УДК 658.516:006.063

Влияние вида средней взвешенной оценки на зависимость комплексного показателя качества от параметров объекта

Должанский А.М., Бондаренко О.А., Петлёваный Е.А.

*Национальная металлургическая академия Украины,
пр. Гагарина, 4, г. Днепр 49005, Украина*

*Поступила 27.10.2017
Принята к печати 28.11.2017*

Качество объектов обычно оценивают соответствующим комплексным показателем. Он формируется единичными показателями качества с их коэффициентами значимости. Свертку соответствующих зависимостей представляют средними взвешенными величинами: арифметической, геометрической, гармонической, квадратической и др. При этом заранее неизвестным является влияние вида свертки на уровень комплексного показателя качества, стабильность результатов расчета и достоверность сопоставления качества сходных объектов. Поэтому целью исследования являлась оценка влияния вида среднего взвешенного на уровень и стабильность результатов расчета комплексного показателя качества при сравнении различных объектов.

Для типичных частных объектов сопоставили рассчитанные значения комплексного показателя качества с использованием формул указанных средних взвешенных оценок. При этом учли значимости соответствующих единичных показателей качества, показатель неполноты описания объекта и влияние на объект управляющих факторов.

Результаты расчетов получили с применением планирования виртуального эксперимента. Они показали, что уровень и стабильность комплексного показателя качества существенно зависят от вида свертки. В результате выявили, что при выборе лучшего представителя из соответствующего класса объектов целесообразно пользоваться средней арифметической взвешенной оценкой.

Полученные данные могут служить основой при выборе вида среднего взвешенного при оценке качества разнообразных объектов и принятии решений о рациональных уровнях управляемых факторов.

Ключевые слова: квалиметрия, показатели качества объекта, средние взвешенные оценки.

DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-4-398-407

Адрес для переписки:
*Бондаренко О.А.
Национальная металлургическая академия Украины,
пр. Гагарина, 4, г. Днепр 49005, Украина
e-mail: sana105@i.ua*

Address for correspondence:
*Bondarenko O.A.
National Metallurgical Academy of Ukraine,
Gagarin Ave., 4, Dnepr 49005, Ukraine
e-mail: sana105@i.ua*

Для цитирования:
Должанский А.М., Бондаренко О.А., Петлёваный Е.А.
Влияние вида средней взвешенной оценки на зависимость комплексного показателя качества от параметров объекта.
Приборы и методы измерений.
2017. – Т. 8, № 4. С. 398–407
DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-4-398-407

For citation:
Dolzhanskiy A.M., Bondarenko O.A., Petlyovaniy Ye.A.
[Influence of the average weighted estimation type on the dependence of the complex quality index on the parameters of object].
Devices and Methods of Measurements.
2017, vol. 8, no. 4, pp. 398–407 (in Russian)
DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-4-398-407

Influence of the average weighted estimation type on the dependence of the complex quality index on the parameters of object

Dolzhanskiy A.M., Bondarenko O.A., Petlyovaniy Ye.A.

*National Metallurgical Academy of Ukraine,
Gagarin Ave., 4, Dnepr 49005, Ukraine*

*Received 27.10.2017
Accepted for publication 28.11.2017*

Abstract

Objects quality is usually assessed by a complex indicator. It includes single quality indicators with their significance factors. The convolution of the corresponding dependencies represents average weighted quantities: arithmetic, geometric, harmonic, quadratic, etc. At the same time, the influence of the convolution type on the level of the complex quality index, the stability of the calculation results and, the reliability of the quality comparison among a number of similar objects is unknown in advance. Therefore, the aim of the study was to assess the influence of the average weighted type on the level and stability of the calculating results of the complex quality index in different objects compressing.

For typical private objects compared the values of the complex quality index calculated according to the formulas of various average weighted estimates. Significance of the corresponding unit quality indicators, incompleteness of the object description and control factors influence on the object took into account.

The results of the research were got using the method of virtual experiment planning. They showed that the influencing parameters changes, the calculated levels and stability of the complex quality index essentially depend on the type of convolution. It was shown that under the priori uncertainty of the necessary convolution for the best representative choosing of the corresponding class of objects, the arithmetic average weighted estimate is the best for using.

The obtained data can serve as a basis for an informed choice of the type of average weighted in the quality assessment of various objects and decision-making on rational levels of controlled factors.

Keywords: qualimetry, quality indicators, average weighted assessment.

DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-4-398-407

Адрес для переписки:
*Бондаренко О.А.
Национальная металлургическая академия Украины,
пр. Гагарина, 4, г. Днепр 49005, Украина
e-mail: sana105@i.ua*

Address for correspondence:
*Bondarenko O.A.
National Metallurgical Academy of Ukraine,
Gagarin Ave., 4, Dnepr 49005, Ukraine
e-mail: sana105@i.ua*

Для цитирования:
Должанский А.М., Бондаренко О.А., Петлёваный Е.А.
Влияние вида средней взвешенной оценки на зависимость комплексного показателя качества от параметров объекта.
Приборы и методы измерений.
2017. – Т. 8, № 4. С. 398–407
DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-4-398-407

For citation:
Dolzhanskiy A.M., Bondarenko O.A., Petlyovaniy Ye.A.
[Influence of the average weighted estimation type on the dependence of the complex quality index on the parameters of object].
Devices and Methods of Measurements.
2017, vol. 8, no. 4, pp. 399–408 (in Russian)
DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-4-398-407

Введение

Количественную оценку качества продукции, процессов и систем обычно осуществляют с помощью единичных показателей качества с их коэффициентами значимости и комплексного показателя качества. Определение последнего при необходимости сопоставительного оценивания качественных характеристик объектов обычно сводится к расчету одной из средневзвешенных оценок: арифметической, гармонической, геометрической, квадратической и др. [1].

