

Формирование тела диска при деформации полой заготовки происходит из различных слоев металла (3 – 9), при этом распределение слоев более равномерное. Основной объем тела диска формируется из слоев 4 – 8 (что соответствует радиусам исходной заготовки $R_0 = 72,3 \div 192,8$) и незначительной части слоев 3, 9, суммарный объем которых в объеме диска составляет не более 11 %.

Основной объем обода колеса в обоих случаях формируется из периферийных слоев исходной заготовки (7 – 10), однако характер распределения слоев металла в диаметральной сечении несколько отличается (рис. 3, в, е).

Выводы. Осуществлено компьютерное моделирование в программном комплексе Deform 3D операций осадки, осадки и разгонки заготовки в технологическом кольце, формовки колеса в соответствии с технологической схемой действующего производства для сплошной и полой заготовки, полученной прошивкой на стане винтовой прокатки.

На основе разделения исходной заготовки на слои показано распределение исходного металла в объеме и характер течения при деформации на прессах сплошной и предварительно приштампованной полой заготовки.

Установлено, что при осадке полой заготовки внутреннее отверстие после второй операции (осадка и разгонка в технологическом кольце) закрывается. При последующей операции (формовка) формоизменение происходит аналогично сплошной заготовке и не требует изменения существующей технологической схемы производства колес.

Дана количественная оценка распределения исходного металла при деформации на прессах в объеме заготовки после операции формовки. Показано, что при использовании полой заготовки формирование частей поковки происходит из большего количества слоев металла, так, например, формирование диска и зон переходов формируется из исходного металла, находящегося в радиусе $R_0 = 72,3 \div 192,8$ сплошной заготовки, а при использовании сплошной $R_0 = 96,4 \div 120,5$.

Такое распределение слоев металла обеспечивается за счет различных схем течения металла при операции свободной осадки и осадки и разгонки в технологическом кольце, а также за счет предварительного обжатия сплошной заготовки при прошивке.

Показано, что при деформации на прессах полой заготовки осуществляется более интенсивное течение металла, чем в сплошной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Галкин С.П., Харитонов Е.А., Романенко В.П. Радиально сдвиговая прокатка новый высокоэффективный способ обработки металлов давлением. Прогрессивные технологии ОМД. Уч.-метод. пособие. – М.: ИРИАС, 2009. – 600 с.
2. Романенко В.П., Фомин А.В., Яндимиров А.А. // Металлург. 2011. № 7. С. 62 – 65.
3. Галкин С.П., Романцев Б.А. // Производство проката. 2009. № 9. С. 23 – 35.
4. Романенко В.П., Фомин А.В., Севастьянов А.А., Волков М.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 9. С. 33 – 35.

© 2012 г. В.П. Романенко, А.В. Фомин, Г.П. Илларионов
Поступила 19 декабря 2011 г.

УДК 621.771.01:681.5.013

Л.А. Кузнецов, А.С. Кондауров

Липецкий государственный технический университет

ИНФОРМАЦИОННЫЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ СЛОЖНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Настоящая статья посвящена разработке методологии определения наиболее рациональной сложной технологии производства, например проката с заданными свойствами, опираясь исключительно на данные, получаемые в результате контроля стандартной технологии. Свойства проката именуется далее показателями качества продукции, значения которых формируются технологией. Изменяя значения технологических факторов, можно влиять на значения показателей качества, т.е. управлять качеством через технологию [1, 2].

Принципиальным отличием данной задачи от задач, традиционно решаемых в области статистической обработки для установления связи между отдельными значениями факторов и откликов (входов и выходов), является

необходимость определения в пространстве входов подпространства, наилучшим образом соответствующего заданному подпространству пространства выходов. Оценка этого, в некотором смысле топологического соответствия между подпространствами, должна осуществляться исключительно на основании статистических данных: реализаций технологических факторов, траектуемых входами, и показателей качества продукции, траектуемых выходами. Технологический процесс при этом представляет объект управления.

