

ЕТАПИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ШЛЯХИ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

У статті розглянуто шляхи розв'язання задачі ідентифікації багатопараметричних технологій на прикладі технології виробництва чавунних валків марки СПХН-45. Використання такого підходу дає змогу визначати робочу область технології, раніше невідому частину робочої області, зокрема керовані змінні та їх допустимі значення, визначати область компромісу критеріїв, які відповідають вимогам чинних ДСТУ.

Ключові слова: багатопараметричні технології, експертна система, чавунні валки марки СПХН, область компромісу, матриця планування активного експерименту.

Якщо нам не вдається знайти рішення певної проблеми, то часто причина цього полягає в тому, що ми ще не опанували досить загальну точку зору, з якої ця проблема уявляється лише окремою ланкою в ланцюзі споріднених проблем. Відшукавши цю точку зору, ми часто не тільки робимо доступною для дослідження цю проблему, але й опануємо метод, застосовний до споріднених проблем.

Д. ГЛІБЕРТ

Досліджуючи ту чи іншу багатопараметричну технологію, ми часто потрапляємо в лабіринт логічних і технічних протиріч і намагаємося вирішити їх шляхом ідентифікації цієї технології частинами, всупереч вимогам, які висуває системний аналіз. Проте дослідник, ідентифікуючи багатопараметричну технологію, залежно від ситуації, продиктованої значеннями некерованих факторів, на власний розсуд проводить ранжування всієї множини цілей, які переслідує ця технологія. Після досягнення першорядної мети він, зважаючи на виникнення нової ситуації, знову ранжує низку спрямованих на ідентифікацію цілей, орієнтуючись при цьому на найбільш преференційну мету і т.д.

Системний підхід до ідентифікації багатопараметричної технології вимагає використання детермінованої та стохастичної теоретико-ймовірнісних моделей, що описують цю технологію. Покажемо це.

Оскільки більшість наявних сьогодні технологій є багатопараметричними, їх, як правило, застосовують у так званій робочій області (РО), яку зазвичай визначає підприємство на основі аналізу передісторії своєї роботи. Встановивши РО технології, користувач тим самим призначає граничні значення керованих змінних, а також діапазон їхніх змін і основні критерії цієї технології.

З урахуванням багатовимірності простору станів багатопараметричних технологій [1] та їхньої багатокритеріальності [2] допускаємо ймовірність існування раніше невідомої

для користувача частини робочої області (ЧРО), що включає керовані змінні та їхні числові значення, за яких обрані критерії можна оптимізувати. Труднощі визначення такої ЧРО часто полягають у складності або навіть неможливості постановки прямих експериментів на об'єкті ідентифікації.

Застосувати імітаційний або будь-який інший метод моделювання неможливо через неприйнятну точність результатів. Це пов'язано з тим, що закономірності, сформовані у вигляді математичних моделей, потрібні насамперед для прогнозування тенденції розвитку процесу. Такі прогнози можуть бути допустимо точними, імовірно, лише за умови ізоморфізму метрик об'єкта і його математичної моделі, що практично не спостерігається при моделюванні багатопараметричних технологій.

Варто також зазначити, що велика кількість багатопараметричних технологій спрямована на одержання матеріалів із заздалегідь заданими властивостями. Причому деякі з бажаних властивостей можуть суперечити іншим властивостям матеріалу. Наприклад, підвищення міцності сталі суперечить збільшенню її пластичності і зменшенню крихкості. Тому цілком природно постає завдання визначення області, яку надалі називатимемо областю компромісу (ОК), в межах якої такі протиріччя перебувають у допустимих для користувача межах [3].

Під час формулювання задачі ідентифікації багатопараметричної технології слід обов'язково враховувати необхідність виявлення ОК. Цю область правильніше було б назвати областю субкомпромісу, адже вона може змінюватися залежно від критеріїв, що характеризують роботоздатність технології і самі зазнають змін відповідно до пріоритетів користувача. Отже, область компромісу — це область, у якій критерії роботоздатності й ефективності технології якнайкраще співвідносяться один з одним у тому розумінні, що можливі протиріччя між ними допустимо мінімальні, оскільки ці протилежності взаємодіють між собою тільки в середовищі компромісу.

ПІДЗАДАЧІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

З огляду на викладене вище задача ідентифікації багатопараметричної технології охоплює виконання таких підзадач:

1) визначення РО багатопараметричної технології;

2) визначення раніше невідомої для користувача частини РО багатопараметричної технології, зокрема виявлення керованих змінних та їхніх числових значень, за яких обрані критерії можна оптимізувати;

3) виявлення в РО області компромісу багатопараметричної технології.

Визначення РО багатопараметричної технології. Під час створення нової технології робочу область, як правило, визначає розробник на передпроектній стадії, і нею надалі керуються при розробленні нормативної документації. Потім, у процесі експлуатації технології, напрацьовують матеріал, який фахівці-технологи використовують для проведення так званого пасивного експерименту, необхідного для формування РО. Пасивний експеримент зазвичай ґрунтується на репрезентативному обсязі статистичної інформації про передісторію роботи цієї технології впродовж тривалого часу її експлуатації [4]. Це дає змогу одержати рівняння, що ставлять у відповідність критерії роботоздатності й ефективності технології та її керовані змінні.

Визначення раніше невідомої ЧРО. Сьогодні є велика кількість методів планування активного експерименту, спрямованих на визначення раніше невідомої ЧРО, що включає допустимі значення керованих змінних, за яких обрані критерії можна оптимізувати. Використання числових значень змінних, які належать невідомій раніше ЧРО технології, дає змогу розширити діапазон і визначити субоптимальні режими її застосування [4].

Основним недоліком цих методів є те, що практично всі вони передбачають проведення прямих експериментів на реальному об'єкті, що для більшості багатопараметричних технологій неприпустимо через можливе порушення штатного режиму. Для

усунення цього недоліку пропонують залучати до пошуку невідомої раніше ЧРО експертну систему, в якій за допомогою уявних дослідів експерти встановлюють числове значення того чи іншого критерію залежно від ситуації, продиктованої рядком матриці планування активного експерименту (див., наприклад, [5]).

Надалі, вивчаючи результати таких уявних дослідів, вибирають ті з них, які можливо відтворити на реальному об'єкті й порівняти збіжність отриманих при цьому результатів з результатами уявних дослідів. Таким чином мінімізують імовірність порушення штатного режиму роботи цієї технології в процесі проведення експериментів. Одержані з прямих дослідів результати враховують під час формування математичної моделі раніше невідомої ЧРО. При цьому часто спостерігаються певні труднощі, пов'язані з її багатовимірністю.

Річ у тому, що експерти надають дані, які створюють на основі попереднього досвіду виконання подібних робіт, тобто виходячи із власного уявлення про простір станів об'єкта ідентифікації як *евклідовий простір*. Надаючи відносно малі прирости керованим змінним, експерти отримують числові значення критеріїв, нерідко близькі до істинних. Це відбувається завдяки лінеаризації відносно малих ділянок простору станів багатопараметричної технології.

Таке сприйняття простору станів часто може бути невірним, оскільки «... деякі сили в природі слідує одній, а другі іншій, своїй особливій геометрії» [6]. Більшість досліджень у прикладних і фундаментальних науках можна інтерпретувати як пошук метрики, притаманної простору станів об'єкта ідентифікації. У міру поглиблення такого аналізу зростає складність ідентифікації метрики, оскільки для багатопараметричних технологій вона може бути різною для різних областей цього простору. Разом з тим експерт обирає метрику довільно, що часто призводить до серйозних втрат у точності ідентифікації. У разі якщо однорідність та ізотропність простору станів підтверджуються експериментами, це можна пояснити

насамперед технологічними обмеженнями, що вимагають проведення експериментів у відносно вузькій РО. Імовірно, тому експерименти, що розглядають одні й ті самі об'єкти в різних ситуаціях, які навіть незначною мірою відрізняються від попередніх, часто суперечать обраній моделі.

У зв'язку з цим експертам пропонують, наскільки це можливо, під час визначення числового значення критерію використовувати наявну або, щонайменше, гіпотетичну модель взаємодії керованих змінних та їхніх впливів на числове значення обраного критерію [5].

Ще раз підкреслимо, що складність такої апроксимації полягає в тому, що експерти часто не можуть уявити собі простір, у якому аксіоми Евкліда не мають місця, а отже, помилково апроксимують його як евклідовий простір, зазвичай, трьох вимірів. Однак на простори з більш ніж трьома розмірностями не можна бездумно переносити факти, що стосуються тривимірного простору. Покажемо це на конкретному прикладі.

