



The method for estimation of contributions of the technological cycle different stages in forming of the hardware products quality, based on indices of process reproducibility C_p and C_{pk} , C_m and C_{mk} for different production departments, is offered.

А. Н. ЧИЧКО, БНТУ, Л. А. ФЕКЛИСТОВА, РУП «БМЗ»

УДК 621.74:658.62:519.2

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА СТАТИСТИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ПРОЦЕССА И ОЦЕНКА ВКЛАДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАПОВ В ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА МЕТИЗНОЙ ПРОДУКЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Известно, что метод оценки качества процесса с помощью индексов воспроизводимости процесса C_p и C_{pk} применяется для оценки стабильных процессов. При этом используется оценка «собственного» стандартного отклонения, т. е. характеристика «вариабельности» (разброса) на небольшом периоде. Индексы C_m и C_{mk} направлены на выявление возможности улучшения процесса. Они так же, как C_p и C_{pk} , применяются для стабильных процессов, в них тоже используется оценка «собственного» стандартного отклонения, т. е. ха-

рактеристика «вариабельности» (разброса). Имея индексы P_p и P_{pk} ; C_p и C_{pk} , можно оценить возможный уровень дефектности и воспроизводимости процесса. Алгоритмическая схема оценки уровня качества с помощью индексов воспроизводимости показана на рис. 1. По конкретным величинам индексов качества можно судить об уровне пригодности продукта, воспроизводимости процесса и его возможности. Индекс пригодности продукта P_p и P_{pk} был подробно рассмотрен в работах [1, 2].

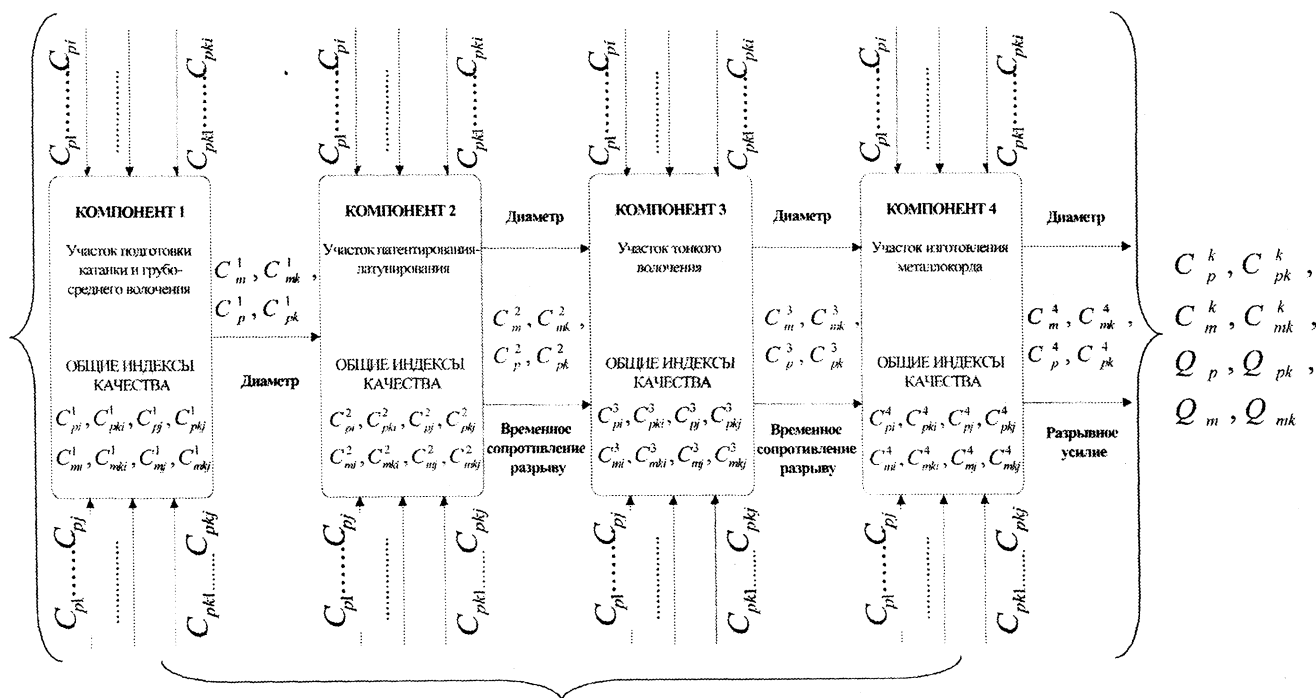


Рис. 1. Алгоритм оценки уровня качества технологического процесса (цикла) изготовления метизной продукции в условиях РУП «БМЗ» с использованием комплексного индекса качества

Цель настоящей работы – исследование и анализ индексов воспроизводимости процесса C_p , C_{pk} и возможности процесса C_m и C_{mk} , а также применение нового подхода при оценке уровня качества процесса.

Причиной появления дефектов в технологическом процессе (цикле) является не что иное, как изменчивость [2, 3]. Оценивая процесс с точки зрения изменения качества, его можно рассматривать как совокупность причин изменчивости. Попыткой уменьшить изменчивость процесса и вместе с этим снизить дефектность продукции и является применение анализа процессов и их оценки с помощью статистических методов контроля. Серия статей по данной проблеме направлена на разработку и применение нового подхода к оценке качества процесса с применением комплексных индексов качества процесса C_p^k и C_{pk}^k ; C_m^k и C_{mk}^k на основе единичных индексов воспроизводимости процесса. Применяя единичные, базовые и комплексные индексы качества, можно оценить изменчивость в каждом компоненте технологического процесса (цикла) и в целом по процессу. Кроме того, число компонентов и подкомпонентов зависит от репрезентативности проводимого исследования. В данном случае рассмотрены основные характеристики продукции (диаметр и временное сопротивление разрыву (разрывное усилие)), по которым оценивается ее качество.

Развиваемый метод основан на применении обобщенного показателя качества, представляющего собой функцию от единичных показателей. Метод оценки уровня качества состоит в сравнении обобщенных, единичных показателей качества оцениваемой продукции с соответствующими показателями качества базового (эталонного) образца. При этом должна учитываться монотонность. Улучшение любого единичного показателя должно вызывать соответствующее увеличение значения индексов качества C_p^k и C_{pk}^k ; C_m^k и C_{mk}^k . Расчет показателей должен производиться с учетом репрезентативности – соответствию характеристик выборки характеристикам генеральной совокупности в целом. Репрезентативность определяет, насколько можно обобщать результаты исследования с привлечением определенной выборки на всю генеральную совокупность, из которой она была собрана. Для каждого из показателей можно рассчитать относительные показатели качества по формулам [2,4]:

$$Q_{pi} = \frac{C_{pi}^k}{C_{piб}^k} \text{ и } Q_{mi} = \frac{C_{mi}^k}{C_{miб}^k},$$

$$Q_{pj} = \frac{C_{pj}^k}{C_{pjб}^k} \text{ и } Q_{mj} = \frac{C_{mj}^k}{C_{mjб}^k},$$

где $C_{pi}^k, C_{pj}^k, C_{mi}^k, C_{mj}^k$ – значение i -го и j -го комплексного показателя качества оцениваемой продукции; $C_{piб}^k, C_{pjб}^k, C_{miб}^k, C_{mjб}^k$ – значение i -го и j -го комплексного показателя качества базового образца. За базовые показатели качества образцов-эталонов приняты показатели качества существующей в мировой и национальной промышленности.

