УДК 621.317; 658.56

[0000-0002-3074-3898] **О-С. І. Корчинська,** *аспірант,*
e-mail: olha-solomiia.i.korchynska@lpnu.ua
[0000-0002-0591-6304] **М. М. Микийчук,** *д-р техн. наук, професор*
e-mail: mykolamm@ukr.net
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79000, Україна

ДЖЕРЕЛА МЕТРОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ЯК ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

Сталий розвиток науки та техніки, впровадження численних інновацій та ускладнення технологічних процесів, особливо в частині метрологічного забезпечення, зумовлюють важливість дослідження та аналізу джерел метрологічних ризиків, які певним чином впливають на формування якості продукції на етапі виготовлення. Усе це породжує багато нових метрологічних ризиків для виробництва, які необхідно вчасно ідентифікувати, класифікувати, виявити їх причини та наслідки. Авторами визначено та описано основні джерела метрологічних ризиків як факторів впливу на технологічний процес та здійснено їх узагальнену класифікацію, що дозволяє об'єднати фактори впливу різної природи в певні групи та полегшити процес ідентифікації під час оцінювання метрологічних ризиків. Пропонується поділяти їх на джерела зовнішнього середовища, на які підприємство не може впливати, а лише адаптуватися під них, та джерела внутрішнього середовища, на які можна впливати. Зовнішнє середовище включає соціально-економічні, науково-інноваційні та природно-екологічні фактори. До джерел внутрішнього середовища відносяться технічні, людські та фактори системи метрологічного забезпечення. Ідентифікація повинна включати ризики, незалежно від їхньої природи, складності та можливості контролю. Отриману з різних джерел інформацію про ідентифіковані ризики рекомендується зберігати в єдиній інформаційній системі, основою якої є реєстр ризиків. У ньому зберігається інформація про виявлені причини та наслідки кожного ризику, а дані структуруються згідно з запропонованою класифікацією, яка дозволяє їх описати та порівняти. Наявність такого реєстру дозволяє отримати інформацію, яка стосується джерела конкретного ризику, а також є основою для його оцінювання та мінімізації.

Ключові слова: *ідентифікація метрологічних ризиків, реєстр ризиків, зовнішні фактори впливу, внутрішні фактори впливу, метрологічне забезпечення виробництва.*

Вступ. Виробничі процеси з кожним днем стають все складнішими через численні інновації, наукові розробки та жорсткіші вимоги до показників якості. Це вимагає певних змін для усіх елементів виробництва, зокрема й метрологічного забезпечення (МЗ). Під час проектування технологічних процесів (ТП) набуває значного поширення використання інтелектуальних сенсорів, мережевих технологій, інтернету речей та машинного навчання [1, 2]. У зв'язку з цим створюються нові труднощі, пов'язані з необхідністю адаптації метрологічних процесів на етапі виготовлення, що сприяють виникненню численних ризиків, пов'язаних з МЗ виробництва. Тому оцінювання метрологічного ризику (МР) [3] необхідно здійснювати окремо від інших ризиків. Обов'язковою умовою перед оцінюванням є ідентифікація МР. Процес ідентифікації складається з виявлення та реєстрації їх джерел, причин та наслідків, які певним чином впливають на ТП. Джерелами МР є будь-які фактори, що впливають на МЗ виробництва і перешкоджають його нормальному розвитку та функціонуванню. Ці фактори впливу можуть формуватися внутрішнім середовищем, на яке виробництво може впливати, і зовнішнім середовищем, на яке виробництво впливати не може. Тому при ідентифікації факторів необхідно вивчити та зрозуміти внутрішній і зовнішній контекст організації [4]. На діяльність кожного підприємства впливає багато факторів, які взаємодіють між собою, залежать від сфери діяльності та змінюються в часі. Тому необхідно класифікувати потенційні небезпеки та фактори впливу в категорії для кращого аналізу та розуміння їх природи.

© О-С. І. Корчинська, М. М. Микийчук, 2023
DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.273708

Мета та задачі дослідження. *Метою* роботи є визначення та опис факторів впливу на технологічний процес як джерел метрологічних ризиків та проведення їх узагальненої класифікації. Основними *задачами* для досягнення поставленої мети є: дослідження та аналіз джерел метрологічних ризиків, які впливають на формування якості продукції на етапі виготовлення, вивчення впливу метрологічних ризиків на якість продукції та класифікація їх джерел з метою їх ідентифікації та оцінювання.