Технология представляется n -вектором технологических факторов $u = (u_1, \dots, u_n)$, качество m -вектором показателей $y = (y_1, \dots, y_m)$. Используются технологическое векторное пространство U , которому принадлежат

векторы u , и пространство качества Y , содержащее векторы y . Измеренные значения векторов или реализаций технологии и качества обозначаются соответственно $t_q = (t_{q1}, t_{q2}, \dots, t_{qn})$ и $r_q = (r_{q1}, r_{q2}, \dots, r_{qm})$, $q = 1, 2, \dots, Q$, где q – номер реализации, Q – количество реализаций. Множества измеренных значений (реализаций) технологических факторов и показателей качества обозначаются: $Q_t = \{t_q, q = 1, 2, \dots, Q\}$ и $Q_r = \{r_q, q = 1, 2, \dots, Q\}$. Технологические факторы и показатели качества трактуются случайными величинами, принимающими вещественные значения [3].

Задача состоит в том, чтобы определить технологические рамки u'_i, u''_i для всех факторов, влияющих на качество продукции:

$$u'_i \leq u_i \leq u''_i, i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

при соблюдении которых с высокой вероятностью гарантируется получение продукции со значениями показателей качества, лежащими в заданных пределах:

$$y'_i \leq y_i \leq y''_i, i = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

где y'_i, y''_i заданы внешними по отношению к предприятию-производителю продукции документами.

Методология определения и адаптации рамочной технологии, т.е. определения $u'_i, u''_i, i = 1, 2, \dots, n$, обеспечивающих выполнение условия (2), опирается исключительно на технологическую информацию, получаемую в штатном процессе. Она включает несколько этапов:

- построение эмпирического распределения качества;
- выделение подпространства предпочтительного качества;
- определение технологии, обеспечивающей предпочтительное качество. Далее кратко излагается существо каждого этапа.

Известно, что исчерпывающей характеристикой случайной величины является функция распределения. Функция распределения является абстракцией реальной картины. По фактическим данным может быть построена гистограмма или полигон частот. Эти эмпирические представления затем аппроксимируются подходящими функциями, которые и называются функциями распределения.

Технология построения гистограммы в одномерном случае состоит в разбиении диапазона значений случайной величины на ряд непересекающихся полуинтервалов и подсчете количества значений, принадлежащих каждому полуинтервалу. Количество значений, принадлежащих полуинтервалу, деленное на общее количество значений, дает эмпирическую вероятность полуинтервала.

В m -мерном случае может быть использован такой же подход структуризации измеренных значений в виде m -мерных гистограмм или полигонов частот.

Гистограммы или полигоны частот для $m > 2$ нельзя представить геометрически, но их формальное содержание сохраняется. В двухмерном случае ($m = 2$) основанием гистограммы будет обычная двухмерная плоскость. Каждому кластеру будет соответствовать часть этой плоскости – четырехугольник, содержащий значения случайных величин, включаемые в данный кластер. Высота призмы, соответствующей кластеру, будет равна относительной частоте реализаций случайной величины, попавших в кластер. В m -мерном случае основанием гистограммы будет m -мерное подпространство векторного пространства качества Y , «высота» будет определяться так же, как и в двухмерном случае.

При определении структуры гистограммы в (2) должны быть учтены все имеющиеся существенное значение для целей исследования показатели качества. Области изменения показателей $[y'_i, y''_i], i = 1, 2, \dots, m$ разбиваются на конечное число полуинтервалов (карманов). Количество и длина полуинтервалов могут быть различными и выбираются в соответствии с целями исследования.

Обозначив границы $y_{li}, l = 0, 1, 2, \dots, L_i$, где l – номер граничной точки, L_i – количество точек и интервалов для i -го показателя, область значений i -го показателя качества можно представить в виде:

$$\Delta y_i = [y'_i, y''_i] = [y_{0i}, y_{1i}), [y_{1i}, y_{2i}), \dots, [y_{L_i-1,i}, y_{L_i,i}], \quad (3)$$

где $y'_i = y_{0i}, y''_i = y_{L_i,i}$ – минимальное и максимальное возможные значения показателя качества.

Для краткости множество полуинтервалов, определенных для i -го показателя, обозначим, как и их число: $L_i = \{1, 2, \dots, L_i\}$. В дальнейшем изложении для интервалов используются и такие обозначения:

$$\Delta y_i(l_i) = [y_{l_i-1}, y_{l_i}). \quad (4)$$

Структуризация качества реализуется в два этапа. На первом осуществляется формирование структуры представления качества, т.е. разбиение допустимых диапазонов значений показателей качества (3), (4) и на их множестве разбиение подпространства качественной продукции $Y^+ = \Delta y_1 \Delta y_2 \dots \Delta y_m$ на систему подпространств меньшего размера:

