



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 339.138

Дата поступления: 25.12.2023

рецензирования: 15.02.2024

принятия: 26.02.2024

**Компенсация мультипликативной погрешности измерения
социально-экономических процессов**

В.К. Чертыковцев

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара Российская Федерация

E-mail: vkchert@ro.ru

Аннотация: Инструменты и приемы исследования социально-экономических процессов, которые были эффективны для достижения поставленных задач в прошлом, требуют серьезного пересмотра и корректировки с использованием современных методов и информационных технологий. Сегодня в процессе исследования социально-экономических процессов преобладает субъективизм отдельных авторитетов без доказательной базы. Социально-экономические процессы представляют собой сложный многофункциональный механизм взаимодействия множества факторов человеческой деятельности, поэтому человеческий мозг не в состоянии решать многие современные задачи. Информация, которая циркулирует в социально-экономических процессах, характеризуется большими объемами и высокой частотой обновления, что требует больших скоростей организации процедуры измерения параметров процесса, системного анализа и ее хранения. Требуется дополнительный инструментарий для решения сложных социально-экономических задач. Поэтому необходимо применение современных математических методов и информационных технологий для их реализации. При использовании информации для принятия управленческих решений она должна обладать свойствами высокой достоверности, полноты и актуальности. Работа относится к области сбора и обработки информации, предназначенной для анализа, принятия решений и управления процессами в социально-экономических системах. Для сбора информации и принятия решений в социально-экономических системах широко применяется при построении трендов развития способ экспертной оценки. Этот способ обладает как преимуществами (простотой сбора информации), так и недостатком (невысокой точностью измерения). Это часто приводит к неверному построению тренда и в результате к неправильному принятию решения при управлении социально-экономическими процессами. Для устранения этого недостатка в работе предлагается способ повышения точности измерения социально-экономического процесса на основе экспертной оценки. Разработана математическая модель и алгоритм компенсации мультипликативной погрешности измерения. Предложена методика сбора информации социально-экономического процесса на основе экспертной оценки. Разработано устройство, позволяющее обработать полученную информацию и повысить точность измерительного процесса. Проведены исследования работы устройства повышения точности результатов измерения экспертной оценки с помощью моделирования на базе системы компьютерной математики Mathcad.

Ключевые слова: мультипликативная погрешность; алгоритм; параметры измерения; тест; процесс; экспертная оценка; моделирование; тренд; соответствие.

Цитирование. Чертыковцев В.К. Компенсация мультипликативной погрешности измерения социально-экономических процессов // Вестник Самарского университета. Экономика и управление Vestnik of Samara University. Economics and Management. 2024. Т. 15, № 1. С. 196–201. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2024-15-1-196-201>.

Информация о конфликте интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

© Чертыковцев В.К., 2024

Валерий Кириллович Чертыковцев – доктор технических наук, профессор кафедры общего и стратегического менеджмента, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 34.

SCIENTIFIC ARTICLE

Submitted: 25.12.2023

Revised: 15.02.2024

Accepted: 26.02.2024

Compensation of the multiplicative error in measuring socio-economic processes

V.K. Chertykovtsev

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

E-mail: vkchert@ro.ru

Abstract: Tools and techniques for studying socio-economic processes that were effective in achieving goals in the past require serious revision and adjustment using modern methods and information technologies. Today, in the process of researching socio-economic processes, the subjectivity of individual authorities without an evidence base prevails. Socio-economic processes are a complex multifunctional mechanism of interaction between many factors of human activity, therefore the human brain is not able to solve many modern problems. Information that circulates in socio-economic processes is characterized by large volumes and high frequency of updates, which requires high speed organization of the procedure for measuring process parameters, system analysis and its storage. Additional tools are required to solve complex socio-economic problems. Therefore, it is necessary to use modern mathematical methods and information technologies for their implementation. When using information to make management decisions, it must have the properties of high reliability, completeness and relevance. The work relates to the field of collecting and processing information intended for analysis, decision-making and process management in socio-economic systems. To collect information and make decisions in socio-economic systems, the method of expert assessment is widely used to build development trends. This method has both advantages (ease of collecting information) and disadvantages (low measurement accuracy). This often leads to incorrect trend construction and, as a result, incorrect decision-making when managing socio-economic processes. To eliminate this shortcoming, the work proposes a way to increase the accuracy of measuring the socio-economic process based on expert assessment. A mathematical model and algorithm for compensating the multiplicative measurement error have been developed. A methodology for collecting information about the socio-economic process based on expert assessment is proposed. A device has been developed that allows processing the received information and increasing the accuracy of the measurement process. Research has been carried out on the operation of a device for increasing the accuracy of expert assessment measurement results using modeling based on the Mathcad computer mathematics system.

