

УДК 005.6

**МЕТОДИКА ПРИКЛАДНОЙ КВАЛИМЕТРИИ МАТЕРИАЛЬНЫХ  
ОБЪЕКТОВ****Пылаев Александр Яковлевич**

кандидат технических наук, доцент

ФГАОУ ВО «Южный Федеральный университет», г. Ростов-на-Дону

e-mail: aypylaev@sfedu.ru

**Аннотация**

Представлена концепция отдельных частей методики прикладной квалиметрии материальных объектов по назначению и области применения. В методике использованы: признак полезности как меру функционального качества отдельных натуральных свойств и субъективных благ объекта; не линейная закономерность эволюции полезности от параметров отдельных свойств и благ объекта, и критерии их полезности; экспертный способ оценки важности простых и сложных качеств объекта; критерий конкурентоспособности объектов на рынке товаров.

**Ключевые слова:** Качество, полезность, прикладная квалиметрия, методы оценки качества, конкурентоспособность товара, материальный объект.

**METHODOLOGY OF APPLIED QUALIMETRY OF MATERIAL OBJECTS****Alexander Ya. Pylaev**

ORCID: 0000-0002-9358-5997

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Southern Federal University, Rostov-on-Don

e-mail: aypylaev@sfedu.ru

**ABSTRACT**

The concept of separate parts of the methodology of applied qualimetry of material objects for the purpose and scope of application is presented. The methodology uses: a sign of utility as a measure of the functional quality of individual natural properties and subjective benefits of an object; a non-linear pattern of the evolution of utility from the parameters of individual properties and benefits of an object, and criteria for their usefulness; an expert way to assess the importance of simple and complex qualities of an object; a criterion for the competitiveness of objects in the goods market.

**Keywords:** Quality, utility, applied qualimetry, quality assessment methods, competitiveness of goods, material object.

Человечество создаёт материальные объекты для удовлетворения своих постоянно возрастающих потребностей, обладающих всеми признаками товаров. Они разрабатываются и производятся целенаправленно по конкретному назначению, обладают параметрами специфических свойств, которые обеспечивают не одинаковую полезность объекта в областях возможного использования. Каждый реальный объект обладает индивидуальным качеством конкретного практического применения.

Предлагаемая методика прикладной квалиметрии материального объекта базируется на методологии, изложенной во многих публикациях по квалитологии Г. Г. Азгальдова с соавторами [1-3], публикациях А. И. Субетто [6], а также других учёных.

Настоящая публикация содержит представления автора на отдельные аспекты методики прикладной квалиметрии материальных объектов.

Цель прикладной квалиметрии материального объекта – установление уровня соответствия оценки комплексного функционального качества конкретного материального объекта комплексному качеству реального или виртуального идеального объекта, удовлетворяющего в полной мере требованиям по назначению и области применения.

Оценка комплексного качества материального объекта требует выполнения следующих практических процедур квалиметрии:

- обоснование выбора «базовых» частных натуральных свойств и субъективных благ (далее просто «свойство») объекта, а также выделение среди них «важных» и «основных» свойств;
- определение методик для установления реальных параметров показателей частных свойств, а также обоснование требований к точности их измерения;
- определение вида функциональной зависимости полезности частных свойств объекта – функция «позитивная» или «негативная», или «неустойчивая»;
- обоснование и определение требуемых нормативных параметров частных свойств, а также параметров их браковочных критериев;
- установление структуры «дерева свойств» в соответствии со сложностью назначения и области применения объекта;
- разработка алгоритма вычисления уровня комплексного функционального качества объекта и определение такового;
- определение абсолютной и удельной сметной или (и) рыночной стоимости объекта;
- определение параметра инвестиционной привлекательности объекта.

Качество материального объекта определённого назначения выражается обобщённым показателем функционального качества объекта, характеризующимся степенью полезности объекта по его назначению и области применения, зависящим от совокупной полезности отдельных его натуральных свойств и субъективных благ, которые предназначены обеспечивать нормативно-технические требования условий использования и другие ожидаемые потребителем функциональные потребности.

Интегральное качество объекта характеризуется величиной показателя инвестиционной привлекательности объекта как товара, проявляющего потенциальную возможность получения потребителем от использования объекта конкретной пользы на единицу вложенных денежных средств.

Исходными данными для оценки уровня комплексного функционального качества реального объекта определённого назначения и области использования служат сведения о предельных и критических параметрах показателей свойств виртуального эталона модели

подобного объекта, или параметры частных свойств аналогичного реального объекта высокого качества, или требования стандартов и технических условий, материалы НИР и ОКР, конкретные параметры эксплуатации, а также требования потребителей. Требуемые параметры свойств эталона модели объекта назначаются в зависимости от поставленной цели квалиметрии по масштабу сопоставления – локальному (местному) или глобальному (мировому) уровню качества.

При квалиметрии объекта из всех имманентных его свойств используют только те, которые оказывают влияние на функциональное качество объекта по назначению и области применения, именуемые «базовыми». Среди них может быть свойство, имеющее необходимый и достаточный параметр только в определённом интервале величин этого свойства, которые фактически определяют нормальную функциональность объекта по назначению только внутри этого интервала. Однако учёт получаемой расчётом повышенной полезности параметров такого свойства вне границы этого интервала, искажает справедливую квалиметрию объекта. Поэтому такие параметры свойства требуют корректировки их полезности. Например, таким отличительным свойством объекта является не востребуемая при эксплуатации избыточная прочность материала конструкции.

Некоторые базовые свойства и блага объекта, определяющие его назначение и область применения, выделяются в группу «важных», среди которых выбирают одно или несколько «основных» свойств, обуславливающих его предназначение. «Важные» свойства обязательно имеют интервал полезного использования объекта, вне границ которых его использование нецелесообразно.

Вклад отдельных качеств свойств и групп качеств в оценку комплексного функционального качества объекта на каждом уровне «дерева свойств» характеризуется коэффициентами их весомости, определяемые эвристическими методами.

Обоснование выбора базовых, важных и основных показателей свойств, установление структуры «дерева свойств», весомости простых и сложных качеств объекта, а также учёт их разнообразных параметров частных свойств, и многообразия видов объектов по назначениям и условиям эксплуатации не имеют универсальных методических рекомендаций, что вызывает у экспертов методические трудности и погрешность выполнения некоторых процедур квалиметрии, приводящих к снижению достоверности и объективности оценки уровня комплексного качества материального объекта.