На рис. 2 показаны все компоненты технологического процесса (цикла) изготовления метизной продукции. В качестве примера выбраны две характеристики. Выходной характеристикой компонента 1 является только диаметр, измерения временного сопротивления разрыву здесь не производится, так как эта характеристика формируется на этапе другого производственного процесса. С учетом вклада каждого компонента технологического цикла определим комплексные индексы качества процесса (индексы воспроизводимости процесса) C_p^k и C_{pk}^k ; C_m и C_{mk} :

$$C_p^k = \sum_{i=1}^N (C_{pi} K_{pi}) \text{ и } C_{pk}^k = \sum_{j=1}^N (C_{pj} K_{pj}),$$

$$C_m^k = \sum_{i=1}^N (C_{mi} K_{mi}) \text{ и } C_{mj}^k = \sum_{j=1}^N (C_{mj} K_{mj}),$$

где N – количество данных общей совокупности; $K_{pi}, K_{pj}, K_{mi}, K_{mj}$ – весовой коэффициент обобщенного i -го и j -го компонента технологического процесса (цикла), определяемый по формулам:

$$K_{pi} = \frac{C_{pi}}{\sum_{i=1}^N C_{pi}} \text{ и } K_{pj} = \frac{C_{pj}}{\sum_{j=1}^N C_{pj}},$$

$$K_{mi} = \frac{C_{mi}}{\sum_{i=1}^N C_{mi}} \text{ и } K_{mj} = \frac{C_{mj}}{\sum_{j=1}^N C_{mj}},$$

где C_{pi}, C_{mi} и C_{pj}, C_{mj} – значение индекса качества процесса обобщенного i -го и j -го компонента технологического процесса (цикла) в рассматриваемый период:

$$C_{pi} = \sum_{i=1}^n (C_{pi}^i K_{pi}^i) \text{ и } C_{pj} = \sum_{j=1}^n (C_{pj}^j K_{pj}^j),$$

$$C_{mi} = \sum_{i=1}^n (C_{mi}^i K_{mi}^i) \text{ и } C_{mj} = \sum_{j=1}^n (C_{mj}^j K_{mj}^j),$$

где $K_{pi}^i, K_{mi}^i, K_{pj}^j, K_{mj}^j$ – весовой коэффициент единичного i -го и j -го параметра компонента технологического процесса (цикла).

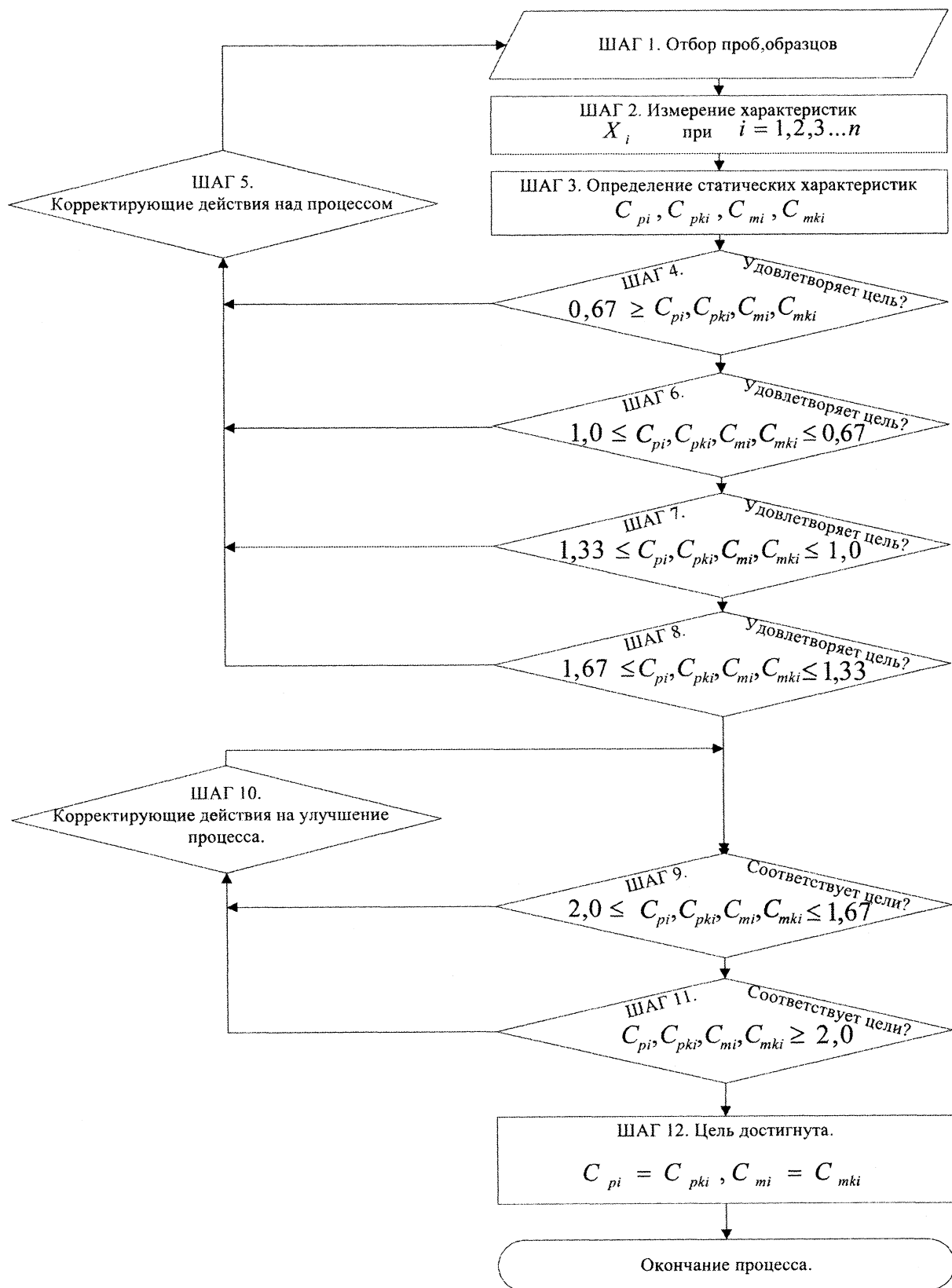


Рис. 2. Алгоритмическая схема оценки уровня качества с использованием единичных индексов качества

Весовой коэффициент i -го и j -го параметра компонента технологического процесса (цикла) рассчитаем по формулам:

$$K_{pi}^i = \frac{C_{pi}^i}{\sum_{i=1}^n C_{pi}^i} \text{ и } K_{pj}^j = \frac{C_{pj}^j}{\sum_{j=1}^n C_{pj}^j},$$

$$K_{mi}^i = \frac{C_{mi}^i}{\sum_{i=1}^n C_{mi}^i} \text{ и } K_{mj}^j = \frac{C_{mj}^j}{\sum_{j=1}^n C_{mj}^j},$$

где n – число наблюдений в единичной выборке; C_{pi}^i, C_{mi}^i и C_{pj}^j, C_{mj}^j – значение индекса качества процесса единичного i -го и j -го компонента технологического процесса (цикла) в рассматриваемый период.

После того, как принято решение анализировать показатель качества процесса, необходимо собрать данные и здесь важную роль играют способ сбора и вариация показателя качества, возникающая по разным причинам. Поэтому при разделении на группы следует также учитывать вариацию внутри подгруппы [5].

Алгоритм комплексной оценки уровня воспроизводимости технологического процесса (цикла)

Рассмотрим комплексные характеристики C_p^k и C_{pk}^k для метизной продукции, в основу которых положено применение индексов воспроизводимости процессов C_p и C_{pk} . Алгоритм определения будем рассматривать в той последовательности, как показано на рис. 2, где представлен основной технологический цикл изготовления метизной продукции.

Шаг 1. Определение комплексного индекса качества процесса (индекса воспроизводимости процесса) за рассматриваемый период для C_p^k характеристик диаметр и временное сопротивление разрыву (разрывное усилие):

$$C_p^k = \sum_{i=1}^N C_{pi}^i,$$

где N – количество компонентов технологического цикла (общей совокупности), который изменяется от 1 до 4; $C_{pi}^1, C_{pi}^2, C_{pi}^3, C_{pi}^4$ – соответственно общий индекс качества участков подготовки катанки и грубосреднего волочения, патентирования – латунирования, тонкого волочения и изготовления металлокорда.

Шаг 2. Определение общего индекса качества процесса (индекса воспроизводимости процесса) C_p^i для каждого компонента технологического процесса:

а) участка подготовки катанки и грубосреднего волочения:

$$C_p^1 = K_{pi}^1 C_{pi}^1;$$

б) участка латунирования:

$$C_p^2 = K_{pi}^2 C_{pi}^2;$$

в) участка тонкого волочения:

$$C_p^3 = K_{pi}^3 C_{pi}^3;$$

г) участка изготовления металлокорда:

$$C_p^4 = K_{pi}^4 C_{pi}^4.$$

Шаг 3. Определение комплексного индекса качества процесса (индекса воспроизводимости процесса) C_p^k с учетом весового коэффициента:

$$C_p^k = \sum_{i=1}^N K_{pi}^i C_{pi}^i,$$

где $C_{pi}^1, C_{pi}^2, C_{pi}^3, C_{pi}^4$ – соответственно общий индекс качества для характеристики временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) участков подготовки катанки и грубосреднего волочения, патентирования – латунирования, тонкого волочения и изготовления металлокорда; $K_{pi}^1, K_{pi}^2, K_{pi}^3, K_{pi}^4$ – соответственно весовой коэффициент для общего индекса качества участка подготовки катанки и грубосреднего волочения, патентирования – латунирования, тонкого волочения и изготовления металлокорда.

