

УДК [67.05:664]:658.56:519.237.8

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ

Сукманов В.А., д.т.н., проф.

(Сумского национального аграрного университета)

*Разработаны логические основы и математический аппарат метода оценки качества оборудования, как задачи автоматической классификации объектов. Предложен новый подход к решению проблемы оценивания и сравнения качества различных объектов, в том числе и пищевого технологического оборудования, который основан на сформированных логических основах и предлагаемом методе количественной оценки качества изделия или продукта. Методологические принципы нового метода оценки качества измеряемых объектов базируются на основе построения таксонов и разбиение множества объектов по группам уровней качества в виде решения задачи автоматической классификации объектов на основе кластерного анализа. Для оценки качества группировки оцениваемой продукции в таксоны разработан критерий F. Разбиение множества машин или изделий на классы сведено к максимизации критерия F посредством вариации состава таксонов. Реализация разработанного метода позволяет строго математически измерять качество оцениваемых объектов по совокупности всех характеризующих его свойств.*

**Ключевые слова:** оценка качества, квалиметрия, логические основы, кластерный анализ, таксономия.

**Постановка проблемы.** Расширение номенклатуры выпускаемого технологического оборудования и создание инновационных технологических процессов приводит к возрастанию роли квалиметрии - науки об измерении и количественной оценке качества продукции [1].

Датой ее манифестации можно считать 1968 г., когда в журнале «Стандарты и качество» появилась программная статья ученых во главе с Г. Г. Азгальдовым и А. В. Гличевым, в которой говорилось о появлении науки об измерении и оценке качества продукции [2,3].

За прошедшие годы произошло становления и развитие данного научного направления, однако до настоящего времени не разработаны критерии, которые бы свидетельствовали об

объективности полученных количественных оценок. Более того, многочисленные работы свидетельствуют о противоречиях, имеющих место в теории квалиметрии [4,5], что вынуждает искать принципиально новые подходы в решении вопросов оценивания качества продукции, подходы, которые бы опирались на современное понимание философии, логики и методологии оценивания [6-8], современный математический аппарат [9,10].

Анализ проблем, присущих квалиметрическим методам оценивания качества продукции [7,8] приводит к пониманию того, что объективная количественная оценка качества сложных изделий проблематична и дальнейшие усилия целесообразно сосредоточить на разработке новых логических основ процесса оценивания качества и сведению процесса оценки качества к задаче классификации оцениваемых объектов в некие совокупности (кластеры), содержащие совокупность моделей изделий или оборудования, с равноценным значением уровня их качества [10-13].

**Цель работы** – разработка логических основ и математического аппарата метода оценки качества оборудования, как задачи автоматической классификации объектов.

**Изложение основного материала исследований.** Объект исследования – категория «качество» в формальном математическом ее понимании. Используемые методы: квалиметрия, кластерный анализ, таксономия, распознавание образов.

**Методические аспекты оценки качества.** В методическом отношении получение количественной оценки качества рассматривается как задача косвенного измерения, где искомое значение измеряемой величины рассчитывается на основании априори известной зависимости между этой величиной и непосредственно измеряемыми величинами, ее формирующими.

Специфические особенности решения этой задачи в случае качества предопределяются в первую очередь абстрактным характером самого предмета измерения. В наиболее полезной применительно к нуждам измерения формулировке, качество промышленного оборудования трактуется как совокупность его свойств, обуславливающих пригодность удовлетворять при приемлемых условиях определенные потребности в соответствии с назначением.

Из этого определения явствует, что, будучи совокупностью свойств и вместе с тем характерной индивидуальной особенностью, качество должно рассматриваться как овеществление единства

множества свойств или свойство, отражающее множество свойств. В формальной математической транскрипции качество представляет собой многомерный объект, однако - в отличие от ситуации обычного косвенного измерения, где искомая величина связана с формирующими ее непосредственно измеряемыми величинами заранее известной зависимостью, - не существует никаких логически обоснованных или эмпирически оправданных соображений, которые предопределили бы или хотя бы подсказали вид и структуру зависимости, описывающей качество в связи со свойствами, и тем обеспечивающей получение скалярного значения, меры, показателя качества. Отсутствие однозначного, "естественного" соотношения, описывающего качество, создает возможность различных его определений, и соответственно получение различных значений качества при неизменных значениях свойств.

Вторым обстоятельством, обуславливающим существенное отличие процедуры измерения качества от классической схемы косвенного измерения, является неизбежная разнотипность свойств формирующих качество, т.е. наличие среди них наряду с количественно измеримыми также свойств, допускающих только качественную оценку. (Здесь и далее в соответствующем контексте "качественное" имеет смысл антонима "количественного"). Эти свойства не имеют "естественных" числовых значений и потому их использование в вычислительных выражениях исключено. Принципиальную возможность формального преобразования нечисловых значений в числовые и, следовательно, количественного измерения неколичественных величин предоставляет математическая (репрезентационная) теория измерений [10,11]. Однако применимость таким образом полученных числовых значений в роли операндов тех или иных математических соотношений (например, возможность сравнения по значению, сложения и т.д.) зависит от специфики измеряемых свойств. Поскольку измеренные значения являются исходными для вычисления качества, их присутствие существенно отражается на конструкции выражения, описывающего качество.

Еще одной существенной особенностью качества как предмета измерения является уровень его многомерности. Всякая продукция сама по себе обладает множеством свойств, большая часть которых участвует в формировании качества. Кроме того, в зависимости от вида продукции это количество может многократно возрасти за счет свойств, возникших в результате взаимодействия со средой, в

которой продукция используется (потребляется) и персоналом, обеспечивающим ее использование [3.12]. В частности, всплеск многомерности типичен для промышленного оборудования - объекта нашего исследования.

Таким образом, рассмотрение основных элементов процедуры измерения качества продукции, отталкивающееся от методического сходства ее с классической процедурой косвенного измерения, свидетельствует, что сама возможность получения количественной оценки качества, ее особенности и значение предопределяются математическими сущностями, которые сопоставляются упомянутым элементам.

Однако в теоретических исследованиях проблем квалиметрии [3,6] внимание на этих важных концептуальных моментах не концентрируется, и соответствующие элементы структуры алгоритма получения показателей качества рассматриваются поверхностно, без подробностей. В результате создается неверное впечатление о, будто бы фундаментальной состоятельности получаемой меры качества и маскируются проблемы, возникающие при практическом использовании алгоритма.

Характерный образец такого описания выглядит следующим образом [3].

В рамках формального аксиоматического подхода дается определение меры  $i$ -го свойства как отображения этого свойства на множество вещественных чисел. Обозначив меру символом  $\mu$ , свойство -  $q$ , качество -  $Q$  и множество вещественных чисел -  $R$ , можно записать это определение в виде

$$\mu_i : q_i \rightarrow R, \text{ где } \{q_i\} \leq Q, i = [1, n].$$

Иными словами, здесь показатель свойства трактуется как отображение, приписывающее свойству некое числовое значение без уточнения семантики полученного результата.

