

УДК 658(075.8)

**Я. М. Радкевич**, д.т.н., проф., **А. П. Вержанский**, д.т.н., проф.,  
**М. С. Островский**, д.т.н., проф., Московский государственный горный университет

E-mail: [kaftmr@msmu.ru](mailto:kaftmr@msmu.ru)

## **Методология качества горных машин**

*Изложена методика безэкспертной оценки качества горных машин. Дана трактовка понятия функционального критерия машин. Сформулированы принципы управления качеством машин на различных стадиях жизненного цикла: при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Приведены расчетные выражения для определения качества горных машин на этих этапах.*

**Ключевые слова:** горные машины, управление качеством, функциональный критерий, без экспертная оценка качества.

**A. P. Verzhansky, Ya. M. Radkevich, M. S. Ostrovsky**

## **Methodology of quality of Mining Machines**

*The technique of an estimation of quality of mining machines is stated. The treatment of concept of functional criterion of machines is given. Principles of quality management of machines at various stages of life cycle are Settlement expressions for definition of quality of mountain cars at these stages are resulted.*

**Keywords:** mining machines, quality management, without an expert estimation of quality.

Увеличение объема продукции, соответствующей лучшим отечественным и мировым достижениям или превосходящей их, расширение производства такой продукции, модернизация или снятие с производства устаревшей продукции - основные задачи, которые должны решаться в рамках управления качеством продукции на базе прогнозирования уровня качества. Увеличение объема продукции, соответствующей лучшим образцам, требует, прежде всего, выделения ее из совокупности аналогичной продукции. Достаточно продолжительный период проектирования и доводки продукции угольного машиностроения и быстрая сменяемость моделей изделий требует разработки эффективных методов управления качеством, т.е. разработки научно обоснованных планов повышения качества. При этом очень важно уметь количественно выразить понятие качества горных машин и процессов их изготовления. С

этой целью кафедрой «Технология машиностроения и ремонт горных машин» Московского государственного горного университета разработан безэкспертный метод оценки качества.

Всякое управление предполагает оценку тем или иным способом «управляемого параметра», в данном случае - уровня качества. Важно уметь не только оценивать уровень качества изделия, но и уметь его прогнозировать. Сегодня известно множество методов прогнозирования [9]. Основная трудность в использовании существующих методов прогнозирования обусловлена отсутствием достаточно длинной предыстории развитая того или иного вида продукции. В связи с этим не представляется возможным осуществить прогноз с достаточной точностью. Основным фактором, препятствующим прогнозированию уровня качества оборудования на информационной основе действующих в отрасли методик оценки, является недостаточный объем информации [13]. Другим не менее важным фактором, ограничивающим возможности прогнозирования уровня качества на основе действующих методик, является наличие коэффициентов весомости показателей, определяемых экспертным путем, а также периодическое изменение показателей. Зачастую машины, выполняющие одни и те же функции, оцениваются по различным методикам с отличающимися эталонами, поэтому результаты оценки не могут быть сведены в один информационный массив. Другими словами, результаты оценки несопоставимы между собой.

### Управление качеством машин при проектировании

Уточним, что конечной целью прогнозирования является установление величин показателей, обеспечивающих заданное качество изделия и его эффективную эксплуатацию на определенном отрезке времени. Величина этого отрезка определяется периодом проектирования  $T_n$ , изготовления и испытания опытного образца и опытной партии  $T_o$ , подготовки к серийному выпуску  $T_{nc}$ , серийного выпуска  $T_c$ , долговечности последней серийно выпущенной машины  $T_d$ , т.е.

$$l = T_n + T_o + T_{nc} + T_c + T_d, \quad (1)$$

где  $l$  - необходимая величина упреждения при прогнозировании, лет

Опыт показывает, что  $l = 1 \dots 15$  годам, а, следовательно, такой прогноз можно отнести к первому «эшелону» [9], для которого принципиально пригодны все известные методы прогнозирования при наличии соответствующей исходной информации.

Для получения достоверных прогнозов статистическими методами необходимо выполнить ряд требований, основными из которых являются: репрезентативность - представительность выборки, используемой для получения параметров модели объекта прогнозирования; однородность

выборки и достаточная длина ретроспективного периода. Рассматривая тенденцию развития любого из типов горно-шахтного оборудования, обнаруживаем, что объем выборки недостаточен для получения достоверных прогнозов, если при этом учитывать оборудование только одного типоразмера. В то же время общее количество различных модификаций оборудования, предназначенного для выполнения одной и той же функции, достаточно большое, что при условии разработки критерия, обеспечивающего сопоставимость между собой разных типов и типоразмеров, дало бы возможность использования упомянутых методов прогнозирования. Таким критерием может стать *функциональный критерий*.

Суть этого критерия сводится к математическому описанию основного назначения машины. Иногда это сложно сделать, а иногда довольно просто. Например, основным назначением конвейера является транспортирование определенного количества груза ( $кг$ ) на определенное расстояние ( $м$ ) в определенное время ( $с$ ), математически это можно записать как  $\frac{кг \cdot м}{с}$ , что соответствует размерности мощности – мощности выполнения своей основной функции. В связи с этим этот критерий мы назвали функциональным критерием. Более сложный случай рассмотрим на примере очистных комбайнов.

Нашими исследованиями установлено, что существует общая для всех изделий структура формулы для определения функционального критерия  $\lambda$ . Это вытекает из подобия процессов, выполняемых различными по конструкции машинами одного функционального назначения.

Рассмотрим совокупность из  $n$  очистных комбайнов, предназначенных для для выемки угля. Пусть каждый из них может работать в заданных условиях эксплуатации. Пусть далее физико-механические свойства угольного пласта могут быть описаны некоторым интегральным параметром  $u$ . Известно, что производительность машины ( $V_i$ ) зависит от конструктивных, режимных параметров, а также от параметра  $u$ , т.е.

$$V_i = f(C_{ij}, u), \quad (2)$$

где  $C_{ij}$  -  $j$ -й конструктивный или режимный параметр, влияющий на производительность  $i$ -й машины.

Естественно, что в данных условиях эксплуатации, характеризуемых параметром  $u$ , производительность различных выемочных машин будет различной.

Составим следующее отношение:

$$u = \frac{\lambda_1}{V_1} = \frac{\lambda_2}{V_2} = \dots = \frac{\lambda_n}{V_n}. \quad (3)$$

Определим величину, стоящую в числителе следующим образом:

$$\lambda_i = V_i(C_{ij}, u) \cdot u. \quad (4)$$

В таком виде ( $\lambda$ ) можно использовать как меру для сравнения различных по конструкции машин одного функционального назначения. Выясним физическую сущность этой меры.

По условию параметр  $u$  должен характеризовать физико-механические свойства угольного пласта. Все известные оценки механических свойств угля, по данным [5], могут быть разделены на частные и интегральные. В СССР более широкое применение находили интегральные методы оценки физико-механических свойств углей, т.е. оценки, полученные в результате разрушения угля специальными испытательными приборами в условиях эксплуатации. Такой интегральной оценкой свойств угля может быть энергоёмкость его разрушения  $H_w$  [6].

Размерность параметра  $H_w$ , таким образом, можно определять как  $\left[ \frac{\text{ед.энергии}}{\text{ед.продукции}} \right]$ . Размерность параметра  $V$   $\left[ \frac{\text{ед.продукции}}{\text{ед.времени}} \right]$ . Тогда

размерность критерия  $\lambda$ :

$$[\lambda] = \left[ \frac{\text{ед.энергии}}{\text{ед.продукции}} \cdot \frac{\text{ед.продукции}}{\text{ед.времени}} \right] = \left[ \frac{\text{ед.энергии}}{\text{ед.времени}} \right] = [\text{ед.мощности}],$$

т.е. мощности выполнения комбайном своей функции. Другими словами, основным назначением очистного комбайна является отделение от массива возможно большего объема определенной энергоёмкости угля в единицу времени.

Необходимо подчеркнуть, что для использования критерия  $\lambda$  необходимо установить зависимость производительности машины от конструктивных и режимных параметров, а также от параметра  $u$ .

