

С.А. Скрябін<sup>1</sup>, д-р.техн.наук, В.Н. Полохов<sup>2</sup>, зам. глав. металлурга,  
Д.С. Чайка<sup>2</sup>, инж.-констр., Л.В. Швець<sup>3</sup>, ас.

1-научно – производственный центр «Ухналь», г. Киев, Украина;

2-Государственное предприятие Киевский авиационный завод «Авиант»; г. Киев;

3-Винницкий государственный аграрный университет, г.Винница, Украина

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА КАЛИБРОВ ДЛЯ ВАЛЬЦОВКИ ЗАГОТОВОК ПОД ШТАМПОВКУ

---

*Відзначено, що застосування автоматизованих методів розрахунку калібрів різко знижує трудомісткість, скорочує цикл проведення підготовчих робіт, підвищує точність і якість вальцьованих заготовок, забезпечує підвищення продуктивності праці конструкторів і технологів на всіх стадіях проектування.*

*Дано загальну характеристику системи автоматизованого проектування технологічних процесів вальцювання, порядок функціонування системи, состав засобів забезпечення САПР ТП, інформаційне та математичне забезпечення, алгоритми вибору систем калібрів і визначення числа переходів, алгоритми розрахунку розмірів різних калібрів. Описані програмне, технічне й організаційне забезпечення.*

*It is noted that using of the automatic methods of the calculation of calibre sharply reduces labour-intensiveness, shortens the cycle of the realization the starting-up work, raises accuracy and quality of rolling half-finished products, provides increasing to capacity of the constructor and technologist labour on all stages of the designing.*

*General characteristics of the system of computer aided design technological processes of the rolling, order of the operating the system, composition of the facilities of the provision CAD TP, information and mathematics software, choice algorithms of the systems of calibres and determination of the number transition, algorithms of the calculation the sizes of different calibers is given. Program, technical and organization provision is described.*

---

Актуальность разработки и внедрения малоотходных технологических процессов штамповки поковок из алюминиевых, титановых, магниевых сплавов, высоколегированных коррозионноустойчивых, жаростойких, жаропрочных и др. сталей с применением процесса вальцовки, на предприятиях авиационной промышленности, обусловлена значительным применением в изделиях отрасли этих сплавов, повышенным расходом металла (КИМ 0,15 – 0,3), высокой трудоемкостью, длительным циклом изготовления качественных штампованных поковок (как правило 2 – 3 штамповки с промежуточными операциями нагрева, обрезки облоя, травления, зачистки) и задачами по совершенствованию металлосберегающих технологий [1–5]. Широкое использование перечисленных выше сплавов определяется их техническими, физическими и механическими свойствами. Они должны обладать высокими статическими прочностными характеристиками (пределом прочности, пределом текучести, сопротивлением срезу), удовлетворительной пластичностью и термомеханическими характеристиками, что необходимо учитывать при разработке технологических процессов их горячего деформирования.

Данная работа выполнялась в соответствии с “Державною комплексною програмою розвитку авіаційної промисловості України до 2010 року”. Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 12. 12. 2001 р., № 1665 – 25.

В настоящее время быстрого развития информационных технологий и появлением множества автоматизированных систем предназначенных как для проектирования

различных деталей, оборудования и оснастки, так и для проектирования техпроцессов. Поэтому для вальцовки заготовок под штамповку возникла необходимость разработки и внедрения автоматизированных методов проектирования. Это позволяет автоматизировать и резко сократить цикл проведения проектных работ, снизить их трудоемкость, детализировать модель процесса, просчитать большее число вариантов технологического процесса, оптимизировать и визуализировать процесс вальцовки для его последующего анализа, за счет этого сократить основные производственные затраты, повысить качество технологической документации и качество продукции. Применение системы автоматизированного проектирования (САПР) технологической подготовки кузнечно-штамповочного производства значительно снижает время и стоимость собственно технологической подготовки процесса вальцовки и увеличивает точность расчетов необходимых для проектирования параметров [6].

