

**Избор на комплексен показател за количествена оценка  
на нивото на дигитализация**

Петър Антонов

**Selection of a complex indicator for quantitative assessment  
of the level of digitalization**

Peter Antonov

**Abstract:**

Successful digitalization in various spheres, including the sphere of education, is connected with the solution of a number of essential problems, one of which is the problem of a complex quantitative assessment of the reached level of digitization. It is obvious that such an assessment requires the development of a system of indicators, which in turn can be divided into single and complex (group and generalized) and the justification of functional dependence for their connection. However, due to the inevitable heterogeneity of the indicators, this functional dependence cannot be derived in an explicit meaningful form, which is why the use of averaged indicators is necessary for a complex quantitative assessment. In this regard, the present report conducts a comparative analysis of the known averaged complex indicators and substantiates a conclusion about the expediency of using for a complex quantitative assessment of the level of digitalization of the known averaged geometric indicator.

**Keywords:** digitalization, level of digitalization, complex indicator.

**For contacts:** Peter Antonov, Nikola Vaptsarov Naval Academy, antonovp@ieee.bg

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Успешната дигитална трансформация в различните сфери, в това число и в сферата на образованието, е свързана с решаването на редица съществени проблеми, един от които е и проблема за комплексни количествени оценки на достигнатото ниво (степен) на дигитализация на отделните образователни институции. Очевидно е, че за получаването на такива оценки е необходимо разработването на система от множество показатели за качество, характеризиращи възможно най-обхватно отделните страни на сложния процес на дигитализация. От своя страна, тези качествени показатели могат да бъдат класифицирани на единични и комплексни. Единичният показател ще се отнася само към една характеристика на нивото на дигитализация и трябва да е числена величина, която е свързана с това ниво чрез строго монотонна зависимост с положителен или отрицателен инградиент. Комплексните показатели, от своя страна, могат да се разделят на групови и обобщени, като груповите показатели ще отчитат само по няколко характеристики, а обобщените - всички анализирани характеристики на нивото на дигитализация. Очевидно е, че естественият стремеж към едновременно отчитане на множеството различни показатели води до необходимостта от комплексна оценка, т.е. до използването на комплексни качествени показатели.

В общия случай, комплексният показател за нивото (степента) на дигитализация  $Q$  може да се представи като функция от единичните показатели  $X_i$  ( $i=1 \div N$ ), т.е.

$$Q = F(X_1, X_2, \dots, X_1, \dots, X_N). \quad (1)$$

Следва да се отбележи, обаче, че поради неизбежната разнотипност на отделните единични показатели посочената функционална зависимост  $F$  няма да може да бъде изведена в явен вид на основата на математически модел с физически смисъл. Затова на практика ще се наложи да се използват така наречените усреднени комплексни показатели, които са известни от квалиметрията и се изчисляват на основата на избраните единични показатели по една от следните математически зависимости, определящи, съответно, квадратичния ( $K_K$ ), аритметичния ( $K_A$ ), геометричния ( $K_G$ ) и хармоничния ( $K_H$ ) усреднени комплексни показате-ли [1,2,6 и др.]:

$$K_K = \frac{\left( \sum_{i=1}^N b_i d_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{\sum_{i=1}^N b_i}, \quad K_A = \frac{\sum_{i=1}^N b_i d_i}{\sum_{i=1}^N b_i}, \quad K_G = \left( \prod_{i=1}^N d_i^{b_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^N b_i}}, \quad K_H = \frac{\sum_{i=1}^N b_i}{\sum_{i=1}^N \left( \frac{b_i}{d_i} \right)}, \quad (2)$$

където  $d_i$  - нормирани оценки на единичните показатели, т.е.  $0 < [d_i = f(X_i)] \leq 1$ , а  $b_i$  - съответ-ните коефициенти за тежест (значимост) - тегловни коефициенти, които най-често се опре-делят с помощта на методите на експертните оценки.