Шаг 4. Определение коэффициента весомости для общего i -го индекса качества для каждого компонента технологического процесса:

$$K_{pi}^i = \frac{C_{pi}^i}{\sum_{i=1}^N C_{pi}^i}.$$

Шаг 5. Определение общего индекса качества (индекса воспроизводимости процесса) C_{pi}^i для каждой характеристики компонента технологического процесса:

$$C_{pi}^i = \sum_{i=1}^n K_{pi}^{ki} C_{pi}^{ki},$$

где n – количество компонентов технологического цикла (подвыборки), который изменяется от 1 до 4; $C_{pi}^{k1}, C_{pi}^{k2}, C_{pi}^{k3}, C_{pi}^{k4}$ – соответственно единичный индекс качества для характеристики диаметр и временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) участка подготовки катанки и грубосреднего волочения, патентирования – латунирования, тонкого волочения и изготовления металлокорда; $K_{pi}^{k1}, K_{pi}^{k2}, K_{pi}^{k3}, K_{pi}^{k4}$ – соответственно весовой коэффициент для единичного индекса качества для характеристики временное сопротивление разрыву

(разрывное усилие) участка подготовки катанки и грубосреднего волочения, патентирования – латунирования, тонкого волочения и изготовления металлокорда.

Шаг 6. Определение весового коэффициента единичного i -го индекса качества для каждой характеристики компонента технологического процесса:

$$K_{mi}^{ki} = \frac{C_{mi}^{ki}}{\sum_{i=1}^n C_{mi}^{ki}}$$

Шаг 7. Определение относительного индекса качества комплексного индекса качества (индекса воспроизводимости процесса) C_p^k :

$$Q_{pi} = \frac{C_p^k}{C_{pб}}$$

где $C_{pб}$ – значение показателя качества базового образца принимается 1,33 (для удовлетворительно настроенного процесса).

Для оценки уровня относительного индекса качества Q_{pi} и Q_{pki} применим дифференциальный метод, когда увеличение абсолютного значения показателя качества соответствует улучшению качества продукции [6–9]. В данном случае, вычислив комплексный индекс качества C_p^k , можно судить о качестве процесса. Этот индекс показывает воспроизводимость технологического процесса (цикла) и его настроенность.

Шаг 8. Определение комплексной характеристики качества процесса за рассматриваемый период для C_{pk}^k , учитывающей центровку (настроенность) процесса:

$$C_{pk}^k = \sum_{i=1}^N C_{pk}^i$$

где $C_{pk}^1, C_{pk}^2, C_{pk}^3, C_{pk}^4$ – соответственно общий индекс качества участков подготовки катанки и грубосреднего волочения, патентирования – латунирования, тонкого волочения и изготовления металлокорда.

Шаг 9. Определение общего индекса качества (индекса воспроизводимости процесса) C_{pk}^i для каждого компонента технологического процесса:

а) участка подготовки катанки и грубосреднего волочения:

$$C_{pk}^1 = K_{pki}^1 C_{pki}^1;$$

б) участка латунирования:

$$C_{pk}^2 = K_{pki}^2 C_{pki}^2;$$

в) участка тонкого волочения:

$$C_{pk}^3 = K_{pki}^3 C_{pki}^3;$$

г) участка изготовления металлокорда:

$$C_{pk}^4 = K_{pki}^4 C_{pki}^4.$$

Шаг 10. Определение комплексной характеристики качества процесса C_p^k с учетом весового коэффициента:

$$C_{pki}^i = \sum_{i=1}^n K_{pki}^{ki} C_{pki}^{ki},$$

где $C_{pki}^1, C_{pki}^2, C_{pki}^3, C_{pki}^4$ – соответственно общий индекс качества для характеристики временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) участков подготовки катанки и грубосреднего волочения, патентирования – латунирования, тонкого волочения и изготовления металлокорда; $K_{pki}^1, K_{pki}^2, K_{pki}^3, K_{pki}^4$ – соответственно весовой коэффициент для общего индекса качества для характеристики временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) участка подготовки катанки и грубосреднего волочения, патентирования – латунирования, тонкого волочения и изготовления металлокорда.

Шаг 11. Определение весового коэффициента для общего i -го индекса качества для каждого компонента технологического процесса:

$$K_{pki}^i = \frac{C_{pki}^i}{\sum_{i=1}^N C_{pki}^i}$$

Шаг 12. Определение общего индекса качества процесса (индекса воспроизводимости процесса) C_{pki}^i для каждой характеристики компонента технологического процесса:

$$C_{pki}^i = \sum_{i=1}^n K_{pki}^{ki} C_{pki}^{ki},$$

где $C_{pki}^{k1}, C_{pki}^{k2}, C_{pki}^{k3}, C_{pki}^{k4}$ – соответственно единичный индекс качества для характеристики диаметр и временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) участка подготовки катанки и грубосреднего волочения, патентирования – латунирования, тонкого волочения и изготовления металлокорда; $K_{pki}^{k1}, K_{pki}^{k2}, K_{pki}^{k3}, K_{pki}^{k4}$ – соответственно весовой коэффициент для единичного индекса качества для характеристики временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) участка подготовки катанки и грубосреднего волочения, патентирования – латунирования, тонкого волочения и изготовления металлокорда.

Шаг 13. Определение общего весового коэффициента для каждой характеристики компонента технологического процесса:

$$K_{mki}^{ki} = \frac{C_{mki}^{ki}}{\sum_{i=1}^n C_{mki}^{ki}}$$

Таблица 1. Расчетные данные для характеристики диаметр для индексов C_p^i и C_{pk}^i

Компоненты технологического процесса	C_p^i	C_{pk}^i	K_{pi}^i	K_{pki}^i	C_{pi}^i	C_{pki}^i	$\sum_{i=1}^N C_{pi}^i$	$\sum_{i=1}^N C_{pki}^i$	C_{mi}^{ki}	C_{mki}^{ki}	C_{mi}^{ki}	C_{mki}^{ki}	$\sum_{i=1}^n C_{mi}^{ki}$	$\sum_{i=1}^n C_{mki}^{ki}$	Q_{pi}	Q_{pki}
1	0,36	0,24	0,22	0,21	1,66	1,19	—	—	18,94	13,17	0,21	0,20	—	—	—	—
2	0,34	0,42	0,21	0,27	1,61	1,56	—	—	18,76	17,79	0,21	0,27	—	—	—	—
3	0,66	0,61	0,29	0,32	2,25	1,89	—	—	26,90	22,08	0,29	0,32	—	—	—	—
4	0,59	0,24	0,28	0,20	2,13	1,17	—	—	25,58	14,02	0,28	0,20	—	—	—	—
Общее значение индексов	—	—	—	—	—	—	7,65	5,81	—	—	—	—	90,18	67,05	1,47	1,14

Таблица 2. Расчетные данные для характеристики диаметр для индексов C_m^i и C_{mk}^i

Компоненты технологического процесса	C_m^i	C_{mk}^i	K_{mi}^i	K_{mki}^i	C_{mi}^i	C_{mki}^i	$\sum_{i=1}^N C_{mi}^i$	$\sum_{i=1}^N C_{mki}^i$	C_{mi}^{ki}	C_{mki}^{ki}	C_{mi}^{ki}	C_{mki}^{ki}	$\sum_{i=1}^n C_{mi}^{ki}$	$\sum_{i=1}^n C_{mki}^{ki}$	Q_{mi}	Q_{mki}
1	0,31	0,38	0,19	0,23	1,66	1,66	—	—	18,94	18,94	0,19	0,23	—	—	—	—
2	0,29	0,35	0,18	0,21	1,61	1,61	—	—	18,76	18,76	0,18	0,21	—	—	—	—
3	0,57	0,69	0,25	0,31	2,25	2,25	—	—	26,90	26,90	0,25	0,31	—	—	—	—
4	1,26	0,45	0,38	0,25	3,34	1,83	—	—	39,98	21,79	0,38	0,25	—	—	—	—
Общее значение индексов	—	—	—	—	—	—	8,86	7,35	—	—	—	—	104,58	86,39	1,83	1,40

Шаг 14. Определение относительного индекса качества комплексного индекса качества (индекса воспроизводимости процесса) C_{pk}^k :

$$Q_{pki} = \frac{C_{pk}^k}{C_{pkb}}$$

где C_{pkb} – значение показателя качества базового образца принимается 1,33.

