

1. Abadie, Alberto, Susan Athey, Guido W Imbens, and Jeffrey Wooldridge. 2017. “When should you adjust standard errors for clustering?” Working Paper. <http://www.nber.org/papers/w24003>.
2. Cameron, A. Colin, Jonah B. Gelbach, and Douglas L. Miller. 2011. “Robust inference with multiway clustering.” *Journal of Business & Economic Statistics* 29 (2): 238–49. <http://www.jstor.org/stable/25800796>.
3. Donald, Stephen, and Kevin Lang. 2007. “Inference with difference-in-differences and other panel data.” *The Review of Economics and Statistics* 89 (2): 221–33. <https://doi.org/10.1162/rest.89.2.221>.
4. Erickson, Timothy, and Toni M. Whited. 2012. “Treating measurement error in Tobin’s q.” *Review of Financial Studies* 25 (4): 1286–1329. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhr120>.
5. Sheppard, Kevin. 2023. “Linearmodels: Instrumental Variable and Linear Panel Models for Python.” <https://pypi.org/project/linearmodels/>.
6. Wasserstein, Ronald L., and Nicole A. Lazar. 2016. “The ASA Statement on p-Values: Context, process, and purpose.” *The American Statistician* 70 (2): 129–33. <https://doi.org/10.1080/00031305.2016.1154108>.
7. Wooldridge, Jeffrey M. 2010. *Econometric analysis of cross section and panel data*. The MIT Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt5hhcfr>.

Коваль Д. О., ст. гр. ММ-21-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

РИЗИКИ, ПОВ'ЯЗАНІ З ПРИЙНЯТТЯМ СТАТИСТИЧНИХ РІШЕНЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРЮВАНЬ

У зв'язку з ймовірнісним характером результатів вимірювань завжди існує невизначеність щодо вимірюваного значення параметра. Ця невизначеність відображається на правильності рішення, прийнятого на

основі результатів вимірювань. Це особливо важливо, коли результат вимірювання близький до меж довірчого інтервалу (меж специфікації), де є більша ймовірність того, що рішення буде некоректним. Це ілюструє приклад вимірювання відстані від різця до деталі інфрачервоним датчиком SHARP-GP2Y0A710K0F в станку з ЧПУ. На рис. 1 приведено результати вимірювання відстані цим датчиком, де $L_{сер}$ – середнє значення виміряної відстані; суцільною смугою зображено 95% довірчий інтервал.