Виклад основного матеріалу

1. Зовнішні фактори впливу на технологічний процес. Фактори впливу на ТП умовно можна поділити на фактори прямого та непрямого впливу. Джерела МР, пов'язані з зовнішнім середовищем, є факторами непрямого впливу, тобто такими, що не здійснюють безпосереднього впливу на механізми ТП. Таке зовнішнє середовище впливає на всі підприємства одразу, а не безпосередньо на якесь конкретне. Вага впливу таких факторів також не є однаковою та значною мірою залежить від діяльності виробництва. Так, для прикладу, екологічні чинники зовнішнього середовища матимуть більший вплив в атомній енергетиці порівняно з виробництвом смартфонів. Тому охарактеризувати точний вплив зовнішнього чинника на показники метрологічної діяльності можливо з певною імовірністю через їх масштабність і опосередкований характер впливу. Процеси зовнішнього середовища є взаємопов'язаними. Так, політична або соціальна діяльність може впливати на стан навколишнього середовища, що, зі свого боку, дуже сильно впливатиме на виробництво. Таким чином, фактори зовнішнього середовища пов'язані між собою кореляційними зв'язками, з якими зміна одного з факторів впливає на інші складові [5]. Таку особливість обов'язково необхідно враховувати під час проведення оцінювання МР. В такому випадку проводити факторний аналіз є доволі складною задачею і для ідентифікації таких ризиків недостатньо залучити персонал виробництва. Необхідним є залучення експертів певної сфери для проведення якіснішого аналізу.

Зовнішні ризики безпосередньо не залежать від діяльності підприємства і слабо або зовсім не піддаються впливу з його боку та виникають ізольовано від нього. Попри це, їх ідентифікація та аналіз є необхідними в процесі оцінювання МР, а їх вплив на ТП буде залежати від адаптивності виробництва та ефективності системи управління якістю. Тому одним із важливих завдань є ретельне дослідження впливу зовнішніх факторів на процес виготовлення, своєчасне визначення найвпливовіших джерел ризиків та врахування його впливу під час оцінювання МР [3].

Зовнішнє середовище забезпечує виробництво необхідними ресурсами для допомоги його внутрішньому потенціалу, тому врахування його факторів, що породжують МР, є обов'язковим і містить аналіз зовнішніх елементів оточення підприємства. Основним напрямом під час такого аналізу є визначення та розуміння наявних і потенційних загроз, з якими виробництво може або вже зіткнулося.

До зовнішніх факторів впливу пропонується віднести: соціально-економічне середовище, науково-технічний та інноваційний розвиток країни, екологічний стан навколишнього середовища.

Соціально-економічні фактори. Джерела МР, які відносяться до цієї групи, виникають внаслідок дії таких факторів, як соціальні, політичні та економічні. В рамках цієї класифікації їх пропонується об'єднати і віднести до однієї групи соціально-економічних факторів.

Соціально-економічні фактори є однією з основних груп, що породжують МР, які так само впливають на якість продукції на етапі виготовлення, а отже, потребують належного дослідження [6], аналізу й оцінювання [3]. Дослідження впливу соціально-економічних зовнішніх впливів на ТП є важливим етапом ідентифікації МР, а проведення аналізу полягає у діагностиці основних проблем метрологічного забезпечення виробництва (МЗВ), які потрібно вирішити, встановленні їх джерел та імовірних наслідків.

Соціальні фактори – це джерела МР, які виникають внаслідок непередбачуваних подій у суспільстві як результат будь-яких соціальних процесів у країні. Ці фактори включають такі події, як зміна демографічних показників, якості освіти, вікового розподілу, соціальних настроїв/звичаїв та ставлення людей до праці, а також терористичну діяльність, що призводить до проблем з людськими ресурсами, до зміни попиту на продукцію через зниження її якості та зупинок виробництва.