Расчетные данные по рассматриваемой характеристике диаметр приведены в табл. 1, 2. На рис. 3, 4 показана динамика изменения во времени индексов качества C_p и C_{pk} по характеристикам диаметр и временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) для различных компонентов технологического цикла изготовления метизной продукции. Как видно из рис. 3, целевое значение C_p по характеристике диаметр не достигнуто в ком-

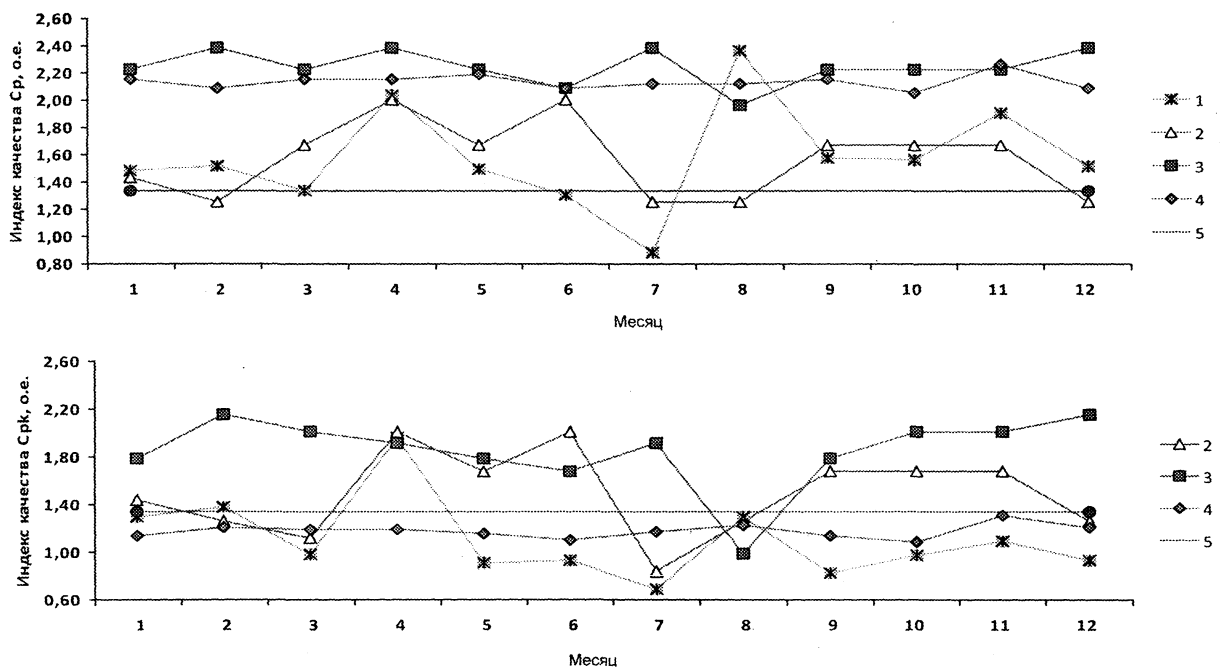


Рис. 3. Динамика изменения во времени индексов качества C_p и C_{pk} по характеристике диаметр для различных технологических циклов изготовления метизной продукции: 1 – участок подготовки катанки и грубосреднего волочения; 2 – участок патентирования – латунирования; 3 – участок тонкого волочения; 4 – участок изготовления металлокорда; 5 – целевое значение

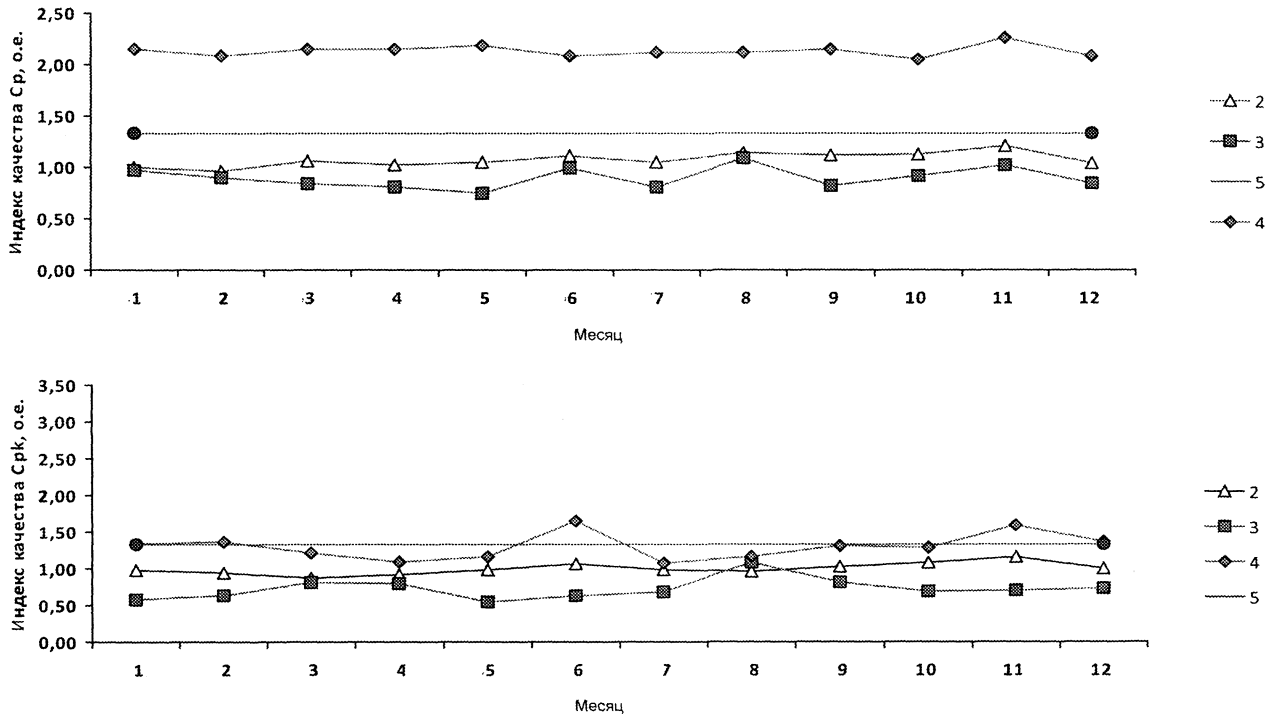


Рис. 4. Динамика изменения во времени индексов качества C_p и C_{pk} по характеристике временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) для различных технологических циклов изготовления метизной продукции: 2 – участок патентирования–латунирования; 3 – участок тонкого волочения; 4 – участок изготовления металлокорда; 5 – целевое значение

понентах 1 и 2, соответствующих участку подготовки катанки и грубосреднего волочения и патентирования–латунирования. По индексу C_{pk} можно считать достигнутой только компоненту 3 (уча-

сток тонкого волочения). Процесс хоть и управляем, но не отцентрирован относительно границ регулирования. Требуется провести анализ причин и откорректировать процесс.