Мера качества объекта

В методике квалиметрии функцией простого качества  $K_i$  от нормированного значения частного свойства объекта  $X_i$  служит линейная зависимость, измеряемой в относительных единицах:

$$K_i = X_i, \text{ отн.} \quad (1)$$

Объекты обладают потребительскими функциональным качеством, характеризуемым комплексом параметров натуральных свойств и субъективных благ. Известно, что потребительская цена продукции и услуг заключается не в том, что на их производство сделаны общественно необходимые затраты, а в том, что они имеют определённую полезность для отдельного человека или группы людей, проявляющуюся в процессе использования. То есть, эти свойства объекта могут быть оценены по их степени полезности для потребителя. Уровень полезности свойства объекта пользователь оценивает размером потребления этого свойства. В связи с этим, в настоящем исследовании признак полезности используем как меру качества частных свойств объекта, а также его комплексного качества. Для оценки полезности натуральных и субъективных свойств объекта используется количественный подход, согласно которому полезность любого простого свойства  $K_i$ , вычисляем по единой методике и в единице измерения  $ut$  (ютиль, от

англ. utility – полезность) в интервале шкалы от 0,0 до 1,0 ut. Единицей измерения полезности комплексного качества *KK* является также ut.

Параметры частных свойств объектов имеют индивидуальные траектории обеспечения их потребительской полезности. В действительности, имеет место «позитивная» эволюция полезности свойства объекта – повышение полезности с увеличением параметра свойства, «негативная» эволюция – уменьшение полезности с увеличением параметра свойства, и «неустойчивая» эволюция – увеличение или уменьшение параметра свойства от номинального значения снижают полезность.

Линейная функция (1) не отражает реальную закономерность полезности частного свойства объекта от изменения его параметра, особенно при минимальных и максимальных параметрах свойств. Изменение параметра частного свойства объекта фактически имеет нелинейный характер влияния на его потребительскую полезность.

Полагаем, что феноменологическая эволюция полезности и соответственно простого качества объекта от увеличения параметра его частного «позитивного» свойства имеет следующую описательную закономерность и характерные стадии:

- Первая стадия – увеличение параметра свойства объекта, начиная со значения параметра свойства с нулевой полезностью, приводит к начальному экспоненциальному росту его полезности. Такой характер начала кривой эволюции обусловлен тем, что свойство с очень малой величиной параметра практически бесполезно в обеспечении функциональности объекта.
- Вторая стадия – последующее увеличение параметра свойства объекта приводит к ускорению экспоненциального роста его полезности. Такой характер начала кривой эволюции обусловлен тем, что при малости величины параметра свойства для обеспечения эффективности функционирования объекта каждый последующий прирост величины параметра свойства имеет большую полезность.
- Третья стадия – при дальнейшем увеличении параметра свойства возрастает интенсивность прироста полезности вплоть до его максимальных значений. Такой характер участка кривой эволюции обусловлен нахождением величины свойства объекта в интервале параметров, обеспечивающих от ещё не в полной мере эффективного функционирования объекта до его нормального функционирования.
- Четвёртая стадия – далее при увеличении параметра свойства рост полезности имеет практически прямо пропорциональный характер с незначительно уменьшенной интенсивностью, что соответствует достижению параметров свойства для нормального функционирования объекта.
- Пятая стадия – при увеличении параметра свойства вплоть до максимального значения полезности приводит к замедленному экспоненциальному росту полезности. Такой характер завершения кривой эволюции обусловлен тем, что при превышении интервала параметра свойства, обеспечивающего нормальное функционирование объекта, каждый следующий прирост величины параметра имеет меньшую полезность.
- Шестая стадия – дальнейшее увеличение параметра свойства в связи с его значительной избыточностью для обеспечения нормального

функционирования объекта, что приводит к снижению полезности из-за неоправданности затрат на создание такой величины параметра свойства.

Описанная закономерность «позитивной» эволюции полезности параметра частного свойства носит для «негативной» закономерности полезности свойства зеркальный характер.

Для получения сопоставимых значений показателей свойств объекта с разной эволюцией, неодинаковыми и специфическими единицами измерений применяем процедуру нормировки  $i$ -го свойства объекта, которую представляем в виде относительного показателя этого свойства, выраженного в равномерной шкале отношений в пределах от 0,0 до 2,0. Нормированной формой такого  $i$ -го свойства объекта будет служить зависимость, в которой предельные параметры частного свойства  $P_i^{min}$  и  $P_i^{max}$  означают величину их параметров, имеющих соответственно минимальную и максимальную полезность для потребителя. В связи с биполярностью гипотетической эволюции полезности параметра свойств объекта, параметр свойства  $P_i^{max}$  располагается по середине между минимальным и максимальным параметрами свойства, имеющих минимальные значения полезности  $MinP_i^{min}$  и  $MaxP_i^{min}$ . То есть:

$$Z_i = \frac{P_i - P_i^{min}}{P_i^{max} - P_i^{min}}, \text{ отн.} \quad (2)$$

где:  $P_i$  – фактическая величина параметра  $i$ -го свойства объекта с полезностью  $K_i$ , ед. изм.;

$P_i^{min}$  – величина параметра  $i$ -го свойства объекта, соответствующая  $Z_i = 0$  или  $Z_i = 2$ , при которой полезность параметра свойства принимается минимальной  $K_i^{min} \approx 0$ , ед. изм.;

$P_i^{max}$  – величина параметра  $i$ -го свойства объекта, соответствующая  $Z_i = 1$ , при которой полезность параметра свойства принимается максимальной  $K_i^{max} = 1$ , ед. изм.;

$i$  – индекс, соответствующий порядковому номеру частного свойства объекта.

Описанные гипотетические эволюции полезности выразили одной нелинейной феноменологической зависимостью от величины нормированного значения параметра частного свойства (2) в форме экспоненты квадратичной функции следующего вида

$$K(X_i) = \exp\left(-\frac{9}{2}(Z_i - 1)^2\right), \text{ ut} \quad (3)$$

График зависимости функции полезности (3) от нормированного значения параметра свойства (2) представлен на рис.1.

