

І.А. Соловійова, Ю.М. Николаєнко, М.Є. Алпаєв

## ПРИКЛАД ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРТНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОЦІНКИ МАРШРУТІВ ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДНОДЕФОРМОВАНИХ ТРУБ

*Анотація.* Розроблена експертна система оцінки та вибору оптимального маршруту виробництва холоднодеформованих труб. Вона враховує декілька критеріїв та містить програмне забезпечення для частних критеріїв розрахунку, для статистичної обробки анкет експертів та вибору варіанта маршруту.

*Ключові слова:* експертна система, багатокритеріальна оптимізація, критерії, параметри деформації, математична модель, заготовка, труба, статистичний аналіз.

**Вступ.** Виробництво холоднодеформованих труб одних і тих же видів та розмірів призводить до використання різних технологічних схем їх виготовлення, використання заготовки різних розмірів за різне число циклів деформації – маршрутів. Під час вибору оптимального варіанта маршруту виробництва холоднодеформованих труб необхідно використовувати всі особливості деформування на проходах маршруту та чинники, які впливають на якість продукту, час його виготовлення, трудо- та енергозатрати, продуктивність задіяного обладнання [1–3].

**Мета роботи** – аналіз чинників, що впливають на технологічні та якісні показники маршруту виробництва холоднодеформованих труб, розробка методики розрахунку критеріїв оцінки маршрутів та програмного забезпечення експертної оцінки маршрутів виробництва труб на станах холодної прокатки та волочіння труб при використанні розроблених математичних моделей процесів деформації та відповідних комп'ютерних програм [1, 3].

У сучасних складних умовах динамічних змін зовнішнього середовища питання ефективності методів виробництва і управління набуває

важливого значення. Істотним фактором підвищення наукового рівня виробництва є застосування математичних методів і моделей при підготовці управлінських та технічних рішень. В деяких випадках дуже важко розробити адекватну математичну модель. Тому для прийняття обґрунтованих рішень в будь якій галузі діяльності потрібно використовувати знання, досвід, а подеколи – інтуїцію фахівців, експертів. Науково обґрунтовані експертні висновки дають змогу суттєво знизити ризик прийняття неефективних рішень.

Рішення задачі формування технологічного процесу має багато варіантів, тому що виробництво труб одного сортаменту можливо за різними технологічними схемами, а в рамках кожної технологічної схеми можливі різні варіанти маршрутів виробництва.

На практиці вибір технологічної схеми в діючих цехах здійснюється на основі сформованих традицій, досвіду і ряду виробничих факторів, що не завжди відповідає зазначеним критеріям. Однак колективний досвід та знання фахівців важливо використовувати, що можливо при створенні відповідних фахових експертних систем.

При створенні експертної системи оцінки маршрутів виробництва холоднодеформованих труб виникає питання розробки математичного та програмного забезпечення конструювання альтернативних маршрутів, тобто технології виробництва та вирішення наступних завдань: розробки математичних моделей параметрів холодної прокатки і волочіння, конструювання технологічних карт виробництва, визначення продуктивності обладнання.

Питання моделювання, оптимізації трубного виробництва, розробки деяких параметрів обладнання і діючих технологій відображені в роботах [1-4] та ін., але не вирішують питання залучення експертів та прийняття рішень.

Процес прийняття рішень доцільно розглядати як систему, що складається з певного набору типових підсистем (етапів) та їх елементів (процедур, дій, операцій), що взаємодіють між собою, число і склад яких може варіюватися залежно від умов і розв'язуваної задачі. Вхідним елементом системи прийняття рішень є інформація про проблемну область

(вихідна інформація), вихідним – множина допустимих (оптимальних) рішень. Тобто вирішується задача багатокритеріальної оптимізації.

Однією з причин, що призводить до багатокритеріальності, є множинність технологічних вимог, які пред'являються до характеристик проектованого маршруту. Наступною причиною багатокритеріальності є необхідність забезпечення оптимальності проектованого маршруту при різних умовах його функціонування.

При постановці завдання оптимального проектування одним з основних питань є вибір критерію оптимальності  $Q_i(\bar{x})$ . З одного боку, критерій повинен мати конкретний фізичний зміст, а з іншого – від нього вимагається, щоб він якомога повніше характеризував проєктований маршрут.

Метод згортання критеріїв є найбільш поширеним методом вирішення багатокритеріальних завдань, що враховує відносну важливість частних критеріїв оптимальності за допомогою побудови скалярної функції  $F$ , яка є узагальненим критерієм (лінійна згортка).

