

**МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА ИЗБОР НА ЗАТЯГАЩИ УСТРОЙСТВА
ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ЗА УСТАНОВЯВАНЕ
НА ЗАГОТОВКИТЕ ПРИ МЕХАНИЧНО ОБРАБОТВАНЕ**

**MODELING OF THE PROCESS SELECTION OF CLAMPING DEVICES IN
THE DESIGN OF FIXTURES FOR THE LOCATING OF WORKPIECES
DURING MACHINING**

Hristo METEV

Technical University of Gabrovo

Maria VLAHOVA

Technical University of Gabrovo

Abstract

The paper considers one of the most labor-intensive stages in the design of fixtures for locating of workpieces during machining related to the clamping devices, characterized by multivariate design solutions. This requires modeling the process of selecting clamps, which is the purpose of this work. Based on an analysis of the requirements for clamps, the criteria used in the evaluation of alternative combinations of power mechanisms and drive devices are revealed. The admissible alternative variants are formed on the basis of a basic set of variants of power mechanisms and drive devices, using the main selection criterion - the power factor of the power mechanism. Using the method for analysis of hierarchies, a model for selecting the parameters of the clamping devices has been developed. The development is part of a system for automated design of fixtures for locating of workpieces during machining.

Keywords: *locating of workpieces; fixtures; clamping devices; modeling; computer aided design.*

ВЪВЕДЕНИЕ

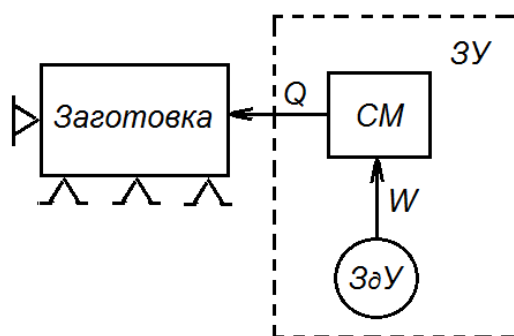
Развитието на системите за автоматизация на инженерния труд през последните години, наложи разработването на системи за автоматизирано проектиране и в частност на приспособления за установяване на заготовките.

Анализът на съществуващите методи за автоматизирано проектиране на приспособления [1,2] показва, че недостатъчно внимание е отделено на етапа, свързан с проектирането на затягащите устройства (ЗУ), явяващ се един от най-трудоемките етапи, свързан с многовариантност на проектите решения.

Една от основните задачи при проектиране на ЗУ е формализиране на изискванията към тях, формиране на множество допустими алтернативни варианти и оценяването им по избрани критерии. За решаването и е необходимо съставяне на методика за построяване на математически модел за избор на типа силов механизъм (СМ) в съчетание с определен тип задвижващо устрой-

ство (ЗдУ) (фиг. 1), което е цел на настоящата работа.

За създаване на математическия модел за избор на параметрите на ЗУ е необходимо да се разкрият критериите, с които ще се извършва оценка на алтернативните съчетания от СМ и ЗдУ. Силовите механизми са различни като типове и конструктивно многообразие, а всяка от конструкциите има различни силови показатели и конструктивни особености. Трудността при избора е в това, че различните СМ осигуряват изискванията към тях в различна степен.



Фиг. 1. *Схема на затягащо устройство*

ИЗЛОЖЕНИЕ

- *Критерии за избор на параметрите на затягащите устройства*

Въз основа на направена сравнителната характеристика на простите СМ е извършен анализ на изискванията към тях, както и на възможностите по осигуряване им и разкриване на критериите за реализиране на математическия модел за техния избор.

Основният критерий за избор е *коэффициента на усилване* на СМ, влияещ върху големината на необходимата сила на закрепване на заготовката Q.

Едно от изискванията към СМ, свързано с повишаване на производителността, е намаляване на времето за закрепване на заготовките, т.е. необходимо е да се използват СМ с най-малко спомагателно време. По този начин, *бързодействието* се явява друг критерий за избор на СМ.

Прилагането на самозадържащи СМ позволява да се предотврати освобождаване на заготовката в случай на непредвидена авария на ЗДУ, и от там избягване на нещастни случаи при обработването. Следователно за предпочитане е използването на самозадържащи СМ и *способността на механизма към самозадържане* е другия критерий при избора на СМ.

Когато производствените условия позволяват използване на различни типове ЗДУ е необходим критерий позволяващ рационален за зададените условия избор на ЗДУ. Стремещт е избор на ЗДУ с най-малка себестойност, но с такива силови характеристики които осигуряват необходимата сила на закрепване, зависеща от изходната сила на ЗДУ и от коэффициента на усилване на СМ.