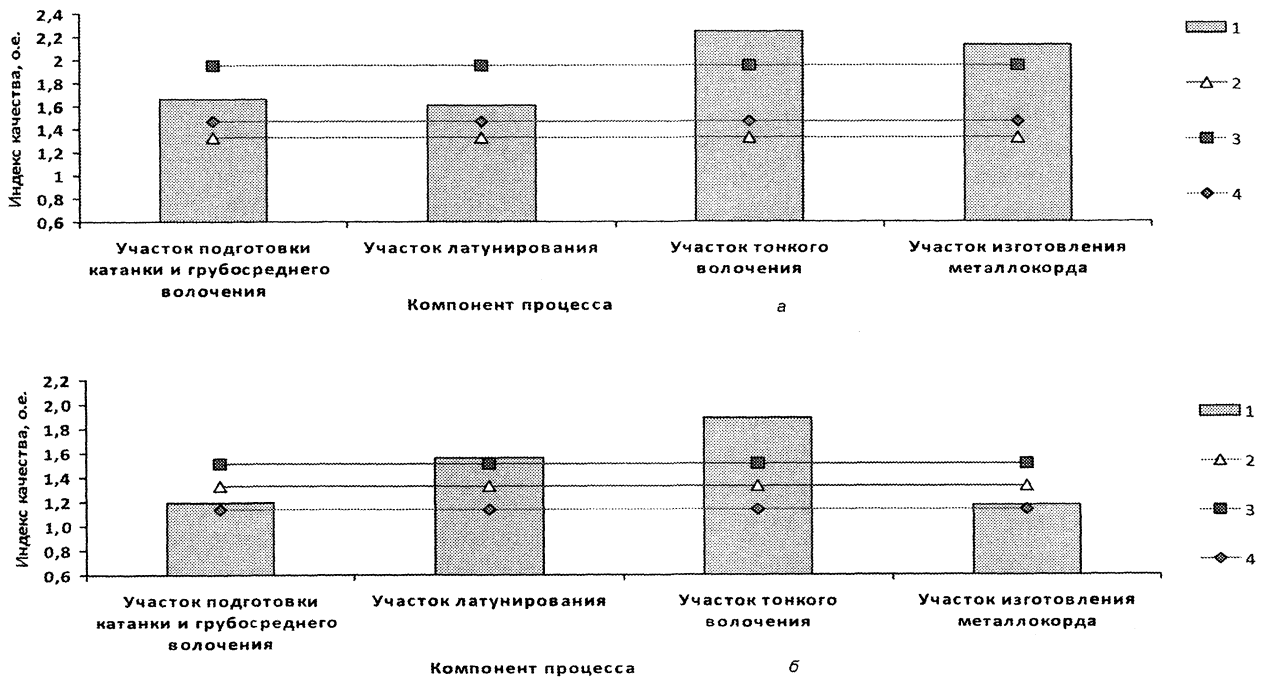


Рис. 5. Динамика изменения во времени индексов качества по характеристике диаметр для различных технологических циклов изготовления метизной продукции: 1 – общий индекс качества компонента технологического цикла C_{pi} (а) и C_{pki} (б); 2 – базовый индекс качества $C_{piб}$; 3 – комплексный индекс качества C_p^k (а) и C_{pk}^k (б); 4 – относительный индекс качества Q_{pi} (а) и Q_{pki} (б)

Например, если значение индекса качества C_p участка тонкого волочения и участка изготовления металлокорда выше базового значения 1,33, то уровень процесса хороший (надежный). Особых корректировок в процесс вносить не требуется, действия следует направить на улучшение процесса. Значение же индексов C_p и C_{pk} по характеристике временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) по всем компонентам технологического цикла ниже целевого значения, кроме значений C_p компонента 4 (участка изготовления металлокорда). Здесь процесс стабилен и существует возможность улучшения посредством центровки процесса (рис. 4).

На рис. 5, 6 показано распределение общих индексов качества C_{pi} и C_{pki} по каждому компоненту технологического процесса (цикла). Это дает возможность судить о том, на каком этапе технологического процесса (цикла) необходимо в первую очередь проводить улучшение. Например, из рис. 5 видно, что общий индекс качества по всем компонентам технологического цикла по характеристике диаметр превышает базовое значение 1,33. При этом комплексные индексы качества C_p^k и C_{pk}^k помогают определить направление в улучшении всего технологического процесса (цикла). И эти улучшения в данном случае нужно проводить в компонентах 1 и 2. При оценке сложной

продукции, имеющей широкую номенклатуру показателей качества, оценку уровня качества производят смешанным методом, использующим единичные и комплексные показатели качества, что и было применено в рассматриваемой методике для метизной продукции.

Относительный индекс качества показывает долю базового (единичного) в обобщенном (комплексном) индексе качества. Результат сравнения по характеристике диаметр (см. рис. 5) и временное сопротивление разрыву (рис. 6) показывает, что качество полученного продукта в целом по процессу без учета его центровки достигнуто.

Алгоритм комплексной оценки уровня возможности технологического процесса (цикла)

Комплексные показатели качества могут быть связаны с единичными через функциональные зависимости, отражающие объективные законы природы, а могут быть некоторой комбинацией их, соответствующей определению комплексного показателя.

Функциональный способ нахождения комплексного показателя качества предпочтительнее, но не всегда возможен по ряду причин. Одна из них состоит в том, что получить функциональную зависимость, учитывающую большое число единичных показателей качества, очень сложно. Если комплексный показатель качества невозможно вы-

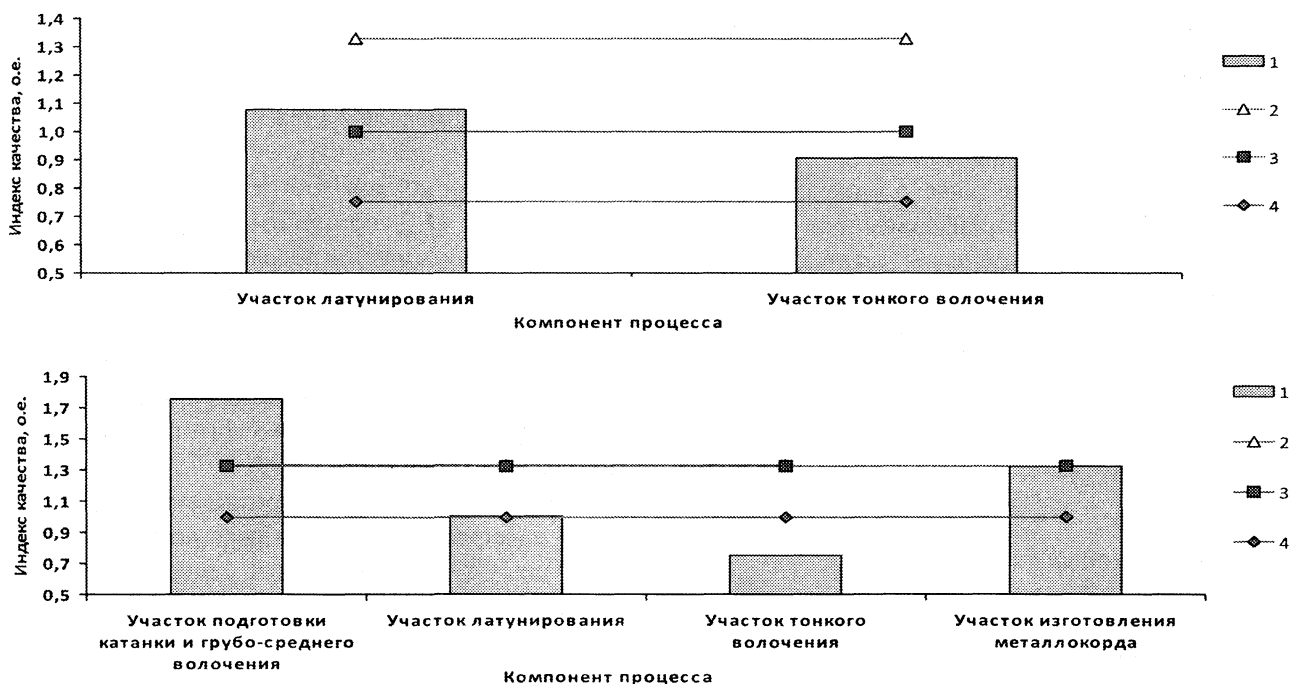


Рис. 6. Динамика изменения во времени индексов качества по характеристике временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) для различных технологических циклов изготовления метизной продукции: 1 – общий индекса качества компонента технологического цикла C_{pi} (а) и C_{pki} (б); 2 – базовый индекс качества $C_{piб}$; 3 – комплексный индекс качества C_p^k (а) и C_{pk}^k (б); 4 – относительный индекс качества Q_{pi} (а) и Q_{pki} (б)

разить через единичные с помощью объективной функциональной зависимости, применяют субъективный способ образования комплексных показателей по принципу среднего взвешенного. Субъективным в этом случае является выбор логики усреднения, сам же комплексный показатель – объективная количественная характеристика качества объекта [10].