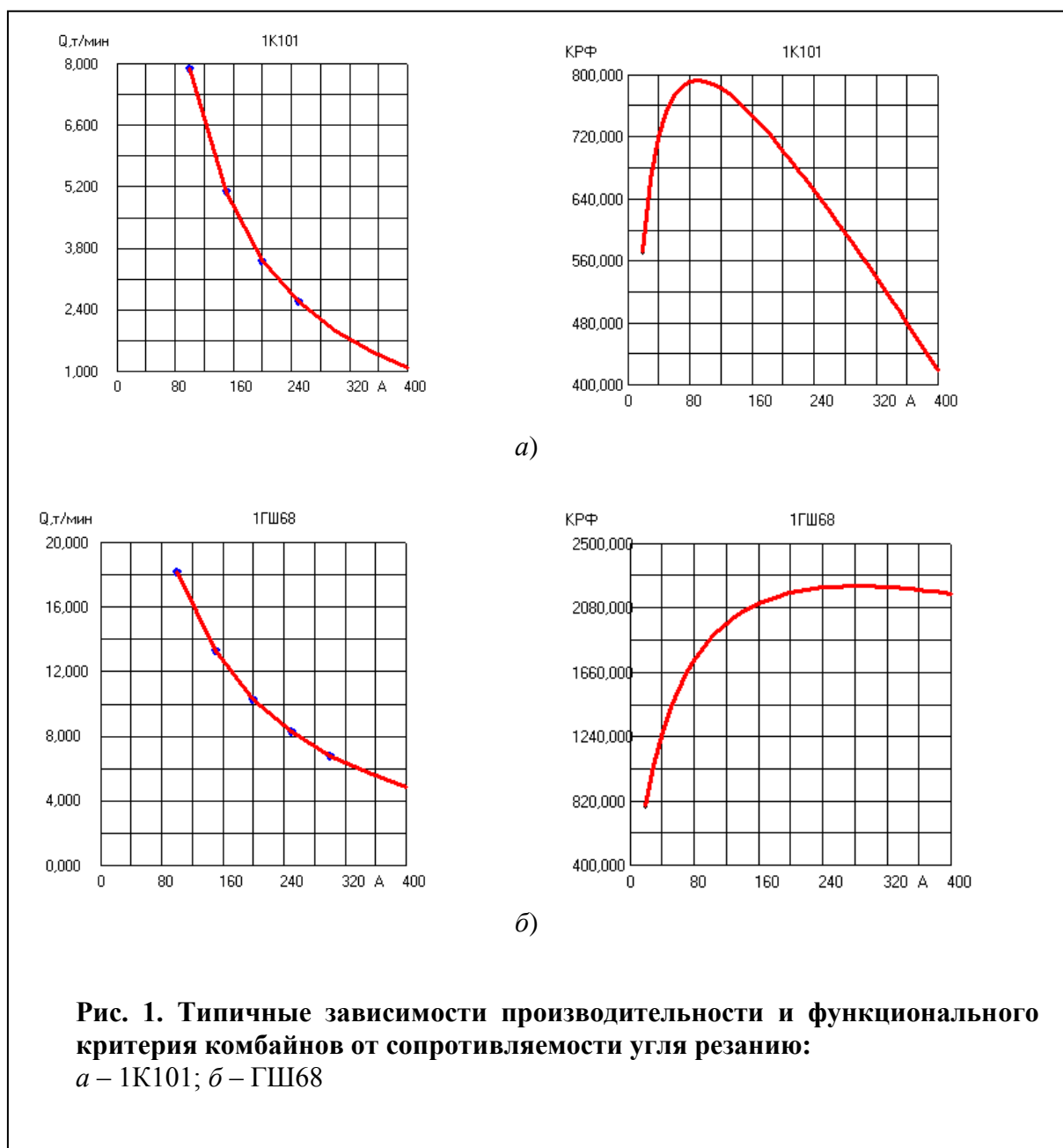
С точностью до постоянного коэффициента параметр  $u$  можно охарактеризовать сопротивляемостью угля резанию  $\bar{A}$ .

Производительность комбайна с конкретными режимными и конструктивными параметрами можно определить по ОСТ 12.047.001-73 [7] как функцию от сопротивляемости угля резанию ( $\bar{A}$ ).

В качестве примера, на рис. 1. представлена зависимость функционального критерия ( $\lambda$ ) от сопротивляемости угля резанию ( $\bar{A}$ ), построенная на основании данных [1].

Конструкцию любой машины можно рассматривать, как попытку найти наиболее выгодное соотношение между параметрами, а весь процесс создания машины - как процесс направленной технической эволюции. «Выживают», «развиваются» и «умножаются» только самые "приспособленные" машины, т.е. те, которые по своим качествам превосходят аналогичные машины того же назначения. В [9] показано, что в качестве формы описания машин целесообразно принять параметры их технической характеристики, главным преимуществом которых перед другими формами описаний является количественное выражение и

материальная осуществимость.



Функциональный критерий позволяет объединить в один класс различные по конструкции машины, если вместо абсолютных значений параметров технической характеристики использовать их удельные значения ( $x_{ij}$ ), определяемые по формуле

$$x_{ij} = \frac{P_{ij}}{\lambda_i}, \quad (5)$$

где ( $P_{ij}$ ) -  $j$ -ый показатель  $i$ -ой машины.  $\lambda_i$  - функциональный критерий  $i$ -й машины.

Исследования [11,12,17,18] показали высокую эффективность использования для прогнозирования не отдельных параметров машины, а уровня качества по комплексному показателю ( $K_i$ ), который является более информативным, что особенно важно для прогнозирования.

Для прогнозирования уровня качества средств механизации добычи угля в отрасли как инерционной системы, т.е. системы, в тенденции развития которой не могут мгновенно произойти существенные изменения, из известных методов прогнозирования наиболее целесообразно использовать метод математические моделей, а также метод экстраполяции тенденций. Сущность метода экстраполяции состоит в перенесении закономерностей изменения уровня качества, полученных на исследуемом отрезке времени, за его пределы, т.е. подразумевается, что имеющаяся до настоящего времени тенденция развития останется и в будущем.

Метод экстраполяции при прогнозировании инерционных систем в случае ретроспективного периода, в 2-3 раза превышающего период прогноза, дает погрешность, обычно не превышающую  $\pm 15\%$  [8].

Процесс изменения уровня качества по комплексному показателю можно описать в общем виде следующими дифференциальными уравнениями [12]

$$\frac{dK}{d\tau} = \varphi(\tau), \quad (6)$$

$$\frac{1}{K} \frac{dK}{d\tau} = \phi(\tau). \quad (7)$$

Модель (6) характеризует скорость, а (7) - относительную скорость изменения уровня качества по комплексному показателю как функцию времени. Конкретный вид функций (6) и (7) можно установить на основании анализа изменения  $dK/d\tau$  и  $dK/K d\tau$ . Вполне естественно предположить, что  $\varphi(\tau)$  и  $\phi(\tau)$  являются непрерывными, монотонно возрастающими функциями, так как процесс совершенствования конструкций машин непрерывный.

Интегрируя уравнения (6) и (7), получим:

$$K = \int \varphi(\tau) d\tau; \quad K = \exp\left[\int \phi(\tau) d\tau\right]. \quad (8)$$

Частными случаям моделей (6) и (7) являются модели:

- с постоянным приростом уровня качества по комплексному показателю, равным  $a_1$ , т.е.

$$\mathcal{K}_\tau = a_0 + a_1\tau + \varepsilon_\tau; \quad \varphi(\tau) = \text{const}. \quad (9)$$

- с постоянным относительным ростом уровня качества по комплексному показателю, равным  $\exp(a_1)$ , т.е.

$$\mathcal{K}_\tau = \exp(a_0 + a_1\tau + \varepsilon_\tau) \quad (10)$$

$$\phi(\tau) = \text{const}$$

- с постоянным относительным приростом уровня качества по комплексному показателю, равным  $\exp(2a_2)$ , т.е.

$$\hat{K}_\tau = \exp(a_0 + a_1\tau + a_1\tau^2 + \varepsilon_\tau); \quad \phi(\tau) = b_0 + b_1\tau. \quad (11)$$

Как показали исследования, модели (9), (10) и (11) достаточно полно могут описать динамику изменения уровня качества по комплексному показателю.

Для эффективного управления качеством требуется не любой прогноз, а прогноз определенной точности. Исходя из этого, параметры выбранной модели необходимо определить так, чтобы ошибка прогноза была минимальной.

Ошибку прогноза уровня качества по комплексному показателю можно определить по формуле

$$S_{np} = \sqrt{\frac{1}{n-p-1} \sum_{\tau=1}^n (K_\tau - \hat{K}_\tau)^2}, \quad (12)$$

где  $K_\tau$  - фактическое значение уровня качества по комплексному показателю в  $\tau$ -м году;  $\hat{K}_\tau$  - прогнозное значение уровня качества по комплексному показателю, вычисленное по выбранной модели (9)...(11);  $n$  - количество членов в ряду наблюдений;  $p$  - число параметров, описывающих тенденцию изменения качества, определяемых по выбранной модели.

Как следует из формулы (12), ошибка прогноза будет минимальной в том случае, когда подкоренное выражение  $\sum_{\tau=1}^n (K_\tau - \hat{K}_\tau)^2$  будет минимальным.

Таким образом, задача сводится к минимизации суммы квадратов отклонений прогнозных значений уровня качества по выбранной модели в заданном году от его фактического значения в этом же году. Для модели (3), например, это условие можно переписать в следующем виде:

$$E = \sum_{\tau=1}^n (K_\tau - a_0 - a_1\tau)^2 \rightarrow \min. \quad (13)$$

Значения параметров  $a_0$  и  $a_1$ , обращающих выражение (13) в минимум, находят из решения системы

$$\begin{cases} \frac{\partial E}{\partial a_0} = 0 \\ \frac{\partial E}{\partial a_1} = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Применительно к модели (9) система (14) будет иметь вид

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum \tau = \sum K_\tau \\ a_0 \sum \tau + a_1 \sum \tau^2 = \sum \tau K_\tau \end{cases} \quad (15)$$

Аналогичные системы легко получить и для моделей (10,11).

Запишем систему уравнений для определения параметров модели (11):

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum \tau + a_2 \sum \tau^2 = \sum \ln K_\tau, \\ a_0 \sum \tau + a_1 \sum \tau^2 + a_2 \sum \tau^3 = \sum \tau \ln K_\tau, \\ a_0 \sum \tau^2 + a_1 \sum \tau^3 + a_2 \sum \tau^4 = \sum \tau^2 \ln K_\tau. \end{cases} \quad (16)$$

Решая полученные системы, находят значения параметров модели, которые используют для определения прогнозных значений уровня качества в заданном году.

