



Algorithms for determination of statistic characteristics in metallurgical production at manufacturing of hardware products are described. Analysis of the calculated statistic characteristics of hardware products of RUP "BMZ" is presented.

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

УДК 621.74:519.2

АЛГОРИТМЫ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ НА РУП «БМЗ»

В настоящее время наиболее общепринятой системой контроля качества является ISO 9001:2000. Эта система предполагает использование методов статистического анализа для контроля качества процесса и продукции. Основу этих методов составляют подходы, базирующиеся на вычислении таких характеристик, как Pp и Ppk , Cp и Cpk , Cm и Cmk , которые называют индексами воспроизводимости процесса. Необходимость использования статистических методов анализа в метизном производстве обусловлена разнообразием применяемых марок сталей и особенностью технологического процесса изготовления метизной продукции, а также колебаниями технологических параметров получения продукции. Такие колебания технологических режимов, вызванные как объективными, так и субъективными причинами, приводят к разбросу выходных характеристик продукции, что необходимо контролировать во всей технологической цепочке. В условиях промышленного производства эти колебания контролируются по входным и выходным характеристикам технологического процесса. Входные характеристики технологического процесса колеблются (изменяются) в доверительном интервале ΔX_i , что приводит к изменениям выходных характеристик ΔY , причем в условиях реального производства этих характеристик может быть несколько. Следует отметить, что, кроме контролируемых характеристик $X_1, X_2, \dots, X_n$, имеется ряд неконтролируемых $X_{n+1}, X_{n+2}, \dots, X_{n+i}$, которые также влияют на изменение выходных характеристик. Рассмотрим применение такой многовекторной модели по схеме на примере изготовления метизной продукции, в частности высокопрочного металлокорда, в условиях РУП «БМЗ».

Следует отметить, что статистическую обработку данных необходимо проводить по всем пе-

ределам на разных этапах процесса изготовления продукта, так как знания о выходных данных на определенном этапе не всегда позволяют выявить причину дестабилизации процесса и требуется изучение выходных данных предыдущего этапа. Высокие требования потребителей к качеству металлокорда требуют от поставщика поиска новых решений по контролю качества продукции. Контроль в процессе производства металлокорда на разных стадиях изготовления является эффективным средством управления процессом и осуществляется различными методами, в том числе и методом анализа индексов воспроизводимости процесса.

Цель данной работы – анализ эффективности применения индексов воспроизводимости процесса (Pp и Ppk , Cp и Cpk , Cm и Cmk) как одного из инструментов контроля качества для метизной продукции.

Рассмотрим применение одного из методов контроля качества на примере изготовления металлокорда. В процессе свивки контролируют такие параметры металлокорда, как прямолинейность и число остаточных кручений, которые должны быть в пределах, установленных нормативно-технической документацией. Эти характеристики могут вызвать отказ у потребителя при переработке, поэтому для их оценки используют анализ всех трех видов индексов воспроизводимости: Pp и Ppk , Cp и Cpk , Cm и Cmk . Оценка этих индексов для различных характеристик металлокорда и будет рассмотрена далее в соответствии с укрупненной схемой изготовления метизной продукции (металлокорда) в условиях РУП «БМЗ». Как видно из рис. 1, технология производства металлокорда включает в себя несколько этапов. На рис. 2–6 приведены статистические характеристики процесса производства метизной продукции РУП «БМЗ», рассчитанные для различных периодов времени.

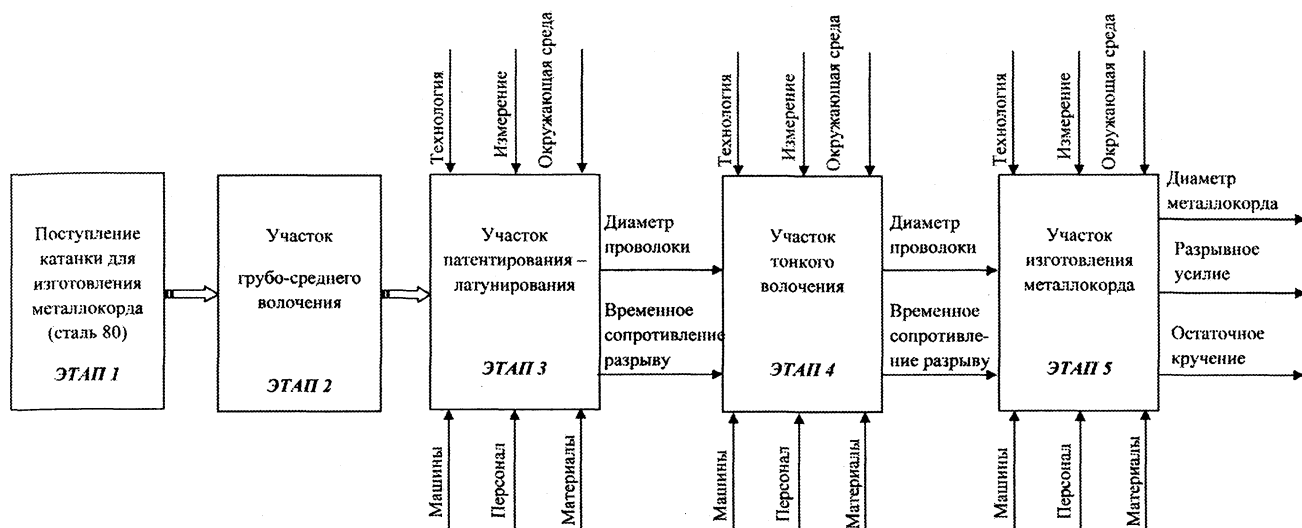


Рис. 1. Этапы изготовления метизной продукции (металлокорда) в условиях РУП «БМЗ»

Э т а п 1. Поступление катанки для изготовления металлокорда. На этом этапе контроль характеристик катанки не производится. Анализ процесса проводится на основании полученных данных из сертификата о качестве плавки.