$$\Delta Y^+(l'_1, l'_2, \dots, l'_m) = \Delta y_1(l'_1) \Delta y_2(l'_2) \dots \Delta y_m(l'_m),$$

$$l'_i \in L_i, i = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Подпространства $\Delta Y^+(l'_1, l'_2, \dots, l'_m), l'_i \in L_i, i = 1, 2, \dots, m$ являются элементами пространства качества, по которым распределяются реализации качества. Набор $(l'_1, l'_2, \dots, l'_m)$ номеров l'_i диапазонов $\Delta y_i(l'_i)$, декартовым произведением которых является элемент $\Delta Y^+(l'_1, l'_2, \dots, l'_m)$, назовем вектором-идентификатором. Второй шаг состоит в вычислении вероятностей событий, введен-

ных на первом шаге, т.е. в определении количества реализаций качества, попавших в каждый элемент $\Delta Y^+(l'_1, l'_2, \dots, l'_m)$.

Процедуры структуризации инвариантны по отношению к особенностям конкретной системы показателей качества. Поясним на наглядном примере (рис. 1), когда имеется два показателя качества: $y = (y_1, y_2)$. В этом случае пространство качества – плоскость, подпространство качественной продукции – прямоугольник Y^+ , элементы $\Delta Y^+(l'_1, l'_2)$ – прямоугольники меньшего размера, на которые разбивается Y^+ . Качественная продукция определяется суммой всех реализаций $\rho_q \in Y^+$, т.е. таких, что $\rho_{1q} \in [y'_1, y''_1]$ и $\rho_{2q} \in [y'_2, y''_2]$. При построении гистограммы распределения реализаций $\rho_q = (\rho_{1q}, \rho_{2q})$, $q = 1, 2, \dots, Q$, где ρ_{1q} – измеренные значения y_1 , а ρ_{2q} – измеренные значения y_2 , подход, используемый в одномерном случае, сохраняется. Вероятность события, что качество соответствует значениям показателей элемента ΔY^+ , оценивается относительным количеством реализаций, для которых $y_{1,i} \leq \rho_{1q} \leq y_{1,i+1}$ и $y_{2,i} \leq \rho_{2q} \leq y_{2,i+1}$.

Для обеспечения автоматизации процедуры построения многомерного распределения в виде гистограммы количество интервалов, на которое разбиваются диапазоны значений любого показателя, можно ограничить числом $L_i \leq 9$ и использовать интервалы постоянной длины.

При таком подходе идентификатор элементов (l_1, l_2, \dots, l_m) будет иметь вид десятичного числа, каждый разряд которого обозначает номер l_i диапазона (4) i -го показателя. Процедура синтеза алгебры формализуется перебором $l_i \in [1, L_i]$, $i = 1, 2, \dots, m$. Показатели качества в векторе качества упорядочены, поэтому об-

щая система вводимых элементов (5) может быть определена в виде

$$L = \{L_1, L_2, \dots, L_m\}. \tag{6}$$

Общее количество элементов (5) будет равно

$$K = L_1 L_2 \dots L_m = \prod_i L_i. \tag{7}$$

Все K элементов пространства будут представлять собой m -мерные параллелепипеды, которыми, как «кирпичами» будет заполнено Y^+ . Ребрами m -мерных параллелепипедов будут l_i -е отрезки (5), на которые разделяются интервалы разрешенных значений i -го показателя. Таким образом, для указания элемента достаточно указать его идентификатор.

На рис. 1 пространство качества – двухмерное. Диапазон разрешенных значений первого показателя y_1 разделен на четыре интервала, а диапазон второго показателя y_2 – на три интервала. Так что на нем $L_1 = 4, L_2 = 3, L = (4, 3), K = 4 \cdot 3 = 12$. Более жирными штрихпунктирными линиями выделены два элемента: $\Delta Y^+(1, 1)$ и $\Delta Y^+(3, 2)$. Точками показаны реализации качества.

