

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІВНЯ ОСВІТЛЕНOSTІ НА АТРИБУТИВНУ ВИМІРЮВАЛЬНУ СИСТЕМУ НА ПІДПРИЄМСТВІ АВТОМОБІЛЕБУДІВНОЇ ПРОМИСЛОВOSTІ

Tetiana Bubela, Dr. Sc., Prof.; Nazar Osechko, PhD Student

Lviv Polytechnic National University, Ukraine;

e-mail: tetiana.z.bubela@lpnu.ua

e-mail: nazar.m.osechko@lpnu.ua

Анотація

Аналіз вимірювальної системи (MSA) є критично важливою складовою будь-якого процесу покращення якості та формулюється як експериментальний і математичний метод визначення того, наскільки варіативності в процесі вимірювання впливають на вимірювальну систему, яка у свою чергу містить у собі такі категорії даних як: атрибутивні або змінні. Більшість проблем вимірювальної системи виникає саме через оцінювання атрибутивних ознак, які зазвичай є результатом суб'єктивного судження (візуальний огляд). Оскільки системи атрибутивних вимірювань часто використовуються в виробничих процесах, їх оцінка важлива для підвищення надійності в процесі перевірки, щоб визначити причину та джерело проблеми та в майбутньому усунути їх і скерувати зусилля на покращення процесу.

Авторами було досліджено вплив параметрів робочого середовища, а саме рівня освітленості, на ступінь коректності оцінки дефектів зразків кабельної продукції. Також оцінювався ступінь відповідності оцінювачів встановленим вимогам. Для аналізу результатів досліджень було використане програмне забезпечення MINITAB та Q-DAS solara.MP. Авторами були сформульовані рекомендації для підвищення точності функціонування атрибутивної вимірювальної системи на підприємстві автомобілебудівної промисловості.

Ключові слова

Вимірювальна система, Атрибут, Оцінювання, Варіація, Узгодженість, статистика Каппа Коена

1. Вступ

Для виробництва якісної продукції підприємство повинно використати якісні ресурси або сировину, що не завжди є досяжним, бо забезпечити 100% якості всіх ресурсів або сировини є практично не можливо. Але, тільки якісна сировина та випуск якісної продукції, яка відповідає попиту та вимогам споживачів, повинна доходити до реалізації [1]. Кожна виробнича компанія щодня збирає велику кількість даних про системи та процеси. Потім ці дані впливають на прийняття рішень у всіх сферах компанії, включаючи кадрову політику, матеріально-технічне забезпечення та елементи навколишнього середовища. Інформація про значення параметрів має бути об'єктивною, а отже, отримуватись шляхом вимірювань [2]. Вимірювальна система - це сукупність операцій, процедур, вимірювальних приладів та іншого обладнання, програмного забезпечення та персоналу, які використовуються для присвоєння номера/ступеню (кваліфікаційного, класифікаційного) характеристикам, що вимірюються/класифікуються; повний процес, який використовується для отримання вимірювань [3]. Якість вимірювальної інформації знижується через похибки вимірювальної системи, що призводить до неправильного прийняття рішень [4]. Отже, вимірювальні системи потребують аналізу їх характеристик. Аналіз вимірювальних систем - це експериментальний і математичний підхід, який визначає кількість варіацій, які існують у процесі вимірювання, і мінімізує фактори, що впливають на варіації процесу, які справді походять від вимірювальної системи.

MSA є одним із найважливіших інструментів якості, який використовується для оцінки адекватності варіацій з метою забезпечення якості вимірювальної системи та супутніх продуктів. Мета - кількісна оцінка точності, прецизійності та стабільності вимірювальної системи [5].

MSA застосовується в 98% проектів, і тільки він може мати величезний вплив на успіх будь-якого проекту і поліпшення в організації. Аналіз вимірювальних систем використовує наукові принципи, щоб допомогти командам проаналізувати, скільки варіацій система вимірювань вносить у виробничий процес. MSA важливий для: встановлення відсотка варіації в процесі, який викликаний вимірювальною системою; для порівняння процесів та результатів вимірювання між операторами (оцінювачами, інспекторами); порівняння результатів вимірювання між двома (або більше) вимірювальними приладами; надання критеріїв для впровадження нових

систем вимірювання; оцінювання підозрюваного об'єкта; оцінювання калібру до і після ремонту; визначення справжньої варіативності процесу; оцінювання ефективності навчальної програми.

Точність системи вимірювання базується на двох важливих характеристиках - повторюваності та відтворюваності. Повторюваність – як правило пов'язана з варіацією характеристик обладнання, відтворюваність - як правило пов'язана з варіацією характеристик оператора або інспектора. Під час перевірки продукту оцінювач може прийняти погані деталі як добрі (ризик для споживача), а добрі деталі як погані (ризик для виробника), що призведе до вищих витрат, більшої кількості відмов і скарг клієнтів.