Расчет калибров для процесса вальцовки заготовок под штамповку деталей удлиненной формы – относительно сложная и трудоемкая задача. Причина заключается в необходимости расчетов большого числа параметров, необходимых для проектирования оснастки и технологического процесса. Эти расчеты требуют значительных затрат рабочего времени.

Для изготовления требуемой фасонной заготовки может быть предложено, как правило, несколько вариантов технологического процесса вальцовки, отличающихся числом технологических переходов, схемой калибровки, формой и размерами полученной заготовки, типоразмером используемых ковочных вальцов.

Каждый допустимый вариант должен удовлетворять целому ряду требований:

1. Общий коэффициент вытяжки, достигаемый в результате вальцовки, должен быть не менее заданного значения  $\lambda$ ;
2. Коэффициент вытяжки  $\lambda_i$  достигаемый в  $i$ -переходе, с учетом пластических свойств материала, а также технических характеристик используемых ковочных вальцов не должен превышать заданного определенного значения;
3. Допустимое значение отношения высоты сечения деформируемой заготовки к ее ширине должно обеспечить ее устойчивость в калибрах вальцовочных штампов;
4. Форма и размеры деформируемой заготовки должны допускать ее обработку в последующем калибре без образования облоя;
5. Фасонная заготовка после выполнения заключительного  $n$ -го перехода должна соответствовать чертежу и обеспечивать штамповку качественной детали;
6. Усилие вальцовки не должно превышать максимально допустимое;
7. Габариты вальцовочных штампов (суммарная ширина и центральный угол) должны вписываться в рабочую зону ковочных вальцов, определяемую исходя из рабочей длины валков и максимально допустимого центрального угла, используемого типоразмера оборудования.

Ограничивающие условия приводят к тому, что расчет калибровки при многопереходной вальцовке требует неоднократного пересчета. Достижение оптимального варианта, при котором в каждом переходе задана максимально допустимая вытяжка, требует длительного и трудоемкого расчета. Наиболее «неудобным» является условие 4, так как невыполнение его влечет за собой пересчет предыдущих калибров.

Это приводит к тому, что достижение оптимального варианта, при котором в каждом переходе задана максимально допустимая вытяжка, требует длительного и трудоемкого расчета.

Автоматизированное проектирование технологических процессов вальцовки заготовок под штамповку начинается с подготовки оперативной информации с использованием информационного, математического, программного, технического и организационного обеспечения и заканчивается получением выходной информации в требуемом для проведения операций вальцовки виде. Это предусматривает построение математической модели оптимизации технологических переходов для вальцовки заготовок, разработку алгоритмов и программ автоматизации проектирования типовых технологических процессов. С помощью разработанных алгоритмов возможен выбор рациональной формы поковок и расчет размеров заготовки.

Проведенный анализ по оптимизации процесса вальцовки позволит определить рациональный порядок проектирования технологического процесса вальцовки, разбить весь процесс на ряд нетрудоемких подзадач. Структурная схема пакета прикладных программ организована на уровне подзадач, перечень которых приведен в табл. 1. Функциональная схема САПР вальцовки приведена на рис. 1.

Таблица 1

Перечень основных функциональных подзадач процесса вальцовки

Наименование подзадачи	Шифр	Результат решения	Обозначение
Выбор оборудования	01	Типоразмер вальцовочных штампов: 92 мм—80 мм—92 мм 106 мм—90 мм—68 мм 138 мм—126 мм	1 2 3
Контроль исходных данных	02	В случае неверного кодирования данных на компьютере выдается сообщение	
Определение числа переходов	03	Число переходов: 1, 2, 3	
Выбор системы калибров	04	Система калибров: круг — овал круг — овал — круг круг — овал — квадрат круг — овал — ромб круг — овал — ромб — круг круг — овал — ромб — квадрат	1.1 2.1 2.2 2.3 3.1 3.2
Определение объема и размеров исходной заготовки	05	Объем и размеры исходной заготовки	
Вычисление максимальных коэффициентов вытяжки на участках	06	Максимальные коэффициенты вытяжки	
Расчет овального калибра	07	Размеры овального калибра	
Расчет круглого калибра	08	Размеры круглого калибра	
Расчет ромбического калибра	09	Размеры ромбического калибра	
Расчет квадратного калибра	10	Размеры квадратного калибра	
Изменение исходных данных	11	Изменение исходных данных	
Таблицы для вывода на печать	12	Формы и содержание таблиц	