Далее вводится понятие свертывания показателей свойств как операции их объединения, агрегирования, осуществляемого по тому или иному закону. Постулируется, что мера качества продукции получается в результате свертывания мер свойств. Из последующего изложения выясняется, что для всех реалистических ситуаций оценивания качества, соотношение свертывания в общем случае представляет собой скалярное произведение вектор-функций весомости и показателей свойств

$$\tilde{\mu} = \left( l(\vec{\lambda}_i), f(\vec{\mu}_i) \right) \quad (1)$$

Здесь  $\tilde{\mu}$  - мера качества ( $\tilde{\mu}_i: Q \rightarrow R, Q=Uq_i$ );  $\mu_i$  - мера свойства;  $f$  - функция меры;  $\lambda_i$  - параметр весомости;  $l$  - функция весомости. На этом изложение принципиальных моментов, относящихся к измерению качества, по существу ограничивается, и дальше следует описание технических, технологических и т. п. проблем.

В таком освещении процесса измерения качества, внимание сосредоточено на "голой" идее оцифровки свойств и принципиальной схеме функционала качества, но остается вне рассмотрения вопрос о математической совместимости - возможностях и условиях использования, - полученных в результате измерения чисел-значений свойств и вычислительного выражения, в котором они фигурируют. Вместе с тем, эта согласованность является одним из важнейших факторов, формирующих архитектуру алгоритма оценки качества, поскольку необходимость ее обеспечения существенно влияет на логику алгоритма.

Исходя из изложенных соображений и обстоятельств, рассмотрим основные математические компоненты процедуры измерения качества более подробно.

**Логические основы и математический аппарат измерения свойств.** Из определения качества продукции явствует, что само представление о качестве, а значит и его количественная оценка приобретает смысл только в системе "объект - субъект". В нашем случае объектом является промышленное оборудование (техническая система) и в роли субъекта выступает не специалист-эксперт в буквальном смысле оценивающий качество конкретного оборудования, а потребитель продукции, т.е. физическое или юридическое лицо (группа лиц), для удовлетворения потребностей которого предназначена оцениваемая продукция.

Ситуация оценки качества возникает в результате взаимодействия двух факторов: исходящей от субъекта потребности в оценке с одной стороны, и с другой - возможности ее осуществить, эмпирической основой которой являются органически присущие свойствам объекта различия в проявлениях, материализующиеся в совокупности градаций каждого свойства. Мнение субъекта об этих градациях придает им аксиологическую окраску, т.е. позволяет

описывать отношения между градациями в утверждениях типа "лучше - хуже", "плохой - посредственный - хороший", тем самым овеществляя фрагменты оценки качества.

Как известно, многие свойства, участвующие в формировании качества не обладают естественным количественным описанием и могут быть охарактеризованы только качественно, иными словами, имеют лишь качественные значения. Однако использование этих свойств в роли операндов в структуре соотношения свертывания (1) требует приписывания им числовых значений, т.е. преобразования качественных значений в количественные. По своему смыслу подобное преобразование есть ни что иное, как измерение качественной величины. Принципы и условия корректного измерения количественных и качественных признаков (свойств) обосновываются и анализируются в математической (репрезентационной) теории измерений [10,11,15]. Центральная идея этой теории заключается в представлении (репрезентации) эмпирических отношений между объектами соответствующими числовыми отношениями. Характер этого соответствия, его предпосылки и особенности являются предметом исследования теории. Измерение формализуется здесь следующим образом. Предполагаются заданными подлежащие оцениванию (измерению) объекты  $V_i$ , на множестве которых  $V_3 = \{V_1, \dots, V_n\}$  определено, имеет смысл некоторое отношение  $R_3$ . Таким отношением может быть сопоставление значений – «больше», «равно» и т.п., - арифметическая операция, и т.д. В частности, в квалиметрии измеряемыми объектами являются градации качественных и значения количественных свойств, а наиболее простое отношение порождается их аксиологической окрашенностью, вследствие которой на любой паре градаций-значений может быть указано предпочтение. В этом случае  $R_3$  является отношением предпочтения - обозначим его  $f$ : отношение  $V_i f V_j$  имеет место только тогда, когда  $V_i$  "лучше"  $V_j$ . Поскольку множество  $V_3$  состоит из эмпирических объектов и отношение  $R_3$  также определено эмпирически, их совокупность, т.е. множество  $V_3$

вместе с определенным на нем отношением  $R_3$  именуется эмпирической системой с отношением (ЭСО)  $-V_3 = \langle V_3, R_3 \rangle$ . Отношение, связывающее пару элементов множества, называется бинарным. В общем случае  $R_3$  может быть  $k$ -м отношением ( $k \geq 2$ ), а на множестве  $V_3$  может существовать более одного отношения.

Процесс измерения каждому элементу  $V_i \in V_3$  ставит в соответствие число, его характеризующее. В результате получается множество чисел, осмысленность которых зависит от того сохраняется ли между ними отношение, идентичное тому, что существует между их прообразами в ЭСО. С точки зрения математики, сущность измерения эмпирической системы с отношением заключается в получении соответствующей ей числовой системы с отношением (ЧСО)  $U_3 = \langle V_3, R_3 \rangle$ , которую образуют множество чисел

$$U_3 = \{f(V_1), \dots, f(V_n)\}$$

и определенное на нем отношение  $R_3$ . Областью определения числовой системы по умолчанию предполагается множество вещественных чисел  $R$ . Соответствие между  $U_3$  и  $U_3$  устанавливается с помощью гомоморфного отображения ЭСО в ЧСО, т.е. такого отображения  $f$ , что  $[f(V_i), f(V_j)] \in R_3$  только тогда, когда  $(V_i, V_j) \in R_3$ .

Совокупность элементов определяющих акт измерения - триада  $\langle U_3, f, U_3 \rangle$  - называется шкалой. Любое измерение можно выполнить лишь при условии, что для него существует шкала. Для распространенных типов эмпирических систем с отношениями соответствующие им шкалы известны, в общем же случае отыскание подходящей шкалы является одной из задач теории измерений. Эта задача решается исходя из априори известного множества естественных эмпирических отношений, присущих измеряемому свойству. Определение шкалы складывается в ходе решения 3-х

проблем - представления, единственности, адекватности. Их происхождение обусловлено следующими обстоятельствами.

Чтобы измерить конкретную ЭСО, следует прежде всего решить вопрос о возможности это сделать, т.е. установить существование ЧСО  $U_{\text{ч}}$ , в которую гомоморфно отображается  $U_{\text{э}}$ . Обоснование измеримости данной ЭСО составляет первую проблему теории измерений - проблему представления.