Изходната сила, получвана от ЗДУ W, зависи от конструктивните му параметри (напр. диаметъра на цилиндъра или пневмокамерата). Трябва да се отчитат и габаритите на масата на машината, влияещи върху компоновката на ЗУ. По този начин, в качеството на критерии за избор на типа ЗДУ се отделят *себестойността* и *габаритите му*.

В резултат на проведения анализ критериите за избор на ЗУ са:

1. Коэффициент на усилване на СМ.

2. Бързодействие на СМ.
3. Осигуряване на самозадържане.
4. Габарити на ЗДУ.
5. Себестойност на ЗДУ.

- *Алтернативни варианти на затягащи устройства*

Най-често комбинираните ЗУ се състоят от два прости СМ. От четирите прости СМ, които трансформират изходната сила в затягаща – резбови (R), клинови (K_L), лостови (L) и ексцентрикови (E_X), практически могат да се направят девет различни комбинации, показани в табл. 1.

Табл. 1 Възможни комбинации на прости СМ

		СМ, източник на изходната сила W			
		R	K _L	L	E _X
СМ, източник на закрепваща сила Q	R	+	-	-	-
	K _L	+	+	+	+
	L	+	+	+	+
	E _X	-	-	-	-

По-широко приложение са намерили комбинациите: резбово устройство (най-често винт) – лост (R-L); ексцентрик – лост (E_X – L); резбово устройство – клин (R-K_L); ексцентрик – клин (E_X – K_L). Вижда се, че се срещат и съчетания на несамозадържащи се прости СМ от един вид, като лост – лост (L-L) и клин – клин (K_L- K_L).

Най-често използваните ЗДУ са: пневматични с пневмоцилиндър; пневматични с пневмокамера; хидравлични и пневмохидравлични.

Изходната сила W, която трябва да се приложи към СМ от ЗДУ за осигуряване на необходимата закрепваща сила Q, се определя по израза:

$$W = Q/i, \quad (1)$$

където i е коэффициент на усилване на СМ, като за различните СМ диапазонът на изменение на i е показан в табл. 2 [1].

Алтернативните варианти от съчетания СМ - ЗДУ се образуват отчитайки израз (1), като се има предвид, че механизираниите ЗДУ се прилагат не с всички СМ. Аналогично и ръчното задвижване може да се прилага не при всички СМ (табл. 3).

Табл.2 Препоръчан диапазон на коефициентът на усилване при различните силови механизми

	Силов механизъм	Условно обозначение	i
1	Резбови	R	5...150
2	Клинов	KL	0,75...4,2
3	Лостов	L	0,5...3
4	Ексцентриков	EX	7...20
5	Винтово-лостов	R-L	2,5...450
6	Клиново-лостов	KL-L	0,375...12,6
7	Ексцентриково-лостов	EX-L	3,5...60
8	Винтово-клинов	R-KL	3,75...630
9	Лостово-клинов	L-KL	0,375...12,6
10	Ексцентриково-клинов	EX-KL	5,25...84
11	Винт-винт	R-R	6,25...22 500
12	Лост-лост	L-L	0,25...9
13	Клин-клин	KL-KL	0,563...17,64

За всяко съчетание (табл. 3), използваният СМ определя в съответствие с израз (1) и определената закрепваща сила Q диапазона на изменение на изходната сила W. От друга страна в механизмираните ЗДУ, силата W зависи от редица параметри, основните от които са диаметъра D на буталото или мембраната. За всеки тип ЗДУ съществуват краен набор от препоръчвани (стандартизирани) стойности на D, поради което е необходимо за всяко съчетание „СМ – ЗДУ“ да се разглежда не диапазон, а краен набор от стойности на изходната сила W. Параметрите на СМ с ръчно задвижване се ограничават от минималната и максимална стойност на изходната сила W_{min} и W_{max} (препоръчва се W_{max} да е не повече от 150-200 N) (табл. 4) [1,2].