При этом часто априори не удается обосновать выбор вида среднего взвешенного, который в пределах определенной системы экспертного оценивания содержит существенную субъективную составляющую, как по номенклатуре единичных показателей качества, так и по их значимости. Поэтому может снизиться достоверность определения качества объектов не только из-за рассчитанного уровня индивидуальных значений комплексного показателя качества сравниваемых объектов, но и из-за стабильности результатов расчетов.

Сложность общего решения задачи неизмеримо увеличивается в связи с неопределенностью функциональных связей между единичными показателями качества и управляемыми факторами, а также возможным наличием взаимных связей между последними, что сопровождается проявлением нелинейности.

Вследствие этого общее решение задачи становится необозримо громоздким. Поэтому для анализа поведения подобных сложных систем применяют методы планирования виртуального (расчетного) эксперимента, например по ортогональным латинским квадратам [2], а обобщение решения может быть реализовано для классов типовых взаимосвязей (полиномиальных, степенных и др.) [3, 4].

Указанные особенности не нашли необходимого отражения в соответствующих исследованиях и методологии оценки качества объектов, что не позволяло определить рациональный уровень воздействий на технические, технологические и организационные параметры, которые в управляемом режиме и с учетом определенных ограничений должны обеспечить максимальное качество и соответствующую максимизацию комплексного показателя качества объекта.

Поэтому целью исследования являлась оценка влияния вида среднего взвешенного на уровень и стабильность результатов расчета комплексного показателя качества при сравнении объектов, представленных типичными аналитическими моделями в зависимости от факторов, которые характеризуют эти объекты.

Основная часть

При количественном оценивании объектов (систем, процессов, продукции и/или услуги) при решении задач, связанных с выбором лучшего представителя из аналогичного ряда, использовали комплексный показатель качества вида:

$$Q = f(y_1, y_2 ... y_i ... y_n; k_1, k_2, ... k_n; n), \quad (1)$$

который формируется совокупностью n единичных показателей качества yi ($1 \le i \le n$) с их коэффициентами значимости k_i. При этом:

$$\sum_1^n k_i = k_1 + k_2 + ... + k_n + u \equiv 1, \quad (2)$$

где u – показатель неполноты представления качества продукции, а вид функционала f определяется как форма одного из известных средних взвешенных: арифметическое, геометрическое, гармоническое, квадратическое или др. [5].

Перечень характерных y_i и соответствующие значения k_i могут быть определены, в частности, экспертными методами с учетом запросов потребителей (заказчиков), содержания нормативных документов (ДСТУ, ТУ, *ISO* и др.) и возможностей производителей. Общим требованием при этом является обеспечение возрастающей связи между y_i и Q. Желательным также является нормирование всех величин с их представлением в диапазоне 0–1.

Для решения поставленной задачи при комплексной оценке качества объекта использовали:

– величину среднего арифметического взвешенного:

$$Q_{arith} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n k_i}, \quad (3)$$

часто применяемого из-за простоты расчетов, а также в связи с его формально линейной зависимостью от единичных показателей качества y_i. Использование является целесообразным, когда все y_i имеют одинаковую размерность, мало отличаются друг от друга и характеризуются существенно разными коэффициентами значимости k_i;

– величину среднего геометрического взвешенного:

$$Q_{geom.} = \left(\prod_{i=1}^{n} y_i^{k_i} \right)^{1/\sum_{i=1}^{n} k_i}, \tag{4}$$

обычно применяемого в случаях, когда результат оценивания формируется как произведение составляющих, которые концентрируются в окрестности некоторого их среднего значения. Целесообразность использования Q_{geom} может быть обусловлена также тем, что соответствующая свертка (4) в силу специфики объекта должна приравнивать его комплексную оценку качества нулю, если какой-либо из $y_i = 0$;

– величину среднего гармонического взвешенного:

$$Q_{harm.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{k_i}{y_i}}, \tag{5}$$

которое занимает промежуточное положение между представленными выражениями (3) и (4). Эта характеристика, как и среднее геометрическое взвешенное, учитывает рассеивание единичных показателей в окрестности их среднего значения, и как среднее арифметическое взвешенное – возрастающие связи величин и является довольно простой при расчетах;

– величину среднего квадратического взвешенного:

$$Q_{quadr.} = \sqrt[n]{\frac{\sum_{i=1}^{n} k_i \cdot y_i^2}{\sum_{i=1}^{n} k_i}}, \tag{6}$$

которая также достаточно часто применяется при комплексном оценивании объектов, в частности в статистических расчетах.

Весьма важным с точки зрения управления процессами максимизации качества объекта является то, что, согласно данным работы [6], единичные показатели качества y_i могут быть представлены соответствующими функциями вида:

$$y_i = \varphi(x_1, x_2, ..., x_j, m), \tag{7}$$

а функционал (1) – соответствующей формулой:

$$Q = f(x_{11}, x_{12}, ..., x_{nm}; m; k_1, k_2, ..., k_n; n), \tag{8}$$

где x_j – технические и/или технологические, и/или организационные «внешние» управляющие факторы при реализации объекта ($1 \le j \le m$).