Отображение  $U_{\text{э}} \rightarrow U_{\text{ч}}$  условиями гомоморфизма определяется не единственным образом. В общем случае существует множество ЧСО  $U_{\text{ч}}^k, k=1, 2, \dots$ , в которые гомоморфно отображается данная ЭСО. Любая ЧСО этого множества  $U_{\text{ч}}^{(i)}$  может быть трансформирована в другую ЧСО  $U_{\text{ч}}^{(j)}$  с помощью определенного вида преобразований. Иными словами, все ЧСО этого множества являются взаимно однозначными отображениями друг друга. Отыскание вида преобразования, обуславливающего принадлежность конкретной  $U_{\text{ч}}$  к совокупности ЧСО, гомоморфных данной ЭСО  $U_{\text{э}}$ , является содержанием второй проблемы теории измерений - проблемы единственности. Допустимое преобразование характеризует тип шкалы, так что решение проблемы единственности идентифицирует тип шкалы. Все шкалы одного типа эквивалентны в том отношении, что они без искажения воспроизводят отношения заданной эмпирической системы.

К числу преобразований, идентифицирующих основные типы шкал относятся:

$\phi(x)=x$  - тождественное преобразование;

$\phi(x)=ax, x>0$  и  $\phi(x)=x+b$  - преобразования подобия и сдвига;

$\phi(x)=ax+b$  - линейное преобразование;

$\forall (x_i, x_j \in X_{\text{ч}})(x_i > x_j) \Rightarrow (\phi(x_i) > \phi(x_j))$  - монотонное

преобразование;

$\forall (x_i, X_j \in X_c)(X_i = X_j) \Rightarrow (\phi(X_i) = \phi(X_j))$  - взаимно-

однозначное преобразование.

Соответствующие этим преобразованиям типы шкал будут охарактеризованы ниже.

В связи с проблемой единственности находится и представление о силе шкалы: чем малочисленнее множество ЧСО, в которые гомоморфно отображается данная ЭСО, тем более сильной считается шкала, в которой она измерима, и наоборот. Приведенный перечень допустимых преобразований соответствует упорядоченности шкал от "сильных" к "слабым".

В конечном счете, числа полученные в результате измерения не являются самоцелью, но предназначены для использования в математических соотношениях, где над ними производятся различные операции. Законны ли эти действия, соответствуют ли результатам их применения представления, имеющие смысл в исходной ЭСО  $U_3$ ? Ответ на подобные вопросы составляет содержание третьей проблемы теории измерений - проблемы адекватности.

Корректность применения тех или иных математических операций во многом зависит от типа измерительной шкалы, и потому представление о типе шкалы позволяет единообразно классифицировать измерения как количественных, так и качественных признаков. Приведенные выше допустимые преобразования специфицируют следующие наиболее распространенные типы шкал.

Тожественному преобразованию соответствует абсолютная шкала, обеспечивающая измерения количественных свойств. Здесь результат измерения имеет неизменное значение во всех ЧСО.

Преобразованиями подобия и сдвига определяются, соответственно шкала отношений и шкала разностей. ЭСО в этих шкалах допускают количественное описание, а множества эквивалентных ЧСО отличаются тем, что в шкале отношений ЧСО переводятся друг в друга путем умножения на число большее 0, тогда как в шкале разностей множество ЧСО, гомоморфных данной ЭСО, связаны между собой операцией сложения с числом.

Линейному преобразованию соответствует шкала интервалов. ЭСО этой шкалы обладает количественным описанием, а на множестве гомоморфных ей ЧСО сохраняется отношение разностей

числовых значений. Действительно, пусть элементам  $V_1, V_3, V_2, V_4$  данной ЭСО в некоторой числовой системе  $U_{\text{ч}}^{(i)}$  соответствуют значения  $f(V_1), f(V_3), f(V_2), f(V_4)$ , а в другой числовой системе  $U_{\text{ч}}^{(i)}$ , в которую также отображается  $U_{\text{э}}$  - значения  $f(f(V_1)), \dots, f(f(V_4))$ , где  $\phi(x) = ax + b, a > 0$  - линейное преобразование. Тогда

$$\frac{\phi(f(V_1)) - f(f(V_2))}{\phi(f(V_3)) - f(f(V_4))} = \frac{a^*(f(V_1)) - a^*(f(V_2))}{a^*(f(V_3)) - a^*(f(V_4))} = \frac{f(V_1) - f(V_2)}{f(V_3) - f(V_4)}$$

Шкалы, эмпирические системы которых допускают естественное количественное описание, относятся к категории "сильных" шкал.

Порядковая шкала определяется монотонным преобразованием. Здесь ЭСО представляет собой множество элементов, с установленным на нем отношением предпочтения, позволяющим упорядочить элементы по степени (уровню) предпочтительности. Это отношение применимо к объектам, обладающим и количественными и качественными градациями. Числа-результаты измерений в этой шкале отражают только порядок, существующий на объектах-преобразах, и никакого иного смысла не несут. Следовательно, для этих чисел любые операции, кроме операции сравнения значений, неприменимы.

Взаимно-однозначному преобразованию соответствует номинальная шкала. Как и предыдущая, эта шкала позволяет измерять и количественные и качественные признаки. Эмпирическая система этой шкалы - множество элементов, представляющее собой объединение нескольких подмножеств (групп, классов), каждое из которых состоит из тождественных, неразличимых между собой объектов. Определенное на множестве отношение - сравнение пар элементов на совпадение-несовпадение. В ЧСО всем элементам, принадлежащим к одному классу, сопоставляется одно и то же число, так что каждое из подмножеств отображается в единственное числовое значение: измерение состоит в разбиении исходного множества объектов на классы эквивалентности. Вне отношения "равно - не равно", числа-результаты измерения никакого смысла не

имеют. Шкалы, позволяющие измерять качественные признаки, относятся к категории "слабых" шкал.

Содержательно понятие "сила" шкалы характеризует степень многообразия отношений  $U_{\text{ч}}$ , корректность применения которых к результатам измерения гарантируется теорией измерений [14,15]. Чем "сильнее" шкала, тем больше это многообразие, и наоборот. Так результаты измерений в абсолютной шкале можно использовать в роли операндов в любых математических операциях, поскольку в этом случае для пары чисел имеют смысл понятия суммы, произведения и т.д. Иными словами, множество отношений, допустимых в числовой системе этой шкалы, позволяет иметь все, что в состоянии дать любая другая шкала. В остальных шкалах множества определенных на числовых системах отношений являются подмножествами множества отношений абсолютной шкалы. В числовых системах "слабых" шкал, какие-либо вычислительные операции не определены вообще: числа полученные в порядковой шкале изоморфны рангам - номерам позиций в упорядоченной по предпочтению последовательности элементов ЭС, а в номинальной шкале числа имеют смысл имен и любые арифметические действия над ними - кроме сравнения на совпадение - бессмысленны. Вообще, если обозначить множество отношений символом  $\mathcal{R}$  с соответствующим шкале индексом, то

$$\mathcal{R}_a \supset \mathcal{R}_p, \quad \mathcal{R}_o \supset \mathcal{R}_{\text{и}} \supset \mathcal{R}_{\text{п}} \supset \mathcal{R}_{\text{н}}, \quad (2)$$