Э т а п 2. Процесс изготовления холоднотянутой проволоки. На этом этапе из катанки производится волочение проволоки-заготовки диаметром 1,30–1,83 мм при заданных параметрах маршрута волочения в программе стана. Волочение проволоки производится на твердосплавных волоках. Все контролируемые характеристики заготовки (в основном это диаметр проволоки, прямолинейность, длина, качество проволоки) вносятся в контрольную карту. Статистический контроль с применением индексов пригодности Pp и Ppk на данном этапе нецелесообразен, поскольку их значения, как правило, превышают пять относительных единиц. Контроль и анализ причин ведутся по картам контроля, которые обеспечивают прослеживаемость в случае выхода значений характеристик за контрольные пределы.

Э т а п 3. Процесс патентирования – латунирование. На этом этапе проволоку-заготовку диаметром 1,30–1,83 мм патентируют (производят нагрев в печи патентирования до температуры 1000 °C и охлаждение в свинцовой ванне до 560 °C) и латунируют (наносит латунное покрытие в гальванических ваннах) на разделенных на две и более линии на протяжных агрегатах с намоткой на катушки. Принципиальное отличие агрегатов для патентирования и латунирования на РУП «БМЗ» от соответствующих агрегатов других предприятий стран СНГ заключается в непрерывном контроле и автоматической корректировке состава применяемых технологических растворов. Для контроля

качества латунированной заготовки используют контрольные карты, служащие для обратной прослеживаемости при выяснении причин отклонений установленных характеристик на этом этапе. Контроль качества латунированной заготовки осуществляется по результатам проведенных испытаний и с помощью индексов пригодности процесса Pp и Ppk , определяемых по принятой методике. Этот контроль позволяет управлять качеством такой характеристики, как адгезия, которая является одной из основных для металлокорда. Контролируемые характеристики на данном этапе показаны на рис. 2, а, 3. Из рисунков видно, что колебания индексов Pp , Ppk заметно изменяются относительно целевого значения, что свидетельствует об изменении выходных данных. Так, индекс Pp по характеристике «диаметр» изменяется от 1,33 до 1,95, а индекс Ppk – от 1,26 до 1,92. Изменение индексов относительно целевого значения указывает на нестабильность процесса во времени, однако он является управляемым и настроенным и его корректировка не требуется. Стабильность процесса здесь обеспечивается технологией, поскольку существующая система автоматической регулировки натяжения на входе и выходе агрегата не допускает вытяжки проволоки больше допустимых норм. Кроме того, ведется контроль за согласованностью скоростей прохождения заготовки на входе и выходе агрегата. По временному сопротивлению разрыву индекс Pp изменяется от 0,96 до 1,49, индекс Ppk – от 0,96 до 1,48. Здесь целевое значение не достигнуто и имеется значение индекса меньше 1, что свидетельствует об изменчивости процесса и необходимости проведения его корректировки. Изменение режимов технологии (повышение загрузки агрегата и увеличение скорости прохождения заготовки) дестабилизирует процесс.