Атрибутивна система вимірювання відноситься до типу системи вимірювання, яка використовується для оцінки наявності або відсутності певних атрибутів або характеристик об'єкта, елемента або явища. Атрибут - якісна міра властивості, яка становить інтерес. Атрибут може бути представлений двійковим визначенням (пройшов/не пройшов, добре/погано) [7]. У цій системі елементи зазвичай класифікуються як «добрі» або «погані», «дефектні» або «бездефектні» або інші двійкові класифікації на основі певних критеріїв або ознак. Атрибутивні ознаки виявляються під час відповідного візуального контролю. Вимірювання в таких випадках зазвичай є якісними, а не кількісними (так/ні).

2. Недоліки

Атрибутивні вимірювальні системи можуть зіткнутися з проблемами, які зумовлені впливом факторів зовнішнього середовища. Ці проблеми часто виникають через те, що зміни умов навколишнього середовища можуть вносити мінливість та/або непослідовність у вимірювання, впливаючи на надійність і точність отриманих даних. До ключових впливних факторів відносять рівень вібрації, температури, вологості, запиленості, шуму. Одним з таких є і рівень освітленості. Зміни в освітленості можуть суттєво вплинути на результати візуального контролю. Тому багато авторів приділяють увагу вивченню цього питання шляхом покращення ергономіки робочих місць [8], використанням симулятивних інструментів [9], шляхом оцінки ефективності робочого місця [10-12]. Але для атрибутивних систем особливо важливим є дослідження впливу рівня освітленості, бо від нього залежить правильність класифікації атрибутів на основі візуальних характеристик. Фактори навколишнього середовища можуть суттєво впливати на точність і надійність атрибутивних вимірювальних систем. Їх виявлення та мінімізація є ключовими для забезпечення послідовних і точних вимірювань.

3. Мета

Метою цієї статті було дослідити вплив рівня освітленості на атрибутивні вимірювальні системи на підприємстві з виробництва кабельних мереж для автомобільної промисловості.

4. Методологія досліджень

Вивчення атрибутивних даних вимірювальної системи дозволяє розпізнати та зрозуміти помилки під час збору даних.

Для проведення дослідження атрибутивного MSA потрібно виконати 5 наступних кроків:

1. Визначення атрибута перевірки, який потрібно оцінити та проаналізувати. Потрібно мати чітке та об'єктивне визначення того, що вважається «добре», або «не добре» для оцінюваного зразка.
2. Вибір вимірювальної системи, що використовуватиметься для оцінки, яка складається з інструменту, методу та оператора, які виконують вимірювання.
3. Планування дослідження MSA – кількість перевірок, кількість оцінювачів, визначення розміру вибірки та її репрезентативність, які охоплюють широкий діапазон варіацій для атрибута. Для максимальної впевненості рекомендується поєднання добрих/поганих зразків із співвідношенням 50-50. Загальним підходом є аналіз для атрибутивної ознаки, який проводиться щодо встановлення рівня узгодженості самого оцінювача, між оцінювачами, між оцінювачами та референсами (еталонами).
4. Аналізування даних MSA - використання статистичних інструментів, таких як Excel, Minitab або Q-DAS solara.MP, щоб виконати та обчислити показники узгодженості для вимірювальної системи. Основними показниками є відсоток узгодженості між оцінювачами, каппа-статистика.
5. Покращення вимірювальної системи - визначення джерел відхилень і похибок у вимірювальній системі, здійснення коригувальних дій для їх усунення або зменшення.

Інструментом, який використовується для такого аналізу атрибутивних вимірювальних систем, є Gage R&R (repeatability and reproducibility), що означає повторюваність і відтворюваність. В даному випадку повторюваність означає, що той самий оператор, який працює з тим самим об'єктом, використовуючи той самий атрибут, повинен отримувати однакові результати оцінювання. Відтворюваність означає, що різні оператори, які вимірюють працюють з тим самим об'єктом, використовуючи один і той самий атрибут, повинні щоразу отримувати однакові значення. На відміну від аналізу змінних даних у вимірювальних системах, який має справу з вимірювальними величинами, які можуть змінюватись в певному діапазоні значень, атрибутивна

R&R має на меті забезпечити послідовність і точність системи під час класифікації елементів за категоріями. Gage R&R для атрибутивних вимірювальних систем передбачає розрахунок (в середовищі Minitab) двох важливих показників – відсоток повторюваності та відсоток відтворюваності. Також можна використовувати додаткові програмні продукти для аналізу, наприклад Q-DAS solara.MP, та її стратегію оцінки MSA ANOVA. Дослідження гарантуватиме, що система вимірювання є точною та надійною для прийняття рішень на основі класифікації предметів. Узгодженість в інтерпретації атрибутивних ознак усіма оцінювачами матиме вирішальне значення для успіху. Ця методологія допомагає гарантувати, що будь-які рішення на основі цих вимірювань, є обґрунтованими та базуються на надійній та відтворюваній системі.