Неприменимость того или иного отношения к числам - результатам измерения в конкретной шкале обусловлена двумя причинами: нарушением принципа единственности, проявляющемся в том, что вывод, полученный с использованием чисел, измеренных в конкретной ЧСО  $U_{\text{ч}}^{(i)}$ , не сохраняет силы для соответствующих чисел в другой ЧСО  $U_{\text{ч}}^{(i)}$ , полученной из первой допустимым преобразованием, или нарушением принципа адекватности, заключающемся в том, что числа-результаты измерений в ЧСО  $U_{\text{ч}}$  используются в роли операндов отношений, не имеющих преобразов в соответствующей ЭСО  $U_{\text{э}}$  [10,11]. Возникновение любой из этих ситуаций, предопределяет некорректность результатов полученных с

использованием измеренных чисел. Во избежание таких последствий, методы обработки данных должны быть согласованы с применяемыми измерительными шкалами так, чтобы полученные с помощью этих методов результаты были инвариантны относительно соответствующих преобразований и допускали интерпретацию в терминах эмпирических отношений.

Опираясь на идеи и утверждения теории измерений, вернемся к задаче количественной оценки качества в стандартной квалиметрической постановке на более детальном уровне рассмотрения, чтобы уточнить подход к ее практическому решению. Как упоминалось, одним из ключевых допущений этой постановки является постулирование общего вида (1) функционала качества (соотношение свертывания). Пренебрегая несущественной для целей рассмотрения общностью, это выражение можно записать в виде, четко выявляющем суть интересующих нас вопросов

$$\tilde{\mu} = \sum_{i=1}^n (\lambda_i * \mu_i) \quad (3)$$

где  $\{\lambda_i\}$  - множество коэффициентов весомости;  $\{\mu_i\}$  - множество показателей (мер) свойств.

Симметричное вхождение элементов двух множеств в слагаемые соотношения свертывания отражает двойственную природу квалиметрической оценки качества:  $\{\lambda_i\}$  формализует иерархию предпочтений, интересов, целей субъекта,  $\{\mu_i\}$  - структуру присущих свойствам объекта различий в интенсивности проявления. Происхождение  $\lambda_i$  обеспечивает возможность их определения в виде адекватном назначению, тогда как  $\mu_i$  являются результатами измерений, и следовательно возможность их использования в математическом выражении (3) зависит от шкал, в которых выполнялись измерения соответствующих свойств. Соотношение свертывания (3) является математической моделью, множество операций на которой эквивалентно многообразию отношений, определенных на абсолютной шкале. Поэтому подстановка в (3) числовых значений свойств, измеренных в естественных шкалах, отличающихся от абсолютной, ведет к получению неверного, некорректного с точки зрения теории

измерений результата вычислений - значения качества. Вместе с тем априори известно, что среди свойств, формирующих качество, обязательно присутствуют качественные свойства, измеренные значения которых вообще нельзя использовать в вычислительных операциях.

Таким образом, при практической реализации предлагаемой теоретической квалиметрической схемы измерения показателя качества, возникает фундаментальное противоречие математического характера - несовместимость соотношения свертывания (функционала качества) с неизбежным разнообразием типов шкал, применяемых для измерения значений свойств формирующих качество.

При сохранении неизменной цели - измерения показателя качества продукции, существует два потенциально приемлемых способа устранения этого противоречия:

- 1) трансформировать в абсолютную шкалу все отличные от этого типа шкалы измерения свойств формирующих качество;
- 2) изменить метод определения показателя качества так, чтобы не использовать вычислительное соотношение для "сведения" множества свойств в качество.

В первом случае концептуальная схема подхода к измерению качества продукции сохраняется неизменной. Другой способ устранения противоречия предполагает радикальное изменение ортодоксальной схемы, обращение к принципиально иной идее обобщения совокупности свойств в качество. В силу принципа "меньше изменения - меньше издержки их реализации" более приемлемым выглядит первый способ. Однако рациональный выбор предпочтительной возможности должен исходить из оценки прежде всего осуществимости, и лишь затем трудоемкости реализации вариантов. Рассмотрим первый способ под этим углом зрения. Из изложенных выше элементов теории измерений явствует, что трансформация типа шкалы не представляет каких-либо затруднений в случае перехода от шкалы более "сильной" к менее "сильной", т.е. искусственного "ослабления" шкалы, которое всегда возможно в силу соотношения (2). Однако противоположное изменение измерительной шкалы, т.е. ее "усиление" осуществимо лишь при условии пополнения множества отношений, определенных на ЧСО конкретных шкал. Исходя из требования сохранения адекватности трансформированной шкалой, это расширение означает необходимость соответствующего расширения множества

эмпирических отношений. Поскольку последнее предопределяется эмпирической природой предмета измерения, то произвольно расширено быть не может, и значит "усиление" естественных шкал измерения не осуществимо.

Следовательно, алгоритм количественного измерения качества, опирающийся на использование вычислительного соотношения, описывающего зависимость качества от свойств, не позволяет получить достаточно корректное относительно теории измерений значение (показатель, меру) качества.

Таким образом, анализ математических компонент предлагаемой теоретической квалиметрией процедуры оценки качества продукции свидетельствует о целесообразности ее практического применения лишь для практических инженерных целей и задач и требует соблюдения определенных ограничений и упрощений.

В условиях отсутствия работоспособной теоретически оправданной процедуры определения качества, решение задач практической квалиметрии выполняется на основе упрощенных представлений о качестве. Направленность упрощений многообразна и касается как качества, так и способов его определения. Наиболее характерными являются: ограничение множества формирующих качество свойств только количественно измеримыми, рассмотрение в роли качества отдельных свойств, введение различных видов показателей качества, и т.п.

Формально основные положения и методы практической квалиметрии промышленной продукции регламентированы нормативно [16], однако отсутствие четкой границы допустимых упрощений в сочетании с произволом в выборе вида и структуры функционала качества и многообразием свойств позволяют именовать показателями качества столь различные по смыслу, размерностям и значениям математические сущности, что возможность какого-либо их сопоставления - естественная и обязательная для одноименных атрибутов разных объектов, например, масс, размеров, и т.п. - здесь принципиально исключена. Фактически такая свобода ведет во многих случаях к профанации идеи квалиметрической оценки. Придание должного уровня практической квалиметрии требует разработки и использования единого, концептуально и математически обоснованного алгоритма измерения качества продукции с целью его аттестации.