Статистическое регулирование технологического процесса – это управление параметрами технологического процесса по результатам контроля выборочных характеристик параметров производимой продукции. Для этого необходимо осуществлять контрольные измерения значений параметров продукции в процессе на отдельных этапах и в конце процесса на готовой продукции. По результатам этих измерений принимается решение о необходимости корректировки процесса. В свою очередь результаты измерений вносятся в базу данных в компьютерной сети и/или фиксируются в контрольных картах. Сведения о распределении контролируемого параметра можно получить на основе статистического анализа.

Рассмотрим комплексные характеристики C_m^k и C_{mk}^k для метизной продукции, в основу которых положено применение индексов воспроизводимости процессов C_m и C_{mk} . Основной технологический цикл изготовления метизной продукции показан на рис. 1 [2].

Шаг 1. Определение комплексного индекса качества процесса (индекса воспроизводимости процесса) за рассматриваемый период для C_m^k :

$$C_m^k = \sum_{i=1}^N C_m^i.$$

Шаг 2. Определение общего индекса качества процесса (индекса воспроизводимости процесса) C_{mi}^i для каждого компонента технологического процесса:

а) участка подготовки катанки и грубосреднего волочения:

$$C_m^1 = K_{mi}^1 C_{mi}^1;$$

б) участка латунирования:

$$C_m^2 = K_{mi}^2 C_{mi}^2;$$

в) участка тонкого волочения:

$$C_m^3 = K_{mi}^3 C_{mi}^3;$$

г) участка изготовления металлокорда:

$$C_m^4 = K_{mi}^4 C_{mi}^4.$$

Шаг 3. Определение комплексного индекса качества процесса (индекса воспроизводимости процесса) C_m^k с учетом весового коэффициента:

$$C_m^k = \sum_{i=1}^N K_{mi}^i C_{mi}^i.$$

Шаг 4. Определение коэффициента весомости общего i -го индекса качества для каждого компонента технологического процесса:

$$K_{mi}^i = \frac{C_{mi}^i}{\sum_{i=1}^N C_{mi}^i}.$$

Шаг 5. Определение общего индекса качества (индекса воспроизводимости процесса) C_{mi}^i для каждой характеристики компонента технологического процесса:

$$C_{mi}^i = \sum_{i=1}^n K_{mi}^{ki} C_{mi}^{ki}.$$

Шаг 6. Определение весового коэффициента единичного i -го индекса качества для каждой характеристики компонента технологического процесса.

$$K_{mi}^{ki} = \frac{C_{mi}^{ki}}{\sum_{i=1}^n C_{mi}^{ki}}.$$

Шаг 7. Определение относительного индекса качества комплексного индекса качества (индекса воспроизводимости процесса) C_m^k :

$$Q_{pi} = \frac{C_m^k}{C_{mб}^k},$$

где $C_{mб}^k$ – значение показателя качества базового образца принимается 2 (для хорошо настроенного процесса).

Для оценки уровня относительного индекса качества Q_{mi} и Q_{mki} применим дифференциальный метод, когда увеличение абсолютного значения показателя качества соответствует улучшению качества продукции [3]. В данном случае, вычислив комплексный индекс качества C_m^k , можно судить о качестве процесса. Этот индекс показывает воспроизводительность технологического процесса (цикла) и его настроенность.

Шаг 8. Определение комплексной характеристики качества процесса за рассматриваемый период для C_{mk}^k , учитывающей центровку (настроенность) процесса:

$$C_{mk}^k = \sum_{i=1}^N C_{mk}^i.$$

Шаг 9. Определение общего индекса качества (индекса воспроизводимости процесса) C_{mk}^i для каждого компонента технологического процесса:

а) участка подготовки катанки и грубосреднего волочения:

$$C_{mk}^1 = K_{mki}^1 C_{mki}^1;$$

б) участка лагунирования:

$$C_{mk}^2 = K_{mki}^2 C_{mki}^2;$$

в) участка тонкого волочения:

$$C_{mk}^3 = K_{mki}^3 C_{mki}^3;$$

г) участка изготовления металлокорда:

$$C_{mk}^4 = K_{mki}^4 C_{mki}^4.$$

Шаг 10. Определение комплексной характеристики качества процесса C_m^k с учетом весового коэффициента:

$$C_m^k = \sum_{i=1}^n K_{mki}^{ki} C_{mki}^{ki}.$$

Шаг 11. Определение весового коэффициента общего j -го индекса качества для каждого компонента технологического процесса:

$$K_{mki}^i = \frac{C_{mki}^i}{\sum_{i=1}^N C_{mki}^i}.$$

Шаг 12. Определение общего индекса качества процесса (индекса воспроизводимости процесса)

C_{mki}^i для каждой характеристики компонента технологического процесса:

$$C_{mki}^i = \sum_{i=1}^n K_{mki}^{ki} C_{mki}^{ki}.$$

Шаг 13. Определение общего весового коэффициента для каждой характеристики компонента технологического процесса:

$$K_{mki}^{ki} = \frac{C_{mki}^{ki}}{\sum_{i=1}^n C_{mki}^{ki}}.$$

Шаг 14. Определение относительного индекса качества комплексного индекса качества (индекса воспроизводимости процесса) C_{mk}^k :

$$Q_{mki} = \frac{C_{mk}^k}{C_{mk6}},$$

где C_{mk6} – значение показателя качества базового образца принимается 2.

На рис. 7, 8 показана динамика изменения во времени индексов качества C_m и C_{mk} по характеристикам диаметр и временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) для различных компонентов технологического цикла изготовления метизной продукции. Как видно из рис. 7, целевое значение C_{mk} по характеристике диаметр достигнуто и превышает базовый уровень только в ком-

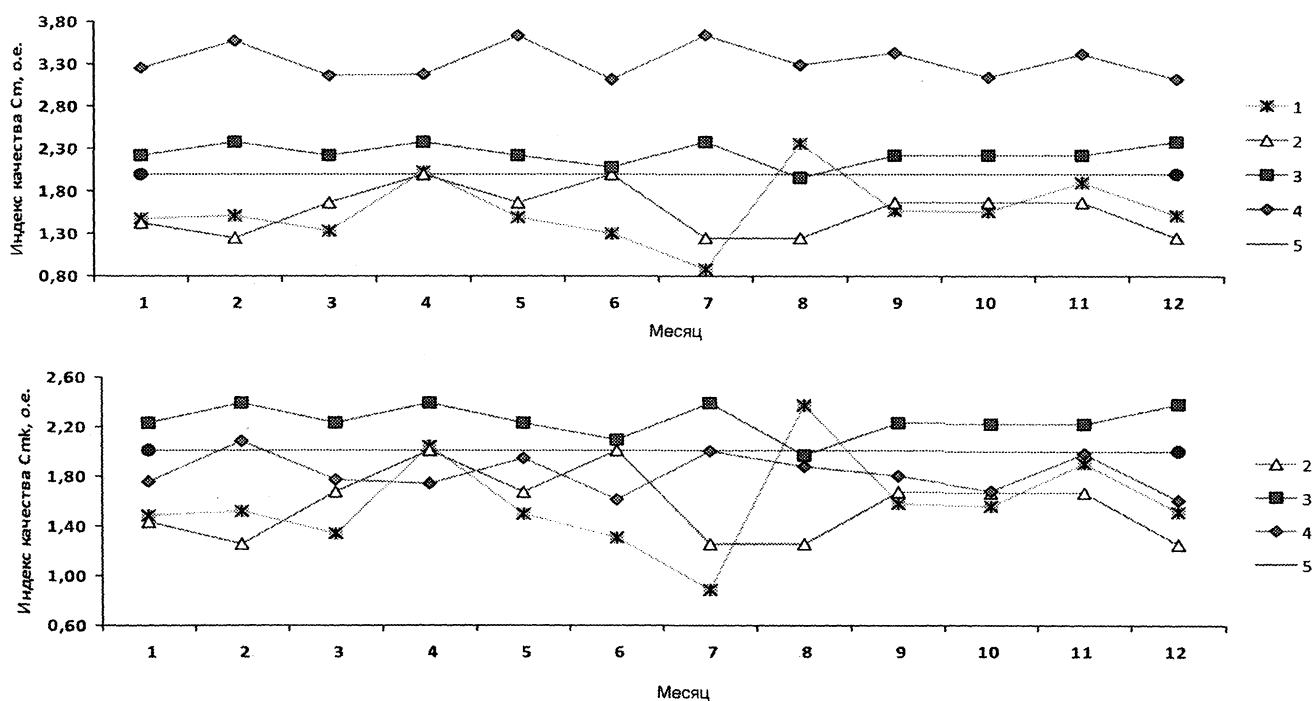


Рис. 7. Динамика изменения во времени индексов качества C_m и C_{mk} по характеристике диаметр для различных технологических циклов изготовления метизной продукции: 1 – участок подготовки катанки и грубосреднего волочения; 2 – участок патентирования-лагунирования; 3 – участок тонкого волочения; 4 – участок изготовления металлокорда; 5 – целевое значение