Табл.3 Допустими съчетания между силови механизми и задвижващи устройства

	Силов механизъм	Задвижване			
		Ръчно	Пневмо-	Хидро-	Пневмо хидро-
1	R	+	-	-	-
2	KL	-	+	+	+
3	L	-	+	+	+
4	EX	+	-	-	-
5	R-L	+	-	-	-
6	KL-L	-	+	+	+
7	EX-L	+	-	-	-
8	R-KL	+	-	-	-
9	L-KL	-	+	+	+
10	EX-KL	+	-	-	-
11	R-R	+	-	-	-
12	L-L	-	+	+	+
13	KL-KL	-	+	+	+

Табл.4 Закрепваща сила Q, N, в зависимост от препоръчаните диапазони на изменение на коефициента на усилване при ръчно закрепване и $W_{max} = 150$ N

СМ	R	EX	R-L	EX-L
i	5...150	7...20	2,5...45 0	3,5...6 0
Q	750...22 500	1050...3 000	375...67 500	525...90 00
СМ	R-KL	EX-KL	R-R	
i	3,75... ...630	5,25...8 4	6,25...2 2500	
Q	562,5... 94500	787,5...1 2600	937,5... 3375000	

На следващия етап наборът от алтернативни варианти се доуточнява в зависимост от ограниченията по габарити (или минимизицията им) и ограничението по себестойност, също зависещо от габаритите (най-вече от избраният диаметър).

Изходният набор от допустимите СМ може да се представи като множество

$$S_0 = \{S_k, k = 1, \dots, K_0\},$$

където $K_0 = 13$, като на всяко S_k съответства диапазон i_k от стойности на коефициента на усилване i (табл. 2).

Изходният набор от ЗДУ може да се представи като множество

$$Z_0 = \{Z_j, j = 1, \dots, J_0\},$$

където $J_0 = 5$, а на всяко механизмирано ЗДУ Z_j се задава набор от стойности на диаметъра на буталото или мембраната

$$D_j = \{D_{j,1}, D_{j,2}, \dots, D_{j,n}\}.$$

За пневмохидравличните ЗДУ се задава диаметъра на буталото на пневмоцилиндъра.

За всеки тип ЗДУ се задава набора от стойности на изходната сила W, съответстваща на набора от диаметри D_j

$$W_j = \{W_{j,1}, W_{j,2}, \dots, W_{j,n}\}.$$

Изборът на диаметъра D_j и дължината L_j на ЗДУ се извършва, отчитайки размерите на масата на машината.

• *Формиране на множеството допустими алтернативни варианти на затайващи устройства*

Множеството допустими алтернативни варианти ЗУ се формира на основа на базов набор алтернативни варианти от СМ и ЗДУ,

използвайки основният критерий за избор на СМ – коефициента на усилване и зависимост (1).

Въз основа на това процесът на формиране на множеството алтернативни варианти може да се представи като последователност от следните етапи:

1. От всички възможни варианти ЗДУ се изключват тези, които са неприложими в производствените условия за които е предназначено проектираното приспособление (напр. липсата в цеха на хидросистема изключва от разглеждане вариантите с хидравлични ЗДУ). По този начин на този етап изходното множество Z_0 се стеснява до подмножество Z .

2. Анализира се множеството W_j с цел намиране на такива стойности $W_{j,p}$, които могат да осигурят за дадения тип ЗДУ необходимите закрепващи сили Q . В резултат се формира начално множество от алтернативни варианти, съдържащи съчетания „СМ – ЗДУ – диаметър на буталото (мембраната)“ (при ръчно задвижване „СМ – РУ,,), параметрите на които удовлетворяват израз (1), и могат да се представят формално във вида

$$A = [S_k, Z_j, D_{j,p}],$$

$$S_k \in S; Z_j \in Z; W_{j,p} \cdot i_k^{\min} Q \leq W_{j,p} \cdot i_k^{\max},$$

където i_k^{\min} и i_k^{\max} са съответно долната и горната граница на коефициента на усилване на СМ.

Примерни варианти: <винтово - лостов СМ, хидравлично ЗДУ с бутало 30 mm> или <винтов СМ, ръчно закрепване>.

3. За всеки от алтернативните варианти в множество A въз основа на параметрите Z_j (тип ЗДУ) и $D_{j,p}$ (диаметри) се извършва оценка на възможните стойности на дължината на ЗДУ – $L_{j,p}$. Тази оценка е приблизителна и може да се представи като непрекъснато множество от възможни стойности на дължини, функцията на принадлежност към което допуска интерпретация на ниво характеризиращо се с определени стойности на дължината за даден диаметър.

От множеството A се отделя подмножество X от алтернативни варианти, за които се удовлетворяват ограниченията по габарити, т.е.

$$D_{j,p} < D_0; L_{j,p} < L_0.$$

Множеството X , което се получава на етап 3, съдържа допустимите алтернативни варианти ЗУ. Следващите стъпки от моделирането са свързани са с ранжиране на допустимите алтернативи в съответствие с нивото на предпочитане за условията при които се избира ЗУ.