В результате появляется общая задача поиска необходимого уровня множества m факторов x_j, которые обеспечивают достоверный максимум Q_{max}, минуя явный учет значений y_i.

Поскольку общее решение задачи неосуществимо, оценку влияния вида среднего взвешенного на комплексный показатель качества, а также на выбор рациональных уровней x_j, при которых Q принимает наибольшие возможные значения, выполнили для типичных примеров.

При этом формулы (3)–(6) с учетом равенства (2) представили в виде:

$$Q_{arith.} = \sum_{i=1}^{n-1} (k_i \cdot y_i) + \bar{k} \cdot y_n; \tag{9}$$

$$Q_{geom.} = (\prod_{i=1}^{n-1} y_i^{k_i}) \cdot y_n^{\bar{k}}; \tag{10}$$

$$Q_{harm.} = \frac{1}{(\sum_{i=1}^{n-1} k_i / y_i) + \bar{k} / y_n}; \tag{11}$$

$$Q_{quadr.} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (k_i \cdot y_i^2) + \bar{k} \cdot y_n^2}, \tag{12}$$

где коэффициент значимости при наименее важном y_n согласно (2) равняется:

$$\bar{k} = 1 - \sum_{i=1}^{n-1} k_i - u. \tag{13}$$

Зависимости вида (7) для каждого конкретного случая могут быть найдены в ходе специальных исследований, например теоретически или путем экспериментального изучения соответствующих объектов с последующей аналитической аппроксимацией полученных результатов.

Поскольку в рамках достижения поставленной цели конкретизация объекта оценивания особого значения не имеет, для обобщения результатов анализа выбрали два типичных частных примера аналитических связей вида (7), которые ранее были отражены в работе [7]:

– изготовление стальной проволоки волочением;

– производство ферросиликомарганца.

На первом этапе для описания качества процесса волочения использовали нормированные зависимости вида полиномов, которые отражают [7]:

– теоретическую относительную энергоэффективность процесса:

$$y_1 = U = \frac{0,667 \cdot \alpha}{(1 + \frac{0,08}{\alpha}) \cdot \varepsilon + 0,667 \cdot \alpha}; \tag{14}$$

– экспериментально найденный предел прочности проволоки, отнесенный к его максимальному значению (750 МПа):

$$y_2 = S = 0,508 + 0,514 \cdot \varepsilon^{0.643} + 0,14 \cdot \alpha^{1,237}; \tag{15}$$

– экспериментально найденное относительное удлинение готовой проволоки, нормированное на его максимальное значение (50 %):

$$y_3 = \Delta = \frac{1}{-2,786 + 9,53 \cdot \varepsilon^{0,542} + 5,01 \cdot \alpha^{0,4827}}, \tag{16}$$

где $0,05 \le x_1 = \varepsilon \le 0,45$ – степень деформации металла (технологический фактор); $0,05 \le x_2 = \alpha \le 0,45$ – половина угла конусности волоки (технический фактор).

Также приняли, что коэффициенты значимости x_3 и x_4 при единичных показателях качества $y_1 = U$ и $y_2 = S$ соответственно находятся в диапазонах изменения: $0,15 \le x_3 = k_1 \le 0,39$, $0,15 \le x_4 = k_2 \le 0,39$. При этом показатель неполноты описания объекта $0 \le x_5 = u \le 0,1$. Тогда из равенства (13) можно определить коэффициент значимости $\bar{k}$ наименее важного (в рамках конкретной задачи) единичного показателя качества: в данном случае приняли, что это – $y_3 = \Delta$ (16).

Использование выражений (9)–(16) позволяет для указанных диапазонов изменения пяти x_j определить значения Q и оценить влияние на последний параметр видов среднего взвешенного. Практично же такой анализ затруднителен, поскольку он требует рассмотрения многомерной (в данном случае 5-мерной) зависимости.

Для разрешения такой ситуации провели виртуальный (расчетный) эксперимент по плану ортогонального латинского квадрата. Порядок квадрата при этом выбрали равным количеству $j = 5$ влияющих факторов x_j [7]. Соответствующим образом определили и количество уровней изменения этих факторов в принятом диапазоне: $x_1 = \varepsilon$ от 0,05 до 0,45 с шагом 0,10; $x_2 = \alpha$ от 0,05 до 0,45 с шагом 0,10; $x_3 = k_1$ от 0,15 до 0,39 с шагом 0,06; $x_4 = k_2$ от 0,15 до 0,39 с шагом 0,06; $x_5 = u$ от 0 до 0,10 с шагом 0,025. Результаты расчетов Q_w отразили в матрице на рисунке 1.

