

УДК 658.012.011.56:621.735.043.016.3:621.7.044

В. В. ТРЕТЬЯК<sup>1</sup>, А. В. ОНОПЧЕНКО<sup>1</sup>, Ю. А. НЕВЕШКИН<sup>1</sup>, И. А. КОВАЛЬЧУК<sup>2</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *ООО НПП «СОЛИС- ПЛЮС»*

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ SPRUT EXPRO ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕМНОЙ ЗАГОТОВКИ

*Рассмотрены функциональные возможности системы SPRUT EXPRO для представления инженерных знаний в базах знаний, предназначенных для непрограммирующих пользователей. Изучены теоретические предпосылки создания базы знаний согласно международному стандарту IDEF0. Показан механизм создания модулей инженерных знаний и ее метод. Представлен алгоритм расчета параметров объемной заготовки для создания метода в SPRUT EXPRO. Рассмотрен механизм создания словаря базы знаний, модулей инженерных знаний и метода расчета параметров объемной заготовки. Представлены экранные формы, разработанные в системе SPRUT EXPRO для расчета параметров объемной поковки.*

**Ключевые слова:** база знаний, инженерные знания, параметры объемной заготовки, модули базы знаний.

### Введение

Система SPRUT EXPRO предназначена для генерации программных модулей непрограммирующими пользователями посредством описания инженерных знаний на неалгоритмическом языке, максимально приближенном к структурированному естественному языку [1].

Систему можно использовать как автономно, так и в совокупности с системой СПРУТ-ИМ, для которой с ее помощью производится генерация методов объектов.

### 1. Теоретические положения

Элемент знаний представляет собой обобщенный функциональный блок. Наиболее удачным и широко распространенным представлением функциональных блоков является международный стандарт IDEF0. В этом стандарте функциональный блок имеет конструкцию, приведенную на рис. 1.

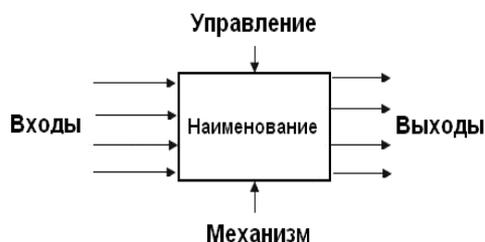


Рис. 1. Функциональный блок IDEF0

Наименование функционального блока складывается из существительного, обозначающего действие (например, расчет, выбор, занесение и т.д.), существительного, определяющего объект, на кото-

рый направлено действие (например, размер, величина и т.д.) и уточняющей информации. К левой стороне блока подходят стрелки входных данных, которыми могут быть как целые и действительные числа, так и нечисловые символьные величины.

Входные данные преобразуются блоком в выходные, что изображается стрелкой, отходящей от правой стороны.

Преобразование осуществляется с помощью механизма (формул, таблиц, баз данных и т.д.). Стрелка механизма (М) подходит к нижней стороне блока. Функционирование блока осуществляется под воздействием управляющей информации, стрелка которой подходит к верхней стороне блока. Выходные и управляющие данные, так же как и входные, могут быть как числовыми, так и символьными. В продукционных системах искусственного интеллекта элементом представления знаний является правило-продукция.

Такое правило содержит предусловие, определяющее применимость его при конкретном состоянии переменных базы данных (если <условие>, то <действие>). Правила-продукции также могут быть представлены в форме блоков IDEF0.

В этом случае условие определяется управляющей стрелкой, а действие по преобразованию входа в выход реализуется механизмом. Для решения комплексных задач, требующих использования многих функциональных блоков, элементарные блоки объединяются в сложную функцию, которая и представляет. Рассмотрим вариант расчета параметров объемной заготовки, выполненный в системе SPRUT EXPRO по алгоритму, представленному в литературе [2].

## 2. Последовательность расчета параметров объемной заготовки

Для расчета параметров объемной поковки необходимо рассчитать следующие параметры.