Політичні фактори впливу – це джерела МР, які спричиняють виникнення збитків та зниження якості продукції внаслідок зміни

© О-С. І. Корчинська, М. М. Микийчук, 2023
DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.273708

політичної ситуації в країні. Врахування такого виду ризиків особливо важливе в країнах з нестабільним законодавством. Події, пов'язані з цими факторами, включають вибори урядовців з новими політичними планами, рівень бюрократії та корупції, зміни в нормативно-правовому регулюванні в метрологічній діяльності, а також нові закони та правила і будь-які зміни в політичному середовищі, що призводять до зміни податкової політики, трудового права, комунальних тарифів, митного контролю та політичної стабільності в цілому [7].

Економічні фактори – це джерела МР, які впливають на зміни якості продукції внаслідок змін в економіці країни та зумовлюють загальний стан економіки. Пов'язані події включають розподіл бюджету, зміну цін, темпи економічного зростання, ціни на енергоносії, що спричиняють зміни в оплаті праці, рівні наявного доходу та його розподіл.

Таким чином, якість продукції на етапі виготовлення перебуває під впливом соціальних, політичних та економічних подій і рішень, які є джерелами МР. До якого з трьох наведених вище факторів відноситься певний МР, охарактеризувати важко, оскільки його джерелом можуть бути одночасно всі три фактори. Для прикладу, ризики, пов'язані з розподілом бюджету, виникають одразу внаслідок певних змін в економіці та політиці країни. Саме тому МР, спричинені цими факторами, пропонується відносити до однієї соціально-економічної групи.

Науково-інноваційні фактори. Науково-інноваційні фактори – це джерела МР, що спричиняють втрати внаслідок відставання виробництва від науково-інноваційних процесів країни в сфері метрології. Науково-інноваційні ризики залежать від виду галузі, в якій функціонує підприємство, тому наслідки в разі їх виникнення будуть різними для кожного виробництва. Особливо варто звертати увагу на такі ризики підприємствам, які функціонують у новітніх галузях науки та техніки, оскільки саме там відбувається дуже стрімкий науково-інноваційний розвиток. Варто зазначити, що до наукових інновацій належать нові підходи до виконання нових та старих речей, вирішення нових чи старих проблем. Вони передбачають не лише інновації в технічному обладнанні, але й нові методи та способи організації ТП. Події, пов'язані з цією групою ризиків, включають швидкий науково-технологічний прогрес, появу нового вимірювального обладнання та методів вимірювання, нових конструкторських і технологічних розробок, системи передачі та обробки інформації, автоматизацію виробництва, що спричиняють додаткові витрати на оновлення МЗ, час на введення нових методів та розробок у ТП, підготовку відповідного персоналу, що, зі свого боку, породжує багато МР, пов'язаних з організаційними рішеннями та інтеграційними процесами [8]. Впровадження інновацій у сферу МЗ виробництва не лише покращує якість продукції, але й збільшує конкурентоспроможність виробництва. Впроваджувати наукові інновації необхідно також для того, щоб уникнути значних ризиків у майбутньому внаслідок старіння методів і технологій виробництва, що впливатимуть на якість. Важливим є своєчасне та обдумане введення інновацій в механізми функціонування виробництва, проте слід обережно здійснювати ці процеси, оскільки неправильні рішення можуть призвести до критичних наслідків.

Природно-екологічні фактори. Природно-екологічні фактори – це джерела МР, які виникають внаслідок проявлення стихійних сил природи і спричиняють незаплановані зміни кінцевого результату метрологічної діяльності. Такі фактори першочергово пов'язані з особливостями місцевості (географічне розташування, природні катаклізми, специфіка кліматичних умов), в якій розташоване і проводить свою діяльність підприємство.

До подій, пов'язаних з цією групою ризиків, належать зміни температури, тиску, вологості, виникнення повеней, пожеж і землетрусів, що впливають на результати вимірювання та персонал, що його здійснює, а також частково пошкоджують або повністю знищують метрологічне обладнання та лабораторії. Природно-екологічні фактори створюють ризики, пов'язані з непридатними умовами навколишнього середовища. Такі МР можуть впливати на результати метрологічної діяльності та забезпечення необхідної якості продукції на етапі виготовлення, зокрема на забезпечення відтворюваності вимірювань. Згідно з [9] відтворюваність вимірювань – характеристика якості вимірювань, що відображає близькість результатів вимірювань тієї самої величини, виконаних у різних умовах (у різний час, у різних місцях, різними методами та засобами), але приведених до однакових умов вимірювання (температура, тиск, вологість та ін.). Слід звернути увагу на «однакові

© О-С. І. Корчинська, М. М. Микийчук, 2023
DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.273708

умови вимірювання». Ці умови згідно з NIST [10] мають відповідати міжнародно прийнятим значенням температури (20 °С) та тиску (760 мм рт. ст.). Невелика зміна цих параметрів може вплинути на появу додаткових похибок, які необхідно враховувати під час оформлення результатів вимірювання. Відносна вологість, температурні градієнти, вібрація та вміст CO_2 у повітрі впливають на показник заломлення світла, на що потрібно зважати під час здійснення відповідних вимірювань.