Принадлежность реализаций качества (измеренных значений показателей качества) элементам $\Delta Y^+(l_1, l_2, \dots, l_m)$ определяется фильтрацией множества записей Q_p по множеству идентификаторов L . Обозначим $v(l_1, l_2, \dots, l_m)$ – количество единиц продукции (измеренных значений показателей качества), попавших в элемент $\Delta Y^+(l_1, l_2, \dots, l_m)$. По их значениям вычисляются относительные частоты (эмпирические вероятности) принадлежности реализаций качества элементам $\Delta Y^+(\cdot)$:

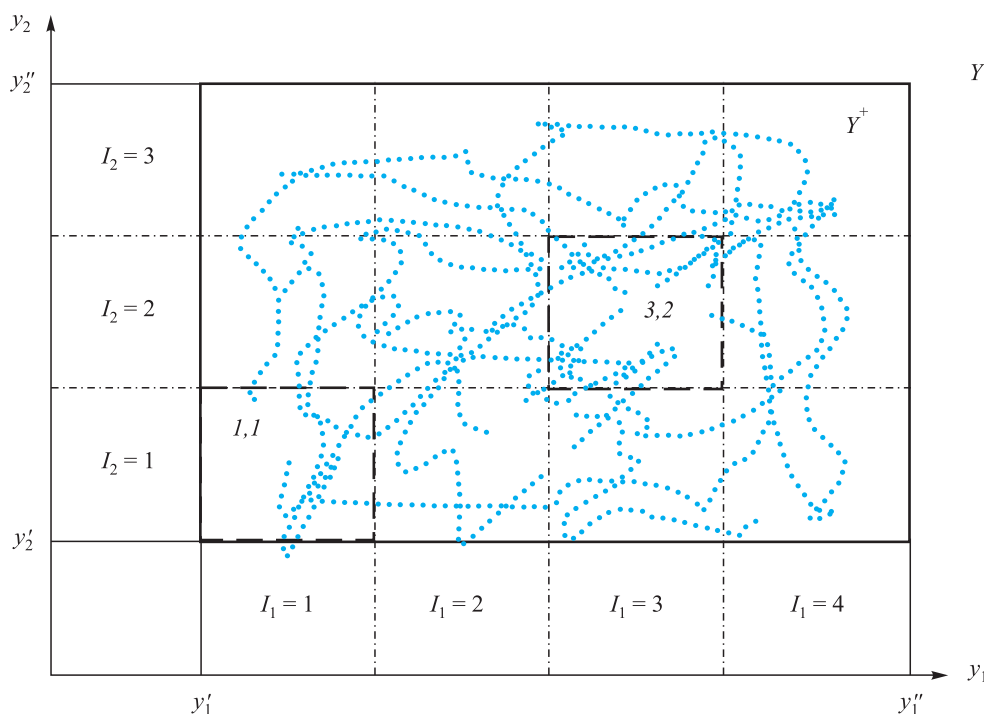


Рис. 1. Схема разбиения подпространства качественной продукции на элементы $\Delta Y^+(l'_1, l'_2)$ и обозначений (5)

$$P(l_1, l_2, \dots, l_m) = v(l_1, l_2, \dots, l_m) / Q, \quad (8)$$

$$l_i \in \{1, 2, \dots, L_i\}, i = 1, 2, \dots, m.$$

Относительные частоты характеризуют реальное распределение случайного вектора показателей качества:

$$P_p = \{P(l_1, l_2, \dots, l_m) | l_i = 1, 2, \dots, L_i, i = 1, 2, \dots, m\}. \quad (9)$$

Если величины $P(l_1, l_2, \dots, l_m)$ трактовать высотой призм, построенных на элементах $\Delta Y^+(l_1, l_2, \dots, l_m)$, то P_p представляет m -мерную гистограмму, а если величины $P(l_1, l_2, \dots, l_m)$ трактовать перпендикулярами, опущенными в центр элементов $\Delta Y^+(l_1, l_2, \dots, l_m)$, то P_p будет представлять m -мерный полигон частот.

На распределении P_p специалистами службы качества могут быть определены области предпочтительного качества, к которому целесообразно стремиться, или наоборот, области нежелательных сочетаний показателей качества, которых следует избегать. Возникает вопрос: можно ли определить технологические условия, способствующие получению таких реализаций качества? Формально вопрос состоит в том, можно ли найти в технологическом пространстве прообразы этих желательных или нежелательных областей пространства качества. Решение вопроса может быть получено на основании теории информации [4, 5].