5. Дослідження атрибутивних вимірювальних систем

До основних виробничих технологічних процесів на підприємстві виготовлення кабельної продукції можна віднести процес кримпування. Основна кількість цих операцій відбувається на дільниці нарізки. Кримпування – це процес, який використовується для створення безпечного та надійного з'єднання між проводом і контактом методом обтискання. Операції виконуються за допомогою машин нарізки та кримпувальних верстатів. Однією з основних операцій щодо контролю процесу кримпування є візуальний контроль, який націлений на перевірку наявності дефектів, таких як подряпини, вм'ятини та нерівності, наявності закримпованих жил проводу поверх з'єднання контакту з проводом, і класифікацію їх як «добре» (без дефектів) або «не добре» (дефект).

Шляхом візуальної перевірки вони оцінюють зразок на предмет кримпованої жили поверх контакту. Отож, якщо були виявлені жили поверх кримпу, то це відповідає оцінці “не добре” (not OK), в протилежному випадку маємо оцінку “добре” (OK). Процес візуальної перевірки проводився за різних умов освітлення з метою дослідження його впливу на результати атрибутивних вимірювань.

Згідно з EN 12464-1:2021 [13], основні вимоги для внутрішнього освітлення повинні відповідати поставленим завданням і залежать від характеру роботи:

- A. промислові робочі місця - від 200 до 500 люкс;
- B. детальна або точна робота - від 500 до 1000 люкс або вище;
- C. завдання, що вимагають високої гостроти зору (наприклад, лабораторні роботи, тонке складання) - зазвичай 1000 люкс або більше [8].

Дослідження проводились для працівників, роботу яких можна віднести до категорії B) (детальна або точна робота - від 500 до 1000 люкс або вище). Для дослідження відбирались 50 зразків із виробничої партії. Вибірка складалась з 25 бездефектних деталей (добре) і 25 дефектних деталей (не добре), що забезпечує збалансовану пропорцію для оцінки. Для проведення досліджень обрано 3 інспектори, кожен з яких перевіряв всі 50 зразків тричі: вранці, в обід та під кінець робочої зміни. Таким чином кожен оцінювач провів 150 перевірок, а загальна кількість оцінок склала 450. Вимірювання рівня освітленості проводились відкаліброваним цифровим люксометром.

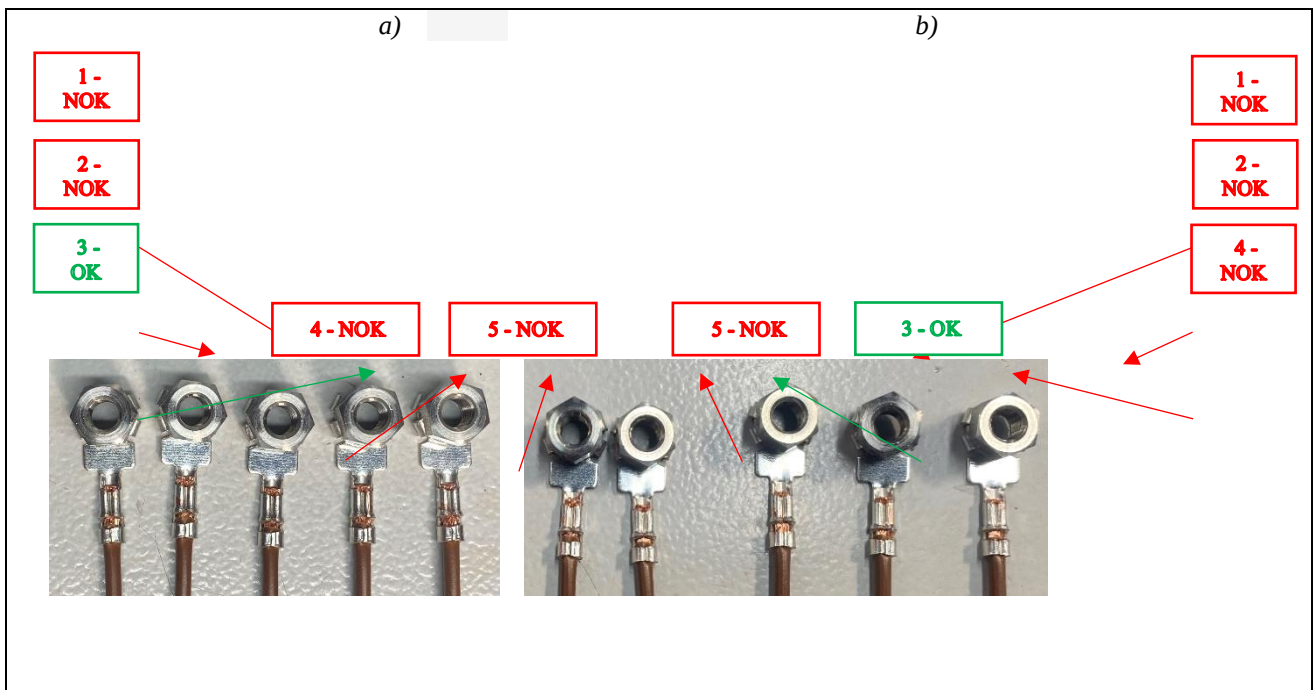


Рис. 1. Кримповані контакти із різним рівнем освітленості: а) – 700 люксів, б) – 1600 люксів