Горните формули (2) могат да бъдат изведени от съотношение (1), след разлагане в ред на Тейлор и прости преобразования. Те се използват широко в квалиметрията и се явяват математически интерпретации на модела на справедливия компромис при векторните опти-мизационни задачи. Независимо от това, че основните постижения на квалиметрията са свър-зани с оценката на качеството на промишлената продукция, те могат да се използват с успех при оптимизацията на сложни системи и при оценка на тяхното качество [2,5,8 и др.], както и за други приложения. Например, в [3,4 и 9] от автора са представени подходи за използване на усреднените комплексни показатели за оценка на качеството на учебните планове във висше-то образование.

Независимо от общия произход, обаче, посочените усреднени показатели в съотно-шения (2) чувствително се различават и се характеризират с различни свойства. Поради това, изборът на показател за конкретно приложение трябва да става след обстоен анализ, с отчи-тане на специфичните условия. В тази връзка, в последващото изложение на настоящия док-лад се провежда сравнителен анализ на усреднените комплексни показатели и се обосновава избор на оптимален от тях за количествена оценка на нивото на дигитализация.

## **ИЗЛОЖЕНИЕ**

За провеждане на сравнителния анализ на известните усреднени комплексни показатели по-долу се използват формулирани необходими условия, на които е целесъобразно тези пока-затели да отговарят.

В [6] е проведен сравнителен анализ на аритметичния, хармоничния и геометричния показатели с отчитане на въведените условия: монотонност, състоятелност, нормираност и сравнимост, при което се отдава предпочитание на геометричния показател (следва да се отбележи, обаче, че този извод е правдив само при линейна функционална зависимост  $f(X_i)$ , а при нелинейна такава посочените условия не позволяват да се отдаде предпочитание на нито един от анализираните три усреднени показатели [7]). Поради това, в [1 и 7] с участието

на автора са въведени и използвани две допълнителни и съществени условия: максимална чувствителност към влошаване на единичните показатели и минимална чувствителност към грешките при тяхното определяне, като е направено сравнение на всичките 4 усреднени показателни. Заключителните изводи са следните:

а) усреднените аритметичен и геометричен показатели осигуряват компромисно изпълнение на въведените условия за максимална чувствителност към влошаване на единичните показатели и минимална чувствителност към грешките при оценяването им;

б) при нелинейна функционална зависимост  $f(X_i)$  е целесъобразна употребата на усреднения аритметичен показател, който е по-опростен и удобен за практиката в сравнение с геометричния показател;

в) при линейна функционална зависимост  $f(X_i)$  е целесъобразно използването на усреднения геометричен показател, който при това отговаря и на въведените в [6] условия.

От горните изводи следва, че за комплексна количествена оценка, в частност и на нивото (степеннта) на дигитализация, е целесъобразно използването на усреднения геометричен показател. Неговото приложение е целесъобразно и за оптимален избор на варианти на сложни системи в процеса на тяхното проектиране. Такъв избор се осъществява по критерии, отчитащи всички или най-съществените единични показатели на анализирания варианти на системите, като при това са възможни два метода за сравнение: диференциален и комплексен. Известно е, че диференциалният метод, който предполага налагане на условия за самос-тоятелна значимост на единичните показатели, може да доведе до еднозначен избор само тогава, когато анализирания варианти на системите удовлетворяват известния принцип за оптималност на Парето. При неудовлетворяване на този принцип, анализирания варианти на системите ще се разполагат в така наречената област на компромисите, при което по-лоши единични показатели на избрания вариант ще се компенсират от по-високи стойности на останалите показатели, а самият избор следва да се прави с използването на показател, отчитащ комплексно всички единични показатели.

