - смещение осей центровых отверстий оправок относительно осей их наружного рабочего диаметра.

К формулам 1-3 таблицы 1 добавляется значение $2 \cdot e_1$

1.2 Установка заготовок на разжимной оправке или оправок в самоцентрирующийся патрон:

$$\varepsilon_{\delta}^{H4} = \varepsilon_y;$$

$$\varepsilon_{\delta}^{H3} = \varepsilon_y + 2 \cdot e;$$

$$\varepsilon_{\delta}^{H1} = \varepsilon_{\delta}^{H2} = \varepsilon_y + 2 \cdot e + 0,5 \cdot T_d$$

Формулы 1-3 таблицы 1 дополнены значением погрешности установки ε_y .

2. Цилиндрическая жесткая оправка с зазором

$$\varepsilon_{\delta}^{H4} = 2 \cdot y_{\max} = S^{\max} = T_D + T_{dn} + 2 \cdot \Delta$$

Расчеты погрешностей $\varepsilon_{\delta}^{H3}$, $\varepsilon_{\delta}^{H2}$, $\varepsilon_{\delta}^{H1}$ можно выполнить по формулам 4 и 5 таблицы 1.

3. Оправка с односторонним прижатием заготовок:

$$\varepsilon_{\delta}^{H4} = 0,5 \cdot T_D;$$

$$\varepsilon_{\delta}^{H3} = 0,5 \cdot T_D + 2 \cdot e;$$

$$\varepsilon_{\delta}^{H2} = \varepsilon_{\delta}^{H1} = 0,5 \cdot T_D + 2 \cdot e + 0,5 \cdot T_d$$

Предлагаемые зависимости отличаются от формул 7,8 и 9, приведенных в справочниках [6], [7] и учебнике [8].

4 Выводы

1. Формулы для определения погрешностей при установке заготовок на оправки, в ряде случаев, не подтверждают приведенные в справочниках [6] и [7] и учебниках.

2. При установке заготовок с неорганизованной сменой технологических баз, зависимости для расчета погрешностей ε_{δ} определяются не только положением техно-

логической и измерительной баз, но и расположением базы настройки, то есть начала отсчета положения режущего инструмента при наладке на требуемый размер.

3. При установке заготовок на оправку с предварительным поджимом способ наладки режущего инструмента от оси центров или от установочной поверхности оправки не оказывает влияния на величину ε_{δ} .

4. Представление размерных связей формирования погрешностей ε_{δ} при установке заготовок на оправки и призмы [11] в виде графовой модели позволяет выявить общие закономерности, систематизировать процесс расчета и подготовить базу для разработки алгоритма и программного обеспечения расчетов на ПЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колкер Я. Д., Руднев О. Н. Базирование и базы в машиностроении: Учеб. пособие. – К.: Выща шк., 1991. – 100 с.
2. Колесов И. М. Основы технологии машиностроения: Учеб. для вузов/ И. М. Колесов. – М.: Высш.шк., 2001 – 591 с.
3. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 559 с.
4. Маталин А. А. Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1977. – 462 с.
5. Иващенко И. А. и др. Автоматизированное проектирование технологических процессов изготовления деталей двигателей летательных аппаратов: Учеб. пособие / И. А. Иващенко, Г. В. Иванов, В. А. Мартынов. – М.: Машиностроение, 1992. – 336 с.
6. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х т./ Б. Н. Вардашкин и др. – М.: Машиностроение. Т.1, 1984. – 592 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.
8. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.
9. Филонов И. П. Инновации в технологии машиностроения: Уч. пособие / И. П. Филонов, И. Л. Баршай, – Минск: Высш.шк., 2009. – 110 с.
10. Зелинский А. Н. Модель расчета точности станочных приспособлений / А. Н. Зелинский, Ю. В. Пипкин, Е. В. Шкурат // Вестник МАНЭБ. – С.– П. – № 2(26). 2000. – С. 67–70.
11. Зелинский А. Н. К расчету погрешностей базирования при установке заготовок в призмы / А. Н. Зелинский, С. Н. Кучма, Ю. В. Пипкин. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – № 3/1 (51). 2011. – С. 13–17.

Поступила в редколлегию 08.12.2015 г.