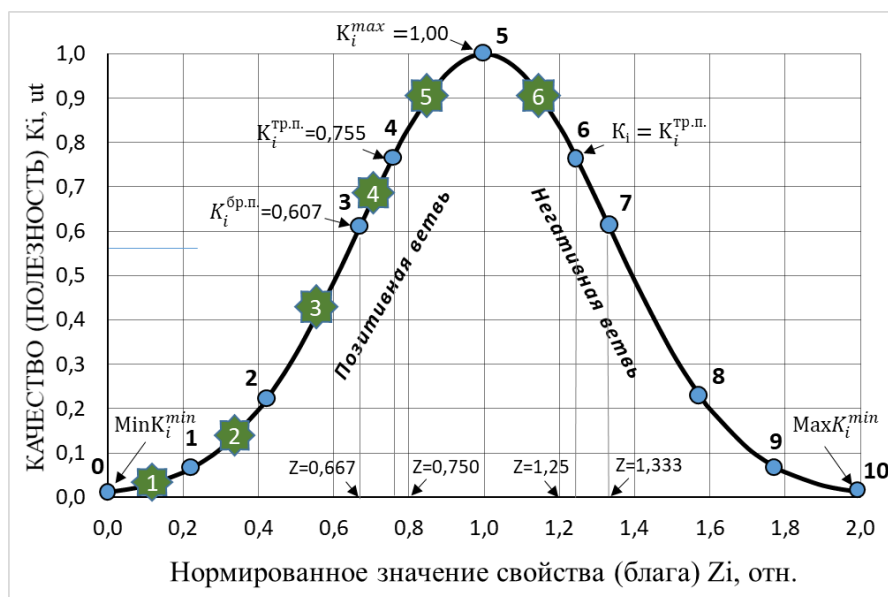


Рис. 1. Эволюция полезности нормированного свойства  $Z_i$ , ..., - 1 и 6 эволюции позитивной функции.

Зависимость полезности свойства объекта от его нормированного значения имеет 11 узловых точек, координаты которых соответствуют рубежам описанных ранее стадий эволюции полезности. В результате математического анализа функции (3) определены следующие координаты точек изгибов эволюционной кривой  $\{Z_i; K_i\}$ : 0  $\{0,000; 0,011\}$ , 1  $\{0,222; 0,066\}$ , 2  $\{0,423; 0,223\}$ , 3  $\{0,667; 0,607\}$ , 4  $\{0,750; 0,755\}$ , 5  $\{1,000; 1,000\}$ , 6  $\{1,250; 0,755\}$ , 7  $\{1,333; 0,607\}$ , 8  $\{1,577; 0,223\}$ , 9  $\{1,778; 0,066\}$ , 10  $\{2,000; 0,011\}$ . Принимаем координаты точек  $\{Z_i; K_i\}$ , соответствующие требуемым параметрам позитивной эволюции свойства: 5 -  $P_i^{max}$ ; 4 -  $P_i^{тр.1}$ ; 3 -  $P_i^{бр.min}$ ; 6 -  $P_i^{бр.max}$ . Для негативной функции эволюции полезности требуемые параметры свойства и соответствующие точки на графике принимаются зеркально, то есть: 5 -  $P_i^{max}$ ; 6 -  $P_i^{тр.1}$ ; 7 -  $P_i^{бр.min}$ ; 4 -  $P_i^{бр.max}$ .

Анализ функции полезности (3) и графика на рисунке позволяет установить следующие соотношения параметров свойств  $P_i$  и их нормированных значений  $X_{i,n}$ :

$$\frac{Z_{i,5} - Z_{i,4}}{Z_{i,5} - Z_{i,0}} = \frac{P_i^{max} - P_i^{тр.1}}{P_i^{max} - P_i^{min}} = \frac{1}{4}; \quad (4)$$

$$\frac{Z_{i,5} - Z_{i,3}}{Z_{i,5} - Z_{i,0}} = \frac{P_i^{max} - P_i^{бр.min}}{P_i^{max} - P_i^{min}} = \frac{1}{3}; \quad (5)$$

$$P_i^{max} = \frac{1}{2}(P_i^{тр.1} + P_i^{бр.max}); \quad (6)$$

где:  $P_i^{тр.1}$  - требуемое параметр «позитивного» свойства с полезностью  $K_i^{тр.п.1}$ , ед. изм.;

$P_i^{бр.min}$  - минимальный браковочный параметр «позитивного» свойства, ед. изм.;

$P_i^{бр.max}$  - максимальный браковочный параметр «позитивного» свойства, ед. изм.;

$n$  - индекс, соответствующий номеру точки на графике эволюции полезности нормированного свойства  $Z_{i,n}$ .

Оценка качества натуральных свойств объекта

Объекты характеризуются непрерывными и дискретными значениями параметров частных свойств: факт  $F$  - реальное среднее значение свойства, определённое при испытании серии контрольных образцов продукции; марка  $M$  - среднее значение генеральной совокупности параметров свойства в партии продукции; класс  $B$  - параметр свойства с гарантированной обеспеченностью в партии продукции; ранг  $R$  - порядковое

положение в группе значений параметров свойства; брак Б – допустимое минимальное или максимальное значение параметра свойства в партии продукции.

Полезность частного свойства определяется интервалом параметров для обеспечения нормального функционирования объекта, которое определяется локальным или глобальным требованием к свойству объекта по определённому назначению и области использования. Необходимой и достаточной величиной является требуемый параметр  $P_i^{TP}$ . Фактический параметр свойства реального объекта  $P_i$  может быть больше или меньше требуемого  $P_i^{TP}$ .

Требуемый параметр  $i$ -го свойства материального объекта  $P_i^{TP}$  определяет границу начала рациональной работы объекта при определённых условиях эксплуатации. В зависимости от характера эволюции полезности свойства изделия (рисунок) требуемое значение параметра свойства  $P_i^{TP}$  может располагаться на позитивной ветви в точке 4 или на негативной ветви в точке 6, а параметра неустойчивости – в точке 5.

Полагаем, что рациональное превышение требуемого параметра у позитивного свойства (уменьшение параметра у негативного свойства) повышает надёжность объекта при эксплуатации в непредвиденной ситуации, то есть объект (рисунок) будет обладать большей полезностью соответственно до параметра  $P_i^{бр.max}$  в точке 6 (до параметра  $P_i^{бр.min}$  в точке 4).

Интервал параметров свойства нормального функционирования объекта шире его рационального интервала. Браковочные параметры  $i$ -го свойства материального объекта  $P_i^{бр.min}$  и  $P_i^{бр.max}$  определяет границы данного интервала. Вне границ или одной из границ этого интервала эксплуатация объекта не целесообразна. В зависимости от характера эволюции полезности свойства изделия браковочные параметры свойства  $P_i^{бр}$  может располагаться на позитивной ветви в точках 3 и 6, на негативной ветви в точках 7 и 4, а в неустойчивой зоне – в точках 3 и 7.

Определённость характера функции полезности (3) для  $i$ -ого свойства объекта может быть обеспечена версиями комбинаций двух его известных параметров, для чего используем свойства функции полезности (4) - (6).

Версия 1 – известны параметры  $P^{max}$  и  $P^{min}$ . Нормализованный аргумент функции полезности (3)  $i$ -ого свойства определяют по формуле (2).