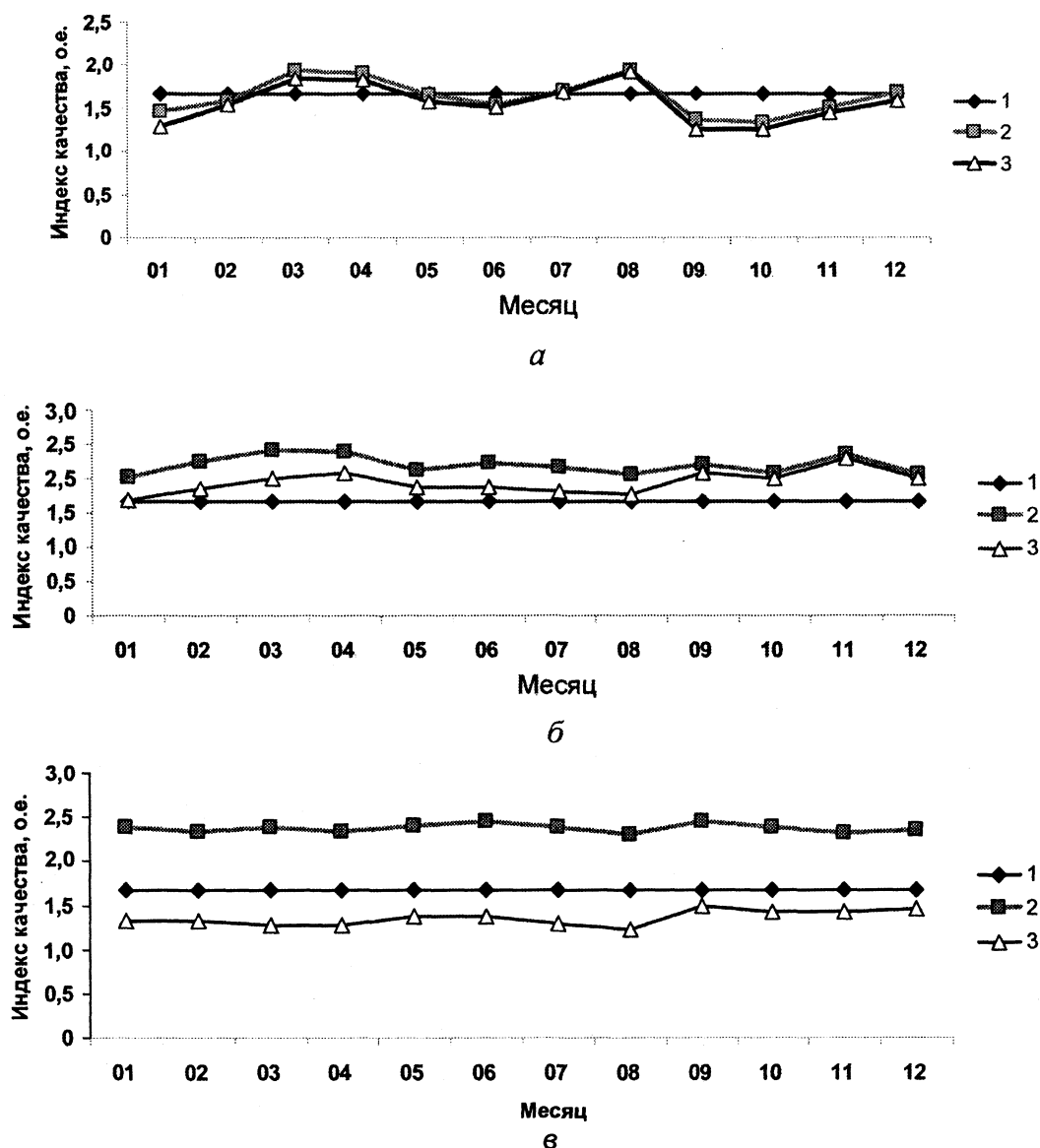


Рис. 2. Изменение во времени индексов качества Pr , Prk для характеристики «диаметр» на разных этапах производства металлургической продукции: а – этап 3; б – 4; в – 5: 1 – целевое значение; 2 – значение Pr ; 3 – значение Prk

Для ликвидации стабилизации вводится корректировка температуры по зонам в печи патентирования (+10 °C), температуры в свинцовой ванне охлаждения (+10 °C) и подбор катанки по разбросу значений углерода в высокопрочной марке стали (0,82–0,84%).

Этап 4. Процесс тонкого волочения проволоки. На этом этапе проводится тонкое волочение проволоки диаметром 0,15–0,35 мм из латунированной заготовки. Оно полностью осуществляется на твердосплавных волоках, что увеличивает срок их службы и повышает качество проволоки, применяемой для изготовления металлокорда.

Основными контролируемыми характеристиками тонкой проволоки по механическим свойствам являются диаметр, разрывное усилие, временное сопротивление разрыву и др.

Контроль диаметра проволоки и ее кольца выполняется в процессе производства. Результаты контроля вносятся оператором в карту контроля, а анализ индексов пригодности производится по результатам испытаний характеристик тонкой проволоки в компьютерной сети заводской лаборатории (рис. 2, б, 4). На этом этапе индекс Pr по характеристике «диаметр» находится в интервале 2,02–2,41, а индекс Prk – в интервале 1,69–2,29, что говорит о стабильности процесса. При сравнении минимальных и максимальных значений индексов Pr и Prk установлены условия: $1,69 < 2,02$ (различие на 84%) и $2,29 < 2,41$ (различие на 95%), что подтверждает наличие возможности пересмотра границ регулирования.

По временному сопротивлению разрыву значение индекса Pr изменяется от 0,85 до 2,4, индекса

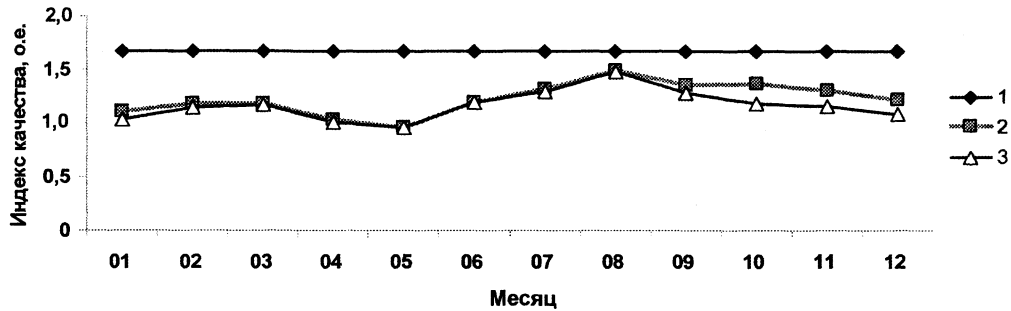


Рис. 3. Изменение во времени индексов качества Pr , Prk для характеристики σ_b на этапе 3 производства метизной продукции: 1 – целевое значение; 2 – значение Pr ; 3 – значение Prk

