

УДК 685.34.054

А.К. КАРМАЛІТА, Д.М.ЯКИМЧУК  
Хмельницький національний університет**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО  
ВИРУБУВАЛЬНОГО ПРЕСА КОНСОЛЬНОГО ТИПУ**

*Авторами проведено аналіз характеру дії сил, що виникають під час виконання процесу вирубування в системі пресове обладнання-різак-матеріал-плита на основі якого побудовано математичну модель електрогідрравлічного преса консольного типу*

*The authors are conducted the analysis character of action of forces which arise up during implementation of process of felling in the system press equipment-cutter-material-flag on the basis which is built the mathematical model of electro-hydraulic press of console type.*

Ключові слова: електрогідрравлічний прес, пресове обладнання, математична модель, вирубування.

**Постановка проблеми.** На сьогодні актуальним завдання є підвищення якості виконання різних операцій і покращення енергоефективності на вже існуючому обладнанні без внесення суттєвих змін в його конструкцію. Однак, таке покращення вимагає досконалого знання операції і обладнання, а також наявності резервів модернізації.

При дослідженні різного обладнання важливим аспектом постає розробка математичних моделей, які з високою достовірністю описують всі перехідні процеси, що відбуваються під час вирубування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Аналіз умов роботи електрогідрравлічних пресів консольного типу показав, що під час вирубування елементи їх конструкцій сприймають значні навантаження, що призводить до погіршення якості вирубування, передчасного виходу з ладу інструмента і виникнення різних несправностей [3– 7]. В зв'язку з цим виникає необхідність розробки математичної моделі, яка враховувала б зазначені моменти.

**Формулювання мети**

Для врахування всіх сил, що виникають в системі “пресове обладнання– різак– матеріал– плита”, а також з метою мінімізації потужності електродвигуна потрібно розробити математичну модель електрогідрравлічного преса консольного типу під час виконання технологічної операції вирубування з врахуванням системи “електродвигун– маховик– насос”.

**Виклад основного матеріалу**

Основним виконавчим механізмом електрогідрравлічного вирубувального преса консольного типу є скалка з ударником. Моделювання процесу руху скалки з ударником є досить важливим завданням. Потрібно проаналізувати сили, які діють на прес під час виконання операції вирубування.

Нижче проаналізовано сили, що виникають в системі пресове обладнання-різак-матеріал-плита під час виконання технологічної операції вирубування (рис. 1).

Усі сили умовно поділено на дві групи. До першої групи віднесено сили, які забезпечують рух скалки з ударником під час виконання операції вирубування. До другої групи віднесено сили, які перешкоджають руху ударника.

Рушійними силами є сила тиску масла на дно гідروциліндра скалки  $F_p$ , а також вага скалки з ударником та інших, пов'язаних з ними рухомих мас  $G$ .

До сил, які перешкоджають руху ударника належать: сила опору повітря  $F_{on}$ , яке закачується під тиском через ніпель у порожнину скалки над поршнем і призначене для підйому ударника після завершення технологічної операції вирубування; сили тертя  $F_{тр}$ , які виникають в направляючих скалки та ущільненнях поршня.

Сила інерції  $F_{ін}$  на ділянці руху ударника до контакту з різакком до точки  $x_2$  є силою опору і має від'ємне значення. Після контакту з різакком, коли починається виконання технологічної операції вирубування, сила  $F_{ін}$  стає рушійною силою до точки  $x_3$ .

Сила вирубування  $F_{вир}$ , яка виникає під час виконання даної технологічної операції, є корисною силою опору [1].

Під час складання математичної моделі процесу вирубування на електрогідрравлічному пресовому обладнанні було прийнято наступні припущення: насос за одиницю часу забезпечує постійну продуктивність; температура і в'язкість рідини в гідросистемі не змінюються протягом всього часу роботи преса; температура в порожнині над скалкою постійна.