Для использования полученных моделей следует выполнить ряд проверок. В частности, необходимо проверить гипотезу о распределении случайной составляющей  $\varepsilon_\tau = K_\tau - \hat{K}_\tau$  при помощи критерий  $\omega^2$  [15], значимость параметров моделей с помощью критерия Стьюдента, гипотезу о наличии автокорреляции, правильность выбора модели по критерию, например, Ф. Фостера – Стьюарта [13], определить доверительные интервалы для коэффициентов модели, коэффициентов корреляции, условного математического ожидания для последующих значений уровня качества по комплексному показателю.

Покажем, как можно определить уровень качества по комплексному показателю ( $K_i$ ).

Качество горных машин — совокупность свойств машин, обуславливающих их способность выполнять определенные функции в соответствии с назначением, в детерминированных условиях эксплуатации.

Оценка качества это всегда сравнение. Поскольку функциональный критерий представляет собой конечный результат функционирования машины (за определенный период времени), а для ее создания необходимо затратить определенные ресурсы в виде параметров ( $P_{ij}$ ), то вполне естественной является гипотеза «Чем меньше тратится ресурсов (в самом широком понимании этого слова) на достижение единицы конечного результата функционирования, тем совершеннее данная машина».

Из выдвинутой гипотезы следует, что удельные затраты ресурсов ( $q_{ij}$ ) можно определить по формуле:



$$q_{ij} = \frac{P_{ij}}{\lambda_i}, \quad (17)$$

где  $P_{ij}$ - параметры (ресурсы), под которым принято оценивать качество;  $\lambda_i$ -конечный результат функционирования машины;  $i$  — порядковый номер машины в рассматриваемой совокупности;  $j$ —порядковый номер параметра из числа принятых для оценки качества.

Определяя по формуле (17) значения величин  $q_{ij}$  по всем ресурсам и занося их в таблицу-матрицу, получим:

$$\{q_{ij}\} = \begin{vmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nm} \end{vmatrix}. \quad (18)$$

Строка матрицы относится к одной из машин совокупности и состоит из значений удельных величин каждого  $j$ -го параметра, а каждый столбец показывает удельную величину показателей качества по одному из  $j$ -х параметров каждой машины совокупности.

В соответствии с выдвинутой гипотезой, следует очевидная процедура выбора базовых значений. Для этого из всех полученных  $i$ -х столбцов таблицы-матрицы выбираются минимальные значения удельных величин показателей качества и приписываются им соответствующие индексы:

$$\{q_{\bar{o}j}\} = \|q_{\bar{o}1}, q_{\bar{o}2}, \dots, q_{\bar{o}m}\|. \quad (19)$$

Совокупность значений  $\{q_{\bar{o}j}\}$  представляет собой динамичную модель эталонной машины, обладающей наиболее высокими (уже достигнутыми в различных машинах, но, как правило, не имеющими аналога в виде одной машины) свойствами, выраженными в удельных величинах показателей.

В частном случае, когда все  $q_{\bar{o}j}$  принадлежат одной машине, имеет место не фиктивная, а реальная модель эталонной машины.

Все последующие сравнения показателей качества производятся по отношению к эталону.

Уровень качества по единичным показателям  $k_{ij}$ , т. е. по отдельным сравниваемым параметрам  $P_{ij}$ , представляет собой отношение удельных величин базовых показателей  $q_{\bar{o}j}$  к таким же удельным величинам  $q_{ij}$  рассматриваемой  $i$ -й машины:

$$k_{ij} = \frac{q_{\bar{o}j}}{q_{ij}} < 1. \quad (20)$$

Из выражения (20) видно, что уровни качества машин по единичным показателям безразмерны и всегда меньше единицы для любой из машин, находящихся в матрице (18). С приближением  $q_{ij}$  к  $q_{\bar{o}j}$ , значение уровня

качества по единичным показателям приближается к своей наибольшей величине, равной единице. Уровень качества по единичным показателям для модели эталонной машины равен

$$k_{ij} = \frac{q_{6j}}{q_{6j}} = 1. \quad (21)$$

Однако знания уровней качества по единичным показателям недостаточно для однозначной оценки качества машины, для этого надо уметь определять уровень качества по комплексному показателю.

Приведем формулу для определения уровня качества по комплексным показателям горных машин без вывода [1, 16]:

$$K_i = \frac{\sqrt{m \sum_{j=1}^n \left[ k_{ij} \left( \sum_{j=1}^n k_{ij} - k_{ij} \right) \right]^2}}{(m-1) \sum_{j=1}^n k_{ij}}. \quad (22)$$

Подставляя вместо  $k_{ij}$  его значение из выражения (22), получим расчетную формулу для уровня качества по комплексному показателю при известных удельных величинах параметров, по которым оценивается уровень качества  $i$ -й машины:

$$K_i = \frac{\sqrt{m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{q_{6j}}{q_{ij}} \left( \sum_{j=1}^n \frac{q_{6j}}{q_{ij}} - \frac{q_{6j}}{q_{ij}} \right) \right]^2}}{(m-1) \sum_{j=1}^n \frac{q_{6j}}{q_{ij}}}. \quad (23)$$

Если подставить значения  $q_{ij}$  из уравнения (17), после преобразований получим формулу для подсчета уровня качества по комплексному показателю при известных удельных значениях параметров модели эталонной  $q_{ij}$  и натуральных значениях рассматриваемой  $P_{ij}$  машин:

$$K_i = \frac{\lambda_i \sqrt{m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{q_{6j}}{P_{ij}} \left( \sum_{j=1}^n \frac{q_{6j}}{P_{ij}} - \frac{q_{6j}}{P_{ij}} \right) \right]^2}}{(m-1) \sum_{j=1}^n \frac{q_{6j}}{P_{ij}}}. \quad (24)$$

Из формулы (24) следует, что уровень качества по комплексному показателю прямо пропорционально зависит от функционального критерия  $\lambda_i$ . Поэтому при прочих равных условиях его увеличение является наиболее действенным для повышения уровня качества машин.

При решении практических задач важно знать, за счет какого показателя наиболее эффективно можно повысить уровень качества изделия по комплексному показателю. Если оценка качества производится по формуле (22), то эту задачу можно решить аналитически. Для этого

необходимо установить закономерность изменения уровня качества по комплексному показателю от уровня качества по отдельному единичному показателю ( $K = f(k_\nu)$ ) при фиксированных значениях всех остальных ( $j = 1, m; j \neq \nu$ ) уровней качества по единичным показателям.

Зафиксируем в формуле (22) на постоянном уровне значения всех уровней качества по единичным показателям, кроме одного,  $\nu$ -го. После выполнения необходимых преобразований получим аналитическую зависимость уровня качества по комплексному показателю от уровня качества по  $\nu$ -му показателю в виде

$$K = \frac{\sqrt{m(a_\nu k_\nu^2 + b_\nu k_\nu + c_\nu)}}{(m-1)(\alpha_\nu + k_\nu)}. \quad (25)$$

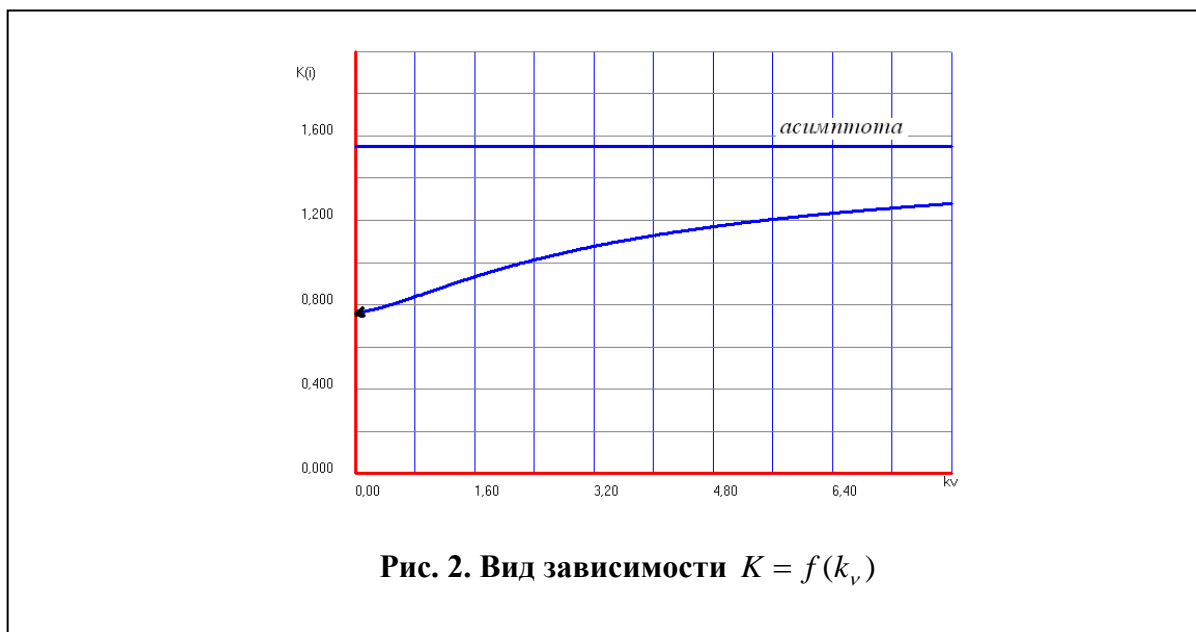
где  $\alpha_\nu = \sum_{j=1}^m k_j - k_\nu$ ,  $\beta_\nu = \sum_{j=1}^m k_j^2 - k_\nu^2$ ,  $\gamma_\nu = \sum_{j=1}^m k_j^3 - k_\nu^3$ ,  $\delta_\nu = \sum_{j=1}^m k_j^4 - k_\nu^4$ ,

$$a_\nu = \alpha_\nu^2 + \beta_\nu, \quad b_\nu = 2\alpha_\nu\beta_\nu - 2\gamma_\nu, \quad c_\nu = \alpha_\nu^2\beta_\nu - 2\alpha_\nu\gamma_\nu + \delta_\nu.$$

Формальное исследование функции  $K = f(k_\nu)$  в условной области изменения  $\nu$ -го показателя (от 0 до  $+\infty$ ) показывает, что функция имеет горизонтальную асимптоту, уравнение которой имеет вид (рис.2)

$$K = \frac{\sqrt{ma}}{m-1}, \quad (26)$$

что свидетельствует о невозможности бесконечного увеличения качества машины за счет одного показателя.



