

**ПОИСКОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ
РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ШТАМПОВ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

© 2015

Е.Н. Почекуев, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
П.Н. Шенбергер, старший преподаватель
кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: поисковое проектирование разделительных штампов; математическая модель штампа; формализация баз данных и знаний.

Аннотация: В статье рассматривается процесс поискового проектирования разделительных штампов для последовательной листовой штамповки. Выполнено структурно-иерархическое описание конструкций последовательного разделительного штампа. Приведена структурная схема конструкции последовательного разделительного штампа, разработанная на основе граф-схем узлов и механизмов. Введено понятие множества, которое содержит в качестве подмножеств различные узлы, признаки и переменные, определяющие конструкцию штампа. Созданы концептуальные схемы для каждой группы механизмов, определяемые структурными связями на множестве признаков конструкции. Выполнено отображение возможных вариантов конструкции штампа в виде «решающей» таблицы в бинарном пространстве структурных элементов, их признаков и значений. Разработана математическая модель штампа (ММШ), позволяющая провести поиск конструкции по предъявляемым инженером-конструктором требованиям и параметрам функционирования штампа для получения изделия. Реализацию процедуры поиска вариантов конструкции штампа предложено выполнять на основе методов объектно-ориентированного программирования. Реализовано представление взаимодействующих объектов (узлов, механизмов, деталей) как экземпляров определенного класса, причем классы образуют иерархию на принципах наследования. Сформирована система вложенных классов для узлов, механизмов и деталей с наследованием их свойств. Создан прикладной программный продукт для поискового проектирования структуры штамповой оснастки в среде NX OPEN на языке программирования C# с использованием материалов, реализованных в БД. Логическая схема базы знаний позволила выбирать из БД структурную схему, определяющую вариант конструкции штампа. На основе полученных результатов разработаны процедуры поискового проектирования последовательных разделительных штампов на базе математической модели штампа с применением структурно-логических и численных переменных.

ВВЕДЕНИЕ

Сложность и многовариантность конструкций разделительных штампов для последовательной листовой штамповки определяют трудоемкость задач, связанных с проектированием конструкции штампа. Решение этой проблемы с помощью эвристических методов проектирования [1–4] не позволяет снизить трудоемкость разработки. Использование систем автоматизированного проектирования в пакетах общего моделирования не решает задачу сокращения времени проектирования, поэтому в практике создания электронных моделей штампов применяются принципы системного подхода [5–9], что снижает время разработки, а также повышает качество процесса проектирования штампов. Одним из методов системного подхода является использование иерархических, морфологических структур, однако они не дают возможностей параметризации штампа и создания на этой основе математических моделей конструкции оснастки. Поэтому целью данной работы является разработка метода проектирования штампов последовательного действия с параметризацией узлов, механизмов и деталей конструкции на базе их иерархических, морфологических моделей.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Конкретная конструкция последовательного штампа есть процесс поиска конструктором рационального решения на базе опыта, данных и знаний [1–4]. Для формализации стратегии поиска необходимо создать математическую модель штампа.

Математическую модель штампа (ММШ) можно сформировать на основе структурного описания системы, которая представлена как множество вариантов конструкций узлов, механизмов и деталей, составляющих штамп (S_0), множество признаков, характеризующих компоненты штампа (P_0), а также множество связей между всеми элементами системы (Q_0):

$$ММШ = \|S_0, P_0, Q_0\|.$$

Разделительный штамп как объект проектирования представляется как множество узлов и деталей (S_0):

$$S_0 = \|h_0, p_0, n_0, f_0, y_0, g_0, k_0, t_0\|,$$

где S_0 – множество разделительного штампа для холодной листовой штамповки;
 h_0 – подмножество групп рабочего инструмента;
 p_0 – подмножество плит штампа;
 n_0 – подмножество узла направления движения плит штампа;
 f_0 – подмножество узла направления и фиксации материала;
 y_0 – подмножество узла удаления и прижима материала;
 g_0 – подмножество узла ограничения хода подвижных механизмов штампа;
 k_0 – подмножество механизмов крепления штампа;
 t_0 – подмножество транспортных механизмов.