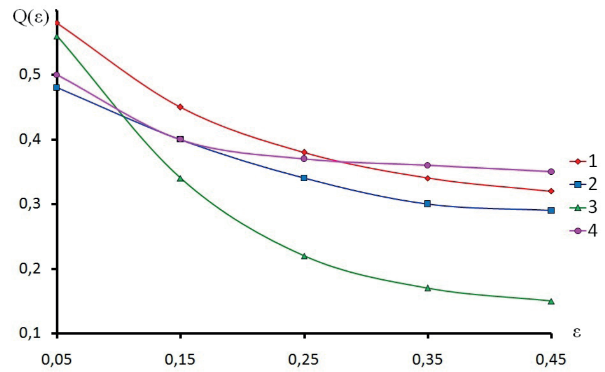
0,623; 0,703; 0,735; 0,673/1	0,506; 0,482; 0,458; 0,529/2	0,374; 0,352; 0,317; 0,422/3	0,334; 0,292; 0,240; 0,430/4	0,324; 0,227; 0,101; 0,450/5
0,469; 0,469; 0,431; 0,518/6	0,306; 0,167; 0,080; 0,429/7	0,537; 0,576; 0,566; 0,587/8	0,401; 0,302; 0,245; 0,506/9	0,291; 0,327; 0,298; 0,354/10
0,397; 0,311; 0,253; 0,484/11	0,252; 0,234; 0,198; 0,353/12	0,426; 0,482; 0,465; 0,477/13	0,386; 0,248; 0,124; 0,485/14	0,605; 0,636; 0,637; 0,637/15
0,282; 0,244; 0,216; 0,369/16	0,338; 0,359; 0,315; 0,415/17	0,402; 0,281; 0,129; 0,508/18	0,623; 0,680; 0,698; 0,664/19	0,504; 0,452; 0,399; 0,547/20
0,283; 0,204; 0,108; 0,387/21	0,549; 0,569; 0,557; 0,588/22	0,340; 0,245; 0,196; 0,452/23	0,387; 0,436; 0,409; 0,440/24	0,434; 0,367; 0,302; 0,523/25

Рисунок 1 – Матрица расчетных значений Q_w последовательно по формулам (9); (10); (11) и (12) для соответствующих w-ячеек (номер под косой чертой)

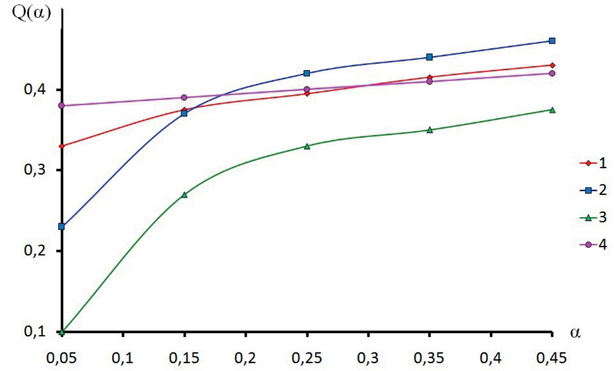
Figure 1 – The matrix of the calculated values Q_w successively by formulas (9); (10); (11) and (12) for the corresponding w-cells (number under the slash)

После логарифмирования значений Q_w для всех ячеек рисунка 1, усреднения логарифмов для каждого уровня каждой из указанных независимых переменных x_j, потенцирования полученного среднего значения (согласно [8]) получили частные зависимости Q_g от каждой переменной (рисунок 2).

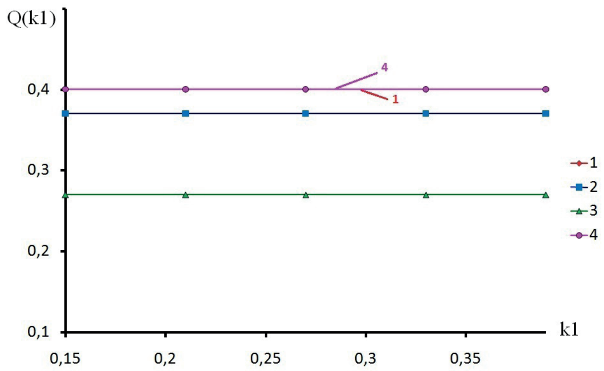
Каждая частная зависимость отражает качественную связь Q_g с соответствующей переменной, а количественная связь определяется од-



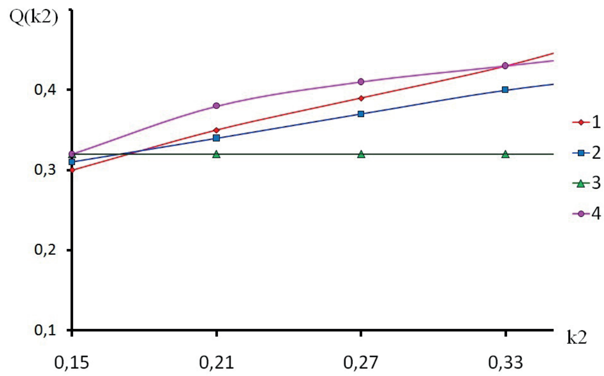
a



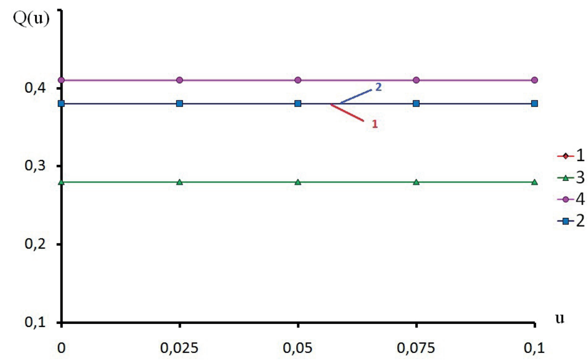
b



c



d



e

Рисунок 2 – Частные зависимости Q_g комплексного показателя качества процесса волочения от независимых факторов: *a* – $Q(\varepsilon)$; *b* – $Q(\alpha)$; *c* – $Q(k_1)$; *d* – $Q(k_2)$; *e* – $Q(u)$; при расчете по формулам: красная линия – (9); синяя – (10); зеленая – (11); розовая – (12)