Якщо обмежити двома паралельними гіперплощинами дуже тонкий шар кулі так, що кожна гіперплощина знаходиться від центра кулі на відстані, наприклад, $0,000001R$, то в тривимірному просторі відповідний шар матиме дуже невеликий об'єм і поверхня частини сфери, що обмежує його, також буде дуже малою. Проте, якщо число вимірів простору E^n постійно збільшувати до відносно великих значень, то об'єм такого шару так само перманентно зростатиме і за великих n виявиться, що він лише незначною мірою відрізняється від повного об'єму кулі. Так само й частина поверхні сфери між цими площинами за великих n майже збігатиметься за величиною з площею всієї поверхні.

Цей феномен, властивий багатовимірним сферам, пояснює той факт, що під час вирішення задач великої розмірності випадковий пошук забезпечує якнайшвидшу збіжність порівняно з ітераційними, релаксаційними та іншими методами пошуку [7].

З наведених фактів випливає ряд особливостей n -вимірних куль і сфер, які різко від-

різняють такі геометричні фігури від звичних для нас тривимірної кулі й двовимірної сфери. Ці особливості виявляються в тому, що об'єм гіперсфери зі зростанням її розмірності зосереджується в ділянці гіперплощини, ортогональної заданій осі [8]. Тому при ідентифікації багатопараметричних технологій ми маємо справу з багатовимірним простором їхніх станів, метрика якого не очевидна, і на цей простір не можна механічно переносити факти, справедливі для тривимірного простору.

Багатовимірний, або n-вимірний, простір — узагальнення поняття тривимірного простору, що в свою чергу є певною абстракцією реального фізичного простору.

Нині багатовимірні геометричні уявлення систематично застосовують для наочного розв'язання системи лінійних рівнянь та інших задач лінійної алгебри, для розв'язання задач лінійного програмування та всіх задач, у яких розглядають більш як три незалежні змінні.

Ідея розширення уявлення про простір за межі трьох вимірів виникла задовго до появи поняття вектора. Сучасне трактування простору E^n спирається на строгу аксіоматику (у цьому контексті ми її не наводимо), яка охоплює поняття вектора, лінійної залежності та деякі інші, що утвердилися в математиці лише наприкінці XIX ст. [8].

Виявлення в РО області компромісу багатопараметричної технології. Більшість критеріїв роботоздатності й ефективності багатопараметричної технології визначено в допустимо малих інтервалах, що відносно слабо впливає на величину цих критеріїв. Імовірно, це зумовлено тим, що розробники технологічного процесу, прагнучи витримати його, наскільки це можливо, в конкретно обраній частині РО, обмежують можливі числові значення цих критеріїв.

ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Протягом усього часу існування мистецтва, практики та науки виготовлення виро-

бів з металів і сплавів перед людством стояло завдання одержати бажані фізичні, хімічні, механічні та інші властивості цих виробів [9, 10]. Кожній властивості з множини всіх відомих властивостей $Y_i (i = 1, \dots, n)$ відповідає певний критерій $Y_{i,r}^* (r = 1, \dots, s) \in Y_i$, за яким оцінюють ті чи інші якості металів і сплавів, а також технологічність та економічність їхнього виробництва. Прийmemo, що є множина якісно неоднорідних критеріїв — $Y_i^* (i = 1, \dots, n)$, які включають підмножину $\{Y_{i,r}^* (r = 1, \dots, s)\}$ якісно однорідних критеріїв. Наприклад, Y_1 може виступати як множина показників механічних властивостей металу, таких як міцність $Y_{1,1}^*$, твердість $Y_{1,2}^*$ і т.д., а Y_2 — як множина економічних показників, таких як прибуток $Y_{2,1}^*$, собівартість $Y_{2,2}^*$ і т.д. Як правило, величину критерію трактують як оцінку ступеня досягнення тієї чи іншої мети.

Як приклад ідентифікації багатопараметричної технології розглянемо технологію виробництва чавунних валків марки СПХН-45 з перлітною основою, схему якої наведено на рис. 1. Число керованих змінних на схемі позначене вектором X і дорівнює 11, а число обраних експертами критеріїв — вектором Y і дорівнює 4 [11].