• *Оценка на алтернативните варианти затаглящи устройства.*

В случая е удобно да се използва методът за анализ на йерархиите [3] или методът на разпределение на приоритетите [4]. При първият задачата за оценка на нивото на предпочитане на алтернативите се разглежда като йерархична съвкупност от подзадачи по отделните критерии, и процедурата се свежда до синтез на оценки на алтернативите по всеки от критериите и оценка на относителната важност на критериите. Оценките се измерват в безразмерна скала и имат смисъл на нива на относителна значимост на алтернативите за достигане на главната цел.

При методът за анализ на йерархиите се извършва декомпозиция на изходната задача на определен брой съставни, в резултат на което се построява йерархия, върхът на която е главната цел (избор на рационален вариант ЗУ), а междинните нива съдържат критериите за оценка на постигането и. На най-ниското ниво се намира множеството от алтернативни варианти ЗУ (фиг. 2).

Освен критериите C_1, C_2, C_3 и C_4 , йерархията може да съдържа и други, зависещи от условията при конкретната задача (напр. възможност за многоместна и многопозиционна обработка, сложност при сглобяване и др.) Параметърът λ характеризира степента на относителна тежест на даден критерий спрямо другите, като за оценката му съществуват методи, основен от които е методът на сравнения по двойки между отделните елементи [3].

Информацията за оценка на алтернативните варианти за всеки критерий се представя под формата на експертни оценки за относителното ниво на предпочитане на една алтернатива спрямо друга по смисъла на съответния критерий.

Оценката по критерият „Бързо-действие“ C_1 се определя от вида на използвания СМ (стойността на параметъра S_k), като алтернативите със същата стойност на посочения параметър са с еднакви оценки.

Ако $C_1(S_k)$ е оценката на СМ от типа S_k получена по метода на сравнения по двойки, в съответствие с принципите на метода за анализ на йерархиите $\sum_{k=1}^K C_1(S_k) = 1$. Тогава всички алтернативи $x \in X$, свързани със СМ от типа S_k , ще имат относителна оценка

$$C_1(X) = \frac{C_1(S_k)}{\sum_{k=1}^K n_k \cdot C_1(S_k)}, \quad (2)$$

където n_k е брой на вариантите в множеството X , имащи СМ от типа S_k .

Оценката по критерият „Само-задържане“ C_2 , също зависи от параметъра S_k , характеризиращ използвания тип СМ. Множеството алтернативни варианти X се разбива на три подмножества

$$X = X_S \cup X_{ps} \cup X_{ns},$$

където X_S са алтернативните варианти, осигуряващи самозадържане; X_{ps} - осигуряващи частично самозадържане; X_{ns} - неосигуряващи самозадържане.

Установяват се относителните приоритети на наличието и липсата на самозадържане - $C_2(X_S)$, $C_2(X_{ps})$ и $C_2(X_{ns})$ и оценките на алтернативните варианти X_S , X_{ps} и X_{ns} :

$$C_2(X) = \frac{C_2(X_s)}{n_s C_2(X_s) + n_{ps} C_2(X_{ps}) + n_{ns} C_2(X_{ns})}, \quad (3)$$

$$C_2(X) = \frac{C_2(X_{ps})}{n_s C_2(X_s) + n_{ps} C_2(X_{ps}) + n_{ns} C_2(X_{ns})}, \quad (4)$$