1. Ориентировочное значение массы проектируемой поковки  $G_{\Pi}^0$ , кг. Расчетная формула для штамповки на молотах и КГШП:

$$G_{\Pi}^0 = 1,4 \cdot G_0, \quad (1)$$

где  $G_0$  – масса детали, кг.

Припуски назначают только на обрабатываемые поверхности, т. е. при условии  $C_j \neq 0$ .

2. Диаметр основания прошиваемого отверстия  $d_{осн}$ , мм (рис. 2).

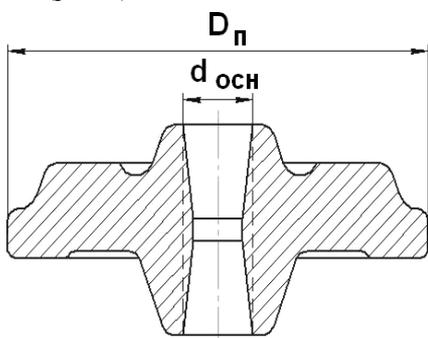


Рис. 2. К расчету диаметра основания прошиваемого отверстия

Расчетные формулы для штамповки:

– на молотах

$$d_{осн} = 24 + 0,0625 \cdot D_{\Pi}; \quad (2)$$

– на КГШП

$$d_{осн} = 16,8 + 0,12 \cdot D_{\Pi}, \quad (3)$$

где  $D_{\Pi}$  – максимальный диаметр поковки, мм.

3. Значение штамповочных уклонов  $\alpha$  (рис. 3).

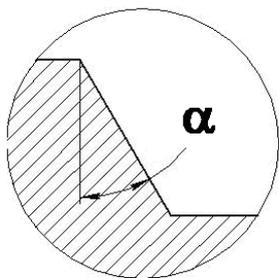


Рис. 3. Геометрическое представление штамповочных уклонов

$$\alpha = \begin{cases} 5^\circ & \text{– для наружных поверхностей,} \\ 10^\circ & \text{– для внутренних поверхностей.} \end{cases} \quad (4)$$

4. Высота центрирующего бурта  $h_б$ , мм (рис. 4).

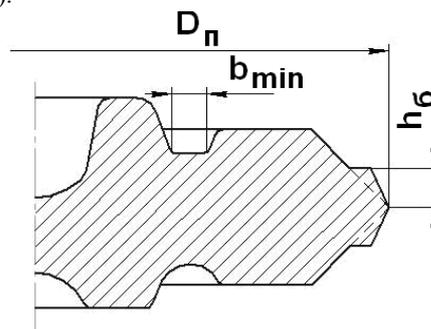


Рис. 4. Геометрия центрирующего бурта

Расчетная формула для штамповки на молотах и КГШП:

$$h_б = 6 + 0,034 \cdot D_{\Pi}. \quad (5)$$

5. Минимально допустимая ширина кольцевой полости  $b_{min}$ , мм (рис. 5). Расчетная формула для штамповки на молотах и КГШП:

$$b_{min} = 10 + 0,0625 \cdot D_{\Pi}. \quad (6)$$

6. Минимально допустимая глубина кольцевой полости  $h$ , мм (рис. 5).

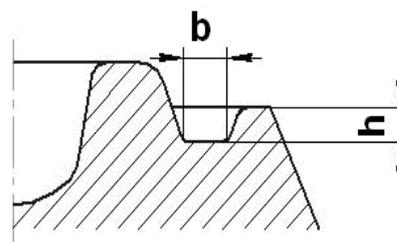


Рис. 5. Геометрия кольцевой полости

$$h = 0,8 \cdot b. \quad (7)$$

7. Максимально допустимая глубина центральной наметки:  $h_в$  – верхней части,  $h_н$  – нижней части (рис. 6).