Репрезентативна вибірка, що характеризує роботу цієї технології впродовж приблизно 70 років [12–16], дала змогу одержати дані для проведення пасивного експерименту й

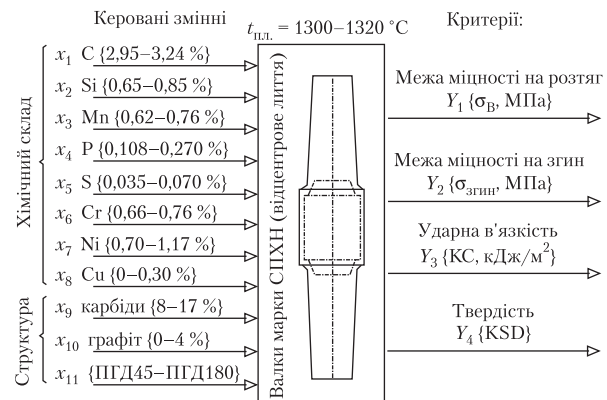


Рис. 1. Принципова схема багатопараметричної технології виробництва чавунних валків марки СПХН-45

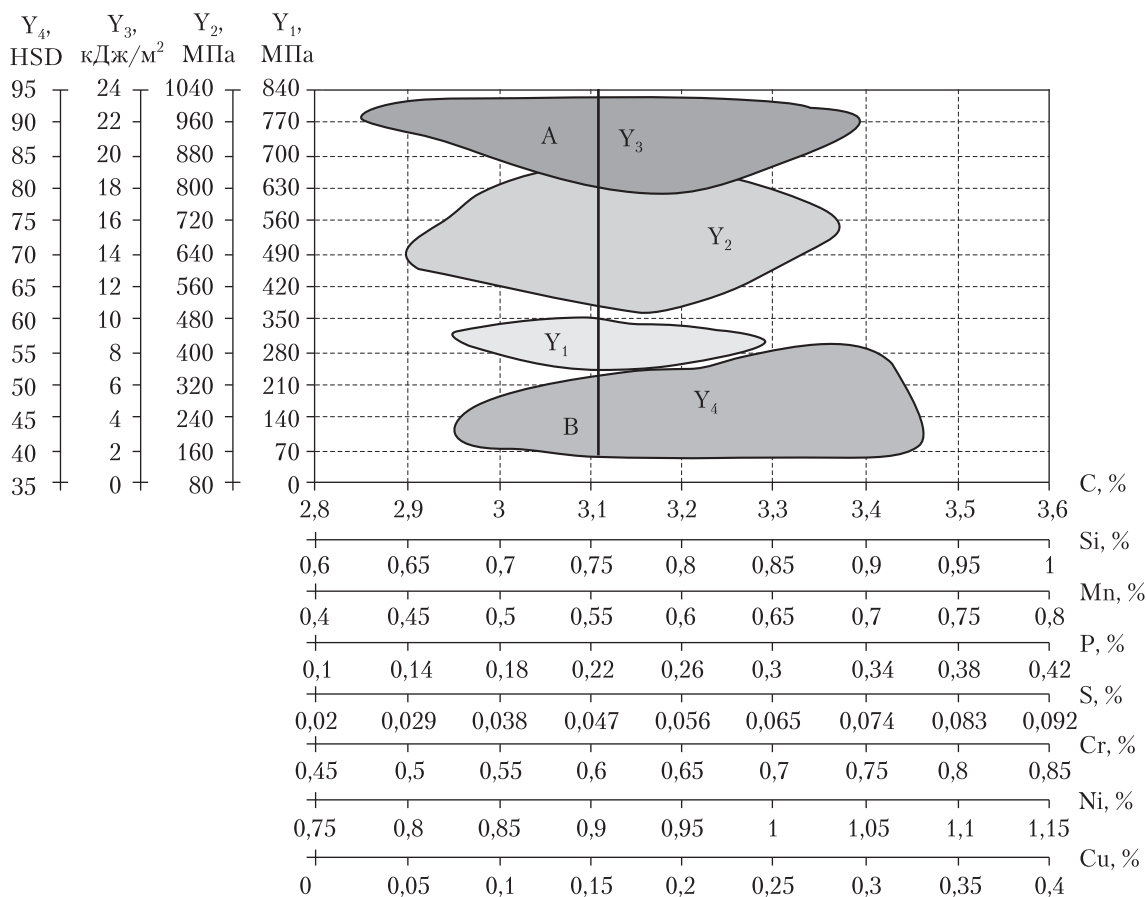


Рис. 2. Область компромісу для обраних критеріїв технології виробництва чавунних валків марки СПХН

систему лінійних рівнянь, які описують взаємозв'язки керованих змінних і обраних критеріїв, і тим самим визначити РО технології.