При статистическом исследовании качества машин, входящих в матрицу, изменении  $\nu$ -го показателя в пределах от 0 до 3, с достаточной

для практики точностью зависимость (25) может быть аппроксимирована линейной функцией

$$K = a_0 + a_1 k_v, \quad (27)$$

где  $a_0$  и  $a_1$  - постоянные коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов.

Для определения параметров, которые могут обеспечить требуемое значение уровня качества по комплексному показателю для конкретной машины, необходимо установить обратную зависимость, т.е. зависимость между уровнем качества по единичному показателю и уровнем качества по комплексному показателю  $k = \varphi(K)$ . Эта зависимость имеет вид

$$k_v = \frac{p_v + s_v K^2 + \sqrt{V_v K^2 + h_v}}{u_v - z_v K^2}, \quad (28)$$

где  $p_v = -mb_v$ ;  $s_v = 2\alpha_v(m-1)$ ;  $V_v = 4m(m-1)^2(a_v\alpha_v^2 - b_v\alpha_v + c_v)$ ;  
 $h_v = m^2(b_v^2 - 4a_v c_v)$ ;  $z_v = 2(m-1)^2$ ;  $u_v = 2ma_v$ .

В таком виде зависимость (28) можно использовать для установления предельных значений показателей качества конкретной машины, обеспечивающих заданное (прогнозное) значение уровня качества по комплексному показателю.

## Управление качеством машин при изготовлении

Качество изготовления машин зависит от качества изготовления отдельных деталей, входящих в нее, качества монтажа сборочных единиц и т.п.

Любая машина состоит из множества деталей, для изготовления которых можно спроектировать большое количество самых разнообразных технологических процессов. Однако как бы ни проектировались технологические процессы, их конечный результат - готовые детали, удовлетворяющие заданным техническим требованиям. В фактических размерах и геометрии и продолжительности цикла обработки готовых деталей содержится вся существенная информация о состоянии производственного оборудования, инструментов, приспособлений, прогрессивности технологий.

Качество изготовления детали формируется в течение всего технологического процесса. Следовательно, о качестве изготовления детали, с одной стороны, можно судить по конечному результату, т.е. по полученной геометрии готовой детали, а с другой стороны, качество детали является функцией уровней качества, достигнутых на отдельных операциях при обработке конкретного размера.

Анализ чертежей деталей показывает, что существуют три способа задания требований к отдельным свойствам детали на нем:

- показатель должен находиться в заданных пределах -  $P_{min}...P_{max}$ , т.е. действительное значение некоторого параметра (значение параметра, измеренное с допустимой погрешностью), должно находиться в этих пределах (группа 1);
- показатель должен быть равен или меньше некоторого максимального значения -  $P \leq P_{max}$ . Нижний предел для таких параметров не устанавливается. Он обуславливается выбранным технологическим процессом достижения требуемого значения параметра. Такие параметры относятся к параметрам, заданным в виде "не более...". К таким параметрам можно отнести показатели отклонения формы, взаимного расположения поверхностей и осей и т.п. (группа 2);
- показатель должен быть больше некоторого минимального значения -  $P \geq P_{min}$ . Верхний предел для таких параметров не устанавливается. Он обуславливается выбранным технологическим процессом достижения требуемого значения параметра. Такого рода параметры относятся к параметрам, заданным в виде "не менее...". Примером такого задания параметра может быть, например, "твердость не менее НВ 230" и т.п. (группа 3).

Уровень качества изготовления детали по  $i$ -му регламентированному свойству (для показателей группы 1, рис. 1) можно определить следующим образом. Наивысший, равный единице уровень качества будет иметь место тогда, когда действительный размер  $P_i$  равен

$$P_i = 0.5(es + ei) = \bar{X}, \quad (29)$$

где  $ei$  - нижнее отклонение регламентированного параметра;  $es$  - верхнее отклонение регламентированного параметра. В этом случае, за базовое значение параметра принимается среднее значение  $i$ -го параметра, установленного конструктором. Если значение  $i$ -го регламентированного параметра выше верхнего и (или) ниже нижнего отклонения, уровень качества по данному параметру детали равен нулю, поскольку данный параметр не отвечает требованиям чертежа. Учитывая тот факт, что при определении действительного значения параметра имеет место ошибка, обусловленная как точностью метода измерения, так и другими причинами, уровень качества равным нулю следует принимать тогда, когда действительное значение параметра будет ниже  $(ei - \Delta)$  и выше  $(es + \Delta)$ . Численную величину  $\Delta$  можно определить, используя критерий ничтожных погрешностей при измерении. Как известно, погрешность считается ничтожной, если она не превышает  $\frac{1}{3}s$ , где  $s$  - среднее квадратичное отклонение параметра. Например, для нормального закона распределения, допуск параметра ( $IT$ ) с вероятностью 99.73% равен

6s. Откуда  $s = \frac{IT}{6}$  и  $\Delta = \frac{1}{3}s = \frac{IT}{3 \cdot 6} \approx 0.05IT$ . Если параметр распределен по закону равной вероятности  $\Delta = \frac{IT}{2\sqrt{3} \cdot 3} \approx 0.1IT$ .

Таким образом, для определения уровня качества по  $i$ -му параметру, можно составить следующую систему:

$$\begin{aligned} \text{если } P_i = \bar{X}_i, & \quad \text{то } k_i = 1; \\ \text{если } p_i = ei - \Delta & \quad \text{то } k_i = 0; \\ \text{если } p_i = es + \Delta & \quad \text{то } k_i = 0. \end{aligned} \quad (30)$$

Полагая, что изменение  $i$ -го параметра от его среднего значения на одну и ту же величину (в пределах допуска) приводит к одинаковому изменению уровня качества, искомая зависимость между значением параметра и величиной уровня качества может быть представлена в виде параболы, как наиболее простой из возможных функций, удовлетворяющих такому требованию.

Зависимость  $k=f(P_i)$  определялась в виде:

$$k_i = a_0 + a_1 P_i + a_2 P_i^2. \quad (31)$$

Для определения коэффициентов  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$  с учетом ограничений (30) составим следующую систему

$$\begin{aligned} 1 &= a_0 + a_1 \bar{X} + a_2 \bar{X}^2; \\ 0 &= a_0 + a_1(ei - \Delta) + a_2(ei - \Delta)^2; \\ 0 &= a_0 + a_1(es + \Delta) + a_2(es + \Delta)^2. \end{aligned} \quad (32)$$

Решив эту систему относительно неизвестных коэффициентов  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$ , после соответствующих упрощений получим

$$k_i = 1 - \frac{(P_i - \bar{P})^2}{(0.5ITP + \Delta)^2}, \quad (33)$$

где  $ITP$  - допуск на  $i$ -й параметр ( $ITP = esP - eiP$ );  $\bar{P}$  - среднее значение  $i$ -го параметра  $\bar{P} = 0.5(esP + eiP)$ ;  $P_i$  - действительное значение параметра, полученное в данном технологическом процессе;  $esP$  - верхнее предельное значения параметра  $P$ ;  $eiP$  - нижнее предельное значение параметра  $P$ .

Для показателей второй группы, формула для определения уровня качества по  $i$ -му регламентированному параметру будет иметь вид

$$k_i = 1 - \frac{(P_i - P_{min})^2}{(ITP + \Delta)^2}, \quad (34)$$

где  $ITP$  - допуск на  $i$ -й параметр ( $ITP = P_{max} - P_{min}$ );  $P_i$  - действительное значение параметра, полученное в данном технологическом процессе;  $P_{min}$  - минимально достижимое значение  $i$ -го параметра в данном технологическом процессе при полном соблюдении технологического регламента;  $P_{max}$  - максимально-допустимое по техническим требованиям значение параметра.