В загальному, для оцінки надійності вимірювальної системи аналізувались наступні показники:

- 1) повторюваність - різниця в оцінюваннях, зроблених одним і тим самим інспектором на тій самій частині;
- 2) відтворюваність - різниця в оцінюваннях, зроблених різними інспекторами на тій же частині;
- 3) комбінована варіація від повторюваності та відтворюваності - аналіз зосереджується на визначенні того, яка частка спостережуваних варіацій у результатах спричинена впливом освітленості;
- 4) статистика Каппа Коена – рівень узгодженості між оцінювачами; рівень узгодженості між кожним оцінювачем і референсом.

Критерії оцінювання представлено у таблиці 1.

Ще одним етапом досліджень стало порівняння результатів, отриманих для різних рівнів освітленості.

Табл. 1. Критерії оцінювання

Показник	Прийнятно	Гранично прийнятно	Неприйнятно
Індивідуальна повторюваність	> 90%	80% до 90%	< 80%
Індивідуальна ефективність (кожен оцінювач стосовно референсу)	> 90%	80% до 90%	< 80%
Неправильна класифікація - хибний негативний результат (референс “не добре” оцінено як “добре”)	< 2%	2% до 5%	> 5%
Неправильна класифікація - хибний позитивний результат (референс “добре” оцінено як “не добре”)	< 5%	5% до 10%	> 10%
Відтворюваність вимірювальної системи (між оцінювачами)	> 90%	80% до 90%	< 80%
Загалом ефективність вимірювальної системи (усі оцінювачі стосовно референсу)	> 90%	80% до 90%	< 80%
Статистика каппа Коена	>0.75	0.40 to 0.75	<0.40

Результати візуальної перевірки були оцінені за допомогою програмного забезпечення Minitab (модуль Attribute Agreement Analysis) [14]. Для розрахунку коефіцієнту Каппа Коена використано програмне забезпечення QS-STAT / SOLARA.MP та її стратегію оцінки MSA ANOVA [15].

На рис. 2 зліва можна побачити оцінку рівня узгодженості між оцінювачами (аналогія повторюваності), а справа можна побачити оцінку рівня узгодженості між оцінювачами та стандартом. Крапки позначають фактичну згоду для кожного оцінювача, а хрестики позначають межі прогнозу 95% довірчого інтервалу для середньої згоди.

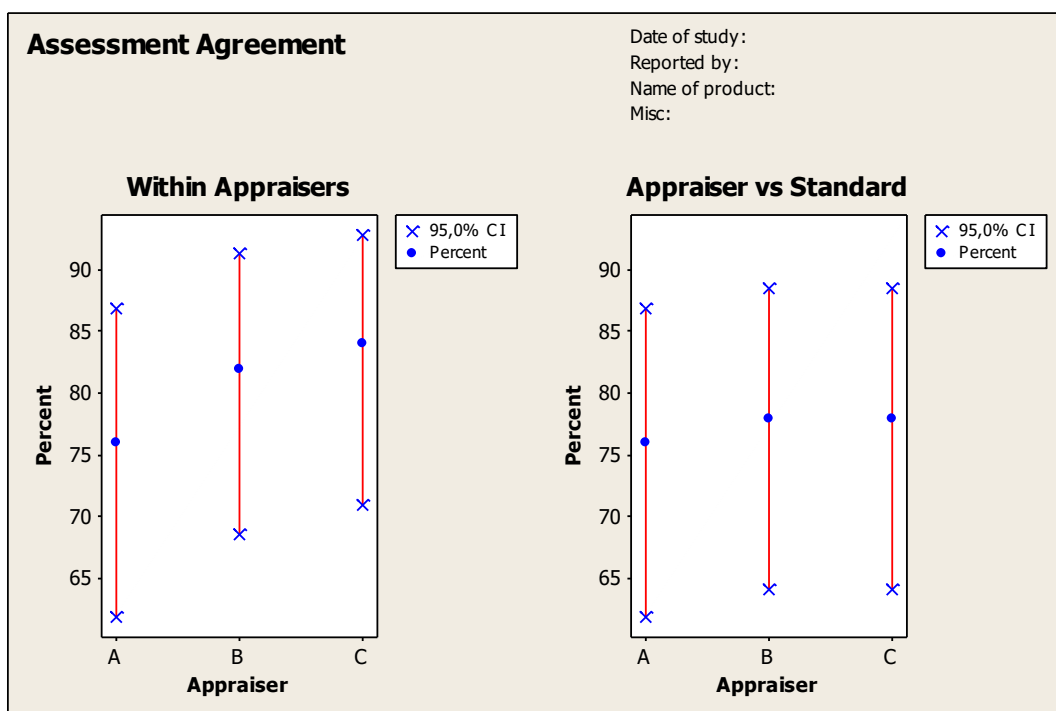


Рис. 2. Графіка Minitab – Оцінка рівня узгодженості (дослідження при рівні освітленості 700 люксів)