Відносна похибка між експериментальними та розрахунковими значеннями для межі міцності на розрив (Y_1) становила 7%; межі міцності на згин (Y_2) – 6,8%; ударної в'язкості (Y_3) – 5,2%; твердості (Y_4) – 6,9%. Отже, РО багатопараметричної технології виробництва валків марки СПХН, зображена системою лінійних рівнянь, дозволяє прогнозувати їхні механічні властивості в робочій області.

Прийнятий експертами орієнтовний ступінь впливу хімічного складу на механічні властивості валкового чавуну в РО та за її межами визначали на основі аналізу перед-

історії роботи цієї технології й теоретичних положень, викладених у відповідних літературних джерелах [12–16].

Оскільки прямиий експеримент не завжди можливо провести на реальному об'єкті, для вирішення поставленого завдання застосували експертний логіко-технологічний аналіз. Для визначення ступеня впливу змінних на механічні властивості чавуну було реалізовано матрицю планування активного експерименту, яка є дробовою реплікою 2^{11-7} від повного факторного експерименту. За рядками матриці було проведено уявні досліді, ініційовані аналізом передбачуваних взаємовідношень змінних і функцією мети. На основі аналізу результатів цих дослідів були отримані рівняння, що дають можливість прогнозувати механічні властивості

бочок чавунних валків у невідомій раніше частині РО.

Рух по градієнту за відомими методиками [4] дав змогу одержати раніше невідомі області існування закономірностей, застосування яких у практиці багатопараметричної технології виробництва чавуну марок СПХН дозволяє одержувати субоптимальні значення обраних критеріїв. Так, для критеріїв якості ці значення представлені таким хімічним складом: $C = 3,58\%$, $Si = 0,9\%$, $Mn = 0,67\%$, $P = 0,235\%$, $S = 0,091\%$, $Cr = 0,5\%$, $Ni = 1,011\%$, $Cu = 0,04\%$. При цьому обрані критерії якості мали такі значення: $Y_1 \approx 385$ МПа, $Y_2 \approx 620$ МПа, $Y_3 \approx 22$ кДж/м², $Y_4 \approx 47$ HSD.

Як уже було сказано, більшість критеріїв роботоздатності й ефективності технології визначено користувачем у допустимо малих інтервалах, у межах яких конкретний критерій під впливом керуючих змінних змінюється, не порушуючи штатної технології та нормативних документів. Імовірно, це зумовлено тим, що розробники технологічного процесу, бажаючи витримати його в конкретно заданій частині РО без порушень чинних ДСТУ, обмежили числові значення критеріїв.

На рис. 2 показано область компромісу для обраних критеріїв, визначену графоаналітичним методом, який полягає в нормованому поданні змінних, виражених у відсотках. Обрані критерії описують робочі області механічних властивостей чавунних валків, хімічний склад яких не виходить за межі ТУ У 14-2-1188-97. Провівши вертикаль через ці області (наприклад, АВ), за рис. 2 можна визначити хімічний склад виробу та прогнозувати інтервал існування його механічних властивостей. Як свідчить практичний досвід, такий підхід достатньо зручний для використання у виробничих умовах.