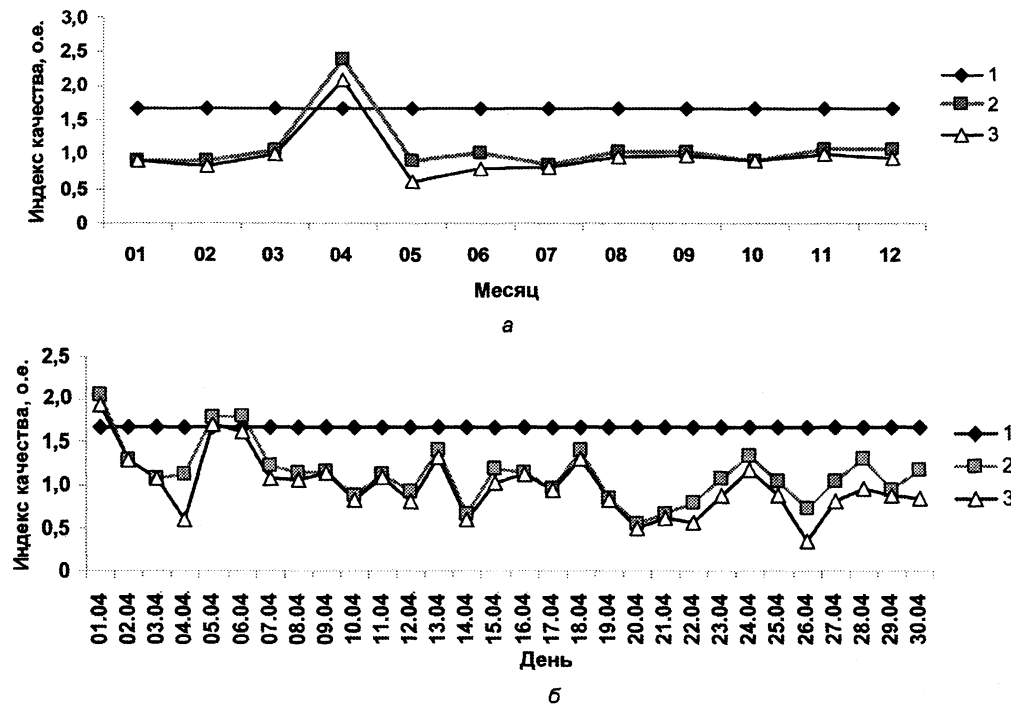


Рис. 4. Изменение во времени индексов качества Pr , Prk для характеристики σ_b на этапе 4 производства метизной продукции для различных периодов времени: а – за 2007 г.; б – за апрель 2007 г.: 1 – целевое значение; 2 – значение Pr ; 3 – значение Prk

Prk – от 0,61 до 2,08, так же как на этапе 3. Здесь также цель не достигнута и есть значения меньше 1, что свидетельствует о необходимости совершенствования технологии в процессе производства, поскольку вероятность появления брака составляет в этом случае более 4,56%. В этом случае следует проанализировать результат улучшения процесса в апреле 2007 г. (рис. 4). Анализ индексов качества Pr и Prk показывает, что достигается увеличение значений по временному сопротивлению разрыву в апреле 2007 г. Положительное влияние на процесс может оказать стабильность по диаметру на тонкой проволоке-заготовке, что подтверждается значениями индексов Pr и Prk (см. рис. 2). Однако это не может быть основной причиной улучшения процесса, так как такие изменения по диаметру прослеживаются практиче-

ски за весь рассматриваемый период. Поэтому в данной ситуации дополнительно рассмотрено изменение характеристики «временное сопротивление разрыву» по дням за апрель 2007 г. (рис. 4). Как видно из рисунка, скачок значений индексов Pr и Prk больше 2 наблюдается первого числа рассматриваемого месяца, что было обусловлено перепадом временного сопротивления разрыву на латунированной заготовке этапа 3.

Э т а п 5. Процесс изготовления металлокорда. Металлокорд как витое проволочное изделие характеризуется с точки зрения геометрии типом, конструкцией (соотношением размеров и числом проволок, прядей, стренг и т. п.), диаметром, шагами свивки корда и его элементов, а с точки зрения механических свойств – разрывным усилием и относительным удлинением при разрыве. Он ха-