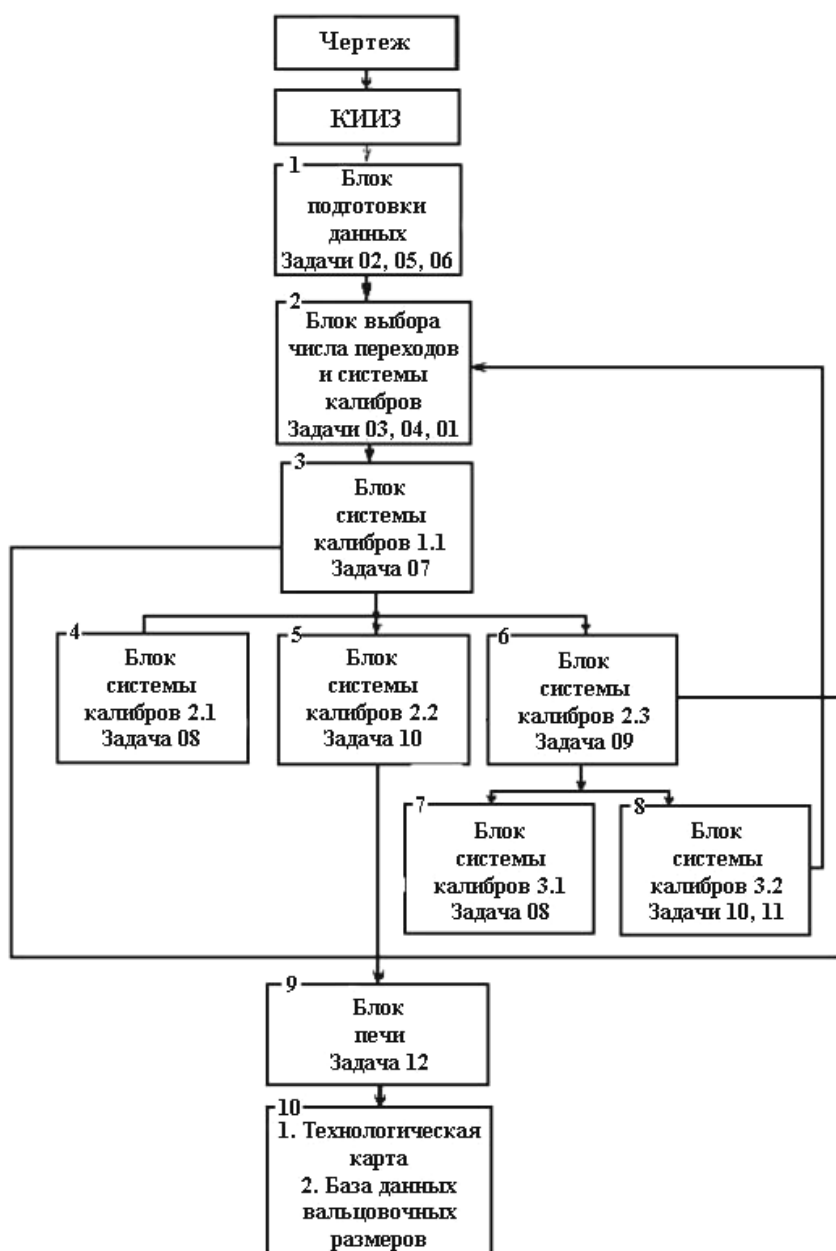


Рис. 1. Функциональная схема САПР вальцовки

Исходные данные в системе задают по эпюре поперечных сечений вальцованной заготовки, процесс конструирования которой не поддается формализации и производится традиционными методами с разбивкой ее длины на элементарные участки (в данном случае на пять (1–5)), (рис. 2). Исходную информацию на проектирование технологического процесса вальцовки задают в виде кодировочного бланка.