Структурно-иерархическое описание последовательного разделительного штампа для наглядности и компактности представления изображается в виде графа [5–9]:

$$G = (V, E),$$

который является итогом строгой формальной обработки взаимосвязей между множествами возможных решений (вершины графа – $V = \{h_0 p_0 n_0 f_0 y_0 g_0 k_0 t_0\}$) и множествами условий сочетаемости (ребра графа – $E = \{e_i\}$), которые обозначаются в подмножествах связей в виде e_i , где символ i представлен символом подмножества признака. Разбиение на иерархические уровни является вариативным и зависит от опыта разработчика и конкретной конструкции штампа.

Пример графа для рабочего инструмента штампа представлен на рисунке 1. По аналогичному принципу

составляются графы для остальных узлов и механизмов конструкции.

Структурная схема конструкции последовательного разделительного штампа, разработанная на основе граф-схем узлов и механизмов:

$$S_{0cmp} = \|h_0 \|h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7\|, p_0 \|p_1, p_2, p_3, p_4\|, n_0 \|n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7, n_8\|, f_0 \|f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7\|, y_0 \|y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9\|, g_0 \|g_1, g_2, g_3, g_4\|, t_0 \|t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\|, k_0 \|k_1, k_2, k_3\|,$$

где $h_0, p_0, n_0, f_0, y_0, g_0, k_0, t_0$ – узлы и механизмы штампа; $\|h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7\|, \|p_1, p_2, p_3, p_4\|, \|n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7, n_8\|, \|f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7\|, \|y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9\|, \|g_1, g_2, g_3, g_4\|, \|t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\|, \|k_1, k_2, k_3\|$ – множества признаков классификации каждого узла и механизма штампа, формирующие уровни граф-схем (P_0).