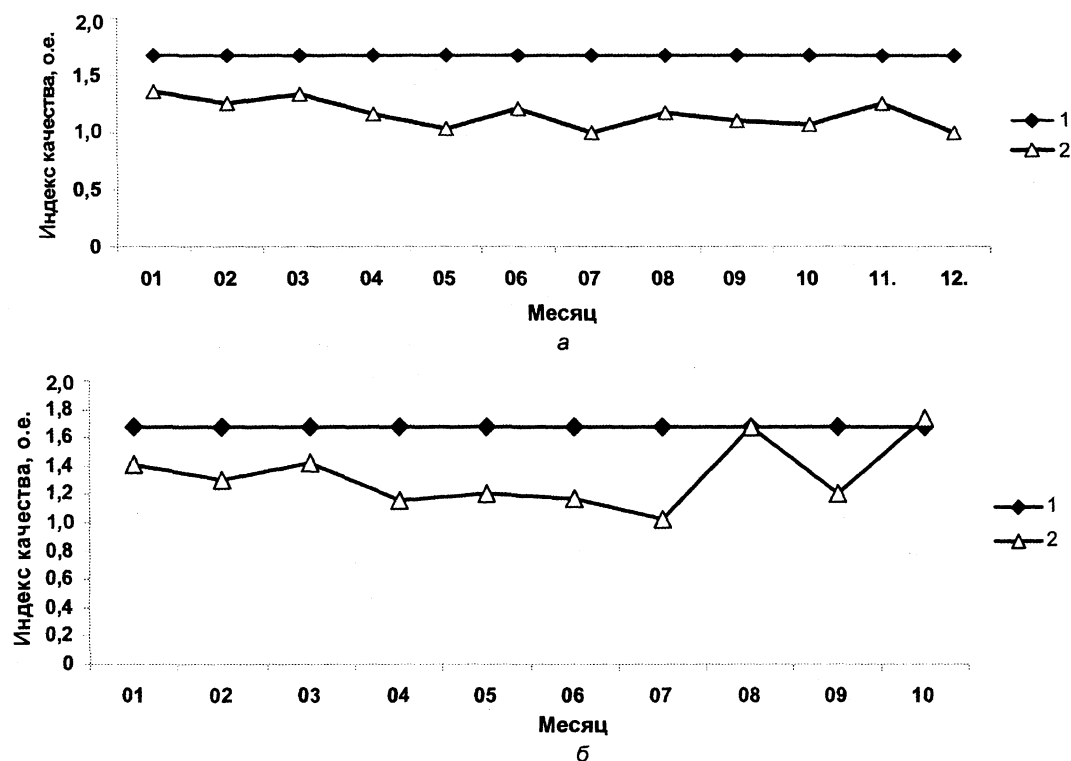


Рис. 5. Изменение во времени индексов качества Ppk для характеристики P (разрывное усилие) на этапе 5 производства метизной продукции для различных периодов времени: а – за 2007 г.; б – за 2008 г.: 1 – целевое значение; 2 – значение Ppk

рактируется и такими физическими свойствами, как линейная плотность, адгезия к стали и резине. Последняя зависит от химического состава и массы покрытия [1]. Наряду с указанными характеристиками для металлокорда важное значение имеют остаточное кручение и прямолинейность, которые непосредственно влияют на производительность труда при переработке в шинной промышленности, а также на его работоспособность в шине (табл. 1, рис. 6). Разброс индекса Pp по характеристике «диаметр» составляет от 2,3 до 2,45, индекса Ppk – от 1,23 до 1,49. Причем процесс хоть и является стабильным, но «настроенность» его на данном этапе требует проведения большего улучшения, чем на предыдущем этапе, так как причина разброса значений заключается в особенности методики измерения металлокорда (см. рис. 2, в). Рассмотренный металлокорд имеет T -образную геометрию, что и составляет определенный способ замера его диаметра. Корректирующие действия в данном случае не нужны, так как по результатам сличительных лабораторных испытаний с фирмой-потребителем получены хорошие показатели.

По разрывному усилию индексы Ppk составляют 1,0–1,36. При таком распределении необходимо пересмотреть (усилить) процедуры контроля процесса, проанализировать факторы на всех этапах процесса, влияющие на разброс показателей,

и провести мероприятия по улучшению состояния процесса. В данном случае была проведена корректировка допуска по диаметру на заготовке в сторону увеличения на 0,02 мм, что и стабилизировало процесс (рис. 5).

Алгоритм определения индексов Pp и Ppk

Применяемая методика SPC [2] подсчета индексов пригодности Pp и Ppk , индексов воспроизводимости Cp и Cpk и индексов возможностей процесса Cm и Cmk позволяет оценить процесс в целом: материалы, технологию и оборудование. Применение индексов пригодности Pp и Ppk (табл. 1, рис. 6) позволяет оценить процесс в случае его нестабильности, т. е. в этом случае можно определить уровень предполагаемой дефектности в общей совокупности данных рассматриваемой характеристики. Приведем следующий алгоритм обработки данных по процессу.

Шаг 1. Определение индекса Pp [2–4]:

$$Pp = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_s}, \quad (1)$$

где USL , LSL – соответственно верхний и нижний пределы допуска; $\hat{\sigma}_s$ – оценка стандартного отклонения общей совокупности данных всех выборок.