Key words: multiplicative error; algorithm; measurement parameters; test; process; expert assessment; modeling; trend; compliance.

Citation. Chertykovtsev V.K. Compensation of the multiplicative error in measuring socio-economic processes. *Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie Vestnik of Samara University. Economics and Management*, 2024, vol. 15, no. 1, pp. 196–201. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2024-15-1-196-201>. (In Russ.)

Information on the conflict of interest: author declares no conflict of interest.

© Chertykovtsev V.K., 2024

Valery K. Chertykovtsev – Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of General and Strategic Management, Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation.

Введение

Для сбора информации и принятия решений в социально-экономических системах широко применяется для построения трендов развития способ экспертной оценки [1]. Этот способ обладает как преимуществами (простотой сбора информации), так и недостатком (невысокой точностью измерения). Процесс измерения эксперта производится с помощью ощущений объективной реальности. Локализация объекта осуществляется в первую очередь с помощью зрительных и слуховых восприятий и другими органами чувств. Измерение – это придание объектам численных значений по определенным правилам. Числовые значения придают определенные взаимосвязи между признаками объекта и их числовыми выражениями [2; 3]. В каждом конкретном случае необходимо найти множество чисел пригодное для распределения по признакам основного множества, чтобы каждому рассматриваемому элементу соответствовало определенное число. Такое множество является шкалой измерения.

Результат измерения имеет конечную точность, это означает, что число, которое согласно методике измерения соответствует признаку элемента основного множества и может быть указано только как принадлежащее к определенной области значений. Кроме того, если провести серию одних и тех же измерений, то результаты в определенной степени будут отличаться друг от друга.

Эксперт дает показания по интересующему признаку в виде чисел либо описывает свои ощущения так, что по ним можно получить числовые значения. Таким образом эксперт одновременно служит и объектом исследования и выполняет функцию психофизиологического измерительного прибора. Если проанализировать такое измерение в отношении точности и повторяемости результатов, то окажется, что погрешность измерения состоит из двух составляющих: 1. Погрешность присущая физическому прибору 2. Погрешность психофизиологических измерений [2].

Повторяемость параметров и точность их измерения можно повысить с помощью статистических методов обработки данных. Обработка таких данных построены на предпосылке того, что полученные результаты измерений представляют собой выборку из заданной совокупности, отобранные по случайному закону и независимо один от другого. Поэтому и выбор экспертов должен быть случайным. Однако это требование полностью не удовлетворяется, так как экспертов обычно выбирают из хорошо известных в этой сфере деятельности.

При измерении физическими методами предполагается, что полученные результаты независимы от эксперта, и, следовательно, верны и объективны. Однако эти показания людей сугубо индивидуальны. Отсюда можно сделать вывод, что физические и психофизические измерения не отличаются тем, что первые являются объективными, а вторые – субъективными. Различие между ними состоит лишь в степени совпадений результатов, даваемых разными экспертами. Можно сказать, что высокая степень объективности достигается в случае, когда исследуемые процессы обладают свойством эргодичности [2].

Одной из основных задач эксперта это установить соответствие измеряемого объекта с выбранной им шкалой измерения. Нахождение области определения и области значения функции. Основой, составляющей это множество являются опорные элементы (тесты), относительно которых идет сравнение измеряемого процесса. Подход к задачам построения соответствия объекта и процесса его измерения заключается в том, что процесс установления соответствия построен на организации исходных интенсивностей отдельные точки, связанные между собой на основе сходства их интенсивностей [3]. Опорные точки (тесты) берут на себя корректировки процесса измерения для повышения его точности. Степень сопоставления обычно измеряется либо с помощью метода взаимной корреляции, при котором ищется максимальная корреляция, либо с помощью вычитания, когда степень соответствия определяется по минимальному значению разности [3]. Считается, что подходящими кандидатами на роль опорных точек соответствия являются точки вблизи нижнего уровня шкалы измерения.