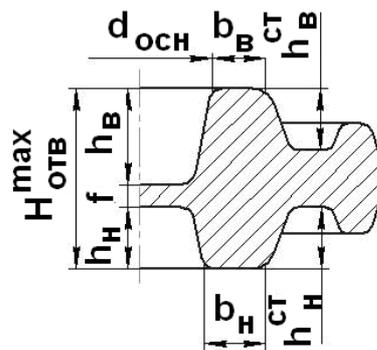


Рис. 6. Геометрия центральной наметки

Расчетные формулы для штамповки:  
 – на молотах для верхнего штампа

$$\frac{h_B}{d_{осн}} = 1 - 0,01 \cdot \left( \frac{h_B^{ст}}{b_B} \right)^2 ; \quad (8)$$

– на молотах для нижнего штампа

$$\frac{h_H}{d_{осн}} = 0,8 - 0,0125 \cdot \left( \frac{h_H^{ст}}{b_H} \right)^2 ; \quad (9)$$

– на КГШП

$$H_{отв}^{max} = d_{осн} . \quad (10)$$

8. Толщина пленки под прошивку  $t$ , мм (рис. 7).

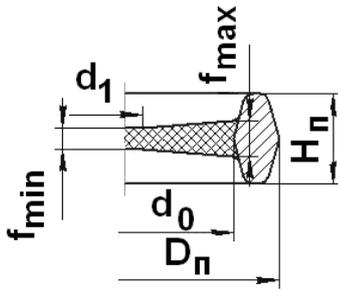


Рис. 7. Геометрия пленки под прошивку

Расчетные формулы для штамповки на молотах и КГШП:

– плоская наметка

$$t = 0,45 \cdot \sqrt{D_{п} - 0,25 \cdot H_{п} - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{H_{п}} ; \quad (11)$$

– наметка с раскосом

$$t_{min} = 0,65 \cdot t ; \quad (12)$$

$$t_{max} = 1,35 \cdot t ; \quad (13)$$

$$d_1 = 0,12 \cdot d_0 + 3 . \quad (14)$$

9. Диаметр просечки (выдры)  $d_B$ , мм (рис. 8).

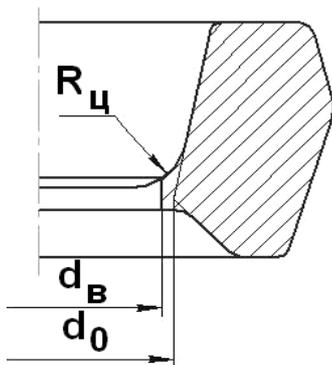


Рис. 8. Геометрия просечки

Расчетная формула для штамповки на молотах и КГШП:

$$d_B = d_0 - 0,4 \cdot R_{ц} . \quad (15)$$

10. Радиусы закруглений, мм (рис. 9).

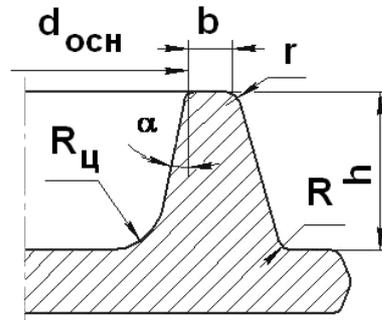


Рис. 9. Схема скругления углов поковки

Для вогнутых вершин:

– расчетная формула для штамповки на молотах:

$$R = \max \left\{ k \cdot \left[ 3 + \left( 2 + \frac{h}{b} \right) \cdot 0,01 \cdot D_{п} \right]; \bar{R} \right\} ; \quad (16)$$

– расчетная формула для штамповки на КГШП:

$$R = \max \left\{ k \cdot \left[ 3 + \left( 2 + \frac{h}{b} \right) \cdot 0,01 \cdot D_{п} \right]; \bar{R} \right\} . \quad (17)$$

Для выпуклых вершин расчетная формула для штамповки на молотах и КГШП:

$$r = \max \{ \bar{r}; r_{табл} \} . \quad (18)$$

Для глухой наметки расчетная формула для штамповки на молотах и КГШП:

$$R_{ц} = \frac{0,5 \cdot d_{осн}}{\operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} \right)} , \quad (19)$$

где  $k = 1$  для внешних углов,

$k = 0,8$  для внутренних углов;

$\bar{R}$ ,  $\bar{r}$  – радиусы закругления, полученные после назначения припусков;

$r_{табл}$  – значение внутреннего радиуса, определяемое по таблице в зависимости от массы и группы точности поковок;

$d_{осн}$  – диаметр основания центрального отверстия, мм;

$\alpha$  – штамповочный уклон в центральной наметке.