Табл. 2. Індивідуальна повторюваність – рівень освітленості - 700 люксів

Індивідуальна повторюваність			
Узгодженість оцінювання			
Оцінювач	Перевірено	Співпадінь	%
A	50	38	76
B	50	41	82
C	50	42	84

Табл. 3. Індивідуальна ефективність - рівень освітленості - 700 люксів

Індивідуальна ефективність			
Узгодженість оцінювання			
Оцінювач	Перевірено	Співпадінь	%
A	50	38	76
B	50	39	78
C	50	39	78

Табл. 4. Неправильна класифікація – рівень освітленості - 700 люксів

Кожен оцінювач порівняно зі стандартними результатами			
Неправильна класифікація			
Оцінювач	A	B	C
Хибні позитивні результати (Miss Rate)	4	9	7
Загалом оцінено як NOK	75	75	75
Хибні негативні результати (False Alarm Rate)	10	7	11
Загалом оцінено як OK	75	75	75
Хибні позитивні результати (Miss Rate)	5.3	12.0	9.3
Хибні негативні результати (False Alarm Rate)	13.3	9.3	14.7

Табл. 5. Відтворюваність вимірювальної системи – рівень освітленості - 700 люксів

Між результатами оцінювачів		
Узгодженість оцінювання		
Перевірено	Співпадінь	%
50	28	56

Табл. 6. Ефективність вимірювальної системи – рівень освітленості - 700 люксів

Між результатами оцінювачів та референсу		
Узгодженість оцінювання		
Перевірено	Співпадінь	%
50	28	56

Аналізуючи результати дослідження, представлені в таблицях 2 - 6, можна зробити наступні висновки:

1) у оцінювачів (індивідуальна повторюваність) становить 76%, 82% та 84% для оцінювачів 1, 2 і 3 відповідно (ліва частина рис.2 і таблиця 2), тому це означає, що ці оцінювачі не послідовні в своїх оцінюваннях;

2) кожен оцінювач порівняно із референсом (індивідуальна ефективність) становить менше 80% для всіх оцінювачів, тому неприйнятно (права частина рис. 2 і таблиця 3);

3) результати оцінювання розбіжностей або ж неправильна класифікація (таблиця 4) показує, що всі оцінювачі перевищили поріг у 5 % при класифікації “не добре” як “добре”; що стосується класифікації “добре”, яке було оцінено як “не добре”, то двоє з трьох оцінювачів опинилися у “червоному полі”, що вказує на однозначну неприйнятність;

4) результати між оцінювачами (відтворюваність вимірювальної системи) показують, що всі три оцінювачі погодилися один з одним щодо трьох оцінок лише 28 разів на 50 оцінених зразків або ж 54%, що також вказує на неприйнятність (таблиця 5);

5) що стосується загальної ефективності вимірювальної системи (між результатами оцінювачів та референсу), то як і попередній показник, він вказує на критичну неприйнятність – лише 56% (таблиця 6).

6) аналіз за допомогою програмного забезпечення Q-DAS solara.MP (рисунок 3), калькулює нам загальний коефіцієнт Каппа: $Kappa_{Co} = 0.6272$, тому вимірювальна система не прийнятна.

Cohen's Kappa Within and between appraisers

Operator	k	k	SEk	Z	P
A	---	0.75	---	---	---
B	---	0.75	---	---	---
C	---	0.75	---	---	---
A x B	0.681	0.75	0.0812	8.384	0.000
A x C	0.705	0.75	0.0816	8.643	0.000
B x C	0.627	0.75	0.0814	7.706	0.00000000000000655

			Evaluation category	
Number of reference parts	=	50	0 / not OK 1 / OK	
Number of operators	=	3		
Number of trials per operator	=	3		
Number of reference measurements	=	1		
Number of evaluation categories	=	2		
Kappa _{Co}	=	K' _{Co}	=	0.6272
The requirements were not met (min. _{K_{EL}})				

Cohen's Kappa versus Reference Within and between appraisers

Operator	k	k	SEk	Z	P
A	0.813	0.75	0.0814	9.993	0.000
B	0.787	0.75	0.0816	9.638	0.000
C	0.760	0.75	0.0815	9.321	0.000
All operators	---	0.75	---	---	---

				Evaluation category	
Number of reference parts	=	50		0 / not OK 1 / OK	
Number of operators	=	3			
Number of trials per operator	=	3			
Number of reference measurements	=	1			
Number of evaluation categories	=	2			
$Kappa_{co}$	=	K'_{co}	=	0.6272	
The requirements were not met (min. K_{FD})					

Рис. 3. Звіт Q-DAS solara.MP – розрахунок загального коефіцієнту узгодженості Кетта (дослідження при рівні освітленості 700 люксів)

Отже, після первинного дослідження можна зробити висновок, що результати оцінювання не задовольняють встановлені вимоги. Причому, результати оцінювань погіршувалися з кожною наступною спробою. Це могло бути пов'язано із зоровою втомою оцінювача протягом зміни.