Версия 2 – известны параметры  $P^{max}$  и  $P_i^{тр.1}$ . В этом случае нормализованный аргумент (2) функции полезности (3)  $i$ -ого свойства принимает следующий вид

$$Z_i = \frac{P_i - P_i^{max}}{4(P_i^{max} - P_i^{тр.1})} + 1, \text{ отн.} \quad (7)$$

Версия 3 – известны параметры  $P^{тр.1}$  и  $P^{бр.min}$ . В этом случае нормализованный аргумент (2) функции полезности (3)  $i$ -ого свойства принимает следующий вид

$$Z_i = \frac{P_i - P_i^{тр.1}}{12(P_i^{тр.1} - P_i^{бр.min})} + \frac{3}{4}, \text{ отн.} \quad (8)$$

Версия 4 – известны параметры  $P^{тр.1}$  и  $P^{бр.max}$ . В этом случае нормализованный аргумент (2) функции полезности (3)  $i$ -ого свойства принимает следующий вид

$$Z_i = \frac{2P_i - 5P_i^{тр.1} + 3P_i^{бр.max}}{4(P_i^{тр.1} + P_i^{бр.max})}, \text{ отн.} \quad (9)$$

Версия 5 – известен только один параметр  $P_i^{тр.1}$ . В этом случае принимаем, что  $P_i^{max} = \alpha P_i^{тр.1}$ , где величина коэффициента  $\alpha = 1,15 - 1,25$  выбирается экспертом из соображения рациональной необходимости и достаточности параметров конкретного свойства для функционирования объекта. Тогда выражение (7) принимает следующий вид

$$Z_i = \frac{P_i - P_i^{тр.1}}{4(\alpha - 1)P_i^{тр.1}} + 1, \text{ отн.} \quad (10)$$

Для негативной функции полезности свойства параметры для позитивной функции в формулах (7) – (10) заменяют на соответствующие параметры негативной функции.

Версия 6 – неустойчивый характер эволюции полезности свойства при  $P_i^{tp.2} = P_i^{max}$ ,  $P_i^{бр.} = P_i^{tp.2} \pm \Delta_i$ . В этом случае нормализованный аргумент (2) функции полезности (3)  $i$ -ого свойства принимает следующий вид

$$Z_i = \frac{P_i - P_i^{tp.2}}{P_i^{tp.2} - P_i^{бр.}} + 1 = \frac{P_i - P_i^{tp.2}}{\Delta_i^{бр.}} + 1, \quad (11)$$

Предложенные версии определения зависимости нормализованного аргумента (2) функции (3) и известные координаты нормализованного аргумента требований свойств позволяют вычислить при необходимости другой вероятный параметр функции полезности свойства.

При использовании марок или классов свойств объекта в качестве требуемых параметров функции (2), они заменяются на соответствующие им значения натурального свойства объекта, то есть:

$P_i = F_i$  – реальный параметр  $i$ -ого свойства объекта, ед. изм.;

$P_i^{tp} = B_i^{tp}$  – требуемый параметр  $i$ -ого свойства объекта, соответствующее требуемому классу, например, прочность В20→20 МПа, ед. изм.;

$P_i^{max} = M_i^{tp}$  – параметр  $i$ -ого свойства объекта с максимальной полезностью, соответствующее требуемой марке, например, прочность М300→300 кг/см<sup>2</sup>, ед. изм.;

$P_i^{бр.} = B_i$  – браковочный параметр  $i$ -ого свойства объекта, соответствующее критерию брака, ед. изм.

Если объект характеризуется классом  $B_i$  или маркой  $M_i$  свойства, то  $P_i = B_i$  или  $P_i = M_i$ .

При использовании убывающего ранга (сорта)  $R_i^{tp}$  применяем для характеристики требуемого параметра свойства  $P_i^{tp} = R_i^{max} - R_i^{tp} + 1$ , где  $R_i^{max}$  число градаций рангов в группе параметров свойства.

Оценка качества субъективных благ объекта

Частные свойства объекта могут быть выражены в виде описаний характеристик отдельной категории вещей, ситуаций прикладного использования предметов или работ, которые обладают «субъективными» благами. Каждый из нескольких таких однородных субъективных благ имеет определённый рейтинг значимости для обеспечения полезности объекта. Рейтинговая оценка отдельных благ в однородной группе представляет собой упорядочение набора благ в зависимости от их значимости внутри этой группы путём приписывания каждому из них величины значимости от 0 до 100 баллов.

В этом случае применимы эвристические методы, в частности, метод экспертных оценок, так как выбор и обоснование оценки результата не могут быть выполнены на основании точных измерений и расчётов. Для этого набор некоторого количества однородных благ  $P_{i,g}$ , объединённых в отдельную однородную группу, подвергают позитивному ранжированию по их значимости в группе. Максимально возможная сумма баллов показателя блага  $P_i$  принимается за эталон и равняется  $P_i^{max} = 100$  баллам, а минимально возможная –  $P_i^{min} = 0$  баллов. Величина параметра  $P_i$  определяется по величине ранга или суммы рангов соответствующих одному или нескольким описаниям из набора однородных благ  $P_{i,g}$ , относящихся к конкретной ситуации анализируемого объекта.

Функция полезности для «субъективного» блага  $P_i$  объекта аналогична функции для натурального свойства и описывается зависимостью (3). Ранжирование параметров показателей благ одного назначения  $P_{i,g}$  и определение аргумента функции их полезности представлены ниже. Параметры благ одного назначения  $P_i$  в силу жизненных ситуаций имеют несколько вариантов комбинаций частных благ  $P_{i,g}$ , которые могут быть:

- однородными (вариант 1) — не отличающиеся видом частных благ  $P_{i,g}$ , а отличающиеся только масштабом их значимости (баллы) в определённом благе объекта;
- неоднородными (вариант 2) — отличающиеся видом частных благ  $P_{i,g}$  и имеющие близкие уровни значимости (баллы одинаковые или отличающиеся), которые одновременно все или некоторые могут характеризовать определённое благо объекта;
- комбинированными (вариант 3) — включающие показатели рассмотренных ранее в варианте 1 параметров частных благ, именуемых как «однородные» или далее как «основные»  $P_{i,g}^{осн.}$ , а также в варианте 2 параметров частных благ, именуемых как «неоднородные» или далее как «дополнительные»  $P_{i,g}^{доп.}$ , которые в совокупности характеризуют определённое благо объекта.

Варианты ранжирования параметров показателей свойств объекта одного назначения  $P_{i,g}$  и определение аргумента функции их полезности представлены ниже.

Вариант 1. Однородные показатели благ  $P_{i,g}$  располагают по возрастанию важности параметра, которым присваивают соответствующий балл (табл. 1 с примером [5]). В этом случае выбирается только один показатель блага  $P_{i,g} = N$ , отвечающий ситуации конкретного анализируемого объекта и соответствующее ему количество баллов. Шаг баллов показателей блага может быть не равномерным. За эталон принимается максимальный параметр блага  $P_i^{эТ} = P_{i,m} = 100$  баллов.