Персонал, що здійснює метрологічну діяльність, також може піддаватися впливу природно-екологічних факторів. Непридатні умови та стихійні лиха, такі як пожежі, землетруси, блискавки можуть спричиняти травми на виробництві, хвороби, психологічні розлади і навіть смерті. Також ця група факторів впливає на ресурсне забезпечення виробництва і може різко погіршити умови його використання.

Виробництво не може впливати на умови навколишнього середовища, проте воно здатне адаптуватися та впроваджувати необхідні рішення для забезпечення нормальних умов. Для цього має приділятися увага дотриманню норм температури, тиску, вологості, освітленості, вібрації, шуму і т. д. Метрологічна діяльність повинна бути призупинена, якщо умови навколишнього середовища ставлять під сумнів достовірність її результатів.

2. Внутрішні фактори впливу на технологічний процес. Внутрішнє середовище, так само як і зовнішнє, є джерелом МР. Усі фактори, що безпосередньо залежать від діяльності підприємства і впливають на якість продукції, що виготовляється, є внутрішніми факторами. Такі фактори належать до факторів прямого впливу та є індивідуальними для кожного підприємства. МР, пов'язані з некоректними графіками проведення калібрування, виникають внаслідок недоліків у системі організації лише конкретного виробництва та не впливають на інші. Вага впливу таких ризиків, як і у зовнішніх, є також різною і значною мірою залежить від організаційної діяльності конкретного виробництва. Для прикладу, МР, пов'язані з графіками калібрування, будуть мати різний вплив залежно від здатності виробництва оперативно реагувати на їх наслідки.

Вплив внутрішнього чинника на показники метрологічної діяльності легше охарактеризувати, оскільки тут існує більш зрозумілий причинно-наслідковий зв'язок ризикових подій порівняно з зовнішніми МР. Процеси, пов'язані з внутрішнім середовищем, також є взаємозалежними. Неправильне поводження з вимірювальним обладнанням з боку персоналу впливатиме на коректність його роботи, що, зі свого боку, впливатиме на якість продукції на етапі виготовлення. Проте тут простіше ідентифікувати й проаналізувати такі послідовні та взаємозалежні ризики, оскільки вони відбуваються в межах виробництва, а у керівництва є повний доступ до усіх процесів та ресурсів. Порівняно із зовнішніми ризиками, для проведення факторного аналізу внутрішніх чинників не потрібно залучати сторонніх осіб, оскільки вони є некомпетентними у механізмах діяльності виробництва.

Оскільки внутрішні ризики виникають як результат діяльності підприємства, тому вони повністю піддаються його контролю, а їх вплив буде залежати від своєчасного визначення джерел ризиків, а також заходів щодо їх ліквідації чи мінімізації. Тому внутрішні ризики необхідно аналізувати й оцінювати нарівні з зовнішніми. Хоча вони й мають певні особливості, проте більшою мірою ці два чинники є схожими, а значущість наслідків у разі виникнення таких МР матиме згубний вплив на якість виготовлення продукції, незалежно від природи їх походження: внутрішні чи зовнішні.

До внутрішніх факторів впливу пропонується віднести: персонал, що здійснює метрологічну діяльність, систему МЗ та технічне забезпечення виробництва.

Фактори системи метрологічного забезпечення. МЗ багатьма способами впливає на неперервність та ритмічність виробництва, собівартість продукції, обсяг її випуску, продуктивність праці та ефективність у багатьох процесах виробництва і споживання. Для визначення факторів впливу, які є джерелами МР системи МЗВ, необхідно дати визначення терміну «метрологічне забезпечення». В нормативному документі з метрології [9] представлено наступне поняття МЗ:

- установлення та застосування метрологічних норм та правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності та потрібної точності вимірювань.