Наступне дослідження проводились згідно попередньої методики, але при рівні освітленості 1600 люксів.

Результати представлені на рисунку 3 і в таблицях 7 - 11. Слід зауважити, що індивідуальна повторюваність та індивідуальна ефективність оцінювачів зросла до 96%, 98% та 94% відповідно до оцінювачів А, В та С, тому узгодженість близька до ідеальної (рис. 4, таблиця 7 і 8).

Результати оцінювання розбіжностей або ж неправильна класифікація, представлені у таблиці 8, демонструють, що лише 2 рази зразок “не добре” був оцінений як “добре” або ж два оцінювачі зробили по 1,3% помилок при допустимому рівні 2%. Що стосується хибних негативних результатів (False Alarm Rate) – 1,3%, 1,3%, 2,7% відповідно до оцінювачів А, В, С при прийнятних 5%.

Відтворюваність та загальна ефективність вимірювальної системи склала 92%, що чітко вказує на її беззаперечну прийнятність.

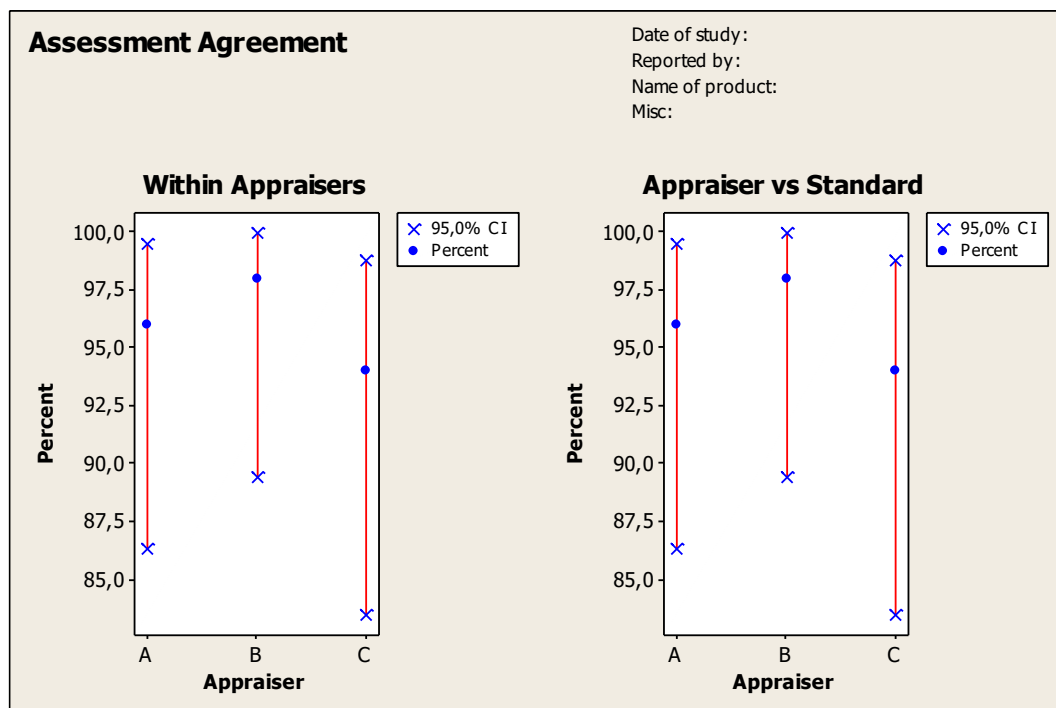


Рис. 4. Графіка Minitab – Оцінка рівня узгодженості (дослідження при рівні освітленості 1600 люксів)

Табл. 7. Індивідуальна повторюваність – рівень освітленості -1600 люксів

Індивідуальна повторюваність			
Узгодженість оцінювання			
Оцінювач	Перевірено	Співпадінь	%
A	50	48	96
B	50	49	98
C	50	47	94

Табл. 8. Індивідуальна ефективність - рівень освітленості - 1600 люксів

Індивідуальна ефективність			
Узгодженість оцінювання			
Оцінювач	Перевірено	Співпадінь	%
A	50	48	96
B	50	49	98
C	50	47	94

Табл. 9. Неправильна класифікація – рівень освітленості -1600 люксів

Кожен оцінювач порівняно зі стандартними результатами			
Неправильна класифікація			
Оцінювач	A	B	C
Хибні позитивні результати (Miss Rate)	1	0	1
Загалом оцінено як NOK	75	75	75
Хибні негативні результати (False Alarm Rate)	1	1	2
Загалом оцінено як OK	75	75	75
Хибні позитивні результати (Miss Rate)	1.3	0.0	1.3
Хибні негативні результати (False Alarm Rate)	1.3	1.3	2.7

Табл. 10. Відтворюваність вимірювальної системи – рівень освітленості - 1600 люкс