Таблица 1.

Параметры показателя «экологичность отделочных материалов»

Индекс, g	Характеристика частного блага	Параметр, $P_{i,g}$ , баллы
1	Не сертифицирован	0
2	Местный материал	50
3	Наличие сертификата	100

Параметры функции полезности для показателя блага объекта рассчитывается по аналогии с натуральным свойством по формуле (2).

где:  $i$  — индекс показателя блага,  $i=1, 2, \dots$ ;

$g$  — индекс в группе параметров блага,  $g=1, 2, 3, \dots$ ;

$P_i^{min}$  — браковочный параметр блага  $P_i^{min} = P_{i,1} = 0$ , баллы;

$P_i^{max}$  — эталонное значение параметра блага  $P_i^{max} = P_{i,m} = 100$ , баллы;

$P_i$  — фактическое значение параметра блага, соответствующего состоянию анализируемого объекта,  $P_i = P_{i,g} = N$ , баллы.

Аргумент  $X_i$  функции (3) для расчёта полезности показателя блага будет иметь следующий вид:

$$Z_i = (P_i - P_{i,1}) / (P_{i,m} - P_{i,1}), \text{ отн.} \quad (12)$$

Вариант 2. Параметры неоднородных показателей благ объекта одного предназначения  $P_{i,g}$ , имеющих близкие уровни полезности, располагают в произвольном порядке (табл. 2 с примером [4]). В этом случае выбираются несколько показателей благ  $\sum P_{i,g}$ , отвечающих ситуации анализируемого объекта и соответствующие им количества баллов. За эталон принимается сумма всех параметров показателей блага  $\sum_{g=1}^m P_{i,g} = 100$  баллов.

Таблица 2.

Параметры блага дома «доступность рекреационных зон»

Индекс, g	Характеристика частного блага	Параметр, $P_{i,g}$ , баллы
1	Отсутствуют объекты	0
2	Парки, бульвары, скверы, сады,	40
3	Городские леса, лесопарки	20
4	Река, озеро	20
5	Искусственный водоём	10
6	Иные объекты	10

Параметры функции полезности для показателя полезности благ объекта рассчитывается по аналогии с натуральным свойством по формуле (2),

где:  $P_i^{max}$  – эталонное значение параметра блага, равное максимальной сумме баллов всех свойств,  $P_i^{max} = \sum_{g=1}^m P_{i,g} = 100$ , баллы;

$P_{i,g}$  – сумма фактических параметров нескольких выборочных благ в интервале от  $g=1$  до  $m$ , соответствующая состоянию анализируемого объекта,  $P_i = \sum_{g=1}^m P_{i,g}$ , баллы.

Аргумент  $X_i$  функции (3) для расчёта полезности показателя блага будет иметь следующий вид:

$$Z_i = (\sum_{g=1}^m P_{i,g} - P_{i,1}) / 100, \text{ отн.} \quad (13)$$

Вариант 3. Параметры комбинированного показателя блага объекта  $P_{i,g}$  группируют по признаку «основной»  $P_{i,g}^{осн.}|_{g=1}^m$  и «дополнительный»  $P_{i,g}^{доп.}|_{m+1}^k$  (табл. 3 с примером [4]). В этом случае в интервале от  $g=1$  до  $m$  выбирают один основной показатель блага  $P_{i,g}^{осн.}$  и в интервале от  $g=m+1$  до  $k$  один или несколько, или все дополнительные показатели блага  $\sum P_{i,g}^{доп.}$ , которые соответствуют состоянию анализируемого объекта. За эталон принимается сумма всех параметров показателей свойств  $P_{i,m}^{осн.} + \sum_{g=m+1}^k P_{i,g}^{доп.} = 100$  баллов.

Таблица 3.

Параметры показателя свойства дома «тип средств и условий для вертикального перемещения людей и инвалидов»

Индекс, g	Характеристика частного блага	Параметр $P_{i,g}$ , баллы
Основной показатель благ		
1	Лифт отсутствует	0
2	Лифты обычные медленные, часто шумные	30
3	Лифты скоростные	55
Дополнительный показатель благ		
4	Пандус для перемещения инвалида в коляске	5
5	Приспособление на лестнице для инвалида	5
6	Лифт грузовой (дополнительно)	15
7	Бесшумные лифты от ведущих мировых производителей	5
8	Персонализированный доступ к лифту и к этажу	5
9	Персональный лифт в Пентхаус	10

Параметры функции полезности для показателя полезности блага объекта рассчитываются по аналогии с натуральным свойством по формуле (2),

где:  $P_i^{max}$  – эталонное значение параметра блага  $P_i^{max} = P_{i,m}^{осн.} + \sum_{g=m+1}^k P_{i,g}^{доп.} = 100$ , баллы;

$P_i$  – сумма фактических параметров, характеризующая выбранный один основной в интервале от  $g=1$  до  $m$  или несколько дополнительных параметров благ в интервале от  $g=m+1$  до  $k$ , соответствующие состоянию анализируемого объекта,  $P_i = P_{i,g}^{осн.}|_{g=1}^m + \sum_{g=m+1}^k P_{i,g}^{доп.}|_{m+1}^k$ , баллы.

Аргумент  $X_i$  функции (3) для расчёта полезности показателя блага имеет следующий вид:

$$Z_i = (P_{i,g}^{\text{очн.}}|_{g=1}^m + \sum P_{i,g}^{\text{доп.}}|_{m+1}^k - P_{i,1})/100, \text{ отн} \quad (14)$$

Критерии свойств и благ объекта

Для каждого вида объекта устанавливаются индивидуальные нормы, предельные значения и критерии параметров частных свойств продукции.

Процесс оценки качества заключается в установлении степени соответствия между фактическими значениями параметров свойств с параметрами свойств реальной или виртуальной идеальной модели объекта и величинами его критериев. При этом выбор критериев диктуется целями оценки.

Объекты имеют «важные свойства», к которым предъявляют нормируемое  $P_i^{\text{TP}}$  и браковочное  $P_i^{\text{BP}}$  требования. Браковочный параметр  $P_i^{\text{BP}}$  является границей не соответствия предъявляемого к нему требования по условию эксплуатации или приводит к не работоспособности, или снижению требуемой надёжности при эксплуатации. Например, критическим параметром натурального или субъективного свойства могут быть: предельное состояние несущей способности характеризуется классом по прочности материала конструкции; сборочная не состыковка деталей в технике, определяемая размерным предельным допуском и посадкой; параметр субъективного свойства объекта, который для группы людей, обладающих общественной моментной потребностью в этом свойстве и исключаящее потребление изделия, как не гармоничность объекта в композиции с другими; параметры свойств, приносящие вред здоровью людей, ПДК токсичных веществ; другие.