Как показано выше, противоречия формального и

концептуального характера свидетельствуют, что описание зависимости качества продукции от формирующих его свойств с помощью вычислительного выражения не позволяет корректно определить численное значение качества. Поскольку некорректность возникает в результате применения вычислительного соотношения, для ее устранения следует заменить это соотношение приемом, позволяющим найти численное значение качества как функцию свойств, не прибегая к вычислениям.

**Концептуальная схема и математические средства получения объективизированной меры качества.** Единственным альтернативным вычислению способом получения эмпирически обоснованных численных значений является измерение. Следовательно, необходимое для корректного определения качества изменение стандартного квалитметрического алгоритма оценки, заключается в замене функционала качества (соотношения свертывания) (1) операцией измерения. Служащая методической основой алгоритма оценки ортодоксальная схема косвенного измерения "измерение - вычисление" приобретает при этом вид "измерение - измерение". Проблемы связанные с первичными измерениями и подходы к их решению обсуждены выше. Рассмотрим теперь характерные особенности вторичного измерения. Прежде всего остановимся на структуре объекта измерения. Она представляет собой множество несвязанных друг с другом значений свойств, что резко отличает это измерение от первичного, где в роли объекта выступает единичный предмет или признак (свойство). Сама по себе многомерность не является препятствием для измерения. В теории измерений формализовано представление о многомерном измерении, как одновременном измерении множества  $n$  свойств с помощью одномерных шкал [17]: по существу любое косвенное измерение - измерение многомерное. Однако проблема состоит в том, что новая производная шкала с соответствующей ЧСО, которая в обычном косвенном измерении возникает на основе одномерных шкал, связанных известным соотношением, здесь создана быть не может, и вместе с тем, результатом единичного измерения должно быть, как обычно, единственное числовое значение. Последнее возможно лишь при условии, что еще на эмпирическом уровне множество формирующих качество свойств рассматривается как индивидуализированный объект.

С использованием введенных ранее обозначений, эмпирическую систему, служащую областью определения

вторичного измерения, можно описать следующим образом

$$V_{\mathfrak{z}} = \left\{ V_j \right\}_{j \in J}, \quad \text{где } V_j = \left\{ q_i \right\}_{i \in I}, \quad I = [i, n], \quad J = [j, m]. \quad (4)$$

Здесь  $m$  - число элементов эмпирической системы,  $n$  - число свойств формирующих качество. Эти определения приписывают всем упоминаемым множествам свойства конечности и счетности. Подчеркнем, что поскольку речь идет о вторичном измерении, все свойства уже измерены, т.е. имеют численные значения, так что  $\{q\} \ddot{\in} \{m\}$ .

В соответствии со стандартным подходом, для выполнения измерения необходимо указать шкалу, в которой оно может быть реализовано. Такой шкалой может оказаться либо одна из рассмотренных выше основных шкал, либо, - если подходящей шкалы среди известных не найдется, - ее придется строить, последовательно решая проблемы представления, единственности, адекватности. Для выяснения этого вопроса следует идентифицировать имеющуюся ЭСО  $U_{\mathfrak{z}} = \langle V_{\mathfrak{z}}, R_{\mathfrak{z}} \rangle$ : если окажется, что  $U_{\mathfrak{z}}$  совпадает с ЭСО какой-либо из основных шкал, то искомая шкала найдена. Природа элементов  $V_{\mathfrak{z}}$  уже известна (4), что позволяет установить допустимые на этом носителе отношения  $R_{\mathfrak{z}}$ .

Поскольку элементы  $V_{\mathfrak{z}}$  являются множествами, допустимые отношения на  $V_{\mathfrak{z}}$  идентичны отношениям, существующим на множествах [10.11]. В совокупности этих отношений можно выделить два подмножества: отношения-сопоставления и отношения-операции. Первое подмножество состоит из включения  $X \subset Y$  и эквивалентности  $X=Y$ , во второе входят пересечение  $X \cap Y$ , объединение  $X \cup Y$  и разность  $X/Y$ . Формальные определения перечисленных отношений имеют вид:

$$\begin{aligned} (X \subset Y) &= (\forall x)(x \in X \Rightarrow x \in Y); (X=Y) = (X \subset Y \wedge X \supset Y); \\ (X \cap Y) &= (\forall x)(x \in X \wedge x \in Y); (X \cup Y) = (\forall x)(x \in X \vee x \in Y); \\ (X/Y) &= (\forall x)(x \in Y \wedge x \notin X) \end{aligned}$$

Как видно из описания  $V_{\mathfrak{z}}$  (4) его элементы  $\{q_i\}$  равнозначны по определению, вследствие чего все отношения-

операции неприменимы как нарушающие равнозначность (о чем свидетельствуют их определения), а отношение включения по той же причине никогда не выполняется. Таким образом, единственным действующим отношением, существующим на эмпирической системе-области определения вторичного измерения, является отношение эквивалентности. Эта вырожденность множества отношений, формально допустимых на  $V_{\mathcal{E}}$ , является еще одной важной особенностью вторичного измерения.

Отношение эквивалентности порождает разбиение множества элементов  $V_j$  на совокупность подмножеств, каждое из которых состоит из неразличимых  $q_i$ . Такую структуру ЭСО имеет

номинальная шкала и следовательно при измерении качества следует использовать на этапе вторичного измерения именно эту шкалу.

Как упоминалось выше, результаты измерения в этой шкале являются не более чем числовыми маркерами - "названиями" соответствующих классов эквивалентности и никакой иной интерпретации не допускают. Иначе говоря, вторичное измерение, фиксируя существование разных значений качества, не позволяет что-либо утверждать о предпочтительности того или иного значения. Эта особенность обусловлена двойственной, объект - субъектной природой оценки качества, вкладом объекта в которую являются различия в проявлении качества, а вкладом субъекта - приписывание этим различиям аксиологической направленности, порождающей структуру предпочтений. Как видно, измерение само по себе воспроизводит только объективную составляющую оценки качества.

Однако применяемая при этом номинальная шкала, будучи инвариантной относительно произвольного взаимно однозначного преобразования измеренных значений, допускает использование в роли носителя ЧСО любого подмножества множества  $R$  вещественных чисел. Эта особенность измерительной шкалы обеспечивает субъекту свободу действий, достаточную для того, чтобы четко выразить иерархию своих интересов и предпочтений, а также ввести масштабирование измеренных значений.

Произвол в выборе чисел-имен классов эквивалентности, позволяет назначить их так, чтобы естественная упорядоченность на числовой оси отражала структуру представлений субъекта о ценности соответствующих эмпирических проявлений, овеществляя тем самым субъективную составляющую оценки качества. С точки

зрения теории измерений, взаимодействие объективного и субъективного начал оценки качества приводит к "усилению" естественной для вторичного измерения номинальной шкалы до шкалы порядковой.

Еще одним следствием свободы определения значений числовой системы является возможность идентификации результатов измерения качества указанием единиц измерения. Желательность представления результата измерения в форме размерного числа, в случае качества - атрибута, присущего различным эмпирическим объектам, - усугубляется необходимостью сравнивать разнородные объекты по выраженности этого атрибута (подобно тому, как это делается для веса, объема, и т.п.), что осуществимо только при одинаковых масштабах измерения.