Враховуючи вплив усіх проаналізованих вище сил, які діють на прес, запишемо умову виконання технологічної операції вирубування наступним чином:

$$F_p \geq -F_{in} + F_{on} + F_{mp} + F_{вир} - G. \quad (1)$$

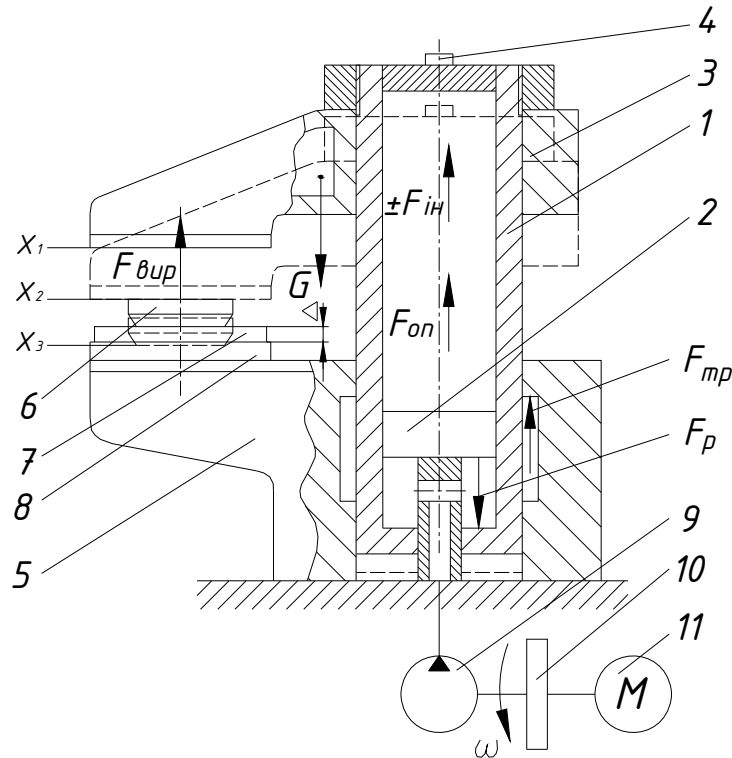


Рис. 1. Схема дії сил, що виникають в електрогідравлічному пресовому обладнанні під час виконання технологічної операції вирубання: 1 – скалка; 2 – поршень; 3 – ударник; 4 – повітряний клапан; 5 – станина преса; 6 – різак; 7 – матеріал; 8 – вирубувальна плита; 9 – насос; 10 – маховик; 11 – електродвигун;  $\Delta$  – товщина матеріалу;  $X_1$  – координата початку руху ударника;  $X_2$  – координата початку вирубання;  $X_3$  – координата завершення вирубання;  $\omega$  – кутова швидкість маховика;  $F_{вир}$  – сила вирубання;  $G$  – вага ударника;  $F_{in}$  – сила інерції;  $F_{on}$  – сила опору повітря;  $F_p$  – рушійна сила;  $F_{mp}$  – сили тертя

Сила тертя  $F_{mp}$  враховує опір від тертя скалки об ущільнення поршня, а також об направляючу станини.

Запишемо силу тертя  $F_{mp}$  наступним чином [2]:

$$F_{mp} = \sum F_{mp} = F_{mp1} + F_{mp2}, \quad (2)$$

де  $F_{mp1}$  – сила тертя скалки об ущільнення поршня;

$F_{mp2}$  – сила тертя об направляючу станини.

Тоді робота від сил тертя отримає вигляд:

$$A_{mp} = \int_0^{x_{px}} (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot dx, \quad (3)$$

де  $x_{px}$  – хід ударника.

Робота сил ваги рухомих частин пресового обладнання визначається за відомою залежністю [2]:

$$A_{ваг} = \int_0^{x_{px}} m \cdot g \cdot dx, \quad (4)$$

де  $m$  – маса рухомих частин електрогідравлічного пресового обладнання;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

Робота сил інерції знаходиться наступним чином [2, 3]:

$$A_{in} = \int_0^{x_{px}} m_n \cdot a \cdot dx, \quad (5)$$

де  $m_n$  – маса деталей, які переміщуються разом з ударником, приведена до робочого циліндра (циліндра скалки);

$a$  – прискорення деталей, що переміщуються разом з ударником.