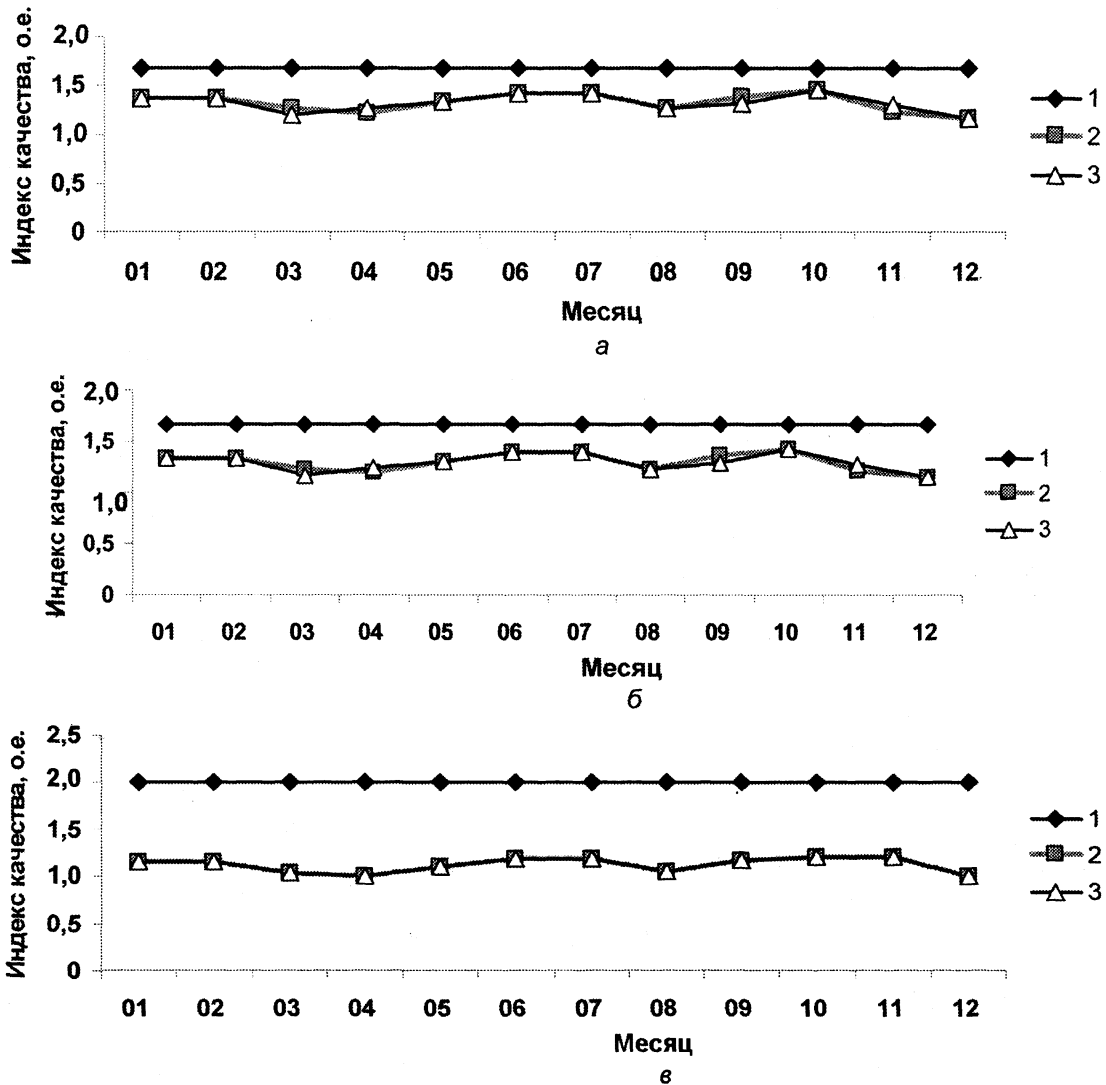


Рис. 6. Изменение во времени индексов воспроизводимости для характеристики «остаточное кручение» на этапе 5: а – индексы Pp и Ppk (1 – целевое значение; 2 – значение Pp ; 3 – значение Ppk); б – индексы Cp и Cpk (1 – целевое значение; 2 – значение Cp ; 3 – значение Cpk); в – индексы Cm и Cmk (1 – целевое значение; 2 – значение Cm ; 3 – значение Cmk)

Шаг 2. Определение стандартного отклонения:

$$\hat{\sigma}_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}, \quad (2)$$

где X_i – единичное значение параметра в выборках; $\bar{X}$ – среднее значение параметра из общей совокупности данных.

Шаг 3. Определение среднего значения параметра:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N}, \quad (3)$$

где $X_1, X_2, \dots, X_N$ – единичные значения общей совокупности k выборок; N – количество данных общей совокупности; $N = n \times k$ – число наблюдений в единичной выборке (n – количество данных в единичной выборке; k – количество выборок);

$N = n_1 + n_2 + \dots + n_k$ – для непостоянного объема данных в единичной выборке ($n_1, n_2, \dots, n_k$ – количество данных в выборках 1, 2, ..., k).

В табл. 1, на рис. 2, в, 5, 6 приведены индексы пригодности процесса Pp , подсчет которых произведен для таких характеристик металлокорда, как диаметр металлокорда, разрывное усилие и остаточное кручение. Все эти характеристики являются важными для потребителя данного вида продукции. И от того, насколько правильно будет произведена оценка процесса, настолько хорошее качество металлокорда будет получено. Однако применение только индекса Pp может дать общее представление о процессе. Поэтому вместе с этим индексом применяется индекс пригодности Ppk . Его особенностью является учет центровки процесса (настроенность). Здесь также используется оценка полного стандартного отклонения процесса.

Шаг 4. Определение индекса Ppk [2–4]:

$$CPU = \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_s}, \quad CPL = \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_s}, \quad (4)$$

где CPU , CPL – соответственно верхний и нижний индексы пригодности.

Из полученных значений выбирают наименьшее из двух разностей, по-другому – расстояние от центра распределения $\bar{X}$ до ближайшей границы допуска.

Индекс Ppk всегда меньше Pp и степень его уменьшения относительно Pp свидетельствует о качестве слежения за настройкой процесса в среднем (см. рис. 2, в, 5, 6). Индексы качества Pp и Ppk должны применяться для анализа нестабильных процессов. Для нестабильных процессов принимается следующее выражение: $Pp > 1,67$, $Ppk > 1,67$ [5].

Алгоритм определения индексов Cp и Cpk

Для того чтобы можно было управлять процессом более гибко и с более точным результатом, применяется следующая пара индексов воспроизводимости: Cp и Cpk (табл. 1, рис. 6). Эта необходимость продиктована требованием потребителей к метизной продукции и металлокорда в частности (коэффициент равен 1,33 и более). Индексы применяются для стабильных процессов, в них используется оценка «собственного» стандартного отклонения, т.е. характеристика «вариабельности» (разброса) на небольшом периоде времени, пока на процесс не действовали дестабилизирующие факторы.