Figure 2 – Particular dependencies Q_g of the quality complex index while drawing process on independent factors: *a* – $Q(\varepsilon)$; *b* – $Q(\alpha)$; *c* – $Q(k_1)$; *d* – $Q(k_2)$; *e* – $Q(u)$; by formulas: red line – (9); blue – (10); green – (11); pink – (12)

новременно всеми представленными частными зависимостями согласно выражению [9–11]:

$$Q = N \cdot \prod_{g=1}^{G} Q_g, \tag{17}$$

где Q_g – ординаты на графиках рисунка 2 для выбранных значений аргументов, а нормирующий коэффициент N находили по формуле:

$$N = \frac{\sum_{w=1}^{W} N(w)}{w}, \tag{18}$$

для которого значения N_w для каждой w-й ячейки квадрата определяли с учетом трендов линий на рисунке 2 и вычисляются по выражению:

$$N_w = \frac{Q_w}{\prod_{g=1}^{G} Q_{w(g)}}. \tag{19}$$

В качестве общего для всех результатов расчетов выбрали $N = 47{,}34$, полученное для среднего арифметического взвешенного. Остальные результаты привели к этому же значению путем коррекции соответствующих уровней расположения линий на рисунке 2.

Набор значений N_w позволил с учетом средней величины N оценить точность такой обработки данных путем вычисления их среднего квадратического отклонения (точнее, «стандарта отклонения») [10]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{w=1}^{W} (N - N_w)^2}{W - 1}} \tag{20}$$

и соответствующего коэффициента вариации:

$$\delta_b = \frac{\sigma}{N}. \tag{21}$$

Для вероятности p = 0,95 ориентировочно приняли, что относительная ошибка представленной обработки данных:

$$\delta \approx 2 \cdot \delta_b. \tag{22}$$

В рассмотренном примере при использовании формулы (9) коэффициент вариации составил $\delta_b(9) \approx 0{,}11$; для формулы (10) $\delta_b(10) \approx 0{,}17$; для формулы (11) $\delta_b(11) \approx 0{,}21$; для формулы (12) $\delta_b(12) \approx 0{,}07$.

Далее аналогичный анализ провели при расчете значений комплексного показателя качества процесса изготовления ферросиликомарганца с использованием функций вида (7) в форме произведения безразмерных параметров, нормированных к диапазону $0 \le y_i \le 1$, со степенями [7]:

$$y_1 = \eta = 0{,}90 \cdot I^{0{,}436} \cdot R^{-0{,}005} \cdot t^{0{,}453}; \tag{23}$$

$$y_2 = E = 0{,}82 \cdot I^{-0{,}019} \cdot R^{0{,}132} \cdot t^{-0{,}093}; \tag{24}$$

$$y_3 = P = 0{,}80 \cdot I^{1{,}852} \cdot R^{0{,}959} \cdot t^{-0{,}049}, \tag{25}$$

где η – интенсивность извлечения марганца; E – удельная экономия электроэнергии; P – производительность, зависящие от силы тока $0{,}45 \le x_1 = I \le 1$, активного электрического сопротивления $0{,}25 \le x_2 = R \le 1$ и времени $0{,}12 \le x_3 = t \le 1$ продолжительности процесса. При этом приняли коэффициенты значимости: $0{,}35 \le x_4 = k_1 \le 0{,}50$; $0{,}23 \le x_5 = k_2 \le 0{,}50$ при η и E соответственно, а также $0{,}04 \le x_6 = u \le 0{,}10$ – показатель неполноты представления качества процесса, который согласно выражению (13) определит коэффициент значимости $\bar{k}$ наименее важного (в рамках конкретной задачи) единичного показателя качества (в данном случае приняли, что это – $y_3 = P$).

Для анализа влияния указанных шести независимых переменных на Q провели расчеты по плану одного из известных ортогональных латинских квадратов 7-го порядка [7]. Уровни указанных переменных, для которых проводили определение значений комплексного показателя качества по формулам (9)–(13) и (23)–(25), равны: $x_1 = I$ от 0,45 до 1,00 с шагом 0,10; $x_2 = R$ от 0,25 до 1,00 с шагом 0,13; $x_3 = t$ от 0,12 до 1,00 с шагом 0,15; $x_4 = k_1$ от 0,35 до 0,50 с шагом 0,025; $x_5 = k_2$ от 0,23 до 0,35 с шагом 0,02; $x_6 = u$ от 0,04 до 0,10 с шагом 0,01, а результаты расчетов Q_w для каждой w-й ячейки квадрата представлены на рисунке 3.