В [2] от автора е предложен метод за комплексна количествена оценка на качеството на сложни системи и промишлена продукция с минимални разходи, който се базира на следната оптимизационна задача: *Да се определят грешките за измерване на единичните показатели за качество така, че при зададена грешка на комплексния показател сумарните разходи за комплексна количествена оценка на качеството да бъдат минимални.* Показано е, че в случая може да се използва единствено математическата зависимост за геометричния показател, което е ново и важно преимущество на този показател, в сравнение с останалите три усреднени комплексни показатели, т.е. по същество е формулирано и ново допълнително условие за сравнителен анализ на усреднените показатели, а именно, възможност за провеждане на комплексната количествена оценка с минимални разходи.

В [5] от автора е представено продължение и развитие на [2], при което за решението на горната оптимизационна задача е предложено използването на вероятностно-статистически подход, който при определено условие (брой на

единичните показатели  $N > 5$ ) позволява до-пълнително намаляване на изискванията към грешките за определяне на единичните показатели, респективно - допълнително намаляване на необходимите разходи. Доказано е, че това е възможно само при използване на усреднения геометричен показател, което е още едно съществено негово преимущество.

Очевидно е обаче, че на практика в редица случаи прякото физическо измерване на оценките на отделни единични показатели ще бъде трудно и даже нереално. За такива случаи е целесъобразно да се анализират и възможностите за използване на теорията на размитите множества в съчетание с усреднените комплексни показатели, което е предмет и на по-долното изложение в доклада.

За целите на посочения по-горе анализ се въвеждат и определят следните нови понятия: квадратичен, аритметичен, геометричен и хармоничен индекси за близост между размити множества и се оценяват техните свойства. Формулират се следните четири условия, на които е целесъобразно да отговарят въведените индекси за близост:

1. Положителност на инградиента;
2. Висока чувствителност по отношение на показателите с малки функции на принадлежност;
3. Равенство на нула за анализирания варианти, които имат показатели с нулеви функции на принадлежност;
4. Еднотипност на формулите за случаите, в които част от единичните показатели се оценяват с размити оценки, а останалите позволяват непосредствено физическо измерване.

Проведеният при тези условия сравнителен анализ на въведените индекси за близост показва следното: всички индекси (квадратичен, аритметичен, геометричен и хармоничен) удовлетворяват първото условие; второто условие се удовлетворява най-силно от хармоничния индекс, след който следват геометричния, аритметичния и квадратичния индекси (хармоничният индекс, обаче, е неудобен при наличие на единични показатели с нулеви функции на принадлежност); на третото условие отговаря най-добре геометричния индекс, а на четвъртото - аритметичния и геометричния индекси.

В резултат на проведения анализ са формулирани следните изводи: при използване на размити оценки на единичните показатели най-целесъобразен за практическо приложение при комплексната количествена оценка е въведеният в доклада геометричен индекс за близост; аритметичният индекс е удачен за използване, в съчетание с усреднения аритметичен показател, тогава, когато част от единичните показатели се поддават на непосредствено физическо измерване, функционалната зависимост  $f(X_i)$  е нелинейна и условие (3) не е съществено.

Въведените в доклада индекси за близост между размити множества могат да се използват в процедурите за комплексна количествена оценка в следната етапност:

1. Формулировка и обосновка на единичните показатели;
2. Определяне на тегловните коефициенти (коефициенти на значимост) на единичните показатели;
3. Формиране на размитите множества от оценки на анализирания системи (организации, изделия и др.);

4. Формиране на базовото (желано) размито множество от оценки;
5. Изчисляване на геометричния (или аритметичния) индекс за всеки от анализиранияте варианти;
6. Анализ на резултатите от изчисленията и избор на оптимален вариант или ранжиране (подреждане) на анализиранияте структури.

Тази етапност е приложима за много случаи от практиката на комплексната количествена оценка, когато единичните показатели не могат да бъдат непосредствено измерени.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е представен сравнителен анализ на известните усреднени комп-лексни показатели, при което са използвани следните целесъобразни условия (изисквания): монотонност, състоятелност, нормираност, сравнимост, минимална чувствителност към грешките при получаване на оценките, максимална чувствителност към влошаване на оценките на единичните показатели, минимални разходи за комплексната количествена оценка и възможност за приложение при оценките на теорията на размитите множества.