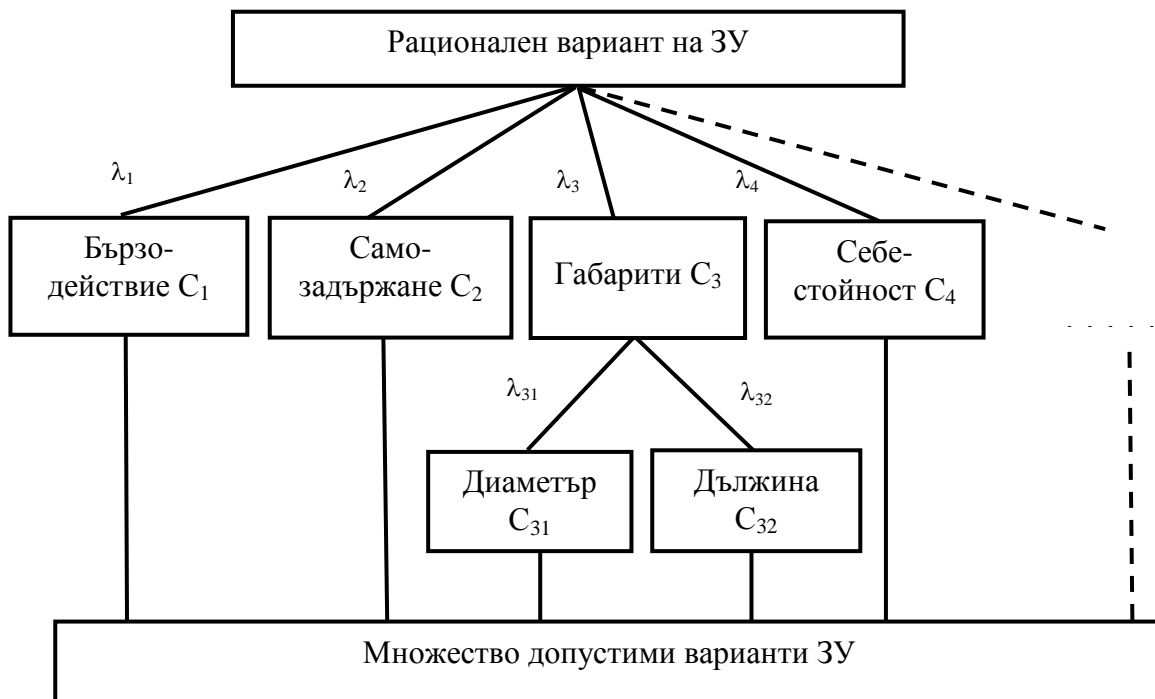
$$C_2(X) = \frac{C_2(X_{ns})}{n_s C_2(X_s) + n_{ps} C_2(X_{ps}) + n_{ns} C_2(X_{ns})}, \quad (5)$$

където n_s е брой на вариантите, осигуряващи самозадържане; n_{ps} - осигуряващи частично самозадържане; n_{ns} - неосигуряващи самозадържане.

Оценката по „Габарити“ се извършва с критериите $C_{3,1}$ и $C_{3,2}$, свързани с нивото на предпочитане на вариантите по отношение на диаметъра на буталото (диафрагмата) и дължината на ЗДУ. Въвеждат се множества $\tilde{C}_{3,1}$ и $\tilde{C}_{3,2}$, характеризиращи предпочитаните стойности на тези параметри. Основните параметри на функциите на принадлежност в тези множества се избират, като се отчете какво е вградено в концепцията за предпочитане в условията на задачата за избор на ЗДУ. В повечето случаи се поставя изискването за най-малки размери, съответстващо на монотонно нарастване на функциите на принадлежност в интервалите от 0 до D_0 или от 0 до L_0 .

Оценката по критерият „Себе-стойност“ C_4 се извършва при положение, че информацията за себестойността на ЗДУ дава възможност за сравнение по двойки на различни типове ЗДУ с еднакъв диаметър на буталото (диафрагмата), а също така ЗДУ от един тип при различни диаметри.

Ако $C_4(Z_j)$ са относителните приоритети на различните типове ЗДУ ($Z_j \in Z$) при еднакви диаметри, а $C_4(D_{j,p})$ - относителните приоритети на ЗДУ от един тип Z_j при различни диаметри $D_{j,p}$, то нивото на предпочитане на алтернативните варианти се определя като произведение от тези величини, разделено на сумата от тези произведения за всички варианти.



Фиг. 2. Йерархична структура на критериите за оценка на алтернативните варианти ЗУ

$$C_4(X) = \frac{C_4(Z_j) \cdot C_4(D_{j,p})}{\sum_{s,r} C_4(Z_s) \cdot C_4(D_{s,r})}, \quad (6)$$

Резултатът от йерархичният синтез са обобщени оценки на нивото на предпочитание на вариантите $x \in X$

$$C(X) = \sum_j \lambda_j C_j(X). \quad (7)$$

Стойностите на $C(x)$ подреждат алтернативните варианти според степента на предпочитание в контекста на задачата за избор на оптимални параметри на ЗУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разкрити са критериите за избор на закрепващи устройства, необходими при разработването на математичен модел за техният избор.

2. Разработен е модел за избор на параметрите на затягащите устройства, основан на методът за анализ на йерархиите.

3. Разработката се явява част от системата за автоматизирано проектиране на приспособления за установяване на заготовките при механично обработване.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ilickij V., B. Zotina, Automated selection of elementary and combined clamping devices in machine fixtures, Bryansk, BGTU, 2002.
- [2] Metev H., Technological equipment (fixtures for locating of workpieces), UP "V. Aprilov", Gabrovo, 2013.
- [3] Saati T., Decision making. Method for analysis of hierarchies, Moscow, Radio and communication, 1993.
- [4] Angelova Y., K. Krumov, T. Kuzmanov, Evaluation with allocation of priorities of the laser marking method, Ecology and health, House of science and technique, Plovdiv, 2016, p. 489-494.