В роли прототипа-аналога единицы масштаба качества естественно использовать представление о сорте, применяемое, как известно, для количественной характеристики качества многих относительно несложных промышленных изделий бытового назначения. В этом случае числовая система соответствующей единицы измерения - назовем ее квалитетом - определена на подмножестве множества  $N$  натуральных чисел. Измеряя значение качества промышленных изделий любого уровня сложности в единицах квалитета, разумно полагать структуру предпочтений такой же как и для сорта - меньшим численным значениям квалитета соответствует более высокое качество. Корректность, с точки зрения теории измерений такой системы количественного описания качества, обеспечивается свойствами номинальной шкалы.

Таким образом, замена в канонической схеме алгоритма оценки качества вычислительной процедуры вторичным измерением продуцирует меру (значение, показатель) качества согласованную с представлением о нем, как множестве свойств, явно отражающую двойственную объект - субъектную природу оценки и обладающую стандартной атрибутикой результата измерения.

Эти особенности полученного значения дают основание утверждать, что предлагаемая схема алгоритма оценки позволяет корректно выполнить измерение качества.

Рассмотрим теперь вопросы практической реализации модифицированного алгоритма. Новые моменты возникают лишь в связи с вторичным измерением. Для его осуществления необходимо конкретизировать измерительную шкалу, установив на множестве существующих объектов, качество которых оценивается, классы

эквивалентности и присвоив последним соответствующие качества. Располагая этой шкалой, можно в дальнейшем измерить качество любого вновь поступившего, обладающего конкретным множеством  $\{q_i\}$  значений свойств объекта, отнеся его к одному из существующих качеств.

Оба этапа вторичного измерения - и конкретизация шкалы, и определение качества - реализуются методами не технического, но математического происхождения. Необходимые для этого средства и подходы излагаются в разделе прикладной математики, занимающемся распознаванием образов (РО).

В соответствии с типизацией постановок задач принятой в РО [14], проблема объективной конкретизации измерительной шкалы представляет собой задачу автоматической классификации (синонимы - РО с самообучением, классификация с самообучением, таксономия, кластерный анализ), в которой предполагается заданным (указанием совокупности свойств) множество объектов, и требуется разбить его на некоторое - в общем случае априори неизвестное - число подмножеств (классов, групп) так, чтобы объекты, попавшие в один класс, были в определенном смысле схожи друг с другом.

Поскольку в нашем случае все свойства  $\{q_i\}$  полагаются равновесными, одинаково влияющими на качество, можно говорить об отыскании некоторого "естественного" разбиения, когда принадлежность к классу определяется наибольшим числом общих значений свойств, и ни одно из них в отдельности не обуславливает отнесение к конкретному классу. В геометрическом представлении качество отображается точкой в  $n$ -мерном пространстве  $n$  свойств, и понятие "естественного" разбиения предполагает выделение в роли класса компактной группы совокупностей свойств, и, наоборот, разнесенность в признаковом пространстве группировок совокупностей свойств, принадлежащих к различным классам.

В литературе описано большое число подходов к решению задач таксономии [14]. Это многообразие связано с тем, что здесь важную роль играет специфика конкретной задачи. Успешность решения зависит от выбора метода, согласованного с механизмом порождения данных. Исходя из этих соображений, нами предлагается следующий подход к решению поставленной задачи.

На множестве  $V_3$  рассматривается множество всевозможных

разбиений  $\gamma_v: \gamma_v = \bigcup_{k=1}^m \gamma_v^k$ , где  $\gamma_v^k$  - множество разбиений  $V_\ominus$  на  $k$  групп.

Пусть

$$W^k \in \gamma_v^k, W^k \in \gamma_v^k, W^k = \{W_1, \dots, W_i, \dots, W_k\}; \bigcup_{i=1}^k W_i = V_\ominus, i \neq j,$$

$W_i \cap W_j = 0, i, j = [1, k]$ : множество  $W_i$  представляет собой  $i$ -ю группу объектов в разбивке  $W^k$ .

Каждому набору  $W^k \in \gamma_v^k$  соответствует вполне определенный набор свойств  $M^k = \{M_1, \dots, M_k\}$ , являющийся разбиением на  $k$  подмножеств множества  $\{\{\mu_1\}\}: \bigcup_{i=1}^k M_i = \{\{\mu_1\}\}; M_i \cap M_j = 0, i \neq j, i, j = [1, k]$ ;  $M^k \in \gamma_\mu^k \subseteq \gamma_\mu$ , где  $\gamma_\mu^k$  - множество всевозможных разбиений на  $k$  подмножеств

множества множеств свойств -  $\gamma_\mu = \bigcup_{k=1}^n \gamma_\mu^k$ . Разбиению  $M^k$  можно неоднозначно сопоставить набор множеств таксонов  $T_1, \dots, T_k$  в пространстве значений свойств, удовлетворяющий следующим условиям:

$$\begin{aligned} M_i &\subseteq T_i \\ T_i \cap T_j &= 0, i \neq j; i, j = [1, k] \\ T_1 \cup T_2 \cup \dots \cup T_k &\subseteq \{\{\mu_1\}\}. \end{aligned}$$

Для описания таксонов  $T_1, \dots, T_k$  используется некоторый класс функций  $\Phi$ . По существу,  $\Phi$  - язык описания таксонов. В этой роли можно использовать линейные функции, кусочно-линейные, логические и т.д., в том числе и класс функций произвольной природы. Обозначим  $\omega^k = \{T_1, \dots, T_k\}$  - конкретный набор  $k$  таксонов, записанных с помощью функций класса  $\Phi$ , и

$\Omega^k = \{\omega^k\}$  - множество этих  $k$  - наборов -  $\Omega = \bigcup_{k=1}^m \Omega^k$ .

Задача таксономии состоит в нахождении  $\omega^* \in \Omega$ , максимизирующего некий критерий качества группировки  $F$ :  $F(\omega^*) = \max F(\omega)$ . Набор  $\omega^*$  однозначно определяет разбивку

$M^* \subset \gamma_\mu$  на множестве значений свойств, а  $M^*$  соответствует одна

и только одна разбивка  $\omega^*$  множества  $V_\gamma$ . Таким образом, в классе функций  $\Phi$  с помощью критерия  $F$  определяются наилучшие разбивки множества  $V_\gamma$  на группы эквивалентности. В большей или меньшей степени критерий  $F$  должен формально отражать "схожесть" множеств значений свойств, попадающих в один таксон.

В качестве функций описания таксонов используется класс логических функций. Исходя из описанных ранее резонансов, постулируется, что формирующие качество свойства измерены либо в порядковой, либо в одной из количественных шкал, т.е. свойства измеренные в номинальной шкале в исследуемой ЭСО отсутствуют.