В технологическом пространстве U так же, как и в пространстве качества, могут быть выделены подпространства. Принадлежность реализаций технологии конкретному подпространству представляет случайное событие. Таким образом, разделением пространства U на подпространства формируется система событий (алгебра) на множестве реализаций технологии $Q_\tau = \{\tau_q, q = 1, 2, \dots, Q\}$. Области в пространстве качества определены, так что алгебра качества и вероятности соответствующих ей событий заданы. Вероятностная модель качества полностью определена. В модели технологии задано множество реализаций, на котором алгебра (система случайных событий) может быть определена бесконечным числом вариантов. Поставленная задача определения в технологическом пространстве прообраза области предпочтительного качества сводится к отысканию такой алгебры в технологическом пространстве, такого его разбиения на подпространства, при котором вероятностная модель технологии приобретает максимальную информационную адекватность вероятностной модели качества [6].

Пусть специалистами выбрана область предпочтительного качества $\Delta Y^+(l'_1, l'_2, \dots, l'_m)$ и требуется определить ее технологический прообраз $\Delta U(\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_n) \subseteq U$. Подпространство $\Delta U(\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_n)$ представляет собой область технологического пространства U , определяемую в виде декартового произведения отрезков координат технологического пространства $\Delta u_i(\lambda'_i) = [u_{\lambda'-1i}, u_{\lambda'ii}]$, $i = 1, 2, \dots, n$:

$$\Delta U = \Delta u_1(\lambda'_1) \Delta u_2(\lambda'_2) \dots \Delta u_n(\lambda'_n). \quad (10)$$

Чтобы сократить и упростить обозначения, пусть A и \bar{A} – случайные события, состоящие в том, что реализации качества принадлежат и не принадлежат предпочтительной области $\Delta Y^+(l'_1, l'_2, \dots, l'_m)$, аналогично B и \bar{B} – случайные события, состоящие в том, что реализации технологии принадлежат и не принадлежат области $\Delta U(\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_n)$.

Подпространство $\Delta Y^+(l'_1, l'_2, \dots, l'_m)$ задано и на множестве реализаций качества имеются два содержательных события A и \bar{A} . Их вероятности $P(A) = P(l'_1, l'_2, \dots, l'_m)$ и $P(\bar{A}) = 1 - P(A)$ определяют энтропию качества:

$$H_p = -P(A) \ln P(A) - P(\bar{A}) \ln P(\bar{A}). \quad (11)$$

Подпространство $\Delta U(10)$ нужно определить. Ясно, что, при изменении границ интервалов $u_{\lambda'-1i}, u_{\lambda'ii}$, $i = 1, 2, \dots, n$, т.е. положения и размеров подпространства $\Delta U(\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_n)$, будет изменяться количество реализаций технологии из множества $Q_\tau = \{\tau_q, q = 1, 2, \dots, Q\}$, принадлежащих ΔU . В результате энтропия технологии

$$H_\tau(\Delta U) = -P[B(\Delta U)] \ln P[B(\Delta U)] - P[\bar{A}(\Delta U)] \ln P[\bar{A}(\Delta U)] \quad (12)$$

будет изменяться при изменении ΔU .

Совместная энтропия технологии и качества определяется комбинацией вариантов сочетания исходов качества и технологии:

$$H_{cp}(\Delta U) = -P[A \& B(\Delta U)] \ln P[A \& B(\Delta U)] - P[A \& \bar{A}(\Delta U)] \ln P[A \& \bar{A}(\Delta U)] - P[\bar{A} \& B(\Delta U)] \times \times \ln P[\bar{A} \& B(\Delta U)] - P[\bar{A} \& \bar{A}(\Delta U)] \ln P[\bar{A} \& \bar{A}(\Delta U). \quad (13)$$

По энтропиям (11) – (13) определяется совместная информация технологии и качества, которую можно в данном контексте трактовать как количество информации о качестве, содержащееся в технологии:

$$I_{cp}(\Delta U) = H_p + H_\tau(\Delta U) - H_{cp}(\Delta U). \quad (14)$$

Обозначениями в (12) – (14) подчеркивается, что они зависят от выбора ΔU . Подпространство ΔU^* , которое обеспечивает максимальное значение количества информации о качестве в технологии, является решением поставленной задачи.

Изложенная методология реализована в виде автоматической системы, обеспечивающей определение технологии по заданному качеству на основании множеств измеренных значений технологических факторов и показателей качества. Ниже приведена краткая иллюстрация результатов, полученных с ее помощью. Для иллюстрации используется массив, содержащий

около 600 измерений, полученных при реализации производства стального листа. При этом измеренные значения концентраций химических элементов в стали, температур раската после 5-й и 12-й клетей интерпретируются технологическими факторами, а механические свойства: предел прочности (y_1 , кгс/мм²), предел текучести (y_2 , кгс/мм²) и относительное удлинение (y_3 , %) интерпретируются показателями качества. Массив используется исключительно для демонстрации формального метода обработки данных и определения оптимальной технологии. Технологическая интерпретация данных не является целью настоящей работы.