За основу розробки експертної системи оцінки альтернативних маршрутів виробництва труб був обраний метод «Дельфі».

Для визначення частних критеріїв, які впливають на вибір маршруту виробництва, проаналізовані чинники, які впливають на технологічні, якісні, економічні параметри оцінки маршрутів.

До найбільш важливих частних критеріїв, які відображаються чисельними показниками, відносяться: продуктивність основного обладнання; число проходів; коефіцієнт металопрокату; зміни вихідної поперечної різностінності; витрати машинного часу основного обладнання; витрати металу.

Як правило, не буває маршрутів, що відповідають усім перерахованим критеріям. Тому важливість частного критерію треба вибирати з урахуванням конкретних особливостей виробництва. Наприклад, при виготовленні труб з дорогих сплавів найбільш важливим критерієм є мінімум витрати металу, а при виробництві труб загального призначення важливо домогтися мінімуму витрат машинного часу основного облад-

нання і мінімуму витрат по переділу. Важливість та вага критерію – функція експерта.

Експертна система складається з програмного забезпечення, розрахунку показників частних критеріїв оцінки різних проходів у маршруті, блоку вибору експертів та визначення їх коефіцієнтів важливості і блоку реалізації методу Дельфі для оцінки технологічних схем.

Загальний інтерфейс програми представлений на рисунку 1.

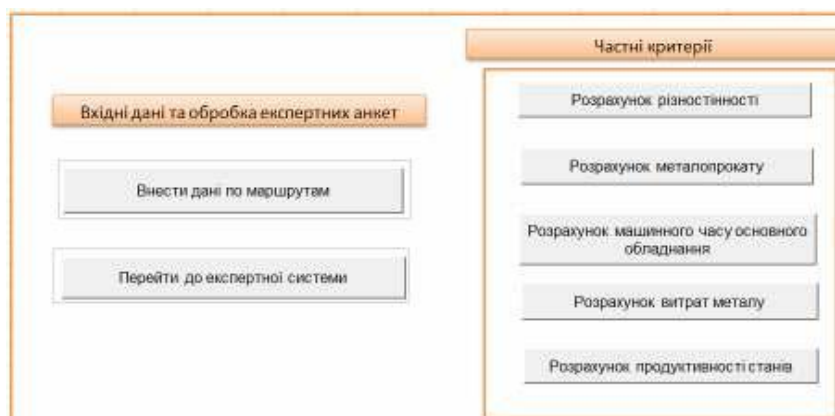


Рисунок 1 – Загальний інтерфейс програми

Для заповнення вхідної інформації, тобто маршрутів виробництва скористалися спеціалізованою програмою, яка розроблена на кафедрі технологічного проектування НМетАУ [3]. Програма створена для проектування маршрутів широкого сортаменту за допомогою графоаналітичного методу [1]. Вибір обладнання, марки сталі та інших параметрів може змінювати користувач. Розроблені маршрути представлені на рисунку 2.

Дані по заданим маршрутам							
№	№ ГПТ	Число проходу	Діаметр, D мм	Товщина стіни, S мм	Тип стану	Продуктивність, м/год	Коефіцієнт витрати, μ
2		0	70.0	6.0			
4	1	1	43.0	3.8	ЛПТ-05	180.5	2.58
5		2	20.0	1.5	ЛПТ-12	192.0	5.37
6		0	83.0	6.5			
7	2	1	50.0	3.8	ЛПТ-15	222.2	2.83
8		2	27.0	1.4	ЛПТ-21	189.4	4.90
9		3	20.0	1.5	60	1410.8	1.29
10		0	76.0	6.0			
11	3	1	45.0	4.5	ЛПТ-16	209.8	2.25
12		2	23.0	2.1	ЛПТ-32	185.9	4.25
13		3	20.0	1.5	60	1536.8	1.58
14		0	76.0	7.0			
15	4	1	50.0	5.0	ЛПТ-08	172.9	2.16
16		2	26.0	2.7	ЛПТ-12	181.4	3.58
17		3	23.0	1.9	ЛПТ-18-20	92.6	1.57
18		4	20.0	1.5	ЛПТ-18-20	85.0	1.44
19							
20							

Рисунок 2 – Вихідні дані для вибору оптимального маршруту

За допомогою алгоритмів [1-3], розроблені програми розрахунків частних критеріїв, перелік яких представлений на рисунку 1.