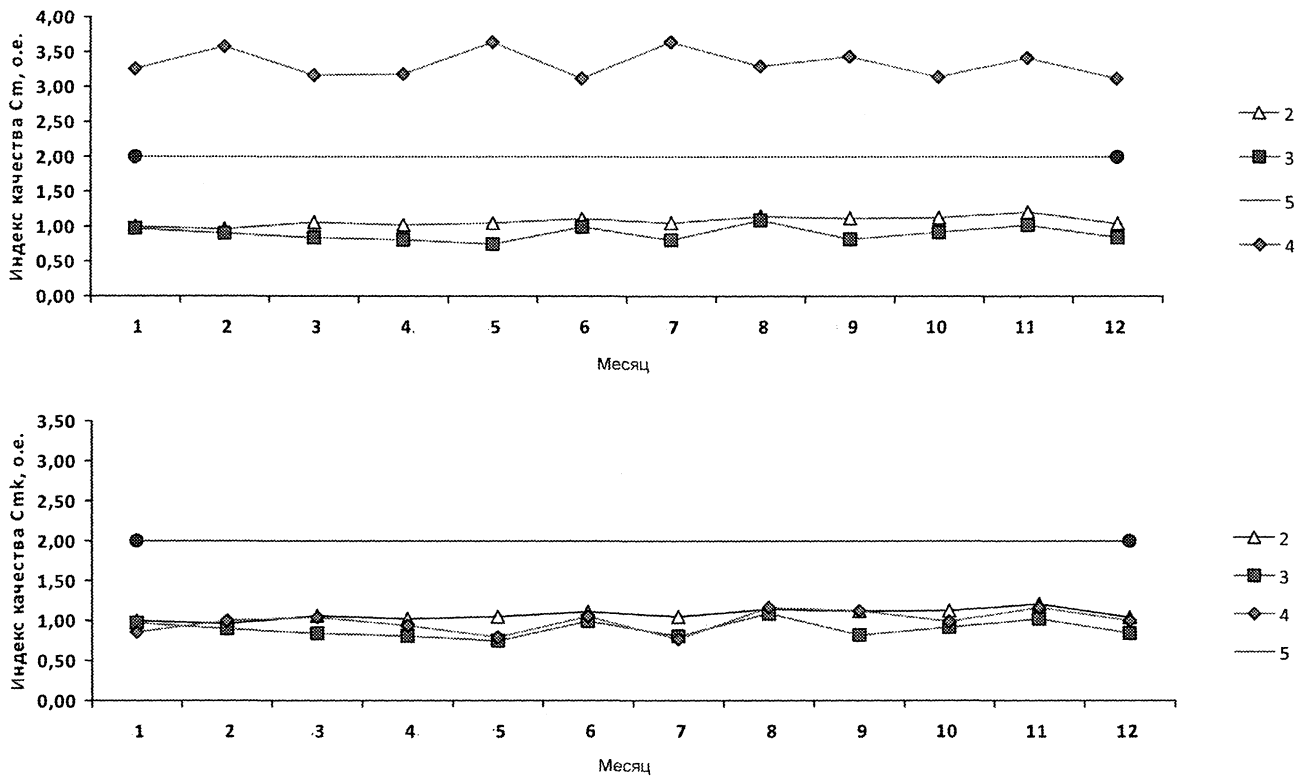


Рис. 8. Динамика изменения во времени индексов качества C_m и C_{mk} по характеристике временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) для различных технологических циклов изготовления метизной продукции: 2 – участок патентирования–латунирования; 3 – участок тонкого волочения; 4 – участок изготовления металлокорда; 5 – целевое значение

поненте 3, соответствующему участку тонкого волочения, где и существует возможность улучшения. Улучшений по характеристике временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) провести невозможно по причине низкого значения C_{mk} относительного базового.

На рис. 9, 10 показано распределение общих индексов качества C_{mi} и C_{mki} по каждому компоненту технологического процесса (цикла), что позволяет судить о том, на каком этапе технологического процесса (цикла) необходимо в первую очередь проводить улучшение. Например, из рис. 9 видно, что общий индекс качества компонентов технологического цикла 1 и 2 по характеристике диаметр не достиг базового уровня 2. Комплексный индекс качества технологического процесса по характеристике диаметр C_p^k без учета центровки процесса превышает базовый уровень, а значения с учетом центровки C_{pk}^k немного меньше. Этот анализ позволяет видеть направление возможности в улучшении всего технологического процесса (цикла). Эта возможность может быть рассмотрена, исходя из рис. 9, в компоненте 3. Касаемо же возможностей по улучшению характеристики временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) здесь не существует (рис. 10). Необходимо стабилизировать процесс по обычным при-

чинам, которые являются дестабилизирующим фактором.

В результате сравнения относительного индекса качества по характеристике диаметр (см. рис. 9) и временное сопротивление разрыву (рис. 10) видно, что качество полученного продукта в целом по процессу ниже базового.

Алгоритмическая схема оценки уровня качества с помощью индексов воспроизводимости показана на рис. 2. При этом для единичных характеристик технологического процесса следует учитывать следующие условия. Если $C_p; C_{pk}; C_{pi}; C_{pki}; C_m; C_{mk}; C_{mi}; C_{mki} \leq 1,67$, то уровень процесса очень плохой. В этом случае ширина интервала между контрольными нормативами не превышает 4δ . Вероятность появления брака составляет более 4,56%. Процесс не контролируем, он должен быть остановлен до принятия экстренных мер по его стабилизации, обучению и переподготовке персонала. Если $1,33 \leq C_p; C_{pk}; C_{pi}; C_{pki}; C_m; C_{mk}; C_{mi}; C_{mki} \leq 1,0$, то это неудовлетворительный уровень процесса. В этом случае ширина интервала между контрольными нормативами всего лишь в 4–6 раз превышает стандартное отклонение δ . Процесс протекает неудовлетворительно. Необходимо организовать усиленный контроль процесса и провести 100%-