Для показателей третьей группы, формула для определения уровня качества по  $i$ -му регламентированному параметру будет иметь вид

$$k_i = 1 - \frac{(P_{max} - P_i)^2}{(ITP + \Delta)^2}, \quad (35)$$

где  $ITP$  - допуск на  $i$ -й параметр ( $ITP = P_{max} - P_{min}$ );  $P_i$  - действительное значение параметра, полученное в данном технологическом процессе;  $P_{max}$  - максимально достижимое значение  $i$ -го параметра в данном технологическом процессе при полном соблюдении технологического регламента;  $P_{min}$  - максимально-допустимое по техническим требованиям значение параметра.

Для оценки уровня качества изготовления детали по комплексному показателю на данной операции необходимо найти зависимость  $K = \varphi(k_i)$ .

В качестве такой зависимости предлагается следующая формула

$$K = \prod_{i=1}^m k_i, \quad (36)$$

где  $k_i$  - определяется по формулам (33)-(35);  $m$  - количество параметров детали, по которым производится оценка качества изготовления  $j$ -й детали.

Формула (36) обладает свойством "вето", т.е. при выходе действительного значения хотя бы одного параметра за пределы  $(ei - \Delta)$  или  $(es + \Delta)$ , уровень качества по комплексному показателю равен нулю (деталь бракуется, так как она не удовлетворяет техническим требованиям по  $i$ -му параметру).

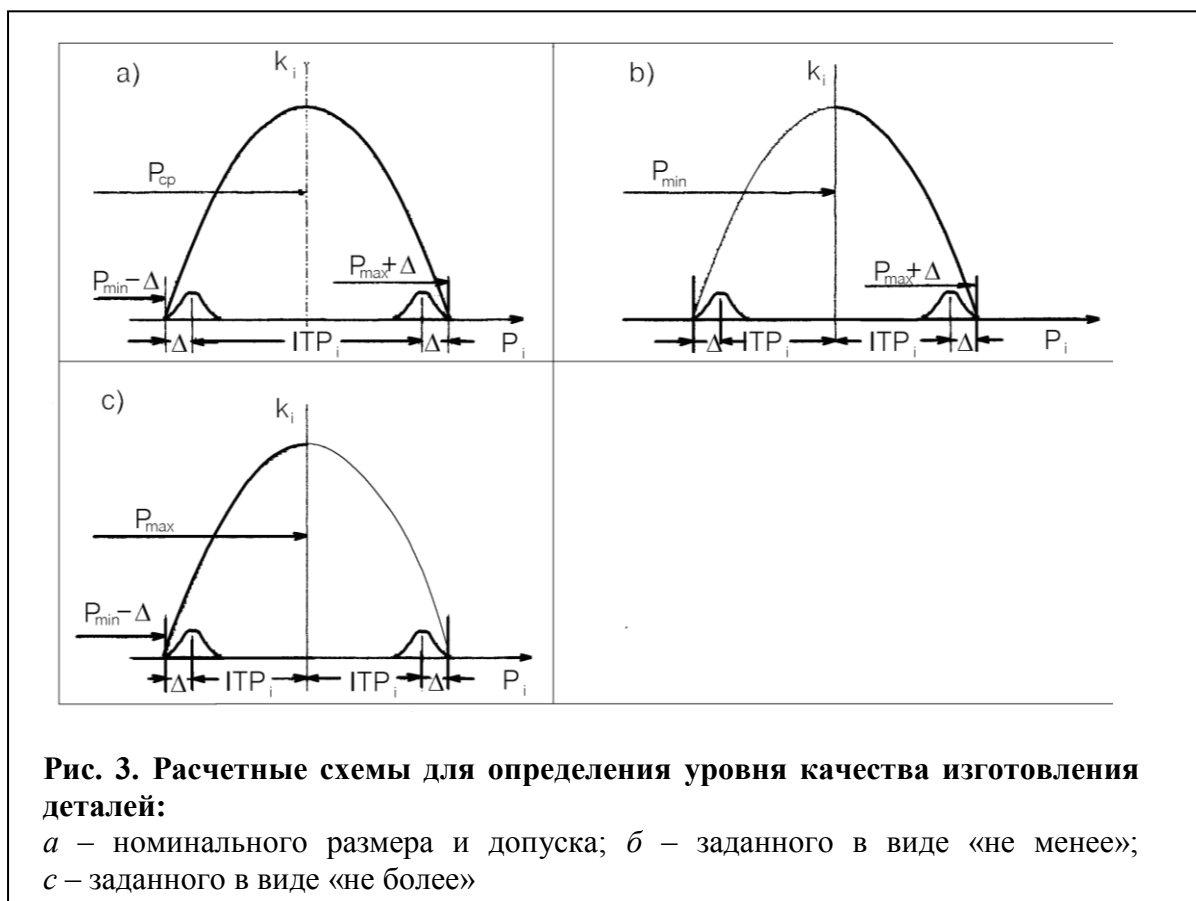
Недостатком формулы (36) является то, что при достаточно большом количестве регламентируемых параметров, даже при достаточно высоком уровне качества по отдельным параметрам, величина  $K$  может достигать малой величины.

В связи с этим представляется предпочтительней использовать следующую формулу

$$K = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m k_i}, \quad (37)$$

которая лишена указанного недостатка. Значения  $k_i$  вычисляются по соответствующим формулам с учетом характера задания регламентированного параметра. Уровень качества готовой детали, полученной в результате выполнения всех операций технологического процесса, естественно, зависит от уровня качества детали, достигнутого на отдельных операциях. Установление таких связей может быть выполнено с помощью размерного анализа. Для этого необходимо проследить систему формирования конечного значения  $i$ -го параметра, составить и решить систему взаимосвязанных размерных цепей по каждому из вариантов технологического процесса. Исходным звеном в

отдельных размерных цепях этой системы выступает величина  $i$ -го звена, достигаемая на данной технологической операции. В такой постановке задача может быть решена для относительно простых деталей с незначительным количеством регламентированных требований. Для оценки уровня качества изготовления машины в целом необходимо переходить к поиску комплексных показателей, которые в совокупности учитывают качество изготовления отдельных деталей.



### Оценка качества соединений

Различают три вида посадок: посадки с зазором, посадки с натягом и переходные посадки. В зависимости от требований, предъявляемых к соединению, осуществляется выбор соответствующей формулы.

При оценке качества соединений с зазором уровень качества определяется по формуле

$$k_i = 1 - \frac{(S_i - S_{min})^2}{(ITS + \Delta)^2}, \quad (38)$$

где  $ITS$  - допуск зазора ( $ITS = S_{max} - S_{min}$ );  $S_i$  - действительное значение зазора в  $i$ -м соединении;  $S_{min}$  - минимальное (по чертежу) значение зазора;  $S_{max}$  - максимальное (по чертежу) значение зазора.

При оценке качества соединений с натягом уровень качества определяется по формуле



$$k_i = 1 - \frac{(N_{max} - N_i)^2}{(ITN + \Delta)^2}, \quad (39)$$

где  $ITN$  - допуск натяга ( $ITN = N_{max} - N_{min}$ );  $N_i$  - действительное значение натяга в  $i$ -м соединении;  $N_{min}$  - минимальное (по чертежу) значение натяга;  $N_{max}$  - максимальное (по чертежу) значение натяга.

В переходных посадках могут иметь место, как натяги, так и зазоры.

При высоких требованиях к точности центрирования, а также при больших, особенно ударных, нагрузках и вибрациях назначают посадки с большим средним натягом. В этом случае уровень качества изготовления соединения определяется по формуле

$$k_i = 1 - \frac{(N_{max} - N_i)^2}{(ITNS + \Delta)^2}, \quad (40)$$

где  $ITNS$  - допуск посадки ( $ITNS = N_{max} + S_{max}$ );  $N_i$  - действительное значение натяга в  $i$ -м соединении;  $S_{max}$  - максимальное (по чертежу) значение зазора;  $N_{max}$  - максимальное (по чертежу) значение натяга.

Чем чаще требуется разборка (сборка) узла, чем больше опасность повреждения других деталей соединения (особенно подшипники), тем с меньшим средним натягом следует выбирать переходную посадку. В этом случае уровень качества изготовления соединения определяется по формуле

$$k_i = 1 - \frac{(S_{max} - S_i)^2}{(ITNS + \Delta)^2}, \quad (41)$$

где  $S_i$  - действительное значение зазора в  $i$ -м соединении;  $S_{max}$  - максимальное (по чертежу) значение зазора.

Для оценки качества изготовления написана программа "OKDET.BAS", работающая в диалоговом режиме. Программой предусмотрена оценка качества изготовления деталей, как по фактическим данным, так и по данным, полученным в результате моделирования. Моделирование параметров деталей осуществляется в заданных допусках с требуемой вероятностью. При моделировании используются основные законы распределения случайных величин, характерные при обработке деталей.

Для работы с программой OKDET.BAS с фактическими данными необходимо подготовить следующую информацию:

для первой группы задания параметров

- номинальный размер, верхнее ( $es$ ) и нижнее ( $ei$ ) предельные отклонения, точность измерения размера;

для второй и третьей групп задания параметров

- соответственно максимальное и минимальное значение параметра, минимально (максимально) - достижимое значение параметра в данном технологическом процессе, точность измерения данного параметра.

## Оценка качества сборочных единиц

При оценке качества изготовления сборочных единиц, которые состоят из множества различных деталей, оценка по приведенным зависимостям вызывает определенные затруднения. В этой связи необходимо найти комплексный показатель, который наиболее полно характеризует качество изготовления машины, например, можно использовать параметры замыкающего звена размерной цепи, которые определяют функциональное назначение сборочной единицы.