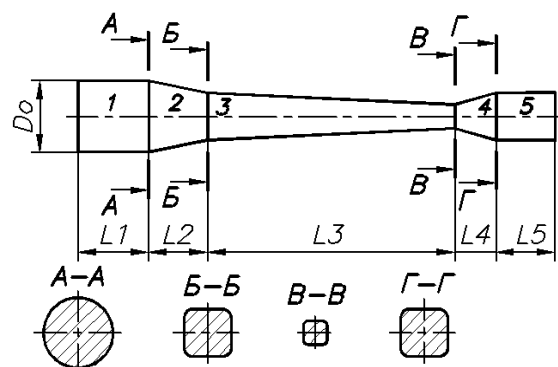


Рис. 2. Вальцованная заготовка

Исходная информация на проектирование состоит из двух частей. К первой относятся основные сведения о детали (номер, форма сечения заготовки, материал). Во вторую часть информации входят данные о размерах проектируемой вальцованной заготовки. К ним относятся площади поперечных сечений на стыках элементарных участков и их длины.

Максимальное число элементарных участков, задаваемых в системе, равно 11. На основании исходных данных выполняют автоматизированное проектирование технологического процесса. Контроль исходных данных сопровождают печатью замечаний по контролю. В случае нормального завершения контроля исходных данных проводят расчет размеров заготовки, выбор типоразмера вальцовочных штампов, определение технологических переходов вальцовки и системы калибров.

При решении данной задачи определяют характер сечения заготовки вдоль оси, затем, исходя из максимального коэффициента вытяжки и значения переменной INDEX, характеризующей форму сечения вальцованной заготовки, задают схему калибровки.

Технические характеристики выбранного в результате решения задач (см. табл. 1, шифры 01—06) типоразмера ковочных вальцов, а также определенное число технологических переходов вальцовки и схема калибровки ручьев вальцовочного инструмента — исходные данные для расчета параметров, характеризующих каждый из переходов. С помощью специального алгоритма определяют геометрические размеры вальцуемой детали во всех переходах с учетом уширения, опережения и усилия вальцовки. Форма и размеры вальцованной заготовки в технологических переходах служат исходными данными для проектирования вальцовочных штампов.

При «ручном» расчете размеров калибров многие значения определяют по графическим зависимостям. При автоматизированном проектировании кривые представляют в виде функциональных зависимостей с помощью интерполяции методом Ньютона, который заключается в переводе табличных зависимостей в многочлены  $n$ -й степени.

В результате решения задачи по определению размеров калибров формируют таблицы размеров калибров в каждом из переходов. После расчета технологических размеров калибров и определения геометрических размеров заготовок проектируют технологическую карту процесса вальцовки.

В технологической карте записаны геометрические размеры заготовки и технологические операции с указанием оборудования и приспособлений, температурный режим процесса вальцовки.

Источником входной информации для автоматизированного проектирования технологического процесса вальцовки и штампов служит чертеж вальцованной заготовки. Для расчета по алгоритму необходимы следующие данные: исходные данные о заготовке, характеристика оборудования; таблицы размеров круглого, овального, квадратного и ромбического калибров; технологическая карта обработки. Система представляет собой совокупность математических моделей и алгоритмов реше-

ний задач, представленных в определенной форме, удобной для использования при автоматизированном проектировании технологических процессов вальцовки заготовок.

Математические модели в САПР представлены в виде общеизвестных математических зависимостей, предназначенных для расчета некоторых параметров технологических процессов. Исходными данными для функций алгоритмов служат значения максимального коэффициента вытяжки и переменной INDEX, характеризующей форму сечения вальцованной заготовки:

INDEX-1 — круглое сечение; INDEX-2 — квадратное сечение; INDEX-3 — ромбическое сечение; INDEX-0 — выбор оптимальной формы сечения.

Выбор системы калибров определяется несколькими факторами: максимальным коэффициентом вытяжки, формой и размерами штампуемой детали, характером сечения вальцованной заготовки вдоль оси (переменное и постоянное), минимизацией числа переходов; формой поперечных сечений вальцованной заготовки.