Обзор литературы

В настоящее время существует большое количество методов повышения точности измерений социально-экономических процессов [2–12], которые построены на:

1. Обработке статистической информации многократных измерений.
2. Тестовые методы.
3. Методы образцовых мер.
4. Методы образцовых преобразований.
5. Итерационные методы и т. д.

В списке литературы приведены источники отечественных и зарубежных авторов, в которых указаны особенности и основные аспекты их научной деятельности по заявленной проблеме. В этих работах авторы предлагают использовать методы повышения точности измерений в основном в технических системах.

Автор предлагает использовать тестовые методы повышения точности результатов измерений экспертной оценки с использованием информационных технологий (цифровой экономики) в социально-экономических системах [2; 10–12].

Методология исследования

Измерительный процесс экспертной оценки можно представить в виде

$$V(t) = F(x, a, t), \quad (1)$$

где $V(t)$ – экспертная оценка измеряемого параметра; x – измеряемая величина; a – погрешности влияющие на точность измерения; t – временной интервал измерительного процесса.

Эксперт в процессе своих измерений допускает в основном мультипликативную погрешность, которая обусловлена в основном, либо превышением, либо занижением реального значения измеряемого параметра. Эту измерительную процедуру можно представить в виде следующей математической модели

$$Y(t) = a(t) x(t), \quad (2)$$

где $a(t)$ – мультипликативная погрешность измерения, обусловленная психофизиологическими характеристиками эксперта, которая может меняться в процессе сбора информации; $x(t)$ – измеряемая величина.

Для уменьшения погрешностей измерения разработан алгоритм компенсации мультипликативной погрешности в основе которого лежит тестовый метод повышения точности результатов измерения [5].

Алгоритм повышения точности результатов измерения экспертной оценки

Процесс измерения с помощью тестового метода осуществляется с помощью нескольких этапов.

Первый этап оценка экспертом тестового значения (опорной точки) измеряемого параметра x_0 . Как указано в работе [8] эта величина выбирается вблизи нижнего уровня шкалы измерения.

$$Y_0(t) = a(t) x_0, \quad (3)$$

где $a(t) = A \sin \omega t$ – в работе в качестве мультипликативной погрешности используется широкополосный шум; A – амплитуда шума; ω – частотный спектр шума.

Второй этап – оценка экспертом измеряемого параметра $x(t)$ с учетом погрешности $a(t)$, которую он допускает в процессе своего измерения.

$$Y(t) = a(t) x(t). \quad (4)$$

Третий этап – компенсация мультипликативной погрешности измерения

$$Z(t) = \frac{y(t)}{y_0(t)} = \frac{x(t)}{x_0} \quad (5)$$

Четвертый этап – получение расчетного значения измеряемого параметра с учетом компенсации мультипликативной погрешности измерения

$$X_{\text{рас}}(t) = Z(t) x_0. \quad (6)$$

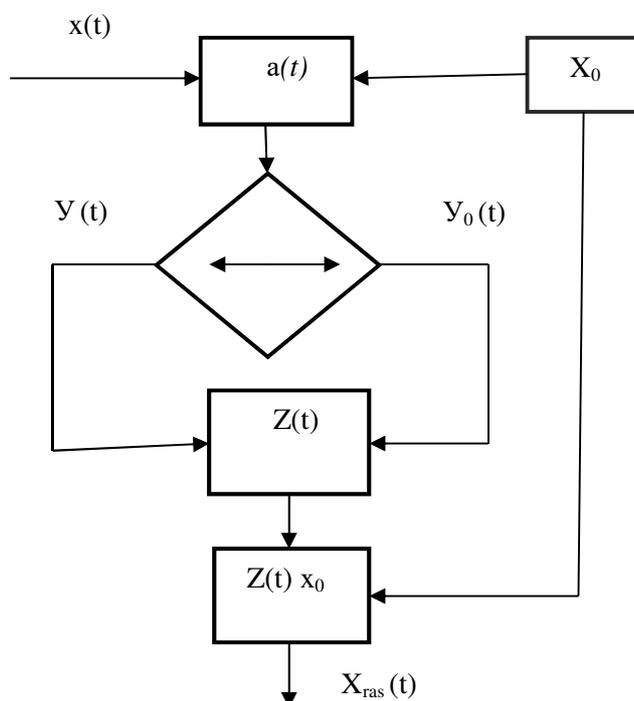


Рисунок 1 – Алгоритм повышения точности результатов измерения экспертной оценки
 Figure 1 – Algorithm for improving the accuracy of expert assessment measurement results.