Для показателей качества определены диапазоны разрешенных значений $y_1 \in [33; 37]$, $y_2 \in [45; 50]$, $y_3 \in [29; 38]$, которые определяют подпространство качественной продукции: $Y^+ = [33; 37] \cdot [45; 50] \cdot [29; 38]$. Диапазоны были разбиты на девять интервалов каждый. Декартовым произведением интервалов получили разбиение области Y^+ на $9 \cdot 9 \cdot 9 = 729$ подпространств:
 $\Delta Y(0, 0, 0) = [33,0; 33,4) \cdot [45,0; 45,5) \cdot [29,0; 29,9)$
 $\Delta Y(0, 0, 1) = [33,0; 33,4) \cdot [45,0; 45,5) \cdot [29,9; 30,8)$
 $\Delta Y(0, 0, 2) = [33,0; 33,4) \cdot [45,0; 45,5) \cdot [30,8; 31,7)$
 ...

$\Delta Y(9, 9, 8) = [36,6; 37,0] \cdot [49,5; 50,0] \cdot [36,2; 37,1)$
 $\Delta Y(0, 0, 9) = [36,6; 37,0] \cdot [49,5; 50,0] \cdot [37,1; 38,0]$

Измеренные значения показателей качества (механических свойств металла) распределились по этим подпространствам, что и определило трехмерные гис-

тограммы качества в виде соответствующих таблиц. На рис. 2 для графической иллюстрации показаны двумерные гистограммы на всех плоскостях трехмерной системы координат пространства качества. Гистограмма и ее проекции дают четкое представление о характере распределения продукции в пространстве качества.

Для иллюстрации методики определения технологии, соответствующей определенному качеству продукции, в пространстве качества были выделены два непересекающихся подпространства $\Delta Y^B(5, 5, 5)$ и $\Delta Y^H(2, 3, 2)$. Значения показателей качества, определяющие первое подпространство (кластер измерений), приняты соответствующими условно высокому уровню качества, а значения, соответствующие второму – низкому уровню качества. На рис. 2 соответствующие им столбцы гистограмм выделены синим цветом.

По множеству реализаций технологии и качества, т.е. по массиву измеренных значений технологических факторов и показателей качества определены подпространства в технологическом пространстве U , которые по количеству взаимной информации (14) наилучшим образом соответствуют выбранным подпространствам качества. Технологическим «прообразом» подпространства качества $\Delta Y^B(5, 5, 5)$ является $\Delta U^B(\dots)$, т.е. можно записать $\Delta U^B(\dots) \rightarrow \Delta Y^B(5, 5, 5)$ и аналогично $\Delta U^H(\dots) \rightarrow \Delta Y^H(2, 3, 2)$. Для определения технологических подпространств $\Delta U(\dots)$, соответствующих за-