При расчете методом полной взаимозаменяемости:

-номинальный размер замыкающего звена

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i ; \quad (42)$$

-поле допуска замыкающего звена

$$ITA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| ITA_i , \quad (43)$$

где  $m$  - количество звеньев в размерной цепи;  $A_i$  - номинальный размер  $i$ -го составляющего звена;  $ITA_i$  - поле допуска  $i$ -го составляющего звена;  $\xi_i$  - передаточное отношение  $i$ -го составляющего звена.

При расчете методом вероятностного суммирования допусков:

-номинальный размер замыкающего звена (математическое ожидание)

$$M(A_{\Delta}) = \sum \xi_i M(A_i) \quad (44)$$

-поле допуска замыкающего звена

$$ITA_{\Delta} = \frac{1}{\lambda_{\Delta}} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i ITA_i^2} , \quad (45)$$

где  $\lambda_i, \lambda_{\Delta}$  - соответственно коэффициент относительного рассеивания размеров  $i$ -го составляющего звена и замыкающего звена.

Уровень качества сборочной единицы в этом случае определяется по формуле

$$k_i = 1 - \frac{(A_{\Delta i} - \bar{A}_{\Delta})^2}{(0.5 ITA_{\Delta} + \Delta)^2} . \quad (46)$$

Здесь  $A_{\Delta i}$  - фактическое значение замыкающего звена в  $i$ -й сборочной единице;  $\Delta$  - погрешность измерения значения замыкающего звена.

## Управление качеством машин при эксплуатации

Качество функционирования конкретной технической системы зависит от качества изготовления деталей, качества монтажа ее агрегатов, а также от качества технического обслуживания и ремонта. Совершенствование технического обслуживания основывается на

необходимости оценки и прогнозирования технического состояния машин, входящих в систему.

Наиболее универсальными методами контроля состояния работающего объекта являются методы, основанные на регистрации и анализе вибросигналов, генерируемых в соответствующих его частях. Динамическое качество машины зависит от качества ее изготовления и ухудшается в процесс работы вследствие износа ее деталей и вызванного им повышения зазоров, люфтов, заеданий в трибосопряжениях. С помощью современных средств, параметры вибросигнала могут быть измерены с высокой точностью.

Характерным признаком совершенства конструкции, высокого качества ее изготовления является низкий уровень колебаний, генерируемых ею и воспринимаемых нами как сопутствующий фактор при выполнении ею своих функций. В процессе эксплуатации возможно нарушение центровки валов, в сопряженных деталях увеличиваются зазоры, изменяется характер посадок, нарушается баланс роторов, возможно заклинивание пар трения. Все эти факторы приводят к увеличению энергии механических колебаний.

Как свидетельствует опыт, для большинства машин, механические колебания имеют типичные уровни, а их частотный спектр, имеет характерную форму, когда машина находится в хорошем рабочем состоянии.

При развитии неисправности, в машине происходит изменение динамических процессов, а это отражается в изменении сил, воздействующих на детали машины. В результате этого происходит изменение, как уровня механических колебаний, так и формы их спектра.

Оценка степени отклонения технического состояния механизма от нормы по косвенным признакам, а именно, по изменению свойств вибрационных процессов в механизме, зависящих от характера взаимодействия комплектующих его узлов и деталей, является важной задачей. Для горных машин, особенностью которых является повышенный риск катастрофических последствий, в том числе связанных со здоровьем или жизнью людей вследствие внезапных отказов, контроль вибрационного состояния совершенно необходим.

Широкие частотный и динамический диапазоны колебательных процессов, малая инерционность, большая скорость распространения упругих волн по конструкции машины обуславливают быструю реакцию вибросигнала на изменение технического состояния. Эти особенности позволяют принять превентивные меры, предотвращающие катастрофические последствия внезапного отказа. Для этого отклонение параметров технического состояния машины от нормы нужно поставить в соответствие с изменением параметров вибраций.

В связи с этим задачей управления качеством машин при эксплуатации является разработка и практическая реализация алгоритмов оценки параметров технического состояния машин без их разборки в рабочих условиях и на этапе изготовления по характеристикам вибрационных процессов, сопровождающих их функционирование.

Для предварительной оценки качества сборки разных машин одного типа и типоразмера (первый уровень контроля) предлагается использовать интенсивность вибраций (среднеквадратичное значение виброскорости), измеренных в широком диапазоне частот - от 10 Г до 1000 Гц. В этом случае, после предварительного анализа, определяются контрольные точки, несущие наибольшую информацию о машине; количество таких точек, в соответствии с предлагаемой методикой, не ограничивается. Пусть, например, за некоторый промежуток времени изготовлено  $n$  машин. Выполнив измерения среднеквадратичного значения виброскорости в  $m$  точках, получим следующую матрицу:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{21} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & a_{ij} & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix}. \quad (47)$$

Очевидно, что интенсивность вибрации должна быть равна или меньше некоторого максимально допустимого значения  $P_{j\max}$ . Нижний предел для таких параметров не устанавливается, а обуславливается принятыми технологическими процессами изготовления и сборки. В соответствии с разработанной нами методикой [1], такие параметры относятся к параметрам, заданным в виде "не более...".

Уровень состояния  $i$ -й машины в  $j$ -й контрольной точке определяется по формуле

$$k_{ij} = 1 - \frac{(a_{ij} - P_{j\min})^2}{(P_{j\max} - P_{j\min} + \Delta_j)^2}, \quad (48)$$

где  $a_{ij}$  - действительное значение интенсивности вибраций в  $j$ -й контрольной точке  $i$ -й машины;  $P_{j\min}$  - минимально достижимое значение интенсивности вибраций в  $j$ -й точке, которое может быть достигнуто при полном соблюдении технологического регламента;  $P_{j\max}$  - максимально-допустимое значение интенсивности вибраций в этой же точке.

Первоначально, до накопления необходимого объема экспериментальных данных, максимально-допустимое значение интенсивности вибраций можно принять в соответствии с рекомендациями ISO для различных классов машин (табл. 1).

Минимально достижимое значение интенсивности вибраций в  $j$ -й контрольной точке определяется по формуле:

$$a_{\sigma j} = \min_{1 \leq i \leq n} \{a_{ij}\}. \quad (49)$$

Совокупность  $\{a_{\sigma j}\}$  ( $j=1,2,\dots,m$ ) в дальнейших расчетах используется как модель базовой машины, в которой реализованы лучшие показатели при сборке. В частном случае такая машина является гипотетической. Для такой машины уровень качества сборки по принятому показателю интенсивности вибраций равен единице.

Таблица 1

**Вибрационные параметры машин**

Состояния машины по параметру	Среднеквадратичное значение виброскорости, мм/с				Пиковое значение виброскорости, мм/с			
	Класс машин							
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Отличное	0,28-0,71	0,28-1,12	0,28-1,80	0,28-2,80	0,40-1,00	0,40-1,58	0,40-2,54	0,40-3,96
Хорошее	0,71-1,80	1,12-2,80	1,80-4,50	2,80-7,10	1,00-2,54	1,58-3,96	2,54-6,37	3,96-10,00
Приемлемое	1,80-4,50	2,80-7,10	4,50-11,20	7,10-18,00	2,54-6,37	3,96-10,00	6,37-15,80	10,00-25,40
Неприемлемое	4,50-45	7,10-45	11,20-45	18,00-45	6,37-63,70	10,00-63,70	15,80-63,70	25,40-63,70

Уровень состояния  $i$ -й машины по показателю «интенсивность вибрации» в  $j$ -й контрольной точке ( $k_{ij}$ ) определяется по формуле:

$$k_{ij} = \frac{a_{\sigma j}}{a_{ij}}. \quad (50)$$

Формула (50) дает возможность оценить уровень состояния каждой из  $n$  машин во всех  $m$  контрольных точках.

В связи с колебанием значения  $k_{ij}$  затрудняется однозначная оценка уровня состояния машины в целом. Чтобы оценить состояние машины в целом, необходимо определить значение обобщенной вибрационной характеристики воспользовавшись методикой [1]. В этом случае, значение обобщенной вибрационной характеристики  $K_i$ , определяется по формуле:

$$K_i = \frac{\sqrt{m \sum_{j=1}^m \left[ k_{ij} \left( \sum_{j=1}^m k_{ij} - k_{ij} \right) \right]^2}}{(m-1) \sum_{j=1}^m k_{ij}}. \quad (51)$$

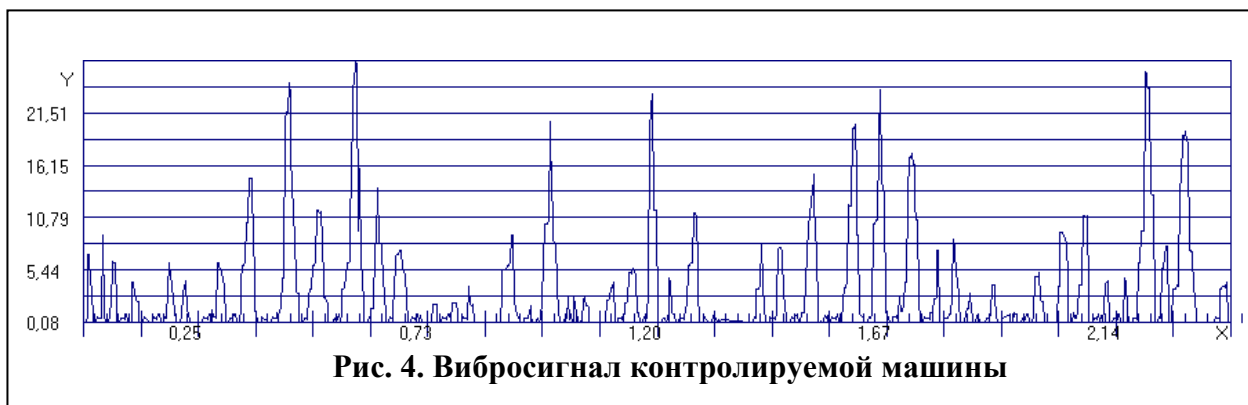
В процессе выполнения своих функций техническое состояние машины изменяется. Это связано, прежде всего, с изменением в точности

расположения отдельных элементов в пространстве вследствие износа, что приводит к изменению во времени значений параметров вибраций машины. Поэтому, наблюдая за изменением вибрационного состояния машины, можно судить об интенсивности процессов, приводящих к дефектам в виде нарушения точности расположения исполнительных поверхностей деталей.