Индекс воспроизводимости процесса Cp , учитывающий изменчивость процесса от обычных причин и определяемый как допуск, деленный на воспроизводимость процесса без учета центровки.

Шаг 1. Определение индекса Cp [2]:

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_s}, \quad (5)$$

где USL , LSL – соответственно верхний и нижний пределы допуска; $\hat{\sigma}_s$ – оценка стандартного отклонения статистически управляемого процесса.

Шаг 2. Определение стандартного отклонения:

$$\hat{\sigma}_s = \frac{\bar{S}}{C_4}, \quad (6)$$

где C_4 – коэффициент, зависящий от объема выборки [2]; $\bar{S}$ – среднее значение стандартных отклонений отдельных выборок.

Шаг 3. Определение стандартного отклонения отдельных выборок:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_k^2}{k}}, \quad (7)$$

где k – количество выборок; $S_1, S_2, \dots, S_k$ – стандартные отклонения единичных выборок 1, 2 и т. д.

Шаг 4. Определение стандартного отклонения единичных выборок:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (8)$$

где X_i – единичное значение параметра в выборке; n – количество данных в выборке.

Индекс Cp не зависит от настройки процесса ($\bar{X}$), даже если он будет настроен вне допуска, это не повлияет на величину (5). Если $\hat{\sigma}_s$ оценено правильно и достаточно точно (использование большого числа значений в выборках), то реальный уровень несоответствий не будет ниже, приведенного в табл. 2. Индекс Cp служит для определения минимально возможного уровня несоответствий при стабильном процессе и при настройке по $\bar{X}$. Иными словами, если в процессе производства металлокорда участвует 300 единиц оборудования, то среднее для всего оборудования будет $\bar{X}$, а для каждой единицы в отдельности – $\bar{X}$. Таким образом, среднее характеристик для всего процесса изготовления металлокорда для однотипного оборудования будет отличаться от среднего для каждой единицы в отдельности.

Вторым из этой пары индексов является Cpk – индекс воспроизводимости процесса, который учитывает его центровку и определяется как меньшее из USL и LSL . Он связывает разность между средним процесса и ближайшим пределом поля допуска с половиной, присущей процессу измен-

Т а б л и ц а 2. Зависимость минимально возможного уровня несоответствий от индекса Cp [5]

Индекс Cp	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,25
Минимальный уровень несоответствий, ppm	35729	16395	6934	2700	967	318	177
Индекс Cp	1,3	1,33	1,4	1,5	1,6	1,67	
Минимальный уровень несоответствий, ppm	96,2	63,4	26,7	6,8	1,59	0,57	

чивости. За результат берется минимальная из двух разностей.

Шаг 5. Определение индекса Cpk [2]:

$$CPU = \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_s}, \quad CPL = \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_s}, \quad (9)$$

где CPU , CPL – соответственно верхний и нижний индексы воспроизводимости; $\hat{\sigma}_s$ – оценка стандартного отклонения статистически управляемого процесса определяется по формуле (6); $\bar{X}$ – среднее из средних значений параметра по выборкам.

Шаг 6. Определение среднего значения параметра единичных выборок:

$$\bar{X} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k}, \quad (10)$$

где $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_k$ – среднее значение показателя в выборках 1, 2, ..., k, k – количество выборок.

Индекс Cpk зависит от настройки $\bar{X}$ и всегда не больше, чем Cp . Сравнение этих индексов позволяет сделать выводы о качестве настройки процесса. Если $Cpk < Cp$ на 30% или менее, то процесс удовлетворительно настраивается по $\bar{X}$ на центр поля допуска.

Для стабильных процессов принимается следующее выражение: $Cp > 1,67$, $Cpk > 1,67$ [5].

Пример сравнения индексов Cpk и Cp . Например, исходные данные индексов Cpk и Cp для металлокорда по характеристике «остаточное кручение» за март 2007 г. (см. табл. 1) имеют значения: $Cpk = -1,17$, $Cp = 1,23$. Тогда, сравнив Cpk и Cp , получим следующее выражение: $1,17 < 1,23$ на 95%. Это значит, что процесс хорошо настроен относительно допуска.

Алгоритм определения индексов Cm и Cmk

Важность четырех индексов Pp , Ppk , Cp , Cpk и их парное использование очевидны, однако условия жесткой конкуренции на рынке сбыта метизной продукции и снижение себестоимости продукции и металлокорда в частности, заставляют искать новые методы определения не только степени стабильности процесса относительно среднего значения, но и возможности улучшения процесса.

При значениях индексов $Cpk = 2$, 3 и более существует возможность улучшения процесса, а именно изменение поля допуска относительно цели. И даже такие хорошие индексы, как Cpk и Ppk , не могут показать направление улучшения процесса. Это особенно актуально тогда, когда цель не является серединой допуска.