Свойство объекта  $P_i$  может характеризоваться также критериальным показателем, который может принимать однозначное позитивное значение — «да» «допустимо», «наличие», или негативное значение — «нет», «недопустимо», «отсутствие». В этом случае параметр свойства  $P_i$  будет принимать соответствующие значения  $P_i = P_i^{\text{max}} = 100$  баллов или  $P_i = P_i^{\text{min}} = 0$  баллов. То есть аргумент (2) функции полезности (3) будет иметь соответственно значение  $X_i = 1$  или  $X_i = 0$ , а функциональное качество соответственно  $K(Z_i) = 1$  или  $K(Z_i) = 0$ .

Полагаем, что у параметров свойств и благ имеется только один полезный интервал в области их существования, в котором параметры браковочного критерия важнейшего свойства  $P_i^{\text{BP}}$  могут иметь варианты критичных ограничений интервала полезного использования объекта:

- одностороннее, когда  $P_i \leq P_i^{\text{BP.max}}$  или  $P_i \geq P_i^{\text{BP.min}}$ ;
- двухстороннее, когда  $P_i^{\text{BP.min}} \leq P_i \leq P_i^{\text{BP.max}}$ ;
- однозначное, когда  $P_i$  имеет значение только «да» или «нет».

В случае, если у объекта имеется хоть один параметр свойств вне интервала полезного использования, то он не допустим для использования. При этом комплексное функциональное качество  $KK$  должно принимать «нулевое» значение. Такое состояние комплексного функционального качества регулируется коэффициентом «вето»  $\varphi(Z_i)$  – это функция, которая при выходе любого из важнейших единичных показателей  $P_i$  за допустимые пределы  $P_i^{\text{BP.max}}$  или  $P_i^{\text{BP.min}}$  обращается в нуль. Во всех остальных случаях коэффициент вето  $\varphi(Z_i)$  остаётся равным единице. То есть

$$\varphi(Z_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } P_i^{\text{BP.min}} \leq P_i \leq P_i^{\text{BP.max}}, Z_i(P_i); \\ 0, & \text{если } P_i \leq P_i^{\text{BP.min}} \text{ или (и) } P_i \geq P_i^{\text{BP.max}}, Z_i(P_i) \end{cases} \quad (15)$$

Комплексный показатель функционального качества  $KK$  принимает значение равное нулю, если хотя бы один из важнейших единичных показателей оказывается неприемлемым, то есть, когда  $\varphi(X_i) = 0$ . Комплексный показатель функционального качества объекта с учётом коэффициента вето будем определять следующим образом

$$KK = KK(Z_i) * \prod_{i=1}^n \varphi(Z_i). \quad (16)$$

В случае, когда базовое свойство объекта  $P_i$ , не относящееся к группе важных свойств, не в полной мере отвечает требованиям по предназначению и области использования, но наряду с этим не создаёт катастрофической ситуации при эксплуатации, будем использовать их фактический параметр свойства  $P_i$  для оценки комплексного функционального качества объекта  $KK(Z_i)$ . Такими свойствам архитектурно-строительной конструкции обладают, например, теплосоппротивление, звукоизоляция, декоративность и некоторые другие, если они не относятся к важнейшим свойствам конкретного объекта.

Требуемый параметр  $i$ -го свойства материального объекта  $P_i^{TP}$  определяет границу начала рациональной работы объекта при определённых условиях эксплуатации. В зависимости от характера эволюции полезности свойства изделия (рис. 1 и 2) требуемое значение параметра свойства  $P_i^{TP}$  может располагаться на позитивной ветви графика в точке 4 или на негативной ветви — в точке 6, а для неустойчивой функции — в точке 5.

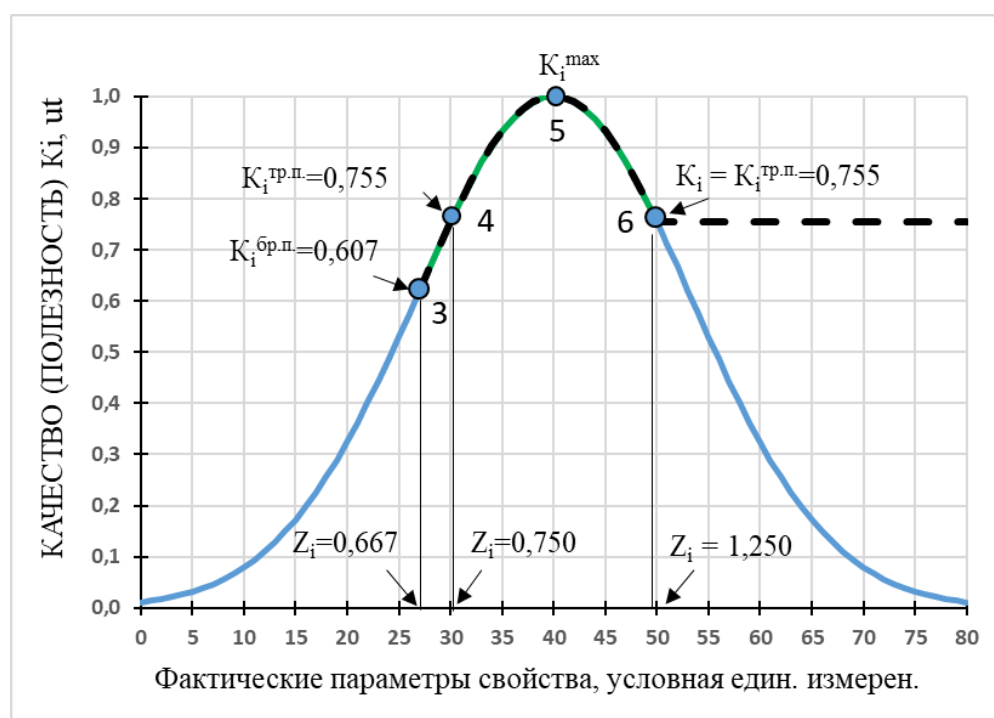


Рис. 2. Критические параметры эволюции полезности позитивного свойства (для негативного свойства – зеркально)

Фактические параметры свойства объекта  $P_i$  могут не соответствовать его требуемому значению  $P_i^{TP}$ . Полагаем, что рациональное превышение требуемого параметра у позитивного свойства (уменьшение параметра у негативного свойства) повышает надёжность объекта при эксплуатации в непредвиденной ситуации, то есть объект (рис. 2) будет обладать большей полезностью соответственно до параметра  $1,5 * P_i^{TP.п}$  в точке 6 (до параметра  $0,6 * P_i^{TP.н}$  в точке 4). Вместе с тем, использование объекта по назначению с превышенным (сниженными) этим параметром свойства допустимо, но не рационально с практической точки зрения. При этом, расчётное значение полезности параметра такого свойства будет низким. Например, использование материала в конструкции изделия с существенно завышенными параметрами прочности, чем требуется для её эксплуатации. В