Расчетные значения радиусов округляют до ближайшего из нормального ряда

### 3. Последовательность формирования базы знаний

Вначале необходимо сформировать словарь. Словарь представляет собой список аналогов обозначений параметров, используемых в базе знаний.

В базе знаний могут использоваться данные трех типов: действительные числа (R), целые числа (I) и перечисляемые символьные переменные (S). Для каждой переменной последнего типа должен быть составлен список допустимых значений.

Далее геометрические и сложные математические вычисления представляются в форме модулей инженерных знаний (МИЗов).

Для использования математических знаний введены модули с механизмами в виде программных модулей. Эти МИЗы предназначены для генерации чертежей спроектированных деталей.

Аналогичным образом могут генерироваться поверхностные и твердотельные модели изделий, а также обращение к программным средствам, созданным вне среды СПРУТ.

Также используются МИЗы с базами данных и многоходовыми таблицами. Совокупность ряда МИЗ, объединенных в метод является основой баз знаний.

На рис. 10 представлен фрагмент экранной формы состава МИЗ для проектирования геометрии объемной поковки.

Причем для решения комплексных задач, требующих использования многих функциональных блоков, элементарные блоки (МИЗы) автоматически, объединяются в методы, а именно эта возможность для SPRUT EXPRO является уникальной.

Автоматически генерируется и исходный текст модуля базы знаний, который в дальнейшем может быть по желанию пользователя изменен.

### Заключение

На кафедре технологий авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ» разработана база знаний для расчета геометрических и технологических параметров объемной поковки, которая используется в учебном процессе для расчетов объемных поковок, изготавливаемых как статическими, так и импульсными методами [3] и может быть использована для использования в курсовом и дипломном проектировании.

МИЗы Базы Знаний		
Имя	Наименование	Тип
Massa	Ориентировочная масса поковки	Формула
Dosn	Диаметр основания прошиваемого отверстия dosn (мм)	Формула
shun	Штамповочный уклон наружный	Формула
shuv	Штамповочный уклон внутренний	Формула
wcburt	Высота центрирующего бурта wcburt (мм)	Формула
Mskp	Минимально допустимая ширина кольцевой канавки hskp (мм)	Формула
h	Минимально допустимая глубина кольцевой полости h (мм)	Формула
hv	Максимально допустимая глубина центральной верхней наметки hv (мм)	Формула
hn	Максимально допустимая глубина центральной нижней наметки hn (мм)	Формула
tplos	Толщина пленки для плоской наметки (мм)	Формула

Рис. 10. Фрагмент экранной формы для состава модулей инженерных знаний

### Литература

1. SPRUT EXPRO – генератор баз знаний [Текст] : руководство пользователя. – М. : Центр СПРУТ-ТП, 2003. – 40 с.
2. Алиев, Ч. А. Система автоматизированного проектирования технологии горячей объемной штамповки [Текст] / Ч. А. Алиев, Г. П. Тетерин. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.
3. Третьяк, В. В. Перспективы использования SprutExPro для разработки конструкции и технологии изготовления поковок с помощью импульсных технологий [Текст] / В. В. Третьяк, О. В. Мананков, И. А. Ковальчук // Материалы XVII Конгрессу двигунобудівників : тези доп. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2012. – С. 130.