Логические функции описания таксонов конструируются следующим образом. Для каждого из свойств  $q_i$  рассматривается множество несовпадающих значений или градаций этого свойства на множестве  $\{q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{ik}\}$ . Здесь  $k$  - число различных значений свойства  $q_i$ , причем  $k \in m$ . Предполагается, что это множество упорядочено, т.е.  $q_{i1} < q_{i2} < \dots < q_{ik}$ . Полученное таким образом

множество обозначается  $D_i = \{q_{ij} \mid q_{i1} \leq q_{ij} \leq q_{ik}\}$ . Вводится понятие

простейшего множества  $d_i$ , определенного на  $D_i$ . Для свойства измеренного в порядковой шкале, простейшие множества включают в себя одну или несколько смежных градаций  $D_i$ , т.д.

$d_i = \{q_{ij} \mid q_{ij} \in D_i \wedge q_{ip} \leq q_{ij} \leq q_{ir}\}$ , где  $(1 \leq p < r \leq k)$ . Для

количественного свойства простейшие множества представляют

собой интервалы  $d_i = \{q_{ij} \mid q_{ip} \leq q_{ij} \leq q_{ir}\}$ , где  $(1 \leq p < r \leq k)$ .

Пусть  $v \in V_3$  и  $d_i$  - некоторое простейшее множество на  $D_i$ . Вводится понятие элементарной высказывательной функции (ЭВФ), которая определяется так

$$I(v, d_i) = 1, \text{ если } q_i \in (v)d_i, \text{ и } I(v, d_i) = 0, \text{ если } q_i(v) \notin d_i.$$

Как видно,  $d_i$  является множеством истинности ЭВФ  $i(v, d_i)$ .

Обозначив  $D = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  - множество свойств формирующих качество, можно определить на нем конъюнкцию (логическое произведение) длины  $n$

$$S(v, D) = \bigwedge_{i=1}^n I(v, d_i) = I(v, d_1) \wedge I(v, d_2) \wedge \dots \wedge I(v, d_n).$$

В случае, когда множество  $D$  является множеством истинности конъюнкции  $S(v, D)$ , оно представляет собой таксон подмножества элементов  $\tilde{V}_3 \subset V_3$  таких, что  $\{v \in \tilde{V}_3 \mid S(v, D) = 1\}$ .

С усложнением "конфигурации" таксонов может быть использована более сложная логическая функция - дизъюнкция (логическая сумма)

$$L(v, D) = \bigvee_{j=1}^1 S_j(v, D_j) = S_1(v, D_1) \vee S_2(v, D_2) \vee \dots \vee S_1(v, D_1)$$

Здесь  $D = D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_1$ ,  $1$  - длина дизъюнкции.

Для описания таксонов используются функции, удовлетворяющие условию: для  $i = [1, n]$  обозначим  $d_i^r$  - простейшее множество на свойстве  $q_i$  входящее в  $r$ -ю конъюнкцию  $S_r$  дизъюнкции  $L$  ( $1 \leq r \leq 1$ ); тогда  $d_i = d_i^1 \cup \dots \cup d_i^1$  должно быть также простейшим множеством по этому свойству в соответствующей шкале.

Показано, что в классе таких логических функций возможно

достаточно полное и хорошо интерпретируемое описание таксонов.

Применительно к проблемам вторичного измерения, использование логических функций существенно упрощает решение задачи второго этапа - измерение качества нового объекта: оно овеществляется простым сравнением функции  $S(v, D_0)$  этого объекта с соответствующими функциями существующих таксонов и отнесением его к классу, на котором  $S(v, D_0) = 1$ .

И в заключение рассмотрим критерий выделения компактных группировок множеств значений свойств. В качестве исходного принимается предположение об отсутствии областей повышенной концентрации элементов  $V_3$  в пространстве значений свойств и, следовательно, равномерном их распределении в этом пространстве.

Каждой дизъюнкции  $L$  приписывается вероятность ее выполнения, которая определяется следующим образом. Пусть имеется конъюнкция  $S$  и  $L_i(v, d_i)$  - ЭВФ по  $i$ -му свойству, входящая в  $S$ . Если  $q_i$  - порядковое свойство (ранжирование), принимающее на множестве  $V_3$   $k_0$  значений, и  $d$  включает  $k_1$  смежных значений, то вероятность выполнения  $L_i(v, d_i)$  составляет  $p_s^i = k_1/k_0$ . Для количественного свойства  $d_i = [\mu_{i \min}^1, \mu_{i \max}^1]$  и если размах значений  $i$ -го признака на  $V_3$  составляет  $[\mu_{i \min}^0, \mu_{i \max}^0]$ , то искомая вероятность  $p_s^i = [\mu_{i \min}^1 - \mu_{i \max}^1] / [\mu_{i \min}^0 - \mu_{i \max}^0]$ . Полная вероятность овеществления конъюнкции  $S$  равна  $p_s = p_s^1 * p_s^2 * \dots * p_s^n$  и вероятность выполнения дизъюнкции  $L = S_1 \vee S_2 \vee \dots \vee S_1$  определяется стандартной формулой "включений и исключений".

С другой стороны, имеется вполне конкретное число элементов  $v$  множества  $V_3$ , для которых утверждение истинно. Если обозначить это число  $m_L$ , то  $v_L = m_L/m$  является

фактической частотой выполнения дизъюнкции  $L$  на  $V_3$ . Тогда  $f(L) = v_L - p_L$  - превышение частоты выполнения  $L$  над априорной вероятностью. Постулируется, что чем больше  $f(L)$ , тем больше оснований рассматривать  $T_L$  - множество истинности  $L$  - как таксон, а подмножество элементов из  $V_3$ , на котором истинно  $L$  - в качестве класса. Исходя из этих соображений,  $f(L)$  рассматривается как характеристика обоснованности выбора таксона вне связи его с другими таксонами. Однако, как упоминалось, качество разбиения множества на компактные подмножества зависит не только от "плотности" структуры отдельных таксонов, но и от удаленности этих таксонов друг от друга. Это обстоятельство находит свое отражение в критерии группировки.

Пусть имеется пара таксонов  $T_1, T_2$ , которые описываются дизъюнкциями  $L_1, L_2$ . На этой базе конструируется конъюнкция  $S_{12}$ , удовлетворяющая следующим условиям:

а) множество истинности  $S_{12}$  включает в себя множества истинности  $L_1$  и  $L_2$ ;

б)  $S_{12}$  имеет наименьшую вероятность  $p_{S_{12}}$  среди всех конъюнкций, удовлетворяющих условию а).