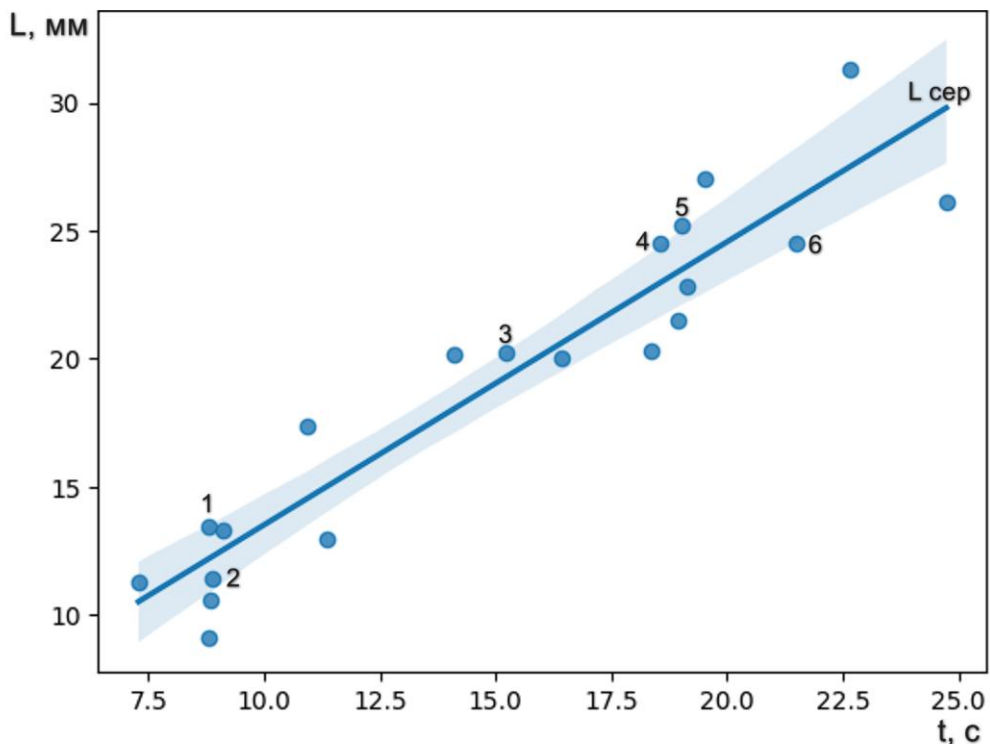


Рисунок 1 – Результати вимірювання відстані інфрачервоним датчиком

Аналіз даних вимірювань (рис. 1) дозволяє виявити вимірювання 1, 2, 3, 4, 5 та 6 результати яких знаходяться на межі довірчого інтервалу в 95%. За цими даними вимірювань з більшою вірогідністю може бути прийняте хибне рішення щодо правильності вимірювань. А це в свою чергу може значно збільшити ризик виготовлення бракованої деталі, або поломки різця.

На ризик прийняття неправильного рішення впливають також і невизначеності вимірювань. Продемонструємо це на прикладі автомобільного аналогового датчика тиску масла Volvo Fh12. Згідно з

заданими технічними характеристиками рівень вихідного сигналу повинен бути більше 10 В. Якщо амплітуда сигналу на виході датчика 10 В і менше датчик класифікується як несправний.

Припустимо, амплітуда сигналу на виході датчика дорівнює 10,6 В. Датчик слід класифікувати як справний, так як значення параметра більше межі специфікації в 10 В. Це ідеальна ситуація. Однак фактичний результат вимірювань не завжди буде 10,6 В. Через ймовірнісний характер повторних вимірювань, виміряні значення рівня сигналу на виході датчика більшу частину часу будуть знаходитися в інтервалі близько 10,6 В. Якщо довірчий інтервал позначити $10,6 \text{ В} \pm 1,0 \text{ В}$, то результати вимірювань будуть лежати між 9,6 В і 11,6 В. Якщо повторні вимірювання виконати на тому ж датчику, то буде прийнято рішення про його несправність, коли виміряне значення вихідної напруги датчика буде між 9,6В і 10,0 В. Датчик буде класифікований як справний, коли виміряна амплітуда його вихідного сигналу прийме значення від 10,0 В до 11,6 В.

Аналіз проведених експериментальних досліджень показав, що якщо вимірювання розподіляються рівномірно протягом зазначеного вище інтервалу, то в 20% випадків виміряне значення становитиме від 9,6 В до 10,0 В, а в 80% випадків від 10,0 В до 11,6 В. Таким чином, в 20% випадків датчик буде помилково класифікований як несправний через невизначеність результату вимірювання. Така ситуація проілюстрована на рис. 2.

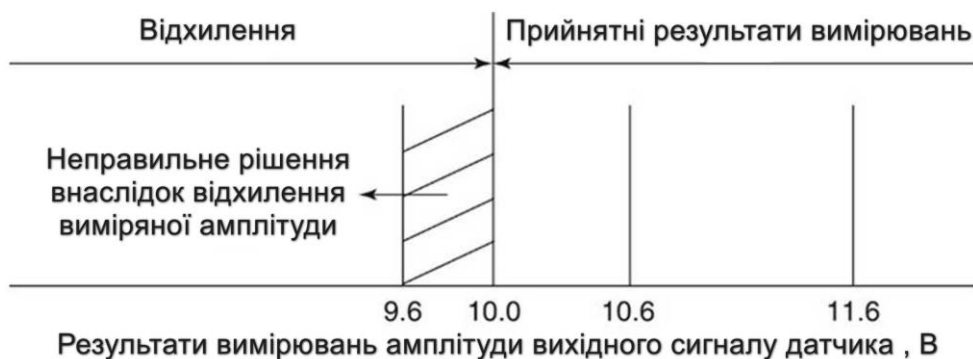


Рисунок 2 – Вплив невизначеності вимірювань на прийняття рішення

Таким чином, через невизначеність вимірювань може статися так, що вимірюване значення виходить за межі специфікації, тоді як значення параметра фактично знаходиться в межах специфікації. Також може бути, що фактичне значення параметра виходить за межі специфікації, але виміряне значення знаходиться в межах специфікації. Хибне прийняття рішення про несправність датчика тиску масла Volvo Fh12 може статися в обох ситуаціях, незалежно від того, чи ґрунтуються критерії прийняття рішення на односторонніх або двосторонніх обмеженнях специфікації.