Для визначення сили опору повітря  $F_{on}$  розглянемо тиск повітря в порожнині скалки над поршнем і умовно поділимо на два можливих етапи: стан до моменту початку руху ударника гідроциліндра скалки ( $px_1$ ); рух ударника гідроциліндра скалки після моменту його контакту з різаком аж до завершення повного прорубування матеріалу ( $px_2$ ).

За законом Бойля-Маріотта [2] при незмінній температурі  $t$  і масі  $m$  повітря можна записати наступне рівняння (рис. 2.):

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2, \quad (6)$$

де  $p_1, V_1$  – тиск та початковий об'єм стисненого повітря ( $px_1$ );

$p_2, V_2$  – тиск та об'єм стисненого повітря після вирубання ( $px_2$ ).

Виразимо з рівняння (6) тиск робочого ходу гідроциліндра скалки  $p_2$ :

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2}. \quad (7)$$

Враховуючи рівняння (6) і (7), запишемо вираз для визначення сили опору повітря під час виконання робочого ходу:

$$F_{on} = \frac{p_1 \cdot H_1 \cdot S}{H_2}, \quad (8)$$

де  $S$  – площа поршня гідроциліндра скалки.

Остаточний вираз для визначення роботи сили опору повітря отримає вигляд:

$$A_{on} = \int_0^{x_{px}} \frac{p_1 \cdot H_1 \cdot S}{H_2} \cdot dx. \quad (9)$$

Для побудови математичної моделі потрібно розглянути повну роботу привода преса. Для цього необхідно врахувати роботу, яку виконує електродвигун і маховик.

Повна робота привода в процесі виконання технологічної операції вирубання має вигляд [4,5]:

$$A_n = A_m + A_{дв}, \quad (10)$$

де  $A_n$  – повна робота привода;

$A_m$  – робота, яку виконує маховик;

$A_{дв}$  – робота, яку виконує електродвигун.

Роботу, яку виконує маховик, можна записати наступним чином [6]:

$$A_m = \frac{1}{2} \cdot J(\omega_1^2 - \omega_2^2), \quad (11)$$

де  $J$  – момент інерції обертових мас привода;

$\omega_1$  – кутова швидкість до початку робочого циклу;

$\omega_2$  – кутова швидкість в кінці робочого ходу.

Роботу, яку виконує електродвигун, запишемо наступним чином [4]:

$$A_{дв} = \int_0^{\varphi_1} M \cdot d\varphi, \quad (12)$$

де  $M$  – обертовий момент електродвигуна;

$\varphi$  – кут повороту вала електродвигуна.

Підставивши рівняння (11) і (12) в рівняння (10) отримаємо остаточний вираз для визначення повної

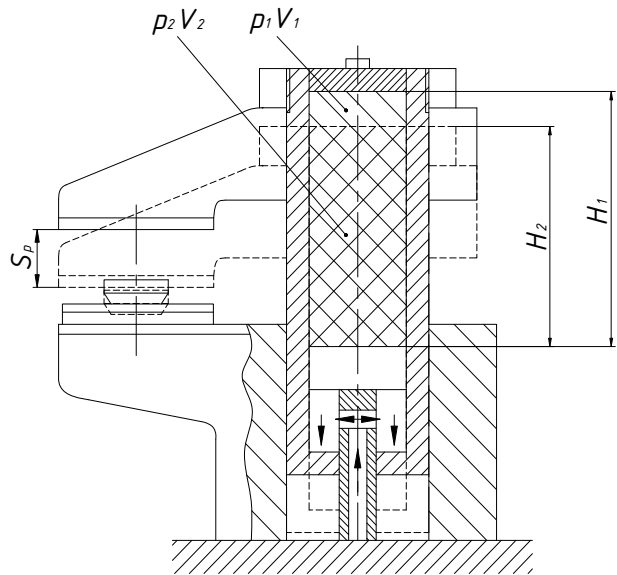


Рис. 2. Схема робочого ходу вирубального преса:  $p_1, V_1$  та  $p_2, V_2$  – тиск та об'єм стисненого повітря відповідно на першому та другому етапах,  $S_p$  – робочий хід преса,  $H_1$  і  $H_2$  – координати початку та завершення процесу вирубання відповідно