0,300; 0,193; 0,114; 0,431/1	0,387; 0,327; 0,239; 0,479/2	0,471; 0,456; 0,389;0,538/3	0,558; 0,586; 0,560;0,607/4	0,641; 0,702; 0,720; 0,680/5	0,714; 0,799; 0,854; 0,751/6	0,777; 0,875; 0,957; 0,820/7
0,521; 0,554; 0,474; 0,585/8	0,612; 0,609; 0,560; 0,651/9	0,626; 0,642; 0,620; 0,665/10	0,658; 0,696; 0,701;0,896/11	0,607; 0,607; 0,560;0,685/12	0,476; 0,499; 0,460;0,533/13	0,441; 0,413; 0,270; 0,524/14
0,574; 0,605; 0,558;0,638/15	0,510; 0,527; 0,481; 0,613/16	0,622; 0,628; 0,513; 0,667/17	0,549; 0,548; 0,487; 0,592/18	0,580; 0,605; 0,583;0,621/19	0,486; 0,456; 0,320;0,552/20	0,491; 0,474; 0,379;0,569/21
0,565; 0,618; 0,625;0,611/22	0,536; 0,562; 0,480; 0,591/23	0,547; 0,589; 0,549;0,611/24	0,738; 0,775; 0,797;0,754/25	0,539; 0,480; 0,341;0,606/26	0,526; 0,518; 0,462; 0,598/27	0,478; 0,498; 0,475; 0,545/28
0,605; 0,517; 0,552;0,660/29	0,632; 0,665; 0,639; 0,693/30	0,510; 0,542; 0,516; 0,585/31	0,433; 0,439; 0,368;0,532/32	0,530; 0,517; 0,476;0,588/33	0,574; 0,586; 0,564; 0,622/34	0,516; 0,469; 0,336;0,584/35
0,570; 0,599; 0,594;0,615/36	0,652; 0,710; 0,735; 0,686/37	0,518; 0,512; 0,426; 0,597/38	0,510; 0,542; 0,504;0,574/39	0,490; 0,459; 0,296;0,573/40	0,593; 0,544; 0,435; 0,655/41	0,474; 0,456; 0,417; 0,556/42
0,736; 0,784; 0,813; 0,756/43	0,546; 0,533; 0,456;0,609/44	0,553; 0,505; 0,306; 0,615/45	0,449; 0,433; 0,369; 0,550/46	0,501; 0,526; 0,482;0,576/47	0,510; 0,574; 0,573; 0,564/48	0,637; 0,665; 0,570; 0,661/49

Рисунок 3 – Матрица расчетных значений Q_w последовательно для соответствующих w-ячеек квадрата по формулам (9)–(11) и (12) (номер под косой чертой)

Figure 3 – The matrix of the calculated values Q_w successively by formulas (9)–(11) and (12) for the corresponding w-cells (number under the slash)