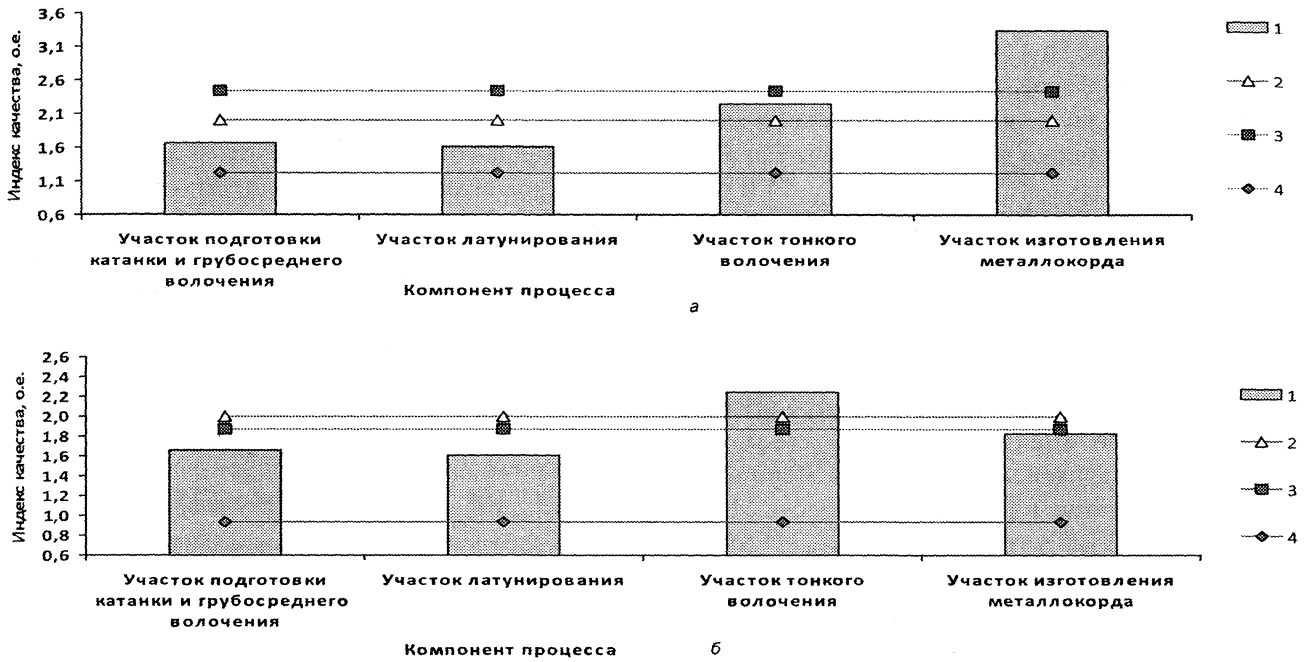


Рис. 9. Динамика изменения во времени индексов качества по характеристике диаметр для различных технологических циклов изготовления метизной продукции: 1 – общий индекса качества компонента технологического цикла C_{mi} (а) и C_{mki} (б); 2 – базовый индекс качества C_{mib} ; 3 – комплексный индекс качества C_m^k (а) и C_{mki}^k (б); 4 – относительный индекс качества Q_{mi} (а) и Q_{mki} (б)

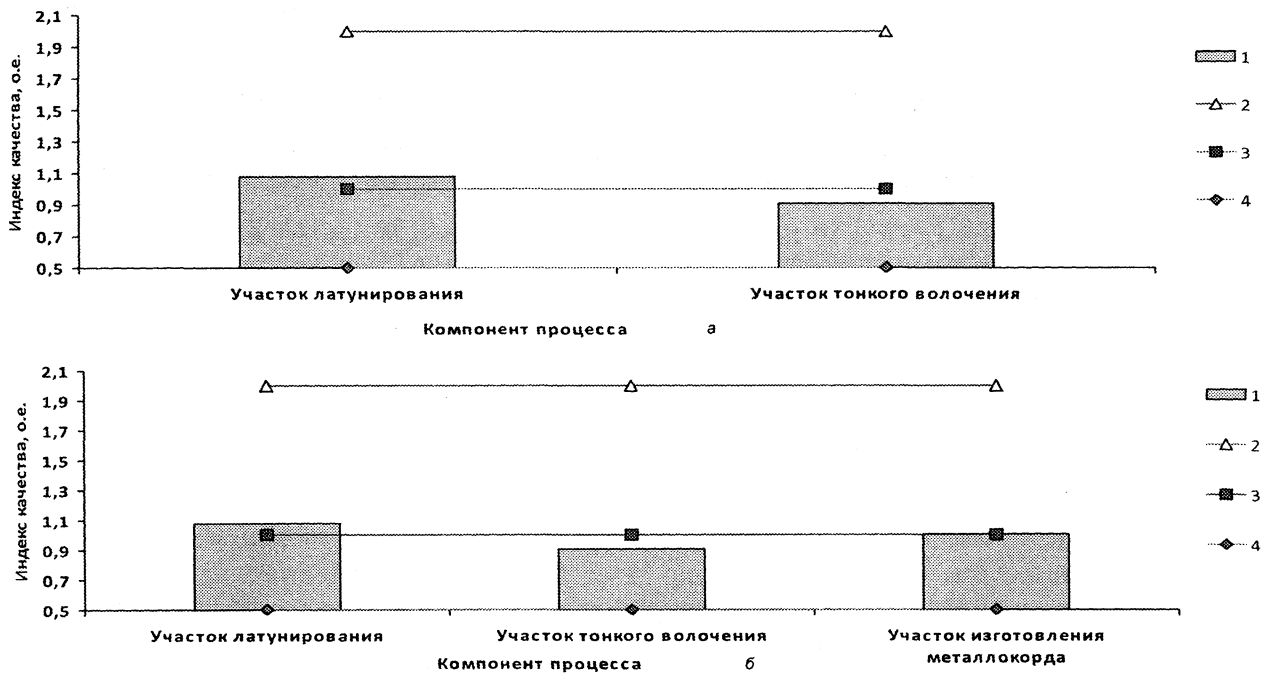


Рис. 10. Динамика изменения во времени индексов качества по характеристике временное сопротивление разрыву (разрывное усилие) для различных технологических циклов изготовления метизной продукции: 1 – общий индекс качества компонента технологического цикла C_{mi} (а) и C_{mki} (б); 2 – базовый индекс качества C_{mib} ; 3 – комплексный индекс качества C_m^k (а) и C_{mki}^k (б); 4 – относительный индекс качества Q_{mi} (а) и Q_{mki} (б)

ную проверку выпускаемой продукции с целью исключения брака. При этом необходимо провести исследования факторов, влияющих на разброс показателей, и принять меры по стабилизации процесса, а также повторному обучению персонала. Если $1,33 \leq C_p; C_{pk}; C_{pi}; C_{pki}; C_m; C_{mk}; C_{mi}; C_{mki} \leq 1,0$, то это удовлетворительный уровень процесса. В этом случае ширина интервала между контрольными нормативами в 6–8 раз превышает стандартное отклонение δ . При приближении C_p к 1 вероятность появления брака составляет 0,27%. Необходимо усилить процедуры контроля процесса, провести анализ факторов, влияющих на разброс показателей, и провести мероприятия по улучшению состояния процесса. Если $1,67 \leq C_p; C_{pk}; C_{pi}; C_{pki}; C_m; C_{mk}; C_{mi}; C_{mki} \leq 1,33$, то это хороший уровень процесса. В этом случае ширина интервала между контрольными нормативами в 8–10 раз превышает стандартное отклонение δ . Такой процесс считается хорошим (надежным).

Если $C_p; C_{pk}; C_{pi}; C_{pki}; C_m; C_{mk}; C_{mi}; C_{mki} \leq 1,67$, то это очень хороший (высокий) уровень процесса. В этом случае ширина интервала между контрольными нормативами не менее чем в 10 раз превышает стандартное отклонение δ . Разброс параметров незначителен, отсутствует вероятность появления брака. При значениях индексов более 3 возможен пересмотр планов управления в сторону уменьшения или упрощения процедуры контроля [1,2,9].

Таким образом, предложен метод для оценки вкладов различных этапов технологического цикла в формирование качества метизной продукции, основанный на индексах воспроизводимости процесса C_p и C_{pk} ; C_m и C_{mk} для различных производственных участков. Использование этих индексов позволяет вносить коррективы в технологию с целью получения наивысших показателей качества металлургической продукции на конкретном участке.

Литература

1. Чичко А. Н., Феклистова Л. А., Сачек О. А. Алгоритмы статистических методов, используемых для повышения качества металлургической продукции на РУП «БМЗ» // *Литье и металлургия*. 2008. № 4. С. 104–112.
2. Чичко А. Н., Феклистова Л. А., Соболев В. Ф. О новом подходе к оценке вкладов различных этапов технологического цикла в качество метизной продукции // *Литье и металлургия*. 2009. № 3. С. 50–56.
3. СТБ ГОСТ Р 50779.44–2003. Статистические методы. Показатели возможности процессов. Основные методы расчета. Издание официальное. Госстандарт, 2003.
4. WEB: http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?tutindex=18&index=12. Методы оценки уровня качества продукции.
5. Кумэ Х. Статистические методы повышения качества / Пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1990.
6. Рубичев Н. А., Фрумкин В. Д. Достоверность допускового контроля качества. М.: Изд-во стандартов, 1990.
7. Макино Т., Охаси М., Докэ Х., Макино К. Контроль качества с помощью персональных компьютеров / Пер. с японск. М.: Машиностроение, 1991.
8. Врусепинс. Statistical Process Control. SPC. The co-ordinator of target group, Corporation Sandy, Troy, Michigan, December, 1991. P. 166.
9. Розно М. И. и др. Практическое руководство. Применение прикладных статистических методов при производстве продукции (для специалистов по управлению качеством и специалистов технических служб). Дораб. Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2004.
10. Шишкин И. В., Станякин В. М. Квалиметрия и управление качеством. М.: Изд-во ВЗПИ, 1992.