роботи приводу:

$$A_n = \frac{1}{2} \cdot J(\omega_1^2 - \omega_2^2) + \int_0^{\varphi_1} M \cdot d\varphi. \quad (13)$$

Для врахування усіх динамічних навантажень, які виникають в системі “пресове обладнання– різак– матеріал– плита” потрібно також враховувати роботу преса на вирубування. Тому рівняння (10) отримає вигляд:

$$A_{вир} = A_M + A_{дв}, \quad (14)$$

де  $A_{вир}$  – робота преса на вирубування.

Корисна робота, яка витрачається пресом на вирубування визначається за відомою залежністю [7]:

$$A_{вир} = \int_0^{x_{px}} P \cdot dx, \quad (15)$$

де  $P$  – зусилля, яке створює прес.

Зусилля, яке створює прес,  $P$  є рушійною силою  $F_p$ , що виникає в гідроциліндрі скалки. Рушійна сила, яка створюється тиском масла в порожнині скалки розширює її і опускає скалку разом з ударником вниз. Вона повинна бути такою, щоб подолати такі сили: вирубування  $F_{вир}$ , опору повітря  $F_{он}$ , інерції  $F_{ин}$  та тертя  $F_{тер}$ .

Відомо [7,8], що рушійна сила  $F_p$ , яка створюється тиском масла на дно гідроциліндра скалки вирубувального преса, визначається за наступною залежністю:

$$F_p = k_g \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{св}^2 - d_{ум}^2)}{4}, \quad (16)$$

де  $k_g$  – узагальнений коефіцієнт витрат ( $k_g = 0,5-0,9$ );

$p$  – тиск, що діє на дно гідроциліндра скалки;

$d_{св}$  – внутрішній діаметр гідроциліндра скалки;

$d_{ум}$  – діаметр штока.

Як відомо, вирубування під час робочого ходу здійснюється одночасною дією кінетичної енергії ударника і енергією тиску масла [9]:

$$A_{вир} = E + s \cdot \int_0^{x_{px}} p_u \cdot dx, \quad (17)$$

де  $E$  – кінетична енергія ударника;

$s$  – площа поршня робочого циліндра;

$p_u$  – тиск масла в робочому циліндрі.

Кінетична енергія ударника  $E$  визначається за наступною залежністю:

$$E = \frac{m_y \cdot V^2}{2}, \quad (18)$$

де  $m_y$  – маса ударника;

$V$  – швидкість руху ударника в момент початку вирубування.

З рівняння (17) видно, що вираз енергії тиску масла  $E$  – рушійна сила  $F_p$ . Тоді запишемо рівняння (17) з врахуванням (16) і (18). Одержимо вираз для визначення корисної роботи вирубування:

$$A_{вир} = \frac{m_y \cdot V^2}{2} + \int_0^{x_{px}} k_g \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{св}^2 - d_{ум}^2)}{4}, \quad (19)$$

Існує рівняння, для визначення сили вирубування  $F_{вир}$  залежно від технологічних параметрів процесу вирубування та динамічних процесів, що виникають в системі “різак– матеріал– плита” [10]:

$$F_{вир} = k_v \cdot L \cdot [P_{он} \cdot k_3 + 2 \cdot t \cdot \sigma_{см}(f + tg\beta)], \quad (20)$$

де  $k_v$  – коефіцієнт динамічності

$L$  – периметр деталі, що вирубується;

$P_{он}$  – сила пружного опору матеріалу, яка залежить від пружних властивостей матеріалу, радіуса

заокруглення вістря леза різачка, величини зношення різачка, а також нерівностей його поверхні;

$k_3$  – коефіцієнт, який враховує величину зношення вістря леза різачка в процесі експлуатації;

$t$  – глибина занурення різачка в матеріал;

$\sigma_{cm}$  – розподілене навантаження на грані леза різачка, яке дорівнює тимчасовому опору матеріалу на стискання;

$f$  – коефіцієнт тертя між вістрям леза різачка і матеріалом;

$\beta$  – кут загострення леза різачка.