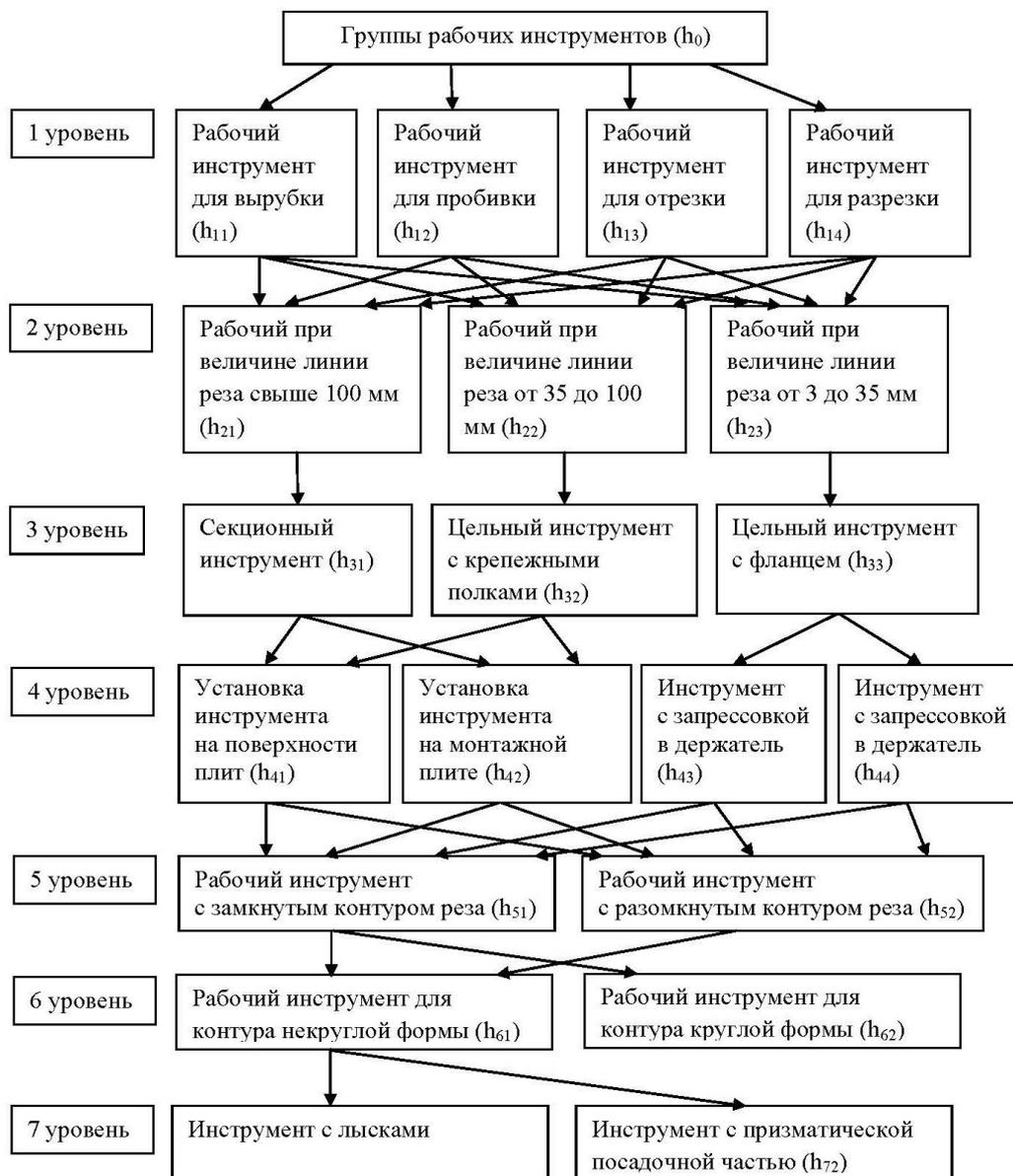


Рис. 1. Иерархическое описание структуры групп рабочего инструмента

Например, признаки классификации для групп рабочего инструмента означают: h_1 – вид технологической операции, h_2 – величину линии реза, h_3 – тип рабочего инструмента, h_4 – варианты установки рабочего инструмента, h_5 – тип контура реза и т. д.

На основе структурной схемы последовательного разделительного штампа создадим понятие множества, которое содержит в качестве подмножеств различные узлы, признаки и переменные, определяющие конструкцию штампа. Такое множество называется универсумом [10; 11]. Представим универсумы признаков классификации групп рабочего инструмента:

$$\begin{aligned} U^{h_1} &= \{h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{14}\}; \\ U^{h_2} &= \{h_{21}, h_{22}, h_{23}\}; \\ U^{h_3} &= \{h_{31}, h_{32}, h_{33}\}; \\ U^{h_4} &= \{h_{41}, h_{42}, h_{43}, h_{44}\}; \\ U^{h_5} &= \{h_{51}, h_{52}\}; \\ U^{h_6} &= \{h_{61}, h_{62}\}; \\ U^{h_7} &= \{h_{71}, h_{72}\}; \end{aligned}$$

где $h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{14}, \dots, h_{71}, h_{72}$ – характеристики конструкций групп рабочего инструмента.

Например, первый универсум означает, что рабочий инструмент по виду технологической операции может быть предназначен либо для вырубки (h_{11}), либо пробивки (h_{12}), а также или для отрезки (h_{13}) или разрезки (h_{14}).

Описание конструкции каждого узла позволяет создать концептуальные схемы для каждой группы механизмов, которые определяются структурными связями (Q_0) на множестве признаков конструкции (P_0). Для системного анализа такие частные концептуальные схемы объединяются в общую, характеризующую конструкцию штампа в целом.

Структурная связь для признаков h_1 (вид технологической операции) и h_2 (величина линии реза) групп рабочего инструмента может выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} e_{h_1} &\in h_1 \{h_{11} : logical; h_{12} : logical; h_{13} : logical; \\ &h_{14} : logical \}, \\ e_{h_2} &\in h_2 \{h_{21} : length_1; h_{22} : length_2; \\ &h_{23} : length_3 \}, \end{aligned}$$

где *logical* – логическая переменная, принимающая два значения: *T* (true) и *F* (false);

length_1, length_2, length_3 – переменные, обозначающие длину контура реза. Подмножества этих параметров: $U^{length_1} = \{3-35\}$, $U^{length_2} = \{35-100\}$, $U^{length_3} = \{>100\}$.