Исследование работы алгоритма повышения точности результатов измерения экспертной оценки

Исследование работы алгоритма повышения точности результатов измерения экспертной оценки проводилось с помощью моделирования на базе системы компьютерной математики Mathcad [13].

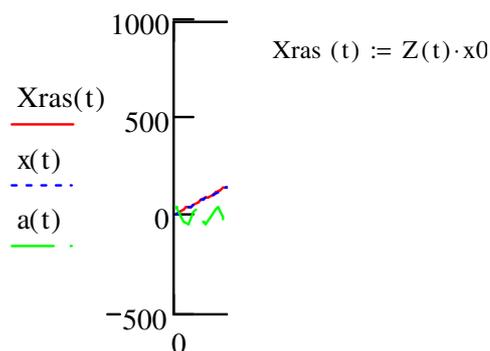
Запись моделей в программе Mathcad проводилась с помощью условных единиц измерения экспертного процесса.

Результаты моделирования приведены на рис. 2. Из рисунка видно, что при достаточно большой по амплитуде $A = 50$ и частоте $\omega = 20$ погрешности $a(t) = A \sin \omega t$. Расчетное значение измеряемого параметра с компенсацией мультипликативной погрешности $X_{ras}(t)$ практически полностью совпадает с реальным значением измеряемого параметра $x(t)$.

$$t := 1 .. 100 \quad x(t) := 10 \cdot t \quad x0 := 10$$

$$a(t) := 50 \cdot \sin(20 \cdot t) \quad y(t) := a(t) \cdot x(t)$$

$$y0(t) := a(t) \cdot x0 \quad Z(t) := \frac{y(t)}{y0(t)}$$



$X_{ras}(t)$ – расчетное значение измеряемого параметра с компенсацией мультипликативной погрешности.
 $x(t)$ – реальное значение измеряемого параметра.
 $a(t)$ – мультипликативная погрешность измерения.

Рисунок 2 – Компенсация мультипликативной погрешности
 Figure 2 – Compensation of the multiplicative error

Погрешность измерения

Относительная погрешность измерения находится как

$$\Delta = \frac{x(t) - X_{ras}(t)}{x(t)} \rightarrow 0. \quad (7)$$

Заключение

Таким образом, проведенные исследования с помощью моделирования на базе системы компьютерной математики Mathcad показали, что предложенный способ повышения точности результатов измерения экспертной оценки позволяет уменьшить мультипликативную погрешность (рис. 1) измерения практически до нуля.

Библиографический список

1. Котлер Ф. Основы маркетинга. Москва: Киев, 1995. 240 с. URL: https://msksale.group/wp-content/uploads/2016/09/Основы_маркетинга_Котлер_Ф.__пер_с_англ_1991_-651c.pdf?ysclid=lu0v4i9ofs155322446.
2. Блауэрт Й. Пространственный слух: пер. с нем. Москва: Энергия, 1979. 224 с. URL: <https://djvu.online/file/rB2nuC4zQEob2?ysclid=lu0v920cxq769943698>.
3. Ульман Ш. Принципы восприятия подвижных объектов: пер. с англ. Москва: Радио и связь, 1983. 168 с.
4. Бромберг Э.М. Тестовые методы повышения точности измерений. Москва: Энергия, 1978. 176 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30571187>. EDN: <https://elibrary.ru/zszsmv>.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Москва: Наука. 1969. 576 с. URL: <https://djvu.online/file/smd0RTUpmsUPL?ysclid=lu0vu9w5j910245048>.