данном случае, для исключения занижения расчётной полезности позитивного (негативного) свойства по формуле (2), при превышении  $Z_i(1,5 * P_i^{тр.п.}) = 1,25$  (снижении -  $Z_i(0,6 * P_i^{тр.п.}) = 0,75$ ), необходимо стабилизировать параметр полезности этого свойства на уровне требуемого параметра  $K_i = 0,755$  (рис. 2). Объект при данных условиях может нормально функционировать по назначению и области использования, обладая превышенным (заниженным) параметром  $P_i$  этого свойства. Однако, в этом случае у эксперта при принятии решения о применении данного приёма корректировки уровня полезности отдельного свойства объекта по назначению естественно связано дилеммой целесообразности. Практическое разрешение данной дилеммы связано прежде всего с их ресурсными и экономическими возможностями, а также с психологическими аспектами личности принимающей решение по объекту (например, с фактором престижности и моды, с другими человеческими привязанностями).

В зависимости от характера эволюции полезности свойства изделия браковочные параметры свойства  $P_i^{бр.п.}$  может располагаться на позитивной ветви в точках 3, на негативной ветви в точках 7, а в неустойчивой зоне — в точках 3 и 7. Браковочные параметры  $i$ -го свойства материального объекта  $P_i^{бр.п.}$  ( $P_i^{бр.п.}$ ) определяет нижнюю (верхнюю) границу интервала позитивного (негативного) свойства, для неустойчивого свойства браковочные границы расположены с двух сторон, вне этих границ эксплуатация объекта недопустимо.

Выше приведённые возможные состояния параметров свойств выразим в форме функциональных зависимостей. Для позитивной ветви кривой полезности базового свойства  $P_i$  объекта и односторонним браковочным критерием функциональная зависимость для  $K_i(Z_i)$  и  $\varphi(Z_i)$  от  $i$ -ого свойства примет следующий вид:

$$K_i(Z_i) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{9}{2}(Z_i - 1)^2\right); & \text{при } P_i \leq 1,5 * P_i^{тр.п.}, Z_i(P_i); \\ 0,755; & \text{при } P_i > 1,5 * P_i^{тр.п.}, Z_i(P_i) = 0,75; \end{cases}$$

$$\text{и } \varphi(Z_i) = \begin{cases} 1; & \text{при } P_i > P_i^{бр.п.}, Z_i(P_i); \\ 0; & \text{при } P_i < P_i^{бр.п.}, Z_i(P_i) < Z_i(P_i^{бр.п.}) = 0,667 \end{cases} \quad (17)$$

где:  $P_i^{max}$  — значение параметра  $i$ -ого свойства объекта, обеспечивающее максимальную полезность  $K_i = 1,00$ , ед. изм.;

$P_i^{тр.п.}$  — значение требуемого параметра  $i$ -ого свойства объекта, обеспечивающее максимальную полезность  $K_i = 0,755$ , ед. изм.;

$P_i^{бр.п.}$  — критическое значение для позитивной ветви функции полезности для данного вида простого  $i$ -ого свойства объекта, ед. изм.

Функциональная зависимость (17) в графической форме представлена на рис. 2. Пунктиром выделена кривая полезности параметров свойств с нормальной функциональностью объекта.

Для негативной ветви кривой полезности натурального важного свойства  $P_i$  и односторонним браковочным критерием функциональную зависимость  $K_i(Z_i)$  и  $\varphi(Z_i)$  от  $i$ -ого свойства имеет следующий вид:

$$K_i(Z_i) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{9}{2}(Z_i - 1)^2\right); & \text{при } P_i \geq 0,6 * P_i^{тр.п.}, Z_i(P_i); \\ 0,755; & \text{при } P_i < 0,6 * P_i^{тр.п.}, Z_i(P_i) = 0,75; \end{cases}$$

$$\text{и } \varphi(Z_i) = \begin{cases} 1; & \text{при } P_i < P_i^{бр.п.}, Z_i(P_i); \\ 0; & \text{при } P_i > P_i^{бр.п.}, Z_i(P_i) > Z_i(P_i^{бр.п.}) = 1,333 \end{cases} \quad (18)$$

Оценка весомости качеств объекта

Однородные простые (свойства) и сложные качества группируются, образуя несколько уровней «дерева свойств». Основополагающей процедурой в квалиметрии

является установление экспертами степени весомости простых и сложных качеств в однородных группах уровней «дерева свойств» диагностируемого объекта. Выполняя данную операцию, эксперт последовательно сопоставляет и ранжирует их полезности, мысленно представляя для себя степень полезности от потребления конкретного простого качества или сложного качества внутри каждой группы. Фактически он решает, какое частное свойство для него более важно, а что менее важно. При этом собственно фактическая величина параметра частного показателя качества в группе не принимается во внимание.

Предлагаемая методика экспертной оценки важности частного свойства или качества в однородных группах предполагает двухэтапную их оценку. Для этого предложена система рангов важностей (табл. 4), в которой отдельные свойства или качества объекта в однородной группе располагают по степени их вклада в обеспечение общего качества группы. Данные характеристики признаков важности одинаковы для разных однородных групп подвидов качеств. Для оценки относительной важности отдельного качества в группе выражаем от 0 до 100%.

Таблица 4.

## Признаки относительной важности отдельных показателей качеств

Индекс, g	Характеристика важности качеств	Степень важности качеств* $M_{i,g}, \%$ .
1	«можно обойтись» — можно не использовать без ущерба	0–5
2	«необязательный» — улучшающие существование, но можно обойтись без ущерба	6–25
3	«малой важности» — улучшающие существование, но степень необходимости малозначима	26–45
4	«желательный» — значительно улучшающие существование	46–65
5	«необходимый» — без которого невозможно существование	66–85
6	«очень важный» — без которого невозможно существование и с улучшенными функциями	86–100

На первом этапе анализируют важность отдельных показателей свойств или качеств в обеспечении общего качества в масштабе однородной группы. Для этого сравнивают и формируют соответствующие подгруппы путём сортировки их по уровням важности по признакам, представленным в графе табл. 4 «характеристика важности качеств».

На втором этапе, сгруппированные на первом этапе показатели отдельных качеств объекта сравнивают между собой и уточняют их количественные значения важности качества  $M_{i,g}$  в пределах интервала степени важности показателя g-ой подгруппы. При этом в подгруппе возможны одинаковые значения важности. Такой двухэтапный подход позволяет более точно сформировать в целом суждение об относительной важности отдельного показателя качества свойства  $M_i$  в масштабе однородной группы.