При объединении таксонов  $T_1, T_2$  в единый таксон конъюнкция  $S_{12}$  описывает таксон лучшего качества. Вводится также величина  $\Delta(L_1, L_2) = (p_{L_1} + p_{L_2}) / p_{S_{12}}$ , индицирующая ухудшение качества таксона, обусловленное его укрупнением, т.е. объединением таксонов  $T_1, T_2$  в один.  $\Delta(L_1, L_2)$  характеризует взаимное расположение таксонов  $T_1, T_2$ , отдавая предпочтение паре, минимизирующей - при прочих равных условиях - эту величину.

В роли общего критерия качества разбиения множества элементов на два подмножества используется соотношение

$$F(L_1, L_2) = f(L_1) + f(L_2) - \Delta(L_1, L_2)$$

и разбиении  $V_3$  на большее 2-х число классов применяется метод перебора по всем парам таксонов. В этом случае, в роли критерия качества группировки используется среднее значение  $F$

$$F(L_1, L_2, \dots, L_k) = (1/n_p) * \sum F(L_i, L_j)$$

Здесь  $n_p = k(k-1)/2$  - число всевозможных пар классов.

Задача разбиения  $V_3$  на классы сводится, таким образом, к максимизации критерия  $F$  посредством вариации состава таксонов.

**Выводы.** Разработаны методологические принципы нового метода оценки качества измеряемых объектов на основе построения таксонов. Разбиение множества объектов по группам уровней качества произведено путем автоматической классификации объектов на основе кластерного анализа. Для оценки качества группировки оцениваемой продукции в таксоны разработан критерий  $F$ . Разбиение множества машин на классы сведено к максимизации критерия  $F$  посредством вариации состава таксонов. Реализация разработанного метода позволяет строго математически измерять качество оцениваемых объектов по совокупности всех характеризующих его свойств.

Дальнейшие исследования в данном направлении целесообразно сосредоточить на разработке соответствующих программных продуктов, позволяющих реализовать предложенные логические основы процесса оценивания качества и выполнять разбиение массива оцениваемых объектов на соответствующие кластеры.

### Список литературы

1. Anatoli I. Dashchenko. Manufacturing Technologies for Machines of the Future: 21st Century Technologies. Springer Science & Business Media, 6 дек. 2012 г. - : 820 p.
2. Азгальдов Г.Г., Гличев А.В. и др. Квалиметрия – наука об измерении качества продукции // Стандарты и качество. – 1968. – № 1. – С. 34–35.
3. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (Основы квалиметрии). - М.: Экономика, 1982. - 256 с.
4. Azgaldov, G.G. and Kostin, A.V. "Applied Qualimetry: its

Origins, Errors and Misconceptions", Benchmarking: An International Journal, 2011, Vol. 18 Iss: 3, pp.428 – 444.

5. Гареева Г. Р. Ошибки современных методик оценивания качества / Г. Р. Гареева (Г. Р. Гузаирова), Д. А. Гайнанов // Управление экономикой: методы, модели, технологии: VI всерос. науч. конф. с междуна. участием. – Уфа: УГАТУ, 2006. – Ч.1. – С. 188–193.

6. A.S. Lobanov. The basic concepts of qualimetry. Scientific and Technical Information Processing. April 2013, Volume 40, [Issue 2](#), pp. 72–82.

7. Субетто А. И. Квалиметрия : малая энциклопедия / А. И. Субетто. — Вып. 1. — СПб. : ИПЦ СЗИУ — фил. РАНХиГС, 2015. — 244 с.

8. Бойко Т. Г. Проблеми класичної методології кваліметрії / Бойко Т. Г. // Метрологія та прилади. – 2010. – № 4. – С. 66–70.

9. Згуровский М. З. Системный анализ: проблемы, методология, приложения: [монография] / М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2005. – 744 с.

10. [Terence](#) Tao. An Introduction to Measure Theory. Providence, R.I.: American Mathematical Society. 2011, p. 249.

11. Nik Weaver. Measure Theory and Functional Analysis. [World Scientific](#). 2013, p. 212.

12. Васильев Н. А. Теоретические основы обеспечения качества сложных технических систем. Основные научные проблемы качества / Васильев Н. А., Обносов Б. В., Строителев В. Н. // Морская радиоэлектроника. – 2010. – № 1 (31). – С. 42–48.

13. Вятчин Д. А. Нечёткие методы автоматической классификации. — Минск: Технопринт, 2004. — 219 с.

14. Christopher M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning (Information Science and Statistics). Springer. 2006, P. 738.

15. Пфанцангль И. Теория измерений. М.: Мир. 1976, 248с.

16. Бойко Т. Г. Вимоги для нормування методик кваліметричного оцінювання / Бойко Т. Г. // Вимірювальна техніка і метрологія. – 2010. – № 71. – С. 125–132.

17. Высоцкий В.С. О сравнении шкал.- В кн.: Прикладной многомерный статистический анализ. М.: Наука. 1975.

## **Анотація**

### **АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАСИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОБЛАДНАНИЯ**

*Розроблено логічні основи і математичний апарат методу оцінки якості обладнання, як завдання автоматичної класифікації*

об'єктів. Запропоновано новий підхід до вирішення проблеми оцінювання і порівняння якості різних об'єктів, в тому числі і харчового технологічного обладнання, який заснований на сформованих логічних засадах і запропонованому методі кількісної оцінки якості виробу або продукту. Методологічні принципи нового методу оцінки якості вимірюваних об'єктів базуються на основі побудови таксонів і розбиття множини об'єктів за групами рівнів якості у вигляді рішення задачі автоматичної класифікації об'єктів на основі кластерного аналізу. Для оцінки якості угруповання оцінюваної продукції в таксоні розроблений критерій. Розбиття множини машин або виробів на класи зведено до максимізації критерію за допомогою варіації складу таксонів. Реалізація розробленого методу дозволяє строго математично вимірювати якість оцінюваних об'єктів за сукупністю всіх характеризують його властивостей.

**Ключові слова:** оцінка якості, кваліметрія, логічні основи, кластерний аналіз, таксономія.

## **Abstract**

### **AUTOMATIC CLASSIFICATION OF OBJECTS WHEN ASSESSING THE QUALITY OF EQUIPMENT**

*The logical foundations and mathematical apparatus of the method of assessing the quality of equipment, as the task of automatic classification of objects, have been developed. A new approach is proposed to solve the problem of evaluating and comparing the quality of various objects, including food processing equipment, which is based on the formed logical foundations and the proposed method for quantifying the quality of a product or product. The methodological principles of the new method of assessing the quality of measured objects are based on the construction of taxa and the splitting of a set of objects into groups of quality levels in the form of solving the problem of automatic classification of objects based on cluster analysis. A criterion has been developed to assess the quality of the grouping of the products assessed in taxa. The division of a multitude of machines or products into classes is reduced to maximizing the criterion by varying the composition of taxa. The implementation of the developed method allows one to strictly mathematically measure the quality of the evaluated objects by the totality of all the properties characterizing it.*

**Keywords:** quality assessment, qualimetry, logical foundations, cluster analysis, taxonomy.