С помощью алгоритма определяется характер сечения вальцованной заготовки вдоль оси. Затем исходя из указанных условий определяется схема калибровки.

В каждом конкретном случае приоритет факторов при выборе системы калибров может изменяться, поэтому формализация процесса ее выбора нецелесообразна. Автоматизация процесса дает возможность расчета всех систем калибров, применимых в данном случае с точки зрения получения требуемого коэффициента вытяжки, с последующим выбором наиболее приемлемого варианта с учетом остальных факторов.

Структурная схема алгоритма выбора системы калибров и определения числа переходов приведена на рис. 3, где значение SECH=1 означает переменное сечение заготовки перед каждым этапом вальцовки, а SECH=0 — постоянное сечение заготовки соответственно. Результаты решения данной задачи используются в задачах 07, 08, 09, 10 (см. табл. 1).

Исходной информацией для алгоритмов расчета калибров служат размеры вальцованной заготовки, полученные в предыдущем переходе, и значения коэффициентов вытяжки для данного перехода.

В случае вальцовки в квадратных калибрах после определения размеров калибра проводят определение уширения, которое показывает наличие или отсутствие облоя в данном сечении. При этом возможны следующие варианты:

1. Облой больше 2 мм, расчет двухпереходный, типоразмер вальцовочных штампов — 1 или 2 (в задаче значение типоразмеров содержит переменная TIR);
2. Облой больше 2 мм, расчет двухпереходный, типоразмер штампов — 3;
3. Облой больше 2 мм, расчет трехпереходный, возможно перераспределение коэффициентов вытяжки по переходам;
4. Облой больше 2 мм, расчет трехпереходный, перераспределение коэффициентов невозможно;
5. Облой не превышает 2 мм.