6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Москва: Наука. 1970. 720 с. URL: <https://djvu.online/file/UZYUULZPXf9ID?ysclid=lu0w03nnd952480348>.
7. Советский энциклопедический словарь / гл. ред. А.М. Прохоров. 3 изд. Москва, 1981. 1600 с.
8. Чертыковцев В.К. Экономико-математические модели в маркетинговых процессах: монография. Самара: Изд-во Самар. гос. экон. ун-т, 2009. 186 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19924393>. EDN: <https://elibrary.ru/quadob>.
9. Чертыковцев В.К. Метод повышения точности прогнозирования параметров линейных динамических рядов маркетинговых процессов // Известия Академии управления: теория, стратегии, инновации. 2011. № 1. С. 48–53. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16836068>. EDN: <https://elibrary.ru/oelagt>.
10. Чертыковцев В.К. Метод повышения точности прогнозирования параметров параболического тренда // Известия Академии управления: теория, стратегии, инновации. 2011. № 2. С. 35–38. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16836106>. EDN: <https://elibrary.ru/oelavj>.
11. Чертыковцев В.К. Математические модели маркетинговых процессов. (Монография). Германия: LAP LAMBERT Akademie Publishing, 2012. 150 с. URL: <https://equuleusbook.xyz/books/matematicheskie-modeli-marketi?ysclid=lu0xu2ahr0766774342>.
12. Чертыковцев В.К. Устройство для повышения точности измерений. Патент на изобретение. № RU 2601177 C2, 06.10.2016. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2601177C2_20161027?ysclid=lu0xxbf4k1988414599.
13. Дьяконов В.П. Mathcad 11/22/13 в математике: справочник. Москва: Горячая линия – Телеком, 2007. 958 с.

References

1. Kotler Ph. Marketing Essentials. Moscow: Kiev, 1995, 240 p. Available at: https://mksale.group/wp-content/uploads/2016/09/Основы_маркетинга_Котлер_Ф._пер_с_англ_1991_-651c.pdf?ysclid=lu0v4i9ofs155322446. (In Russ.)
2. Blauert J. Spatial hearing: translated from German. Moscow: Energiya, 1979, 224 p. Available at: <https://djvu.online/file/rB2nuC4zQEob2?ysclid=lu0v920cxq769943698>. (In Russ.)
3. Ullman S. The Interpretation of Visual Motion: Translated from English. Moscow: Radio i svyaz', 1983, 168 p. (In Russ.)
4. Bromberg E.M. Test methods for improving measurement accuracy. Moscow: Energiya, 1978, 176 p. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30571187>. EDN: <https://elibrary.ru/zszsmv>. (In Russ.)
5. Wentzel E.S. Probability theory. Moscow: Izdatel'stvo Nauka, 1969, 576 p. Available at: <https://djvu.online/file/smd0RTUpmsUPL?ysclid=lu0vu9w5j910245048>. (In Russ.)
6. Korn G., Korn T. Handbook of mathematics for scientists and engineers. Moscow: Izdatel'stvo Nauka, 1970, 720 p. Available at: <https://djvu.online/file/UZYUULZPXf9ID?ysclid=lu0w03nnd952480348>. (In Russ.)
7. Prokhorov A.M. (Ed.) Soviet Encyclopedic Dictionary. 3rd edition. Moscow, 1981, 1600 p. (In Russ.)
8. Chertykovtsev V.K. Economic and mathematical models in marketing processes: monograph. Samara: Izd-vo Samar. gos. ekon. un-t, 2009, 186 p. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19924393>. EDN: <https://elibrary.ru/quadob>. (In Russ.)
9. Tchertykovtsev V.K. The method of increasing the forecasting fidelity concerning the parameters of linear dynamic series. *Izvestiya Akademii upravleniya: teoriya, strategii, innovatsii*, 2011, no. 1, pp. 48–53. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16836068>. EDN: <https://elibrary.ru/oelagt>. (In Russ.)
10. Chertykovtsev V.K. Raising the fidelity of forecasting the parabolic trend parameters. *Izvestiya Akademii upravleniya: teoriya, strategii, innovatsii*, 2011, no. 2, pp. 35–38. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16836106>. EDN: <https://elibrary.ru/oelavj>. (In Russ.)
11. Chertykovtsev V.K. Mathematical models of marketing processes: monograph. Germany: LAP LAMBERT Akademie Publishing, 2012, 150 p. Available at: <https://equuleusbook.xyz/books/matematicheskie-modeli-marketi?ysclid=lu0xu2ahr0766774342>. (In Russ.)
12. Chertykovtsev V.K. Device for increasing accuracy of measurements. Patent for an invention. No. RU 2601177 C2, 06.10.2016. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2601177C2_20161027?ysclid=lu0xxbf4k1988414599.
13. Dyakonov V.P. Mathcad 11/22/13 in mathematics: directory. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2007, 958 p. (In Russ.)