Підставимо рівняння (7), (8), (9), (20) в рівняння (1) враховуючи (14). Отримаємо ще один вираз для визначення роботи вирубування з врахуванням всіх сил, що виникають в системі "пресове обладнання–різач–матеріал–плита":

$$A_{вир} = \int_0^{x_{px}} k_v \cdot L \cdot [P_{on} \cdot k_3 + 2 \cdot t \cdot \sigma_{cm} (f + tg\beta)] - \int_0^{x_{px}} m_n \cdot a \cdot dx + \int_0^{x_{px}} F_{on} \cdot dx + \int_0^{x_{px}} (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot dx - \int_0^{x_{px}} m \cdot g \cdot dx \quad (21)$$

Під час виконання технологічної операції вирубування потрібно враховувати не тільки кінетичну енергію маховика, енергію тиску масла, роботу маховика і електродвигуна, але й обидва отриманих вирази, для визначення роботи преса на вирубування. Тому, враховуючи всі рівності, описані вище, можна записати наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \cdot J(\omega_1^2 - \omega_2^2) + \int_0^{\varphi_1} M \cdot d\varphi = \frac{m_y \cdot V^2}{2} + \int_0^{x_{px}} k_e \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{cv}^2 - d_{um}^2)}{4}; \\ \frac{1}{2} \cdot J(\omega_1^2 - \omega_2^2) + \int_0^{\varphi_1} M \cdot d\varphi = \int_0^{x_{px}} k_v \cdot L \cdot [P_{on} \cdot k_3 + 2 \cdot t \cdot \sigma_{cm} (f + tg\beta)] - \\ \int_0^{x_{px}} m_n \cdot a \cdot dx + \int_0^{x_{px}} F_{on} \cdot dx + \int_0^{x_{px}} (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot dx - \int_0^{x_{px}} m \cdot g \cdot dx \end{cases} \quad (22)$$

Система рівнянь (22) є математичною моделлю технологічного процесу вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні, що враховує властивості матеріалу, параметри інструмента, швидкість вирубування, енергетичні та силові показники електрогідравлічного пресового обладнання, а також дозволяє аналітично описати процеси, які відбуваються в системі "пресове обладнання–різач–матеріал–плита".

Проінтегрувавши систему рівнянь (22), отримаємо кінцеву математичну модель електрогідравлічного вирубувального преса консольного типу:

$$\begin{cases} \frac{J}{2} \cdot (\omega_1^2 - \omega_2^2) + M \cdot \varphi_1 = \frac{m_y \cdot V^2}{2} + k_e \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{cv}^2 - d_{um}^2)}{4} \cdot x_{px}; \\ \frac{J}{2} \cdot (\omega_1^2 - \omega_2^2) + M \cdot \varphi_1 = k_v \cdot L \cdot [P_{on} \cdot k_3 + 2 \cdot t \cdot \sigma_{cm} (f + tg\beta)] \cdot x_{px} - \\ - m_n \cdot a \cdot x_{px} + F_{on} \cdot x_{px} + (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot x_{px} - m \cdot g \cdot x_{px} \end{cases} \quad (23)$$

Система рівнянь (23) розв'язується при відомих величинах факторів, які визначають конструктивні та енергетичні параметри пресового обладнання, технологічні параметри різачка і матеріалу, швидкість вирубування.

**Висновки:** розроблено математичну модель технологічної операції вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні консольного типу з врахуванням системи "електродвигун–маховик–насос", яка враховує властивості матеріалу, параметри інструмента, швидкість вирубування, енергетичні та силові показники вирубувальних пресів, а також дозволяє аналітично описати процеси, які відбуваються в системі "пресове обладнання–різач–матеріал–плита" з можливістю мінімізації потужності двигуна.