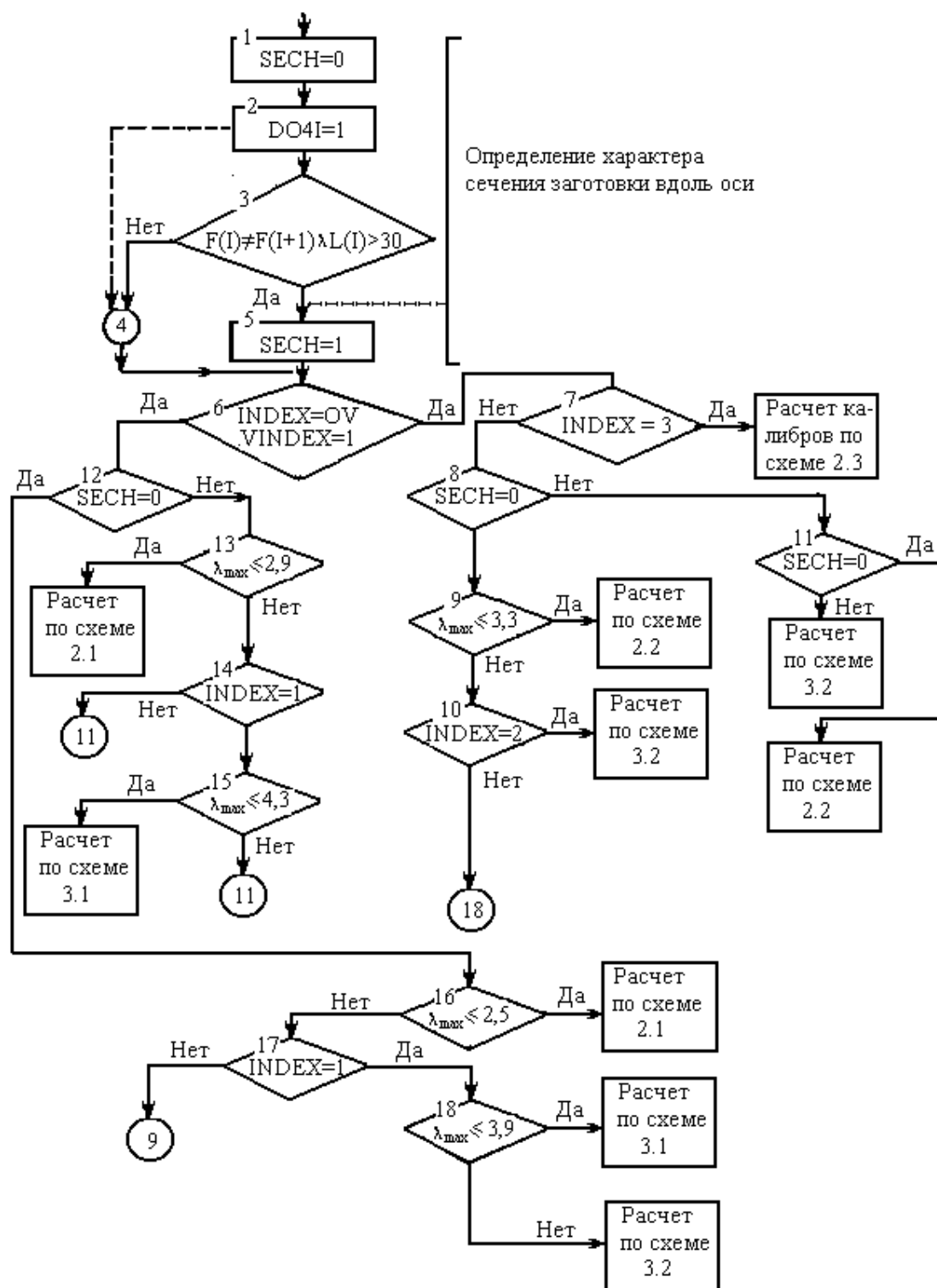


Рис. 3. Структурная схема алгоритма выбора системы калибров и определение числа переходов

В вариантах 1–4 расчет размеров калибра в последующих сечениях прекращается. Пятый вариант позволяет проводить дальнейший расчет калибров и центральных углов вальцовочных штампов. Результаты решения этой задачи используются в задачах 11, 12 (см. табл. 1).

На рис. 4 приведена структурная схема алгоритма расчета размеров овального калибра. Аналогичными являются алгоритмы расчета размеров квадратного, ромбического и круглого калибров. После определения размеров овального калибра в 1-м сечении проводят проверку на наличие облоя. В случае если при расчете имеет место облой, уменьшают значение коэффициента вытяжки в данном сечении и подбор размеров калибра проводят до тех пор, пока условия деформации в нем не обеспечат отсутствие облоя. Результаты решения данной задачи используют в задачах 08, 09, 10, 12 (см. табл. 1).

Выполнение алгоритма расчета размеров ромбического калибра аналогично решению задачи 07 (см. табл. 1), а результаты выполнения алгоритма используют в задачах 08, 10, 12 (см. табл. 1). Результаты алгоритма для расчета размеров круглого калибра используют в задаче 12.

Система автоматизированного проектирования ввиду сложности решаемой задачи строится открытой, по модульному принципу.

Работа всего комплекса по разработке процесса вальцовки объединяется управляющим алгоритмом (рис. 3), который организует процесс проектирования в зависимости от входных данных, результатов решения отдельных задач и замечаний, выдаваемых в процессе проектирования.

## ВЫВОДЫ

1. Описаны и приведены: функциональная схема САПР ТП вальцовки, структурная схема алгоритма выбора калибров и определения числа переходов, структурные схемы расчетов размеров различных сечений, состав программного обеспечения САПР ТП.