В резултат на проведения при горните условия анализ може да се формулира следния финален извод: за комплексна количествена оценка, в това число и на нивото на дигитализация, най-целесъобразен за използване е **усреднения геометричен показател**, който се изчислява по следната, приведена по-горе в (2) формула:

$$K_G = \left( \prod_{i=1}^N d_i^{b_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^N b_i}}, \quad (3)$$

При това, с цел облекчаване на практическите изчисления, тегловните коефициенти  $b_i$  могат да се нормират така, че тяхната сума да е равна на 1. Тогава съотношение (3) ще се представи в по-удобния за използване опростен вид

$$K_G = \left( \prod_{i=1}^N d_i^{b_i} \right). \quad (4)$$

Нормираните оценки на единичните показатели  $d_i$  най-лесно се определят на базата на простата линейна зависимост  $d_i = X_i/X_{iB}$  или  $d_i = X_{iB}/X_i$ , съответно при положителен и отрица-телен инградиент, където  $X_{iB}$  е базовата (желаната, най-добра) стойност на  $i$ -я единичен показател, а стойностите на комплексния показател  $K_G$  са в интервала от 0 до 1. Ако този показател се използва за комплексна количествена оценка на нивото на дигитализация, то отделните институции ще получават рейтингов коефициент в интервала от 0 до 1 или в проценти - от 0 до 100%.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Антонов, П., Ю. Захаров. Към въпроса за анализа и избора на комплексните показатели за оценка на качеството. //Стандарти и качество, София, 1981, № 5, с. 12-14, ISSN 0324-105X.

[2]. Антонов, П. Към въпроса за комплексна оценка на качеството с минимални разходи. //Стандарти и качество, София, 1982, № 11, с. 23-25, ISSN 0324-105X.

[3]. Антонов, П. Оценка на нивото на избираемост на дисциплините в учебните планове за ОКС “Специалист”, “Бакалавър” и “Магистър”. //Сб. научни трудове, посветен на 100 годишнината от рождението на Джон Атанасов. Шумен, ШУ, 2004, с. 146-150.

[4]. Антонов, П., В. Антонова. Показатели за оценка на качеството на учебните планове във висшето образование. //Сб. доклади от II национална научна конференция с международно участие “Качество на висшето образование в България - проблеми и перспективи”, Том I. Русе, РУ, 2009, с. 57-62, ISSN 1314-0051.

[5]. Антонов, П. Вероятностно-статистически подход за минимизиране на разходите при комп-лексната количествена оценка на качеството. В: Сб. доклади от ЮНПК „Усъвършенстване на системата за управление на стопанските единици”, Варна, ВИНС, 1984, с. 120-127.

[6]. Аничкина, В.Л. и др. Анализ условий, определяющих выбор среднего взвешенного гео-метрического показателя для комплексной оценки качества и надежности изделий. //Надежность и контроль качества, 1974, № 8, с. 18-25.

[7]. Антонов, П.Ц., Ю. В. Захаров, В. И. Шаповалов. О выборе показателя для комплексной оценки качества продукции. В: Методы контроля в комплексной системе управления качеством. Ленинград, ЛДНТП, 1978, с. 8-11.

[8]. Левина, Н., И. Погожев. Об условиях применения средних взвешенных показателей при оптимизации систем. В: Исследование систем, вып. 1, Анализ сложных систем. Владивосток, СО АН СССР, 1973.

[9]. Antonov, P. An Approach to the Quality Rating of the Bachelor and Master’s Curricula. //XXXIX International Conference ICEST’2004 (Proceedings of Papers, Vol. 2), Bitola, Macedonia, 2004, pp. 669-671.