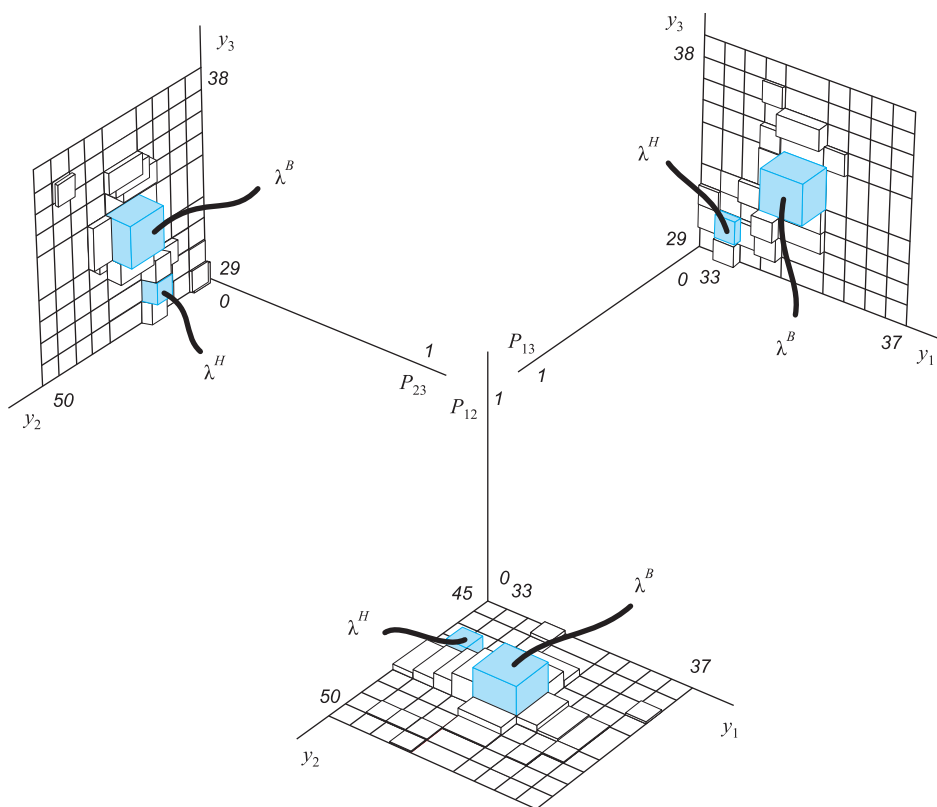


Рис. 2. Гистограммы распределений сочетаний показателей качества:
 $P_{12} = P(y_1, y_2)$; $P_{13} = P(y_1, y_3)$; $P_{23} = P(y_2, y_3)$

данным подпространствам качества $\Delta Y^+(l_1, l_2, \dots, l_3)$, варьировались значения $u_{\lambda-1i}, u_{\lambda i}$, определяющие ребра $\Delta u_i(\lambda_i) = [u_{\lambda-1i}, u_{\lambda i}]$, $i = 1, 2, \dots, n$, образующие эти подпространства (10).

В таблице представлены результаты вычисления координат $\Delta U^B(3, 2, 7, 7, 3, 4, 1, 4, 2, 8, 2)$, соответствующего $\Delta Y^B(5, 5, 5)$ и технологического подпространства $\Delta U^H(3, 6, 9, 3, 4, 7, 4, 4, 2, 8, 1)$, соответствующего $\Delta Y^H(2, 3, 2)$.

Из таблицы видно, что для каждого элемента пространства качества $\Delta Y^B(5, 5, 5)$ и $\Delta Y^H(2, 3, 2)$ определены граничные значения технологических факторов, выделяющие соответствующие элементы ΔU одиннадцатимерного технологического пространства. Количество знаков связано с использованием малого шага изменения координат при поиске оптимального решения. Найденное решение является статистическим и его качество, т.е. вероятность получения продукции со свойствами $y = (y_1, y_2, y_3) \in \Delta Y^B(5, 5, 5)$, если технология

$$u = (u_1, u_2, \dots, u_{11}) \in \Delta U^B(3, 2, 7, 7, 3, 4, 1, 4, 2, 8, 2) = \\ = [0,159; 0,160] \cdot [0,020; 0,021] \cdot [0,499; 0,501] \times \\ \times [0,071; 0,076] \cdot [0,0059; 0,0061] \cdot [0,0196; 0,0202] \times \\ \times [0,0120; 0,0125] \cdot [0,0197; 0,0203] \cdot [779; 789] \times \\ \times [1004; 1012] \cdot [195; 212],$$

будет тем выше, чем больше имеется измеренных значений во множестве Q . Множество пополняется при производстве и технологические границы, определяющие подпространство ΔU , могут уточняться и идентифицироваться.

Для наглядной графической иллюстрации содержательного существа задачи использовано трехмерное подпространство одинадцатимерного технологического пространства. Оно образовано технологическими факторами: u_1 – содержание углерода, u_2 – содержание хрома, u_3 – содержание марганца. На рис. 3 справа изображено

Оптимальные границы технологических подпространств
 $\Delta U^B(3, 2, 7, 7, 3, 4, 1, 4, 2, 8, 2) \rightarrow \Delta Y^B(5, 5, 5), \Delta U^H(3, 6, 9, 3, 4, 7, 4, 4, 2, 8, 1) \rightarrow \Delta Y^H(2, 3, 2)$