ВИСНОВКИ

Запропонований у статті спосіб ідентифікації багатопараметричних технологій дозволяє користувачеві визначити робочу область конкретної технології, а також раніше

невідому частину РО, зокрема керовані змінні та їхні допустимі значення, за яких обрані критерії набувають субоптимальних значень. Використання числових значень змінних, які належать невідомій раніше частині РО технології, дасть змогу розширити діапазон її застосування і визначити область компромісу критеріїв, що відповідає вимогам чинних ДСТУ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Большаков В.И., Дубров Ю.И., Ткаченко А.Н., Ткаченко В.А.* Пути решения задач идентификации качественных характеристик материалов на основе экспертных систем // Доповіді НАН України. — 2006. — № 4. — С. 97–102.
2. *Большаков В.И., Дубров Ю.И.* Решение многокритериальной задачи металловедения с качественно неоднородными критериями // Доповіді НАН України. — 2004. — № 11. — С. 95–102.
3. *Большаков В.И., Дубров Ю.И., Каминский Д.А.* Пути расширения области существования управляемых переменных в многокритериальной задаче материаловедения // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. — 2012. — Вып. 64. — С. 127–132.
4. *Спирин Н.А., Лавров В.В.* Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. — Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. — 257 с.
5. *Большаков В.И., Дубров Ю.И., Жевтило Е.Ю.* Пути и возможности проверки работоспособности и эффективности технологии на предпроектной стадии ее создания // Доповіді НАН України. — 2009. — № 6. — С. 103–108.
6. *Лобачевский Н.И.* Полное собрание сочинений. — М.-Л.: Гостехиздат, 1949. — Т. 11. — С. 158.
7. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. — М.: Физматгиз, 1963. — Т. 3. — 393 с.
8. *Растринин Л.А.* По воле случая. — М.: Молодая гвардия, 1986. — 208 с.
9. *Большаков В.И.* Упрочнение строительных сталей. — Днепропетровск: Січ, 1992. — 224 с.
10. *Большаков В.И., Береза О.Ю., Миронова О.Ю., Харченко В.І.* Материалознаство. — Торонто: Базіліан Пресс, 1998. — 219 с.
11. *Большаков В.И., Дубров Ю.И.* Об оценке применимости языка фрактальной геометрии для описания качественных трансформаций материалов // Доповіді НАН України. — 2002. — № 4. — С. 116–121.
12. *Кривошеев А.Е.* Литые валки. — М.: Металлургиздат, 1957. — 360 с.

13. Будагьянц Н.А., Карский В.Е. Литые прокатные валки. — М.: Металлургия, 1983. — 175 с.
14. Бунин К.П., Малиночка Я.Н., Таран Ю.Н. Основы металлографии чугуна. — М.: Металлургия, 1969. — 416 с.
15. Хитько А.Ю., Шапран Л.А., Иванова Л.Х. Внутрiformенное модифицирование чугуновых прокатных валков легкоплавким модификатором // Теория и практика металлургии. — 2010. — № 1–2. — С. 107–110.
16. Скобло Т.С., Воронцов Н.М., Рудюк С.И. и др. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов. — М.: Металлургия, 1994. — 336 с.

Стаття надійшла 22.02.2013 р.

В.И. Большаков, В.Н. Волчук, Ю.И. Дубров

ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры»
Министерства образования и науки Украины
ул. Чернышевского, 24а, Днепропетровск, 49600,
Украина

ЭТАПЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПУТИ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

В статье рассмотрены пути решения задачи идентификации многопараметрических технологий на примере технологии производства чугуновых валков марки СПХН-45. Применение такого подхода позволяет определять рабочую область технологии, ранее неиз-

вестную часть рабочей области, включающую управляемые переменные и их допустимые значения, определять область компромисса критериев, удовлетворяющую требованиям действующих ГОСТов.

Ключевые слова: многопараметрические технологии, экспертная система, чугуновые валки марки СПХН, область компромисса, матрица планирования активного эксперимента.

V.I. Bolshakov, V.N. Volchuk, Yu.I. Dubrov

Prydniprovsk State Academy
of Civil Engineering and Architecture
of Ministry of Education and Science of Ukraine
24a Chernyshevsky Str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine

THE STAGES OF IDENTIFICATION OF MULTIPARAMETER TECHNOLOGIES AND THEIR REALIZATION

The ways of solving the problem of identification of multiparameter technologies on the example of technology of production of cast iron rolls of mark 45 were considered in the article. The application of such approach allows to define the working sphere of technology, previously unknown part of the working sphere which includes the controlled variables and their accepted values, and to define the sphere of compromise criteria satisfying the requirements of existing technical conditions.

Keywords: multiparameter technologies, expert system, cast iron rolls of mark 45, compromise criteria, planning matrix of active experiment.