Вищезазначена аномалія призводить до двох типів помилок, пов'язаних зі статистичним прийняттям рішень, так званих помилок I і II типів.

— Помилка типу I: справжнє значення параметра знаходиться в межах специфікації, але результат вимірювання вказує на те, що воно виходить за межі специфікації. Цей тип помилки часто позначають як ризик виробника, оскільки відповідний товар був відхилений. Її ще називають α -помилкою.

— Помилка типу II: справжнє значення параметра виходить за межі специфікації, але результат вимірювання вказує на те, що воно знаходиться в межах специфікації. Цей тип помилки часто позначають як ризик споживача, оскільки невідповідна позиція була прийнята. Її ще називають β -помилкою.

Завжди існує певний ризик, яким би мінімальним він не був, що рішення, прийняте на основі результатів вимірювань, може бути неправильним через внутрішню невизначеність результатів вимірювань. Походження помилок I і II типів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Походження помилок I і II типу

	Значення параметра в межах специфікації	Значення параметра за межами межі специфікації
Виміряне значення в межах межі специфікації	Відсутність помилки	Помилка типу II
Виміряне значення за межами специфікації	Помилка типу I	Без помилки

Існує ряд ситуацій, в яких ризики, пов'язані з помилками I або II типу, повинні бути дуже ретельно проаналізовані при прийнятті рішення на основі результатів вимірювань.

У промисловості ризики, пов'язані з прийняттям невідповідної продукції або помилкою типу II, відрізняються від ризиків, пов'язаних з відмовою від продукту, який відповідає специфікаціям, або помилкою типу I. Під час виготовлення продукція проходить перевірку на різних стадіях: вхідному, незавершеному та кінцевому. Відмова від відповідного продукту на будь-якому етапі може вплинути на графік поставки кінцевого продукту, але прийняття невідповідного продукту впливає на якість кінцевого продукту, що може вплинути на безпеку продукту. Іноді це може призвести до збитків через закони про гарантію та відповідальність за продукцію, а також до втрати репутації підприємства. Тому ризики повинні бути дуже ретельно зважені залежно від характеру та критичності продукту та його кінцевого використання.

Ще більше значення відіграють вимірювання, пов'язані з охороною здоров'я. Тут аналіз ризиків стає критично важливим у вимірюваннях, пов'язаних з охороною здоров'я та медичною діагностикою пацієнтів. Ризик зіткнутися з помилками I і II типів повинен бути мінімальним. Одним із яскравих прикладів є використання променевої терапії для лікування раку. Променева терапія забезпечується за допомогою одиниць кобальту, який випромінює гамма-промені. Це випромінювання походить від розпаду природних радіоактивних джерел. Вимірювання, що відносяться до випромінювання кобальту, мають вирішальне значення. Занадто велика радіація руйнує здорові тканини, що оточують уражену раком частину. Якщо занадто мало радіації при опроміненні то і пухлина не руйнується і недуга триває. Лікування ефективне тільки при дотриманні оптимальної дози опромінення. Міркування щодо невизначеності вимірювань у таких ситуаціях мають вирішальне значення.

Таким чином, аналіз невизначеності даних вимірювань у всіх сферах діяльності людини відіграє важливе значення. Врахування невизначеності вимірювань при прийнятті статистичних рішень дозволить значно зменшити ризик прийняття невірної рішення.

Література:

1. Ku. Harry H. 2001. Statistical concepts in metrology. In Handbook, of industrial metrology, American Society of Tool and Manufacturing Engineers, 20-50. New York: Prentice Hall.
2. National Bureau of Standards (NBS). Measurement assurance program, part I: General introduction. Special publication 676-1, 10-14. Washington: National Institute of Standards and Technology (NIST).
3. Pearson, Thomas A. 2001. Measure for Six Sigma success. ASQ Quality Progress, February, 35-39.
4. Quinn. T. J. Mutual recognition agreement for national measurement standards and calibration certificates issued by national metrology institutions. Cal Lab: The International Journal of Metrology 6, no. 2:21-23.
5. Stein. Philip. Measure for measure. ASQ Quality Progress, September. 74-75.
6. Sydenham, P. H., Handbook of measurement science. Vol. 1, Standardization of measurement fundamentals and practices. John Wiley and Sons.
7. Treble, Ric. Analytical measurements and the law. HA PL News 1, no. 13:19-20 (published by the National Accreditation Board for Testing and Calibration Laboratories, Department of Science and Technology, Government of India).