Фактори системи МЗ є джерелами МР, які виникають внаслідок порушення метрологічних норм і правил для забезпечення необхідної точності та єдності вимірювань. Події,

© О-С. І. Корчинська, М. М. Микийчук, 2023
DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.273708

пов'язані з цією групую ризиків, включають застарілу документацію робочих процесів, методів вимірювання, незабезпечення процедур відтворення та передачі одиниць вимірювань, неоптимальне поєднання процедур підвищення точності вимірювань та затрат на їх досягнення, відсутність нормативно-методичної бази, недотримання єдності вимірювань та метрологічної відповідності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та інші події, що впливають на забезпечення якості та ефективності вимірювань. Згідно з [11] система показників якості МЗВ складається з показників результативності та ефективності. До показників результативності відносяться:

- забезпечення єдності вимірювань;
- забезпечення метрологічної відповідності ЗВТ;
- стандартизація методик виконання вимірювань;
- метрологічна експертиза конструкторської та технологічної документації;
- метрологічний нагляд та контроль;
- структура метрологічної служби;
- бази даних метрологічних характеристик.

До показників ефективності відносяться:

- точність вимірювань;
- достовірність контролю;
- повнота контролю;
- глибина контролю;
- оперативність контролю.

Повне або часткове недотримання описаних вище показників призводить до появи МР, які впливають на ТП та спричиняють втрати виробництва. Оскільки МЗВ є складною організаційно-технічною системою, складність якої зумовлена вдосконаленням сучасних виробничих процесів, потребою підвищення ступеня керованості та рівня автоматизації ТП, впровадження точніших методик виконання вимірювань, підвищення вимог до рівня якості та безпечності продукції, важливим завданням організації сучасних виробництв є створення високоефективних систем МЗВ для зменшення впливу факторів, пов'язаних з цією категорією джерел МР. Окрім цього, система МЗВ включає усі метрологічні складові виробництва, зокрема технічне забезпечення та персонал, що здійснює метрологічну діяльність.

Технічне забезпечення і людський фактор становлять суттєву частину МЗВ [12], тому фактори впливу, пов'язані з ними, слід виділяти в окремі категорії та оцінювати окремо.

Технічні фактори. Фактори технічного забезпечення виробництва – це джерела МР, які призводять до зміни кінцевого результату внаслідок використання у виробничому процесі невідповідного обладнання та технологій.

Події, пов'язані з цією групою ризиків, включають несвоєчасне виведення обладнання з експлуатації, несвоєчасне метрологічне обслуговування (повірка, калібрування) обладнання, його зберігання та транспортування, застаріле програмне забезпечення ЗВТ, невідповідні еталони, що впливають на достовірність результатів вимірювання та калібрування цим обладнанням. З цього боку, техніка має досить широке значення і стосується не тільки апаратного забезпечення (еталони, ЗВТ), але й програмного або їх комбінації, що використовується для оптимізації ТП. Програмне забезпечення включає спеціалізовані операційні системи, програмні забезпечення ЗВТ, програми для проведення багатовимірних вимірювань з одночасним використанням великої кількості сенсорів, автоматичного моніторингу стану систем, оцінки результату вимірювання та захисту інформації. Використання метрологічного обладнання під час здійснення метрологічної діяльності робить її ефективнішою і продуктивнішою. В більшості випадків її використання є обов'язковою умовою, оскільки в іншому випадку здійснювати вимірювання та калібрування стає неможливим. Вимірювання різниці потенціалів між шарами кори головного мозку неможливо здійснити без відповідного обладнання для підсилення, знешумлення, вимірювання та опрацювання сигналів електроенцефалограм [13]. На сьогоднішній день значного розвитку і поширення набувають автоматичні системи вимірювання та контролю на етапі виготовлення. Ці системи не потребують участі спеціального персоналу для проведення самих вимірювань. Проте критично необхідним у цьому випадку є своєчасне обслуговування, калібрування та моніторинг контрольних показників цього обладнання. В іншому випадку це може спричинити виникнення МР, що призведуть до критичних та невідворотних наслідків, які в майбутньому вплинуть на якість продукції та виробництво. Для зниження такого роду ризиків необхідно забезпечувати спеціально обладнані приміщення для прове-

© О-С. І. Корчинська, М. М. Микийчук, 2023
DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.273708