## Література

1. Поліщук О. С. Підвищення ефективності застосування пресового обладнання в легкій

промисловості: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.10 «Машини легкої промисловості» / О. С. Поліщук. – К.: КНУТД, 2001. – 155 с.

2. Справочник по физике / [под ред. Б. М. Яворского и А. А. Детлафа]. – М.: Наука, 1964. – 847 с.

3. Колосков В. И. Оборудование и механизация обувного производства: [учебник] / В. И. Колосков, Б. П. Колясин. – М.: Легкая индустрия, 1979. – 320 с.

4. Харизоменов И. В. Электрооборудование кузнечно-штамповочных машин: [учебник для вузов] / Харизоменов И. В. – М.: Высшая школа, 1970. – 185 с.

5. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование / Живов Л. И., Овчинников А. Г., Складчиков Е. Н. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с.

6. Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование: [учебник для студ. высш. учеб. заведений] / Бочаров Ю. А. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 480 с.

7. Добринский Н.С. Гидравлический привод прессов / Добринский Н. С. – М.: Машиностроение, 1975. – 222 с.

8. Кармаліта А. К. Методика математичного моделювання технології та механізмів легкої промисловості: [навч. посібник] / Кармаліта А. К., Піскорський Г. А., Скиба М. Є. – К.: ІЗМН, 1997. – 184 с.

9. Проектирование и расчет машин обувных и швейных производств: учеб. пособие для вузов / [Комиссаров А. И., Жуков В. В., Никифоров В. М., Сторожев В. В.]. – М.: Машиностроение, 1978. – 431 с.

10. Прибега Д. В. Удосконалення технології розкroювання та перфорування деталей верху взуття: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.19.06 «Технологія взуттєвих та шкіряних виробів» / Д. В. Прибега. – Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2006. – 155 с.

Надійшла 5.11.2010 р.

УДК 621.785: 620.178

Н.С. СВИРНЕВСКИЙ, Т.К. СКРИПНИК

Хмельницкий национальный университет

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПРИ ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

*Изложена методика подачи материала по постановке задачи геометрического моделирования объектов с использованием теории параметризации студентам направления компьютерных наук.*

*The technique of presenting the material on the formulation of the problem of geometric modeling of the objects using the theory parameterization areas of computer science students*

Ключевые слова: теория параметризации, геометрическое моделирование.

**Постановка проблемы.** Постановка задачи геометрического моделирования требует описания данных на входе и выходе, а также алгоритма (рис. 1).

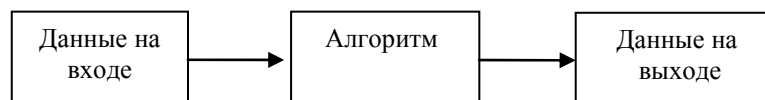


Рис. 1. Алгоритмическая обработка данных

Постановка задачи, по сути, является и ее решением и доказать корректность постановки задачи можно путем фактического описания процесса. Описание процесса может быть весьма сложным и не всегда завершается успешно – решение в первоначальной постановке может отсутствовать или оказаться неоднозначным.

Элементы теории параметризации позволяют осуществить постановку задачи геометрического моделирования еще до того, когда известен алгоритм ее решения. При этом методы теории параметризации позволяет корректно выбирать данные на входе и выходе, а также оценивать однозначность или многозначность решения задачи еще до описания алгоритма.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В ряде публикаций, например [1, 2], описаны теоретические основы решения различных проблем с помощью теории параметризации. С развитием информационных технологий элементы теории параметризации находят свое дальнейшее применение.

**Формулирование цели статьи.** Специфика использования элементов теории параметризации при постановке задачи компьютерного моделирования требует изложения материала с учетом алгоритмического и объектно-ориентированного подхода к решению задач.

**Изложение основного материала.** Параметры – независимые числовые величины, которые позволяют выделить геометрический объект из  $n$ -параметрического множества объектов в заданной системе параметризации (рис. 2).