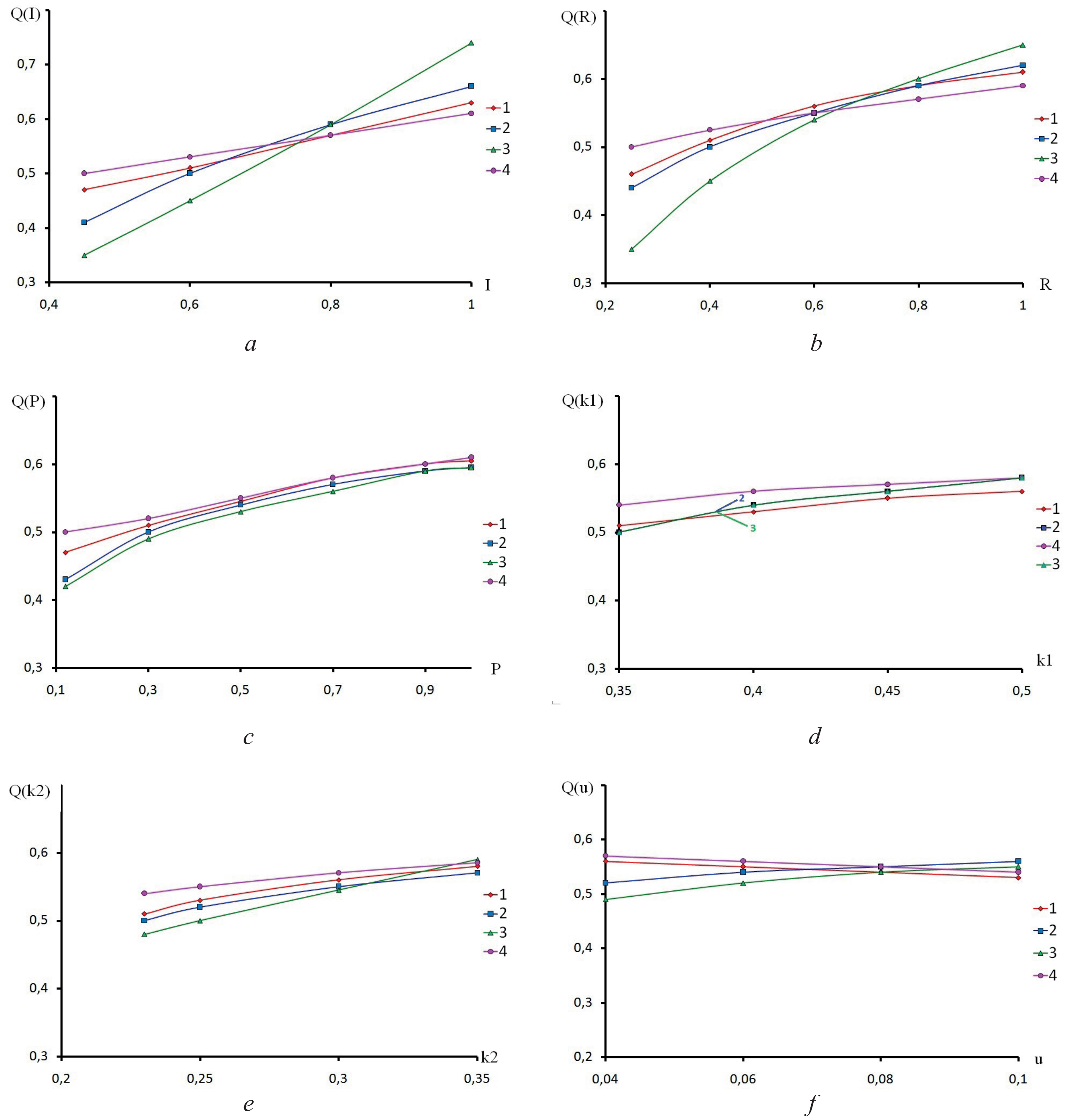


Рисунок 4 – Частные зависимости комплексного показателя качества Q_g процесса производства ферросиликомарганца от независимых факторов: *a* – $Q(I)$; *b* – $Q(R)$; *c* – $Q(P)$; *d* – $Q(k_1)$; *e* – $Q(k_2)$; *f* – $Q(u)$; при расчете по формулам: красная линия – (9); синяя – (10); зеленая – (11); розовая – (12)

Figure 4 – Particular dependences of the quality complex index Q_g while ferro-silicate-manganese production on independent factors: *a* – $Q(I)$; *b* – $Q(R)$; *c* – $Q(P)$; *d* – $Q(k_1)$; *e* – $Q(k_2)$; *f* – $Q(u)$; by formulas: red line – (9); blue – (10); green – (11); pink – (12)

После обработки значений Q_w, алгоритм которой описан выше, результат представили в виде (17), где N = 21,18, а частные зависимости Q_g от каждой переменной отражены на рисунке 3.

В этом примере при использовании формулы (9) коэффициент вариации составил $\delta_b(9) \approx 0{,}05$; для формулы (10) – $\delta_b(10) \approx 0{,}06$; для формулы (11) – $\delta_b(11) \approx 0{,}077$, для формулы (12) – $\delta_b(12) \approx 0{,}09$. Наибольшее влияние на изменение Q оказывали вариации x_j при использовании среднего гармонического взвешенного по формуле (11), а наименьшее – при среднем квадратическом взвешенном по формуле (12).

Анализ полученных данных показал, что при использовании любого из рассмотренных средних взвешенных для определения комплексного показателя качества и представлении зависимостей единичных показателей качества от определяющих факторов в виде полинома или произведения степенных функций, влияние всех независимых параметров на Q качественно примерно одинаковое. Это позволяет утверждать, что при сопоставительной оценке подобных объектов и при сохранении перечня x_j ряд приоритетов сохранится. Однако количественно уровень Q при одинаковых значениях определяющих факторов может изменяться до 4 и более раз в зависимости от выбранного вида среднего взвешенного, что обуславливает необходимость сопоставительной оценки в рамках одинакового среднего взвешенного.

Наибольшее влияние на изменение Q при наименьшей стабильности результатов расчета имели место в случае определения среднего гармонического взвешенного по формуле (11).

Наименьшее влияние указанных факторов на уровень Q зафиксировано при использовании среднего квадратического взвешенного по формуле (12).

Использование выражения (9) сопровождалось приемлемой точностью представления результатов обработки во всех рассмотренных случаях и было достаточно «чувствительным» к изменению всех независимых переменных (см. рисунки 3 и 4).

Следует также обратить внимание на заметное повышение стабильности (уменьшении уровня коэффициента вариации) при увеличении количества факторов, влияющих на комплексный показатель качества объекта.

Заключение

Поскольку решение о выборе лучшего объекта из ряда ему подобных определяется сопоставлением соответствующих значений комплексного показателя качества Q, при выборе рационального вида среднего взвешенного следует, прежде всего, руководствоваться чувствительностью этого параметра к изменению влияющих факторов и стабильностью представления данных анализа. С этой точки зрения для рассмотренных моделей объектов оценки наиболее приемлемым можно принять использование среднего арифметического взвешенного.

Таким образом, путем обобщенного рассмотрения типичных частных случаев формирования комплексного показателя качества объекта с помощью различных средних взвешенных оценок (сверток) при учете значимости соответствующих единичных показателей качества, показателя неполноты описания объекта и влияния на объект существенных технических и/или технологических, и/или организационных факторов процесса показано, что в рамках реального диапазона изменения влияющих параметров расчетные уровни комплексного показателя качества и его стабильность существенно зависят от вида свертки на основе средних взвешенных величин. В условиях априорной неопределенности вида такой свертки при выборе лучшего представителя из соответствующего класса целесообразно пользоваться средней арифметической взвешенной оценкой комплексного показателя качества объекта.

Перспективным направлением исследований является введение в рассмотрение дополнительных единичных показателей качества, например, ответственных за безопасность процессов, а также расширение перечня исходных факторов, влияющих на процесс.