Технологический фактор	$\Delta U^B(3, 2, 7, 7, 3, 4, 1, 4, 2, 8, 2)$		$\Delta U^H(3, 6, 9, 3, 4, 7, 4, 4, 2, 8, 1)$	
	нижняя граница	верхняя граница	нижняя граница	верхняя граница
ХС углерод, %; u_1	0,159	0,160	0,163	0,165
ХС хром, %; u_2	0,020	0,021	0,039	0,042
ХС марганец, %; u_3	0,499	0,501	0,520	0,522
ХС алюминий, %	0,071	0,076	0,033	0,038
ХС азот, %	0,0059	0,0061	0,0068	0,0070
ХС никель, %	0,0196	0,0202	0,0298	0,0304
ХС фосфор, %	0,0120	0,0125	0,0175	0,0185
ХС сера, %	0,0197	0,0203	0,0235	0,0240
Температура полосы в 12-й клетке, °С	779	789	766	779
Температура полосы в 5-й клетке, °С	1004	1012	1007	1009
Скорость заправки, м/мин	195	212	135,5	152,5

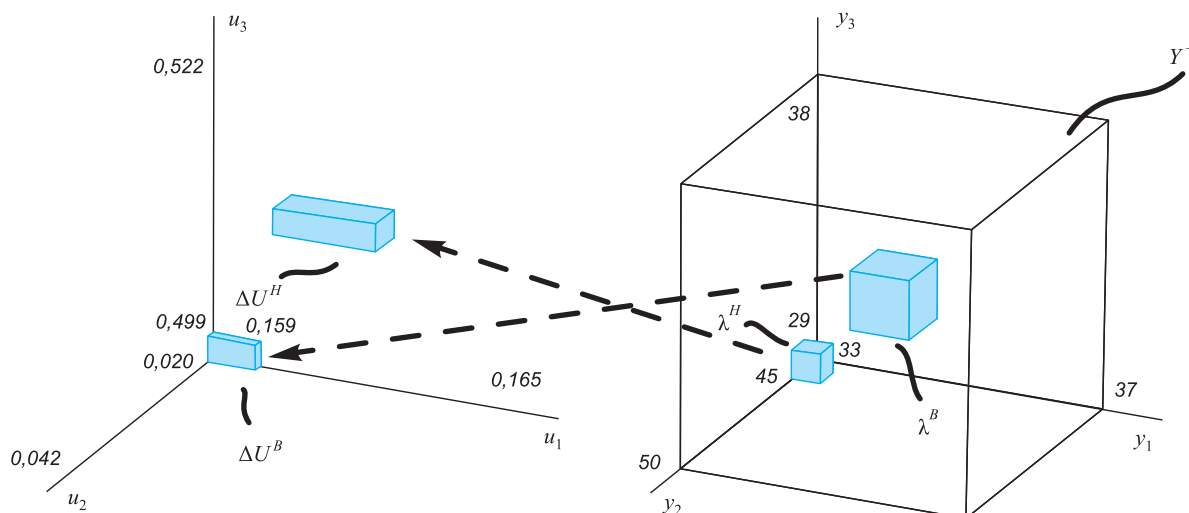


Рис. 3. Соответствие между заданными подпространствами качества и определенными технологическими подпространствами

пространство качества с координатами: y_1 – предел прочности, y_2 – предел текучести и y_3 – относительное удлинение; слева показано технологическое пространство.

Выводы. В статье приведено краткое описание методологии определения оптимальной технологии сложного производства по измерениям технологических факторов и показателей качества, получаемых при реализации штатного технологического процесса. Методология реализована в виде автоматической системы, подключаемой к базе данных, в которую поступают результаты мониторинга процесса и качества продукции процесса. Система будет осуществлять подстройку технологии для получения продукции заданного качества. Приведены примеры, иллюстрирующие результаты определения технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Л.А. Введение в САПР производства проката. – М.: Металлургия, 1991. – 112 с.
2. Кузнецов Л.А. // Проблемы управления. 2007. № 3. С. 47 – 53.
3. Кузнецов Л.А. // Системы управления и информационные технологии. 2007. № 4. С. 64 – 69.
4. Стратонович Р.Л. Теория информации. – М.: Сов. радио, 1975. – 424 с.
5. Кузнецов Л.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1989. № 3. С. 82 – 85.
6. Kuznetsov L.A. The Entropy and Information Application to Identify Fuzzy Sets // Proc. of the Inter. ICSC Symposium on Fuzzy Logic. May 26 – 27, 1995. Zurich. P. A109 – 111.

© 2012 г. Кузнецов Л.А., Кондауров А.С.
Поступила 25 декабря 2010 г.