Між результатами оцінювачів		
Узгодженість оцінювання		
Перевірено	Співпадінь	%
50	46	92

Табл. 11. Ефективність вимірювальної системи – рівень освітленості - 1600 люкс

Між результатами оцінювачів та референсу		
Узгодженість оцінювання		
Перевірено	Співпадінь	%
50	46	92

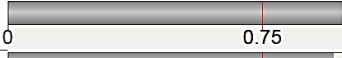
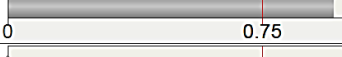
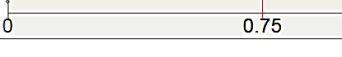
На основі застосування статистики Каппа (рис. 5) було розраховано значення коефіцієнту Каппа: **Каппа_{CO}** = 0,9333. Висновок - вимірювальна система є придатною.

Cohen's Kappa
Within and between appraisers

Operator	k	k	SEk	Z	P
A	---	0 0.75	---	---	---
B	---	0 0.75	---	---	---
C	---	0 0.75	---	---	---
A x B	0.960	0 0.75	0.0816	11.76	0.000
A x C	0.933	0 0.75	0.0816	11.43	0.000
B x C	0.947	0 0.75	0.0816	11.59	0.000

				Evaluation category
Number of reference parts	=	50		0 / not OK 1 / OK
Number of operators	=	3		
Number of trials per operator	=	3		
Number of reference measurements	=	1		
Number of evaluation categories	=	2		
Kappa _{Co}	=	K' _{Co}	= 0.9333	
Measurement system capable (min, k _{FI})				

Cohen's Kappa versus Reference
Within and between appraisers

Operator	k	k	SEk	Z	P
A	0.973		0.0816	11.92	0.000
B	0.987		0.0816	12.09	0.000
C	0.960		0.0816	11.76	0.000
All operators	--- 955		--- 955	--- 955	--- 955

				Evaluation category
Number of reference parts	=	50		0 / not OK 1 / OK
Number of operators	=	3		
Number of trials per operator	=	3		
Number of reference measurements	=	1		
Number of evaluation categories	=	2		
Kappa _{Co}	=	K' _{Co}	= 0.9333	
Measurement system capable (min, k _{FI})				

Рис. 5. Звіт Q-DAS solara.MP – розрахунок загального коефіцієнту узгодженості Калпа (рівень освітленості 1600 люксів)

Додатково було проведено дослідження з рівнем освітленості 2500 люксів. Результати предсталені нижче у таблицях 12-16.

Табл. 12. Індивідуальна повторюваність – рівень освітленості -2500 люксів

Індивідуальна повторюваність			
Узгодженість оцінювання			
Оцінювач	Перевірено	Співпадінь	%
A	50	49	98
B	50	48	96
C	50	49	98

Табл. 13. Індивідуальна ефективність - рівень освітленості - 2500 люксів

Індивідуальна ефективність			
Узгодженість оцінювання			
Оцінювач	Перевірено	Співпадінь	%
A	50	49	98
B	50	48	96
C	50	49	98

Табл. 14. Неправильна класифікація – рівень освітленості - 2500 люксів

Кожен оцінювач порівняно зі стандартними результатами			
Неправильна класифікація			
Оцінювач	A	B	C
Хибні негативні результати (Miss Rate)	1	0	1
Загалом оцінено як NOK	75	75	75
Хибні позитивні результати (False Alarm Rate)	0	2	0
Загалом оцінено як OK	75	75	75
Хибні позитивні результати (Miss Rate)	1.3	0.0	1.3
Хибні негативні результати (False Alarm Rate)	0.0	2.7	0.0

Табл. 15. Відтворюваність вимірювальної системи – рівень освітленості - 2500 люксів

Між результатами оцінювачів		
Узгодженість оцінювання		
Перевірено	Співпадінь	%
50	46	92

Табл. 16. Ефективність вимірювальної системи – рівень освітленості - 2500 люксів

Між результатами оцінювачів та референсу		
Узгодженість оцінювання		
Перевірено	Співпадінь	%
50	46	92

За результатами досліджень (таблиці 12 - 16) було зроблено висновок про те, що при збільшенні рівня освітленості до 2500 люксів загальна ефективність вимірювальної системи залишилась на тому ж рівні, що й при 1600 люксах. Це може бути пов'язано з тим, що при збільшенні рівня освітленості підсилюється блиск металевої поверхні і зображення не покращується. Крім того. Слід пам'ятати, що при надмірному освітленні пришвидшується зорова втома оцінювача.

Автори провели дослідження залежності рівня освітленості об'єкта оцінювання від відстані до джерела світла (таблиця 17), на основі якого було встановлено оптимальну відстань знаходження об'єкта оцінювання по відношенню до джерела світла – 95-100 см.