Оценку весомости  $W_i$  качества  $K_i$  в однородных группах каждого уровня иерархии проводим на установленных на втором этапе значениях важности качеств  $M_i$ , представленных в графе «степень важности качеств» табл. 4. Расчёт весомости этих качеств  $W_i$  заключается в определении относительного показателя важности  $M_i$  внутри однородной группы в интервале от 0 до 1,0 по следующей формуле

$$W_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^m M_i}, \text{ отн., при условии } \sum_{i=1}^m W_i = 1, \quad (19)$$

где:  $m$  – количество качеств в однородной группе;  $M_i$  – важность  $i$ -ого отдельного качества свойства в однородной группе, %;  $\sum_{i=1}^m M_i$  – сумма степеней важностей всех  $m$  качеств в однородной группе, %.

Критерий конкурентоспособности объекта

Критерием конкурентоспособности объекта аналогичных объектов на рынке товаров служит ранг величины показателя их интегрального качества, характеризуемый величиной показателя инвестиционной привлекательности объекта  $IA$  (англ. investment-attractive) как товара, проявляющего потенциальную возможность получения потребителем от использования объекта конкретной пользы на единицу вложенных денежных средств.

Расчёт показателя инвестиционной привлекательности объекта  $IA$  выполняют по формуле

$$IA = \frac{KK}{Ц}, \text{ ut /удельная стоимость,} \quad (20)$$

где:  $KK$  – уровень комплексного функционального качества объекта,  $ut$ ;

$Ц$  – рыночная цена или (и) на стадии проектирования удельная сметная стоимость объекта, отношение величины стоимости (рубль), к параметру основного свойства объекта (например, м, м<sup>2</sup>, м<sup>3</sup>, кг, шт. или др.).

В конкуренции нескольких аналогичных объектов на рынке товаров или при сравнении вариантов проектных решений, объект имеющий ранг инвестиционной привлекательности выше относительно других обладает у потребителя предпочтением при его выборе, а их параметры свойств и стоимость объекта должны быть приемлемы. Сравнить объекты рационально с близкими по величине и одинаковыми видами основных свойств. Ограничением в выборе объекта, имеющим наивысший ранг, может быть его абсолютная стоимость или другой безусловный основной параметр свойства объекта, которые не соответствуют запросу потребителя. В этом случае, выбирают объект отвечающим запросу потребителя, но возможно с меньшим рангом его конкурентоспособности.

Апробация методики

Некоторые положения представленной методики использованы при диагностике и оценке качеств объектов жилищ и конструкций зданий, а их результаты опубликованы в монографиях «Квалиметрия жилищ» [4] и «Квалиметрия конструкций жилых зданий» [5].

### Заключение

- Предлагаемые процедуры прикладной квалиметрии обеспечивают следующие достоинства методики оценки комплексного качества материальных объектов:
- количественная полезность, использованная как мера качества, позволяет дать ясную оценку степени удовлетворения человеческой потребности частных свойств объекта, и объекта в целом;
- нелинейная закономерность эволюции полезности в форме экспоненты квадратичной функции от параметра свойств объекта, правильнее отражает восприятие потребителем их полезность и повышает достоверность оценки функционального качества;
- достоверность полезности свойств и объективность весомостей простых и сложных качеств на всех уровнях «дерева свойств» обеспечивают валидность оценки комплексного функционального качества объекта;

- учёт комплексного функционального качества в оценке инвестиционной привлекательности объекта повышает обоснованность ранжирования конкурентоспособности нескольких аналогичных объектов на рынке товаров.

Предложенная прикладная методика комплексной оценки качества материальных объектов не является универсальной. Многообразии видов материальных объектов требуют индивидуальных подходов к их квалиметрии.

#### Список литературы:

1. Азгальдов Г. Г. Потребительная стоимость и ее измерение [Текст] / Г. Г. Азгальдов – М.: Экономика, 1971, - 167 с.
2. Азгальдов Г. Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии) [Текст] / Г. Г. Азгальдов – М.: Экономика, 1982. – 256 с.
3. Азгальдов Г. Г. и др. Квалиметрия для всех [Текст]: учебное пособие / Г. Г. Азгальдов, А. В. Костин, В. В. Садов. – М.: ИД «ИнформЗнание». – 2012. – 165 с.
4. Пылаев А. Я. Квалиметрия жилищ [Электронный ресурс]: монография / А. Я. Пылаев. – Ростов-на-Дону: «Пылаев Александр Яковлевич», 2021. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_47949716\\_74397408.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_47949716_74397408.pdf) (дата обращения 27.04.2022). – Текст: электронный.
5. Пылаев А. Я. Квалиметрия конструкций жилых зданий [Электронный ресурс]: монография / А. Я. Пылаев. – Ростов-на-Дону: «Пылаев Александр Яковлевич», 2021. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_47949718\\_78500802.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_47949718_78500802.pdf) (дата обращения 27.04.2022). – Текст: электронный.
6. Субетто А.И. Квалиметрия: малая энциклопедия [Текст] / А. И. Субетто. – Вып. 1. – СПб.: ИПЦ СЗИУ – фил. РАНХиГС, 2015. – 244 с.

#### References:

1. Azgaldov G. G. Use value and its measurement [Text] / G. G. Azgaldov – M.: Economics, 1971, - 167 p.
2. Azgaldov G. G. Theory and practice of assessing the quality of goods (fundamentals of qualimetry) [Text] / G. G. Azgaldov – M.: Ekonomika, 1982. – 256 p.
3. Azgaldov G. G. et al. Qualimetry for all [Text]: textbook / G. G. Azgaldov, A.V. Kostin, V. V. Sadov. – M.: Publishing house "InformZnanie". - 2012. – 165 p.
4. Pylaev A. Ya. Qualimetry of dwellings [Electronic resource]: monograph / A. Ya. Pylaev. – Rostov-on-Don: "Alexander Ya. Pylaev", 2021. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_47949716\\_74397408.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_47949716_74397408.pdf) (accessed 27.04.2022). - Text : electronic.
5. Pylaev A. Ya. Qualimetry of structures of residential buildings [Electronic resource]: monograph / A. Ya. Pylaev. – Rostov-on-Don: "Alexander Ya. Pylaev", 2021. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_47949718\\_78500802.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_47949718_78500802.pdf) (accessed 27.04.2022). - Text : electronic.
6. Subetto A.I. Qualimetry: a small encyclopedia [Text] / A. I. Subetto. – Issue 1. – St. Petersburg: CPI SZIU – phil. RANEPА, 2015. – 244 p.