Наприклад, фрагмент модуля програми визначення продуктивності обладнання представлений на рисунку 3, а модуля визначення витратного коефіцієнту металу при прокатці (волочинні) – на рисунку 4.

ПРОДУКТИВНІСТЬ СТАНІВ	
Продуктивність стану ХПТ-32:	
Перейти до початкової сторінки	
M <sub>m</sub> =	40
n =	90
Довжина заготовки, м =	4
Коеф. витяжки (μ) =	4,25 лист даних
Час пауз (T <sub>пауз.</sub> ) =	45,8
Продуктивність стану на данному проході:	
Π =	185,9

Тип стану:	ХПТР 4-15	ХПТР 15-30	ХПТР 30-60
M =	8	9,2	9
n =	120	120	90
T <sub>пауз.</sub> =	40	40	50
Коеф. витяжки (μ) =	1,57	лист даних	
Продуктивність стану на данному проході:			
Π =	81,7	92,6	68,6
Продуктивність стану безоправочного волочиння			
k <sub>1</sub> =	1		T <sub>в</sub> , сек =
k <sub>2</sub> =	0,85		V <sub>ср.</sub> , м/мин =
Коеф. витяжки (μ) =	1,29	лист даних	
Довжина заготовки l <sub>0</sub> =	4,00		
T <sub>маш.</sub> =	6,192		
Продуктивність стану на данному проході:			
Π =	1410,8		

Рисунок 3 – Фрагмент розрахунку продуктивності станів

Витратний коефіцієнт за прохід визначається за формулою:

$$r_n = \frac{1}{\left(1 - \frac{l_{обр.}}{a}\right) \cdot \left(1 - \frac{l_{роз.}}{l_0 \cdot \mu_n}\right) \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{t}\right)}$$

l<sub>обр.</sub> - довжина зразків для технологічного контролю та випробувань;  
a - обсяг партії труб, від якої відбирають зразки, м;  
l<sub>роз.</sub> - довжина обрізаних кінців після прокатки або довжина обрізаних головок після волочиння, м;  
l<sub>0</sub> - довжина заготовки (l<sub>0</sub> = 4 м);  
μ - коефіцієнт витяжки в даному проході;  
Δ - обсяг втрат металу при термообробці і хімічній обробці труб.

Рішення:	Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3	Маршрут 4
1 прохід	1 прохід	1 прохід	1 прохід	1 прохід
	1,018	1,018	1,016	1,014
2 прохід	2 прохід	2 прохід	2 прохід	2 прохід
	1,049	1,053	1,036	1,030
3 прохід	3 прохід	3 прохід	3 прохід	3 прохід
	1,000	1,071	1,066	1,048
4 прохід	4 прохід	4 прохід	4 прохід	4 прохід
	1,000	1,000	1,000	1,059
r <sub>nΣ</sub> =	1,122	1,205	1,178	1,218

Рисунок 4 – Фрагмент розрахунку витрат металу

Всі дані після розрахунків автоматично заносяться до даних безпосередньо в основну частину експертної системи. Ця частина містить в собі всі частні критерії, анкети експертів, статистичну обробку експертних оцінок по критеріях, отримані результати по заданим маршрутам та вибір оптимального варіанта (рисунок 5).

Експертна система розрахунку оптимального технологічного маршруту						
	Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3	Маршрут 4	Нижні	Верні
8 Міл числа проходів	2	3	3	4	1	5
9 Міл коефіцієнта металопрокату	1,19	1,99	1,78	1,82	1	5
10 Мах зміни вихідної поперечної різностінності	3,25	3,836	3,52	3,52	1	5
11 Міл витрат машинного часу оск. обладнання	62,40	66,08	47,60	223,85	50	300
12 Міл витрати металу	1,12	1,21	1,18	1,22	1	3
НОРМУВАННЯ ЗНАЧЕНЬ ЧАСНИХ КРИТЕРІЇВ						
10 Міл числа проходів	0,750	0,500	0,500	0,250	<input checked="" type="radio"/> міл <input type="radio"/> мах	
16 Міл коефіцієнта металопрокату	0,907	0,534	0,610	0,592	<input checked="" type="radio"/> міл <input type="radio"/> мах	
17 Мах зміни вихідної поперечної різностінності	0,563	0,709	0,630	0,630	<input type="radio"/> міл <input checked="" type="radio"/> мах	
18 Міл витрат машинного часу оск. обладнання	0,950	0,980	1,010	0,305	<input checked="" type="radio"/> міл <input type="radio"/> мах	
19 Міл витрати металу	0,939	0,897	0,811	0,881	<input checked="" type="radio"/> міл <input type="radio"/> мах	

Рисунок 5 – Частні критерії експертної системи

Розділ роботи з експертами представляє собою комплекс таких розрахунків: анкету експерта; коефіцієнту компетентності експерта; коефіцієнту ознайомлення з проблемою; коефіцієнту аргументованості; коефіцієнту важливості критеріїв; узагальнених значень критеріїв.