Табл. 17. Залежність рівня освітленості об'єкта оцінювання від відстані до джерела світла

Відстань від джерела світла до об'єкта оцінювання, см	Рівень освітленості, люкс
10	15000
15	11000
20	8800
25	7000
30	5800
35	5200
40	4500
45	4000
50	3500
55	3150
60	2800
65	2560
70	2320
75	2150
80	1940
85	1850
90	1780
95	1700
100	1500

Висновки

Результати досліджень довели, що оптимальні умови освітленості мають значний позитивний вплив на атрибутивну вимірювальну систему. Індивідуальна повторюваність (варіація в межах одного оцінювача) та

індивідуальна ефективність (варіація в межах одного оцінювача та референсу) зросла у середньому з 80% (за умов освітленості 600 люксів) до 96% (за умов освітленості 1600 люксів). Це свідчить про те, що оцінювачі були більш послідовними під час перевірки за покращеного освітлення. Відтворюваність (між результатами оцінювачів) вимірювальної системи зросла з 56% до 92%, вказуючи на те, що узгодженість між інспекторами стала значно кращою за рівня освітленості 1600 люксів. Загальна ефективність (між результатами оцінювачів та референсу) вимірювальної системи склала 92% за умов оптимального освітленості 1600 люксів. Статистика Каппа продемонструвала суттєвий приріст від 0,6272 (часткова прийнятність) до 0,9332 (повна прийнятність), що також вказує на помітне зростання узгодженості оцінок при збільшенні рівня освітленості. Подальше збільшення рівня освітленості до 2500 люксів кращих результатів не показало. Тобто ефективність вимірювальної системи не зросла. На основі дослідження залежності рівня освітленості об'єкта оцінювання від відстані до джерела світла авторами було встановлено оптимальну відстань знаходження об'єкта оцінювання від джерела світла – 95-100 см.

Аналіз вимірювальної системи за атрибутами є ефективним інструментом, який організація може використовувати для кращого розуміння своїх процесів контролю та перевірки достовірності даних, отриманих за допомогою вимірювальних систем. Оптимізація рівня освітленості в атрибутивних вимірювальних системах підвищує їх точність, ефективність та універсальність. Вона забезпечує коректні оцінювання, зменшуючи зовнішні перешкоди, такі як відблиски або тіні, покращує обробку даних у реальному часі та дозволяє краще виявляти недоліки, що є ключовим для багатьох сучасних вимірювальних задач, вирішення яких є важливим для підтримки високих стандартів контролю.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що фінансових чи інших потенційних конфліктів щодо цієї роботи немає.

Список використаної літератури

- [1] Koretska O. (2023) / USING STATISTICAL METHODS OF PRODUCT QUALITY MANAGEMENT / № 8 (2023): "Problems of Contemporary Transformations. Series: Economics and Management" / DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2023-8-10-02> [in Ukrainian].
- [2] What Is Measurement System Analysis: Understanding Process Variation, Aug 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.simplilearn.com/measurement-system-analysis-article>
- [3] Carmen Simion (2016) Evaluation of an attributive measurement system in the automotive industry / OP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 145, Issue 5 / DOI 10.1088/1757-899X/145/5/052005
- [4] MSA Measurement System Analysis. Measurement System March 9. [Online]. Available: <https://techqualitypedia.com/measurement-system-analysis/>
- [5] C. Saikaew, An implementation of measurement system analysis for assessment of machine and part variations in turning operation / Measurement Volume 118, March 2018, Pages 246-252 / <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.01.008>
- [6] Rolls-Royce plc, Measurement Systems Analysis, How-to Guide, Version 6.1 (August 2013).
- [7] An AESQ Reference Manual Supporting SAE AS13100™ Standard.
- [8] Wiktor Harmatys, Adam Gąska, Piotr Gąska, Maciej Gruza, Jerzy A. Śladek. Assessment of Background Illumination Influence on Accuracy of Measurements Performed on Optical Coordinate Measuring Machine Equipped with Video Probe. Sensors 2021, 21(7), 2509; <https://doi.org/10.3390/s21072509>
- [9] Saeed Shojaee Barjoe, Semyon Gendler. Sustainable illumination: Experimental and simulation analysis of illumination for workers wellbeing in the workplace. Volume 10, Issue 24, 30 December 2024, e40745. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40745>
- [10] J.M. Katabaro, Y. Yan Effects of lighting quality on working efficiency of workers in office building in Tanzania. Environ. Public Health., 2019, pp. 1-12, <https://doi.org/10.1155/2019/3476490>
- [11] R. Abdollahi. Design of lighting system for sacred places with the approach of improving technical and economic conditions. Ain Shams Eng. J., 12 (3) (2021), pp. 2899 - 2905, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.02.021>
- [12] D. Dupláková, M. Flimel, J. Duplák, M. Hatala, S. Radchenko, F. Botko. Ergonomic rationalization of lighting in the working environment. Part I: proposal of rationalization algorithm for lighting redesign Int. J. Ind. Ergon., 71 (2019), pp. 92-102, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.02.012>
- [13] EN 12464-1:2021 Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places
- [14] Data Analysis, Statistical & Process Improvement Tools | Minitab
- [15] Q-DAS solara.MP | Hexagon