В данном случае индексы Cm и Cmk (см. табл. 1, рис. 6) направлены на решение этой задачи. Они так же как и Cp , Cpk , применяются для стабильных процессов и в них также используется оценка «собственного» стандартного отклонения, т. е. характеристика «вариабельности» (разброса). Причем она определяется на небольшом периоде времени (пока на процесс не действовали дестабилизирующие факторы). По индексам Pp , Ppk , Cp , Cpk можно судить о возможном уровне дефектности и воспроизводимости процесса, а о степени возможности улучшения процесса (запаса надежности) судить трудно. Основой для расчета индекса возможности служит тот же массив данных, что и для Cp , Cpk , но с той особенностью, что оценка стандартного отклонения единичной выборки (S_{1m}) определяется по формуле (13), позволяющей произвести уточнение оценки $\hat{\sigma}_{sm}$ с целью учета влияния случайной нецентрированности процесса. Для Cm сравнивают каждое наблюдение к заданному значению. Однако вместо сравнения данных к среднему значению данные сравниваются с целью T . Опишем алгоритм процесса расчета.

Шаг 1. Определение индекса Cm , оценивающего возможность улучшения процесса (без учета центровки процесса) [2, 6]:

$$Cm = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{sm}}, \quad (11)$$

где USL , LSL – соответственно верхний и нижний пределы допуска; $\hat{\sigma}_{sm}$ – оценка стандартного отклонения статистически управляемого процесса.

Шаг 2. Определение стандартного отклонения общей совокупности [2, 6]:

$$\sigma_{sm} = \bar{S}_m = \sqrt{\frac{S_{1m}^2 + S_{2m}^2 + \dots + S_{km}^2}{k}}, \quad (12)$$

где k – количество выборок; S_{1m} , S_{2m} , ..., S_{km} – стандартные отклонения единичных выборок 1, 2, ..., k.

Шаг 3. Определение стандартного отклонения единичных выборок:

$$S_{1m} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - T)^2}{n-1}}, \quad (13)$$

где X_i – единичное значение параметра в выборке; T – значение центра допуска; n – количество данных в выборке.

Пример вычисления индекса Cm . Исходные данные для индекса Cm для металлокорда по характеристике «остаточное кручение» за март 2007 г.

(см. табл. 1): $USL = 2$, $LSL = -2$, $S_{1m} = 0,64$. Тогда

$$Cm = \frac{2 - (-2)}{6 \cdot 0,64} = 1,04.$$

Значение индекса 1,04 очень мало для того, чтобы улучшать процесс, сначала его нужно стабилизировать и применить это к индексам Cpk , Ppk так как их значение меньше 2 ($-1,17$, $-1,19$).

Чем меньше отклонение между значением и целью, тем меньше $\hat{\sigma}_{sm}$ и тем больше Cm , а чем выше этот показатель, тем лучше настроен процесс (рис. 6) [6]. Процесс более центрирован, чем при Cp , и поэтому настроенность процесса улучшается.

Шаг 4. Определение индекса Cmk , оценивающего возможность улучшения процесса (с учетом центровки) [2, 6]:

$$CPU = \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_{sm}}, \quad CPL = \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_{sm}}, \quad (14)$$

где CPU , CPL – соответственно верхний и нижний индексы возможности. За результат берется минимальная из двух разностей.

Пример вычисления индекса Cmk . Исходные данные для индекса Cmk для металлокорда по характеристике «остаточное кручение» за март 2007 г. (см. табл. 1): $USL = 2$, $LSL = -2$, $S_{1m} = 0,64$, $\bar{X} = -0,1$.

Тогда

$$CPU = \frac{2 - 0}{3 \cdot 0,64} = 1,04 \text{ и } CPL = \frac{0 - (-2)}{3 \cdot 0,64} = -1,04,$$

отсюда наименьшим значением будет $-1,04$, которое и принимается за Cmk .

При измерении характеристики процесса, имеющей верхний и нижний допуски, целью обычно является их середина. Но это не значит, что не может быть выбрано некоторое смещение от цели, поскольку это может и не являться требованием потребителя, т. е. середина не всегда является целью потребителя. Это дает возможность к улучшению процесса и созданию запаса надежности при изготовлении продукции с минимальным изменением (сдвигом). Индексы Cm и Cmk отражают такую возможность (рис. 6) [6]. Для стабильных процессов принимается следующее условие: $Cm > 2,0$, $Cmk > 2,0$ [6].

Таким образом, дилемма использования того или иного индекса воспроизводимости процесса будет разрешена, если они будут правильно применяться в процессе производства. Каждый из них решает свою конкретную задачу: Pp определяет возможный уровень дефектности; Cp – уровень настроенности процесса; Cm – возможность улучшения процесса (запас надежности), а в целом одну общую задачу улучшения качества продукции при уменьшении затрат на ее производство. Эти характеристики служат удобной количественной мерой изменчивости и стабильности процесса, а также выявляют возможности для его улучшения. Применение таких индексов, как Cm и Cmk , нацеливает технологический персонал на достижение высоких результатов, поскольку в них уже заложена возможность к улучшению процесса.

Литература

- ГОСТ 14311-85. Металлокорд.
- Bruce U Pins. Statistical Process Control. SPC. The co-ordinator of target group, Corporation Sandy, Troy, Michigan, December, 1991.
- Ноулер Л. и др. Статистические методы контроля качества продукции / Пер. с англ. 2-е рус. изд. М.: Изд-во стандартов, 1989.
- Пономарев С. В., Мищенко С. В., Белобрагин В. Я. и др. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества: Учеб. пособ. М.: РИА «Стандарты и качество», 2004.
- Розно М. И. и др. Практическое руководство. Применение прикладных статистических методов при производстве продукции. И. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2004.
- Chan L. J., Cheng S. K., Spiring F. A. A New Measure of Process Capability: Cpm // Journal of Quality Technology. 1989. Vol. 20. N 3. P. 16.