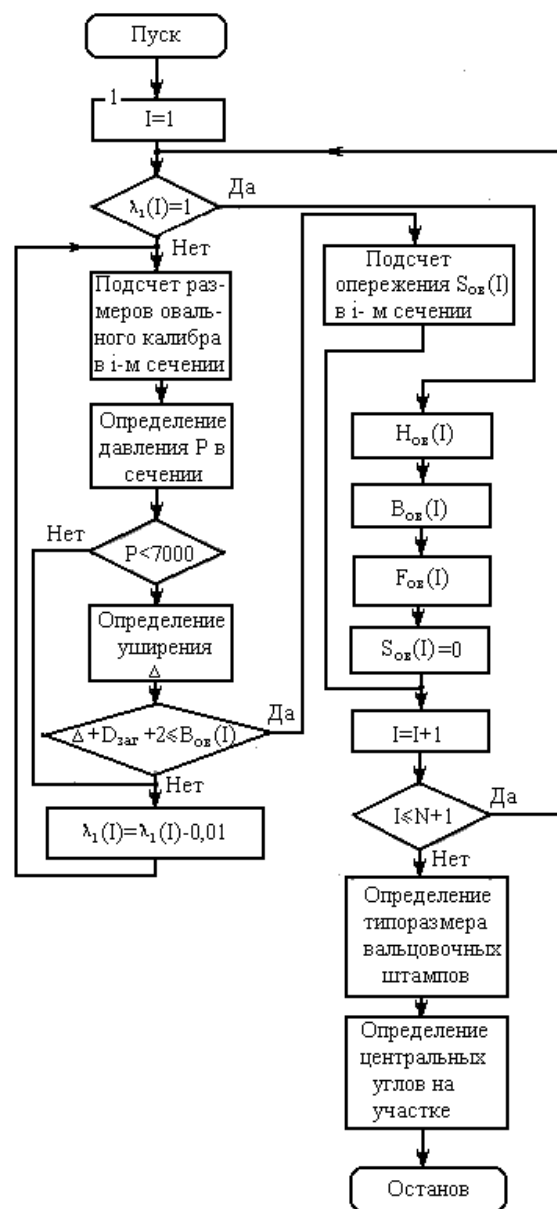


Рис. 4. Структурная схема алгоритма расчета размеров овального калибра

2. Применение автоматизированных методов расчета калибров резко снижает трудоемкость, сокращает цикл проведения данных работ, повышает точность и качество вальцованных заготовок, обеспечивает повышение производительности конструкторов и технологов на всех стадиях проектирования.

3. Режим диалогового взаимодействия пользователя САПР ТП вальцовки позволяет использовать технологов средней квалификации.

4. Блочная структура и модульный принцип построения алгоритмов проектирования позволяет обеспечить направленность, модификацию и адаптивность системы в условиях конкретного производства.

#### Список использованной литературы

1. Скрябин С.А., Полохов В.Н., Скрябин К.С./ Применение процесса вальцовки и подготовительных ручьев при изготовлении горячим деформированием штампованных поковок из алюминиевых сплавов с вытянутой осью и закрытыми сечениями// Технологические системы. – 2003. - №4. – С. 32-37.

2. Скрябин С.А./ Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием// К.: «Квіц». – 2004. – 346 с.

3. Скрябин С.А., Полохов В.Н., Скрябин К.С./ Применение процесса вальцовки и подготовительных ручьев при изготовлении горячим деформированием штампованных поковок из алюминиевых сплавов, имеющих вытянутую ось с отрезками// Технологические системы. – 2004. - №3. – С. 29-32.

4. Скрябин С.А., Полохов В.Н., Барабой Н.Н., Скрябин К.С./ Штамповка поковок из алюминиевых сплавов с вытянутой осью, тонким полотном, закрытыми сечениями и глубокой полостью// Технологические системы. – 2006. -№1. – С. 30-35.

5. Скрябин С.А., Барабой Н.Н./ Исследование пластичности титанового сплава ВТ3-1 при деформировании в калибрах различных систем// Технологические системы. – 2006. - №2. – С. 45-49.

6. Скрябин С.А., Черкасов Н.Н., Колесникова В.С., Стадник В.С./ Система автоматизированного проектирования процесса вальцовки заготовок под штамповку// Авиационная промышленность. – 1987. - № 10. - С. 57-59.

7. Fu P., Li M./ A CAD System for Roll Forging Process// Proc. 3<sup>rd</sup> int.Conf., Rotary Metalwork, Kyoto. 8-10 Sept., 1984. Kempston; Amsterdam.