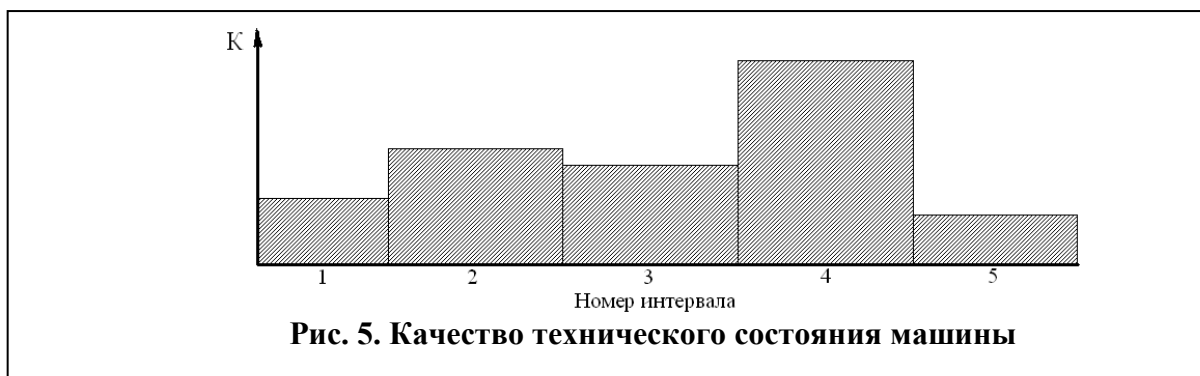
Выполняя последовательно измерения выбранных параметров вибрации в точках контроля и, вычисляя значения уровней обобщенной вибрационной характеристики можно установить динамику ее изменения во времени, что, в конечном счете, дает возможность построить модель изменения технического состояния машины.

Таким образом, на первом этапе определяется состояния машины в целом. Однако, более важно знать причины снижения уровня состояния по обобщенной вибрационной характеристике.

Для выяснения причин снижения уровня состояния по обобщенной вибрационной характеристике (второй уровень контроля), с использованием предлагаемого подхода, поступим следующим образом. Для одной из машин, входящих в матрицу (47) запишем вибросигнал и, используя преобразование Фурье, построим его спектр (рис.4).

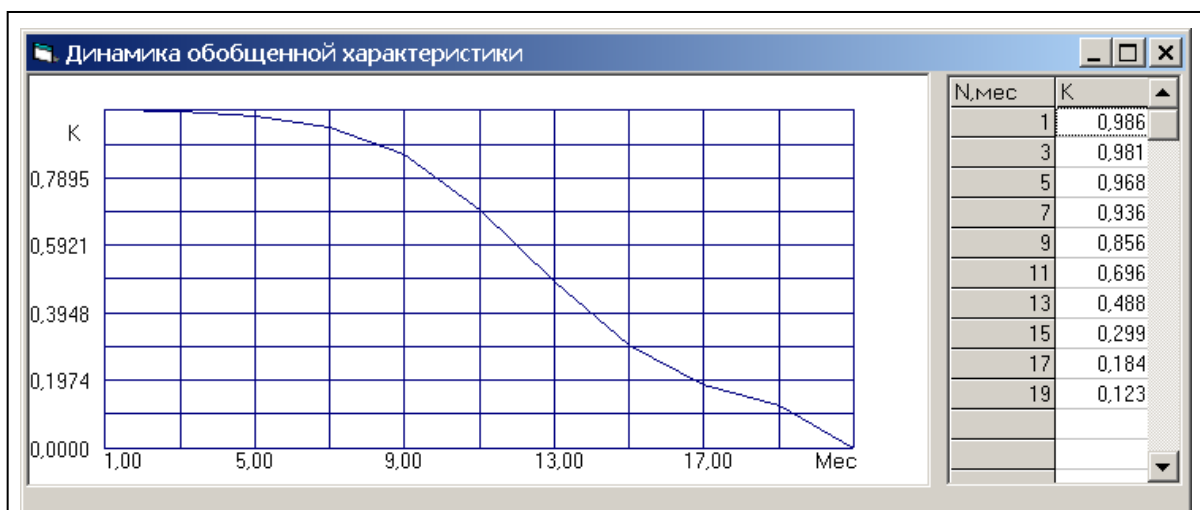


Разобьем спектр на ряд интервалов, количество которых определим исходя из конструктивных особенностей контролируемой машины. Важно при этом, чтобы в интервалах проявлялись частоты, характерные для отдельных элементов машины – зубчатые колеса, подшипники и т.п. Затем внутри каждого интервала определим уровень состояния машины по обобщенной вибрационной характеристике ( $K_{mj}$ ), где  $m$  - номер интервала;  $j$  - значение амплитуды сигнала. По значениям уровня состояния по обобщенной вибрационной характеристике в каждом из диапазонов определяется уровень состояния машины в целом при выполнении  $i$ -го контроля (рис. 5).



Прослеживая динамику изменения обобщенной вибрационной характеристики от контроля до контроля, предоставляется возможность определить обоснованное время замены детали.

На рис. 6 представлен график изменения обобщенной вибрационной характеристики во всех рассмотренных диапазонах частот. На графике наглядно видно, в каком из диапазонов частот, и за какое время обобщенная вибрационная характеристика достигнет своего предельно допустимого значения.



### Оценка технологических процессов изготовления

В основу методики оценки уровня технологических процессов изготовления изделий были положены методические указания "ЕСТП. Аттестация технологических процессов" (РД-50-532-85).

В соответствии с РД-50-532-85 аттестация технологических процессов проводится с целью: объективной оценки уровня технологических процессов производства, определяемой степенью соответствия основных параметров применяемых технологических процессов лучшим мировым и отечественным достижениям; получения информации, необходимой для

разработки плана организационно-технических мероприятий, обеспечивающих стабильный выпуск изделий высокого уровня качества.

Объектами оценки являются: технологические процессы производства изделий (деталей, сборочных единиц), технологические процессы вида производства (литья, поковок, механической обработки, сварки и т.п.) и технологические процессы производства на предприятии в целом.

В соответствии с РД уровень технологических процессов характеризуется следующими основными свойствами: производительность труда; прогрессивность технологического оборудования; степень механизации и автоматизации; эффективность использования материалов.

Уровень технологического процесса ( $Y_m$ ) определяется по формуле

$$Y_m = \sum_{i=1}^n a_i \frac{P_i}{P_i^n}, \quad (52)$$

где  $a_i$  - коэффициент весомости  $i$ -го показателя;  $P_i$  - фактическое значение  $i$ -го показателя качества;  $P_i^n$  - нормативное значение  $i$ -го показателя;  $n$  - количество показателей, принятых для оценки уровня технологического процесса.

Уровень технологических процессов вида производства ( $Y_{mvi}$ ) определяется с учетом уровня технологических процессов, входящих в данный вид

$$Y_{mvi} = \sum_{i=1}^m b_i Y_{mvi}, \quad (53)$$

где  $b_i$  - коэффициент весомости  $i$ -го технологического процесса в данном виде производства;  $m$  - количество технологических процессов, входящих в данный вид производства.

Коэффициент весомости ( $b_i$ ) определяется как доля трудоемкости  $i$ -го процесса ( $T_i$ ) в общей трудоемкости вида производства

$$b_i = \frac{T_i}{\sum_{i=1}^m T_i}. \quad (54)$$

Аналогично определяется уровень технологических процессов производства изделия (сборочной единицы) и уровень технологии производства на предприятии.

Основным звеном всей оценки является формула (52), использование которой требует наличия нормативных значений соответствующих показателей.

Для установления нормативных значений показателей уровня технологических процессов была разработана специальная методика, в основу которой положен метод группировки заводов в однородные группы по наиболее существенному признаку - объему выпуска продукции по



видам производств. Считалось, что внутри однородной группы заводов условия производства примерно одинаковые.