Полученные данные могут послужить основой для обоснованного выбора вида среднего взвешенного при оценке качества разнообразных объектов и принятии решений о рациональных уровнях управляющих факторов, обеспечивающих удовлетворение требований потребителей.

Список использованных источников

1. *Azgaldov, G.* Applied Qualimetry: Its Origins, Errors and Misconceptions / G. Azgaldov, A. Kostin // Benchmarking: Int'l J. – 2011. – Vol. 3. – P. 428–444. **doi**: 10.1108/14635771111137796

2. *Засименко, В.М.* Основи теорії планування експерименту / В.М. Засименко. – Львів : Вид. Національного університету «Львівська політехніка», 2000. – 205 с.

3. *Ando, T.* Geometric means / T. Ando, C. Li, R. Mathias // Linear Algebra and its Applications, 2004. – Vol. 385. – P. 305–334. **doi**: 10.1016/j.laa.2003.11.019

4. *Bini, D.* A note on computing matrix geometric means / D. Bini, B. Iannazzo // Advances in Computational Mathematics. – 2011. – Vol. 35. – P. 175–192. **doi**: 10.1007/s10444-010-9165-0

5. *Morganstein, D.* Continuous Quality Improvement in Statistical Agencies / D. Morganstein, D. Marker // Measurement and Process Quality. – New York : Wiley, 1997. – P. 475–500.

6. *Должанский, А.М.* Теоретические основы усовершенствованного метода оптимизации управляючих воздействий на объекты / А. Должанский, О. Бондаренко, В. Гладких // Інформаційне забезпечення систем прийняття рішень в економіці, техніці та організаційних сферах : колективна монографія. – Донецьк : ЛАНДОН-XXI, 2013. – С. 329–353. ISBN 978-617-7049-71-4

7. *Должанский, А.М.* Максимизация комплексного показателя качества объекта путем его квалиметрической оценки / А.М. Должанский [и др.] // Методы менеджмента качества. – 2013. – № 7. – С. 5–9.

8. *Szutkowska, J.* Zarządzanie jakością w statystyce publicznej: standardy, metody, modele i narzędzia / J. Szutkowska // Wiadomości Statystyczne. – 2012. – Nr. 11. – P. 38–51.

9. *Sohal, A.* TQM in Australian manufacturing: factors critical to success / A. Sohal, M. Terzivski // International Journal of Quality & Reliability Management. – 2000. – Vol. 17 (2). – P. 158–167. **doi**: 10.1108/02656710010304564

10. *Chong, V.K.* Total quality management, market competition and organizational performance / V.K. Chong, V. Rundus // British Accounting Review. – 2004. – Vol. 36. – P. 155–172. **doi**: 10.1016/j.bar.2003.10.006

11. *Palfia, M.* A multivariable extension of two-variable matrix means / M. Palfia // SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications. – 2011. – Vol. 32 (2). – P. 385–393. (IF'10:2.411)

References

1. Azgaldov G., Kostin A. Applied Qualimetry: Its Origins, Errors and Misconceptions. *Benchmarking, Int'l J.*, 2011, vol. 3, pp. 428–444. **doi**: 10.1108/14635771111137796

2. Zasimenko V.M. *Osnovi teorії planuvannya eksperimentu* [Fundamentals of the theory of experiment planning], Publishing house of Lviv Polytechnic National University, 2000, 205 p. (in Ukraine).

3. Ando T., Li C., Mathias R. Geometric means. *Linear Algebra and its Applications*, 2004, vol. 385, pp. 305–334. **doi**: 10.1016/j.laa.2003.11.019

4. Bini D., Iannazzo B. A note on computing matrix geometric means. *Advances in Computational Mathematics*, 2011, vol. 35, pp. 175–192. **doi**: 10.1007/s10444-010-9165-0

5. Morganstein D., Marker D. Continuous Quality Improvement in Statistical Agencies. *Measurement and Process Quality*, New York, Wiley, 1997, pp. 475–500.

6. Dolzhanskiy A.M., Bondarenko O.A., Gladkikh O.B. [Theoretical bases of the advanced method of optimizing control effects on objects]. *Information support of decision-making systems in economics, technology and organizational spheres: collective monograph*, Donetsk, «LANDON-XXI» Publishing, 2013, 592 p. (in Ukraine).

7. Dolzhanskiy A.M., Bondarenko O.A., Gladkikh B.A, Kuzmenko C.H. [Maximization of the complex index of the quality of the object by its qualitic estimation]. *Metodi menedjmenta katchestva* [Methods of quality management]. 2013, vol. 7, pp. 5–9 (in Russian).

8. Szutkowska J. [Quality management in state statistics: standards, methods, models and tools]. *Wiadomości Statystyczne*, 2012, no. 11, pp. 38–51 (in Polish).

9. Sohal A., Terzivski M. TQM in Australian manufacturing: factors critical to success. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2000, vol. 17 (2), pp. 158–167. **doi**: 10.1108/02656710010304564

10. Chong V.K., Rundus V. Total quality management, market competition and organizational performance. *British Accounting Review*, 2004, vol. 36, pp. 155–172. **doi**: 10.1016/j.bar.2003.10.006

11. Palfia M. A multivariable extension of two-variable matrix means. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 2011, vol. 32 (2), pp. 385–393. (IF'10:2.411)