Отображение возможных вариантов конструкции штампа представлено в виде «решающей» таблицы в бинарном пространстве структурных элементов, их признаков и значений. Процедура синтеза конструкции штампа производится человеком с помощью базы знаний в человеко-машинной системе [10].

Результатом этой процедуры для проектирования узла разделительного инструмента (Tip_h_1) в поле признаков h_1 и h_2 является структурная связь:

$$\begin{aligned} Tip_h_1 &= \{h_1[h_{11} : T; h_{12} : F; h_{13} : F; h_{14} : F], \\ &h_2[h_{21} : >100; h_{22} : F; h_{23} : F] \}. \end{aligned} \quad (1)$$

Разработанная математическая модель штампа (ММШ) позволяет провести поиск конструкции, которая удовлетворяет предъявляемым конструктором требованиям и параметрам функционирования штампа для получения изделия.

Для примера проектирования узла разделительного инструмента по формуле (1) поиск конструкции осуществляется на поле признаков h_i , а также требований и параметров h_{ij} .

Реализацию процедуры поиска можно осуществить, используя объектно-ориентированное программирование [12–17].

Представим взаимодействующие объекты (узлы, механизмы, детали) как экземпляры определенного класса, причем классы образуют иерархию на принципах наследования.

Иерархия по составу определяет отношения агрегирования. Более высокий уровень представляют те абстракции, которые используют в своем составе другие классы. Например, класс, отвечающий за параметры узла фиксации материала, является родительским для каждого класса деталей фиксации.

Используя такой подход, формируется система вложенных классов для узлов, механизмов и деталей с наследованием их свойств. Создается общий класс – Stamp, который определяет черты, присущие множеству дочерних элементов – узлов и механизмов. Эти классы затем наследуются другими классами – деталями и элементами штампа, каждый из которых добавляет переменные, которые уникальны для него. Универсумы понятий являются значениями членов (переменных) класса.

В качестве примера рассмотрим сокращенный фрагмент кода, написанный на языке программирования C# с наследованием классов групп рабочего инструмента:

```
class h0 // Класс групп рабочего инструмента
{
    public bool U_logical_0; // Объявляется переменная U_logical_0,
    // которой соответствует универсум Ulogical_0;
}
class h11: h0 // Класс h11, наследующий класс h0;
{
    protected bool U_logical_1; // Объявляется переменная U_logical_1,
    // которой соответствует универсум Ulogical_1;
}
class h21: h11 // Класс h21, наследующий класс h11;
{
    protected double U_lenght_1; // Объявляется переменная U_lenght_1,
    // которой соответствует универсум Ulenght_1.
}
```

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Использование предложенных методов позволило создать прикладной программный продукт для поискового проектирования структуры штамповой оснастки в среде NX OPEN на языке программирования С# [18; 19] с использованием материалов, реализованных в БД [20].

По логической схеме базы знаний из БД выбирается структурная схема, определяющая вариант конструкции штампа, электронная модель которой загружается в файл проекта.