Однородность группы заводов определялась по разработанной программе на основании критерия  $U(\rho^2)$  [20]

$$U(\rho^2) = \frac{n-1}{n(n-1)l} \sum_{i=1}^m \frac{\left[ (n-l) \sum_{s=1}^l x_{si} - l \sum_{s=l+1}^n x_{si} \right]^2}{\sum_{s=1}^n x_{si}^2 - \frac{\left( \sum_{s=1}^n x_{si} \right)^2}{n}}, \quad (55)$$

где  $x_{si}$  - значение исследуемого признака;  $n$  - количество значений исследуемого признака в выборке;  $s$  - величина, которая последовательно принимает значения от 1 до  $n-1$ ;  $n$  - количество заводов, принятых к рассмотрению.

Перед определением  $U(\rho^2)$  совокупность заводов ранжировалось по объему выпуска продукции по  $j$ -му виду производства.

По формуле (55) последовательно для значений  $l = \overline{1, (n-1)}$  рассчитывалось значение  $U(\rho^2)_i$ . Максимальное значение критерия  $(U(\rho^2)_{max})$  сравнивалось с табличным значением хи-квадрат при принятом уровне значимости  $\alpha$  и числе степеней свободы  $m$  ( $\chi_{\alpha, m}^2$ ). Если  $U(\rho^2)_{max} \leq \chi_{\alpha, m}^2$ , то совокупность заводов признается однородной. Если  $U(\rho^2)_{max} > \chi_{\alpha, m}^2$ , то совокупность  $n$  ( $n$  - количество анализируемых заводов) разбивается на две подсовокупности:  $l$ -я подсовокупность объемом  $\overline{1, S_1}$  (где  $S_1$  - номер строки, в которой критерий  $U(\rho^2)$  принимает максимальное значение), вторая  $\overline{S_1+1, n}$ . Отдельно для каждой из полученных подсовокупностей снова рассчитывалось значение критерия  $U(\rho^2)_i$ . Определялось максимальное значение  $(U(\rho^2)_{max})$  и сравнивалось с табличным значением критерия  $\chi_{\alpha, m}^2$ . Если условие  $U(\rho^2)_{max} \leq \chi_{\alpha, m}^2$  не выполнялось, то соответствующая подсовокупность снова разбивалась на две подсовокупности. Такая процедура повторялась до тех пор, пока значение критерия  $U(\rho^2)_{max}$  не станет меньше  $\chi_{\alpha, m}^2$ . Полученные в результате такого деления подсовокупности считаются однородными.

После этого проверялась устойчивость границ разбиения по критерию  $U(S_k, S_{k+1})$  [20]:

$$U(S_k, S_{k+1}) = \frac{n + n_{k+1} - 1}{n_k n_{k+1} (n_k + n_{k+1})} \sum_{j=1}^m \frac{\left[ n_{k+1} \sum_{S \in S_{k+1}} x_{sj} - n_k \sum_{S \in S_{k+1}} x_{sj} \right]^2}{\sum_{S \in S_k \cup S_{k+1}} x_{sj}^2 - \frac{\left( \sum_{S \in S_k \cup S_{k+1}} x_{sj} \right)^2}{n_k + n_{k+1}}}, \quad (56)$$

где  $n_k, n_{k+1}$  - количество заводов, попавших в  $k$  и  $k+1$  подсовокупности соответственно.

Граница признается устойчивой, если  $U(S_k, S_{k+1}) > \chi_{\alpha, m}^2$ . В противном случае граница считается неустойчивой и соответствующие подсовокупности объединяются в одну.

Пример группировки заводов в однородные группы по трудоемкости производства приведен в табл. 2.

Таблица 2

Результаты группировки заводов в однородные группы

Численность промышленно-производственного персонала, чел. ( $Ч_{ППП}$ )			Трудоемкость, тыс.нормо-часов (Т)		
Завод	$Ч_{ППП}$	$U(\rho^2)_i$	Завод	Т	$U(\rho^2)_i$
№ 1	116	1,4	№ 2	238,5	1,55
№ 2	140	1,59	№ 5	275,6	0,78
№ 3	169	0	№ 1	296,3	0
№ 4	190	1,25	№ 3	414,2	1,95
№ 5	200	2,65	№ 7	472,5	0,78
№ 6	235	1,93	№ 4	483,9	0
№ 7	260	0	№ 11	623,8	1,88
№ 8	412	1,43	№ 6	714,9	0,97
№ 9	428	1,51	№ 8	746,0	0
№ 10	430	1,94	№ 17	884,7	0,97
№ 11	431	3,42	№ 12	894,8	1,86
№ 12	467	0	№ 9	908,1	2,68
№ 13	638	0,79	№ 10	951,1	0
№ 14	655	1,82	№ 13	1261,5	1,11
№ 15	668	3,38	№ 18	1320,1	2,4
№ 16	906	3,06	№ 14	1422	3,75
№ 17	906	3,84	№ 15	1808,8	2,11
№ 18	1306	0	№ 16	1956,4	0
№ 19	3265	1	№ 20	4431,9	1
№ 20	32810	0	№ 19	4741,4	0

Аналогично поступают для всех  $j = \overline{1, m}$  видов производств.

Для полученных таким образом однородных групп заводов представляется возможность обоснованно устанавливать нормативные значения по всем показателям, характеризующим уровень технологии производства.

Порядок определения нормативных значений, сводится следующему: строится двухмерная таблица однородных групп заводов. Первым входом в таблицу являются однородные группы заводов по объему выпуска

продукции по данному виду производства. Вторым входом являются однородные группы заводов по исследуемому показателю. На пересечении строки и столбца для одноименного завода проставляют абсолютное значение исследуемого показателя:

- первый вход является ведущим, т.е. для установления нормативного значения в каждой из однородных групп по этом показателю необходимо найти максимальное значение исследуемого показателя;
- по максимальному значению исследуемого показателя ( $P_i^{max}$ ) устанавливают нормативное значение для каждого интервала изменения объема выпуска продукции с учетом темпов прироста ( $k_m$ ) по каждому из показателей на заданном промежутке времени по формуле

$$P_i^n = k_m P_i^{max} . \quad (57)$$

По приведенной методике были установлены нормативные значения показателей уровня технологических процессов для 12 видов производства (чугунное литье, стальное литье, цветное литье, ковку, штамповку, заготовительное производство, включая холодную штамповку, механическую обработку, сборочно-сварочное производство, огнерезные работы, слесарно-сборочное производство, термическую обработку, металлопокрытия). Корректность установленных нормативных значений показателей уровня технологических процессов подтвердилась практикой их аттестации на заводах отрасли.

Приведенная выше методика оценки качества технологических процессов может быть применена и для ремонтных предприятий.

#### Список литературы

1. **Солод Г.И.** Основы квалиметрии. Уч. пособ. Для слушателей спецфака. М.: МГГУ, 1991.
2. **Солод Г.И., Радкевич Я.М.** Управление качеством горных машин. Учебное пособие. - М.: МГИ, 1985.
3. **Радкевич Я.М.** Методология прогнозирования параметров горных машин : : (На примере очистных комбайнов): дисс. ... доктора технических наук: 05.05.06 / Моск. гос. горный ун-т .- Москва , 1993.
4. **Островский М.С.** Повышение ресурса горных машин путем мониторинга соединений деталей и узлов: дисс. ... доктора технических наук : 05.05.06 / Моск. гос. горный ун-т .- Москва, 1997.
5. **Докукин А.В.Фролов А.Г., Позин Е.З** Выбор параметров горных машин. - М.: Наука. 1978.
6. **Позин Е.З.** Сопrotивляемость углей разрушению режущим инструментом. М.: Наука, 1972.

7. **Отраслевой** стандарт МУП СССР. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. ОСТ 12.047.001=73
8. **Комплексная** система управления качеством продукции. Рекомендации по разработке и внедрению а объединениях и на предприятиях. М.: Издательство стандартов, 1976
9. **Добров Г.М.** Прогнозирование науки и технике, -М.: Наука, 1969
10. **Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П.** Машины для земляных работ. М.; Машиностроение, 1975
11. **Лактионов Б. И.** Установление необходимого уровня качества выемочных комбайнов на стадии проектирования. М.: МГИ, 1972.
12. **Радкевич Я.М.** Выбор и обоснование модели для прогнозирования качества конвейеров. В кн.; Шахтный и карьерный транспорт. Вып. 5. Под ред. Член-корр. АН СССР А.О.Спиваковского.- М.; Недра, 1980.
13. **Четыркин Е.М.** Статистические методы прогнозирования. Изд. 2- М.: Статистика, 1977.
14. **Химмельблау Д.** Анализ процессов статистическими методами. М.; Мио, 1973.
15. **ГОСТ 11.006-74.** Прикладная статистика. Правила проверки согласия эмпирического распределения с теоретическим.
16. **Радкевич Я.М.** Математическая модель качества конструкции конвейера. В кн.: Шахтный и карьерный транспорт. Вып. 5/Под ред. А.О. Спиваковского. -М.: Недра, 1980, с.303-307.
17. **Отраслевая** система управления качеством продукции и оценка технического уровня и качества изделий угольного машиностроения. Основные положения. М12.001-80.-М.;Минуглепром СССР, 1990
18. **Методика** оценки уровня качества изделий угольного машиностроения. МГЭ и ТМ СССР. М.;, 1969.
19. **Красников Ю.Д., Солод С.В., Топорков А.А.** Повышение надежности функционирования забоев угольных шахт. М.;Недра, 1973.
20. **Кильдышев Г.С. Аболенцев Ю.М.** Многомерные группировки. М.: Статистика, 1978.