В заключному етапі експертної системи розташовані узагальнені значення всіх частних критеріїв по заданим маршрутам та на підставі всіх вище перерахованих розрахунків, а також оцінок експертів виводиться кінцевий результат вибору оптимального маршруту (рисунок 6).

КОЕФІЦІЄНТИ ВАЖЛИВОСТІ КРИТЕРІЇВ		
72 Міл числа проходів		0,198
73 Міл коефіцієнта металопрокату		0,170
74 Мах зміни вихідної поперечної різностінності		0,220
75 Міл витрат машинного часу оск. обладнання		0,203
76 Міл витрати металу		0,209
77		
УЗАГАЛЬНЕНІ ЗНАЧЕННЯ ОЦІНКИ МАРШРУТІВ		
79 Маршрут 1		0,816
80 Маршрут 2		0,732
81 Маршрут 3		0,736
82 Маршрут 4		0,537
83	ОПТИМАЛЬНИМ МАРШРУТОМ НА ДУМКУ ЕКСПЕРТІВ Є	
		Маршрут 1
84	НА ПОЧАТОК	
85		
86		

Рисунок 6 – Узагальнені значення всіх частних критеріїв та результат

**Висновки.** Розроблена експертна система оцінки та вибору оптимального за частними критеріями маршруту виробництва холоднодеформованих труб. Система може бути корисною при визначенні технології

виробництва труб нового сортаменту, при виборі маршруту виробництва для визначення програми виробництва, при визначенні навантаження на основне обладнання цеху.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Соловьева И.А. Разработка многовариантной технологии, исследование и внедрение рациональных режимов производства холоднодеформированных труб: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05 / Соловьева Инна Анатольевна. – Днепропетровск, 1987. – 200 с.

2. Попов М.В. Совершенствование процесса периодической прокатки труб / М.В. Попов, С.В. Атанасов, Ю.М. Беликов. – Днепропетровск: ООО Независимая издательская организация «Дива», 2008. –192 с.

3. Проектування комбінованих маршрутів виробництва холоднодеформованих труб / В.Ф. Балакін, І.А. Соловйова, Ю.М. Николаєнко, К.С. Білан // Системні технології. – 2017. – Вип. 4. – С. 56-62.

4. Богатов А.А. Анализ на ПЭВМ маршрутов волочения, холодной прокатки и прессования труб: метод. указания к самостоятельной работе по курсу «Технология трубного производства» / А.А. Богатов, Н.А. Смирнов, В.В. Харитонов [та ін.]. – Екатеринбург: Уральский государственный технический университет, 2005. – 31 с.

### REFERENCES

1. Soloveva I.A. Razrabotka mnogovariantnoy tehnologii, issledovanie i vnedrenie ratsionalnyih rezhimov proizvodstva holodnodeformirovannykh trub: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.16.05 / Soloveva Inna Anatolevna. – Dnepropetrovsk, 1987. – 200 s.

2. Popov M.V. Sovershenstvovanie protsessa periodicheskoy prokatki trub / M.V. Popov, S.V. Atanasov, Yu.M. Belikov. – Dnepropetrovsk: ООО Nezavisimaya izdatelskaya organizatsiya «Diva», 2008. –192 s.

3. Proektuvannia kombinovanykh marshrutiv vyrobnytstva kholodnodeformovanykh trub / V.F. Balakin, I.A. Soloviova, Yu.M. Nikolaienko, K.S. Bilan // Systemni tekhnolohii. – 2017. – Vyp. 4. – S. 56-62.

4. Bogatov A.A. Analiz na PEVM marshrutov volocheniya, holodnoy prokatki i pressovaniya trub: metod. ukazaniya k samostoyatelnoy rabote po kursu «Tehnologiya trubnogo proizvodstva» / A.A. Bogatov, N.A. Smirnov, V.V. Haritonov [ta In.]. – Ekaterinburg: Uralskiy gosudarstvennyiyei tehnikheskiy universitet, 2005. – 31 s.