Таким образом, использование полученных в работе результатов позволяет выполнять поисковое проектирование последовательных разделительных штампов на основе разработанной математической модели штампа с применением структурно-логических и численных переменных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникин В.М., Лукашин В.М. Справочник конструктора штампов для холодной штамповки. М.: Машгиз, 1960. 295 с.
2. Листовая штамповка: справочник конструктора штампов / под ред. Л.И. Рудмана. М.: Машиностроение, 1988. 496 с.
3. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. Л.: Машиностроение, 1980. 432 с.
4. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение, 1979. 520 с.
5. Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М. Дискретная математика для инженера. М.: Энергия, 1980. 344 с.
6. Почекуев Е.Н., Скрипачев А.В., Шенбергер П.Н. Системное проектирование последовательных разделительных штампов вырубki листовых заготовок // Вестник СГАУ им. академика С.П. Королева (национального исследовательского университета). 2012. № 1. С. 170–177.
7. Яглом И.М. Булева структура и ее модели. М.: Сов. радио, 1980. 192 с.
8. Спирина М.С., Спирин П.А. Дискретная математика. М.: Академия, 2007. 368 с.
9. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ. Киев: МАУП, 2003. 368 с.
10. Быков В.П. Методическое обеспечение САПР в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1989. 255 с.
11. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Прохоров А.Ф. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении. М.: Машиностроение, 1986. 256 с.
12. Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. М.: Финансы и статистика, 2005. 544 с.
13. Гагарина Л.Г., Кокорева Е.В., Виснадул Б.Д. Технология разработки программного обеспечения. М.: ИНФРА-М, 2008. 400 с.
14. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML: руководство пользователя. М.: ДМК Пресс, 2004. 429 с.
15. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. М.: МГТУ им. Баумана, 2002. 336 с.
16. Троелсен Э. С# и платформа .NET. СПб.: Питер, 2004. 796 с.
17. Шилдт Г. С#. СПб.: Питер, 2003. 512 с.

18. Почекуев Е.Н., Скрипачев А.В., Шенбергер П.Н. Автоматизированная система для проектирования последовательных разделительных штампов вырубki листовой заготовки: авторское свидетельство РФ, № 2011614118, 2011.
19. Почекуев Е.Н., Скрипачев А.В., Шенбергер П.Н. Программа для проектирования разделительных штампов вырубki листовых заготовок для NX Siemens PLM Software // САПР и графика. 2011. № 12. С. 89–91.
20. Почекуев Е.Н., Скрипачев А.В., Шенбергер П.Н. База графических данных типовых унифицированных пространственных моделей узлов, механизмов и деталей последовательных разделительных штампов вырубki листовой заготовки: заявка на регистрацию № 2011620251, 2011.

REFERENCES

1. Anikin V.M., Lukashin V.M. *Spravochnik konstruktora shtampov dlya kholodnoy shtampovki* [Reference book of cold stampeng dies designer]. Moscow, Mashgiz publ., 1960, 295 p.
2. Rudman L.I., ed. *Listovaya shtampovka: spravochnik konstruktora shtampov* [Sheet stamping: reference book for dies designer]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1988, 496 p.
3. Zubtsov M.E. *Listovaya shtampovka* [Sheet stamping]. Leningrad, Mashinostroenie publ., 1980, 432 p.
4. Romanovskiy V.P. *Spravochnik po kholodnoy shtampovke* [Cold stamping reference book]. Leningrad, Mashinostroenie publ., 1979, 520 p.
5. Kuznetsov O.P., Adelson-Velskiy G.M. *Diskretnaya matematika dlya inzhenera* [Discrete mathematics for engineers]. Moscow, Energiya publ., 1980, 344 p.
6. Pochekuev E.N., Skripachev A.V., Shenberger P.N. System design of follow shearing dies for cutting sheet blank. *Vestnik SGAU im. akademika S.P. Koroleva (natsionalnogo issledovateskogo universiteta)*, 2012, no. 1, pp. 170–177.
7. Yaglom I.M. *Buleva struktura i ee modeli* [Boolean structure and its models]. Moscow, Sovetskoe radio publ., 1980, 192 p.
8. Spirina M.S., Spirin P.A. *Diskretnaya matematika* [Discrete mathematics]. Moscow, Akademiya publ., 2007, 368 p.
9. Surmin Yu.P. *Teoriya sistem i sistemnyy analiz* [Theory of systems and system analysis]. Kiev, MAUP publ., 2003, 368 p.
10. Bykov V.P. *Metodicheskoe obespechenie SAPR v mashinostroenii* [Methodological support of CAD in mechanical engineering]. Leningrad, Mashinostroenie publ., 1989, 255 p.
11. Solomentsev Yu.M., Mitrofanov V.G., Prokhorov A.F. *Avtomatizirovannoe proektirovanie i proizvodstvo v mashinostroenii* [Computer-aided design and production in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1986, 256 p.
12. Vendrov A.M. *Proektirovanie programmnogo obespecheniya ekonomicheskikh informatsionnikh sistem* [Development of software for economic information systems]. Moscow, Finansy i statistika publ., 2005, 544 p.