### References

1. SPRUT EXPRO – generator baz znaniy : Rukovodstvo pol'zovatelja [SPRUT EXPRO – generator of knowledge bases]. Moscow, Centr SPRUT-TP Publ., 2003. 40 p.
2. Aliev, Ch. A., Teterin, G. P. Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya tehnologii gorjachej ob'emnoj shtampovki [Computer-aided design of technology of the hot by volume stamping]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. 224 p.
3. Tret'jak, V. V., Manankov, O. V., Koval'chuk, I. A. Perspektivy ispol'zovaniya SprutExPro dlja razrabotki konstrukcii i tehnologii izgotovlenija pokovok s pomoshh'ju impul'snyh tehnologij [Prospects of the use SprutExPro for development of construction

and technology of making of pokovok by the impulsive technologies] *Materialy XVII Kongresu dvigunobudivnikiv : tez. dop.* [Proc. 17<sup>th</sup> Kongress of

enginebuilding]. Kharkiv, Nac. aerokosm. un-t "Hark. aviac. in-t", 2012, pp. 130.

*Поступила в редакцию 3.03.2017, рассмотрена на редколлегии 9.06.2017*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. каф. технологий производства авиационных двигателей В. Ф. Сорокин, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

### ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТОВУВАННЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ SPRUT EXPRO ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄМНОЇ ЗАГОТОВКИ

*В. В. Третяк, А. В. Онопченко, Ю. А. Невешкин, І. О. Ковальчук*

Розглянуто функціональні можливості системи SPRUT EXPRO для представлення інженерних знань в базах знань, призначених для непрограмуючих користувачів. Вивчено теоретичні передумови створення бази знань згідно міжнародному стандарту IDEF0. Показаний механізм створення модулів інженерних знань і її метод. Представлений алгоритм розрахунку параметрів об'ємної заготовки для створення методу в SPRUT EXPRO. Розглянуто механізм створення словника бази знань, модулів інженерних знань і методу розрахунку параметрів об'ємної заготовки. Представлені екранні форми, розроблені в системі SPRUT EXPRO для розрахунку параметрів об'ємної заготовки.

**Ключові слова:** база знань, інженерні знання, параметри об'ємної заготовки, модулі бази знань

### FEATURES OF THE USE OF CONSULTING MODEL SPRUT EXPRO FOR COMPUTATION OF PARAMETERS OF BY VOLUME PURVEYANCE

*V. V. Tretyak, A. V. Onopchenko, Y. A. Neveshkin, I. A. Kovalchuk*

The functionality of SPRUT EXPRO system for representation of technical knowledge in the basic knowledge intended for non-programmers is considered. The theoretical background of creating a knowledge base in accordance with the international standard IDEF0 is being studied. The mechanism of creation of modules of engineering knowledge and its method is shown. An algorithm for calculating the parameters of a three-dimensional workpiece for creating a method in SPRUT EXPRO is presented. The mechanism for creating a vocabulary of the knowledge base, modules of engineering knowledge, and a method for calculating the parameters of bulk billet are considered. The screen forms developed in the SPRUT EXPRO system for calculating forging parameters are presented.

**Keywords:** Knowledge base, engineering knowledge, bulk procurement parameters, knowledge base modules

**Третяк Владимир Васильевич** – канд. техн. наук, доц., доц. каф. технологий производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: v.tretyak@khai.edu.

**Онопченко Антон Виталиевич** – мл. науч. сотр. каф. технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: anton.onopchenko@gmail.com.

**Невешкин Юрий Александрович** – ст. преп. каф. технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: y.neveshkin@khai.edu.

**Ковальчук Ирина Александровна** – директор ООО НПП «Солис-Плюс», e-mail: solis.kovalchuck@gmail.com.

**Tretyak Vladimir Vasilyevich** – Candidate of Technical Sciences, associate professor of department of technologies of production of aviation engines of the National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: v.tretyak@khai.edu.

**Onopchenko Anton Vitalievich** – junior researcher of department of technologies of production of aviation engines of the National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: anton.onopchenko@gmail.com.

**Neveshkin Yuriy Aleksandrovich** – Senior Lecturer of department of technologies of production of aviation engines of the National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: y.neveshkin@khai.edu.

**Kovalchuk Irina Alexandrovna** – director of LTD NPP «Solis Plus», e-mail: solis.kovalchuck@gmail.com.