13. Gagarina L.G., Kokoreva E.V., Visnadul B.D. *Tekhnologiya razrabotki programmogo obespecheniya* [Technology of software development]. Moscow, INFRA-M publ., 2008, 400 p.
14. Buch G., Rambo D., Dzhekobson A. *Yazik UML: rukovodstvo polzovatelya* [UML language: user guide]. Moscow, DMK Press publ, 2004, 429 p.
15. Norenkov I.P. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Basics of computer-aided design]. Moscow, MGTU im. Baumana, 2002, 336 p.
16. Troelsen E. *C# i platforma .NET* [C# and NET platform]. S. Petersburg, Piter publ., 2004, 796 p.
17. Sildt G. *C#*. S. Petersburg, Piter publ., 2003, 512 p. (In Russian).
18. Pohekuev E.N., Skripachev A.V., Shenberger P.N. *Avtomatizirovannaya sistema dlya proektirovaniya posledovatelnykh razdelitelnykh shtampov vyrubki listovoy zagotovki* [Computer-aided system for design of progressive separating dies for blank cutting], author's certificate RF, no. 2011614118, 2011.
19. Pohekuev E.N., Skripachev A.V., Shenberger P.N. Software for development of separating dies for sheet blanking for NX Siemens PLMSoftware. *SAPR i grafika*, 2011, no. 12, pp. 89–91.
20. Pohekuev E.N., Skripachev A.V., Shenberger P.N. *Baza graficheskikh dannikh tipovykh unifikirovannykh prostranstvennykh modeley uzlov, mekhanizmov i detaley posledovatelnykh razdelitelnykh shtampov vyrubki listovoy zagotovki* [Graphic data base of typical universal spatial models of units, mechanisms and parts of progressive separating dies for blank cutting], application for registration no. 2011620251, 2011.

EXPLORATORY DEVELOPMENT OF THE STRUCTURES OF PROGRESSIVE SEPARATING DIES FOR SHEET STAMPING

© 2015

E.N. Pohekuev, candidate of technical sciences,

assistant professor of the department «Welding, materials pressure processing and related processes»

P.N. Shenberger, senior lecturer of the department «Welding, materials pressure processing and related processes»

Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: exploratory development of separating dies; mathematical die model; data bases and knowledge formalization.

Abstract: The article considers the process of exploratory development of separating dies for progressive sheet stamping. The authors carried out the structure-hierarchical description of progressive separating die constructions and presented the construction schematic structure of the progressive separating die developed on the basis of graph-schemes of units and mechanisms. The authors introduced the notion of multitude, which contains various units, attributes and variables determining the die design as the subsets. During the study, the authors created the conceptual schemes for each group of mechanisms determined by the structural links within the multitude of the structure attributes and displayed possible variants of the die design in the form of “decision” table within the binary space of structure elements, their attributes and values. The die mathematical model (DMM) allowing the development of the design according to the requirements and die parameters specified by design engineer was developed. It was offered to implement the procedure of searching for the variants of die structure on the basis of object-oriented programming methods. The authors implemented the idea of interacting objects (units, mechanisms, parts) as the examples of a specified class, where the classes form the inheritance hierarchy, and created the nested classes system for the units, mechanisms and parts with their properties inheritance.

The authors created an applied software product (in NX OPEN environment using C# programming language) for the exploratory development of the structure of die equipment using the materials implemented in database. The logic scheme of knowledge base allowed to select the schematic structure determining the variant of die design from the database. Based on the results of the study, the authors developed the procedures of exploratory development of progressive separating dies on the basis of the die mathematical model using the structure-logical and numerical variables.