дення вимірювань. Вони мають бути досить просторими, щоб зменшити ризик виникнення небезпечних ситуацій та пошкодження устаткування, а також забезпечені витратними матеріалами для проведення вимірювань, випробувань та калібрувань. Використання пошкодженого та неповіреного обладнання і його невчасне виведення з експлуатації може призвести до виникнення МР. Також слід враховувати, що наявне устаткування може функціонувати належним чином, проте його метрологічні характеристики можуть не відповідати вимогам певних методик вимірювань. Щоб уникнути ризиків, пов'язаних з цим, необхідно перед виконанням робіт оцінити наявне обладнання з наявними методиками та підібрати найоптимальніший варіант. Окрім цього, виробництво повинне мати розроблені процедури поводження з вимірювальним обладнанням, його транспортування, зберігання, експлуатації та обслуговування.

Людський фактор. Людський фактор – це джерело МР, яке виникає внаслідок впливу людської діяльності на ТП. До подій, пов'язаних з цією групою ризиків, належать: відсутність кваліфікованого персоналу, неправильне використання вимірювального обладнання, робота з порушенням вимог інструкцій з використання обладнання, недотримання графіків калібрування, неправильне заповнення звітів, що впливають на результати вимірювань та калібрування, проведення перевірок, кінцеву якість вихідного продукту і можуть спричиняти пошкодження метрологічного обладнання. В основному джерела МР, пов'язаних з людським фактором, виникають через невиконання посадових обов'язків, низьку кваліфікацію, порушення технологій, процедур та корпоративних правил, помилки та зловживання. Для досягнення необхідної якості та зменшення кількості ризиків, пов'язаних з цією групою, виробництву варто звертати особливу увагу на навички, знання та компетентність кожного зі співробітників залежно від виду виконуваної ним роботи (проведення вимірювань, складання графіків, заповнення звітів чи догляд за приладами). Згідно з [14] компетентність – це вміння мобілізувати в конкретній ситуації отримані знання та досвід з огляду на зовнішні обставини. Невідповідне обслуговування вимірювального обладнання, порушення в процесі проведення вимірювання, виявлення та усунення дефектів і отримання недійсних результатів є наслідком некомпетентності персоналу, що впливає на ТП. Важливим є врахування не лише компетентності персоналу, але й інших чинників, що впливають на продуктивність. Такі властивості, як швидкість і точність роботи, можуть також впливати на якість продукції та залежати від фізичного, психологічного та емоційного стану людини. Дослідження [15] показує, що людські фактори, такі як ознайомлення із завданнями, втома, навчання та коливання уваги, впливають на результат будь-якого виробничого процесу. МР, пов'язані з людським фактором, необхідно досліджувати, незалежно від типу виробництва. Навіть на підприємствах з високим рівнем автоматизації їх аналіз є дуже важливим. Для прикладу, на об'єктах ядерної енергетики, де процедури контролю виконуються людьми, машинами або комбінацією людини й машини [16], людський фактор виявився важливим для виробництва.

У сфері метрології, персонал, як і в інших сферах, є основним джерелом ризиків [17]. Для мінімізації впливу МР, пов'язаних з людським фактором, роботодавець повинен забезпечити необхідне обладнання та приміщення, яке забезпечить свободу переміщення і точність дій. Керівництво має бути впевненим у компетентності своїх працівників, особливо тих, хто працює з обладнанням, яке потребує спеціальних навичок та досвіду. Усі завдання, чи то калібрування, чи догляд за приладами, повинні надаватися з огляду на відповідну освіту, досвід та підготовку. Проте необхідно зауважити, що люди не лише є джерелами ризиків, але й здатні вправно ними керувати та усувати їх, використовуючи свою винахідливість для вирішення неочікуваних проблем.

Результати досліджень. Внаслідок проведеного дослідження факторів впливу на ТП пропонується класифікація МР від цих факторів впливу (рисунок 1).

Така класифікація разом з методом оцінювання МР [3] дозволяє детальніше оцінити розмір не лише комплексного показника, але й кожного структурного рівня та зрозуміти, яка саме група джерел МР робить найбільший вплив на значення комплексного показника (внутрішні технічні чи зовнішні соціально-економічні).

© О-С. І. Корчинська, М. М. Микийчук, 2023
DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.273708

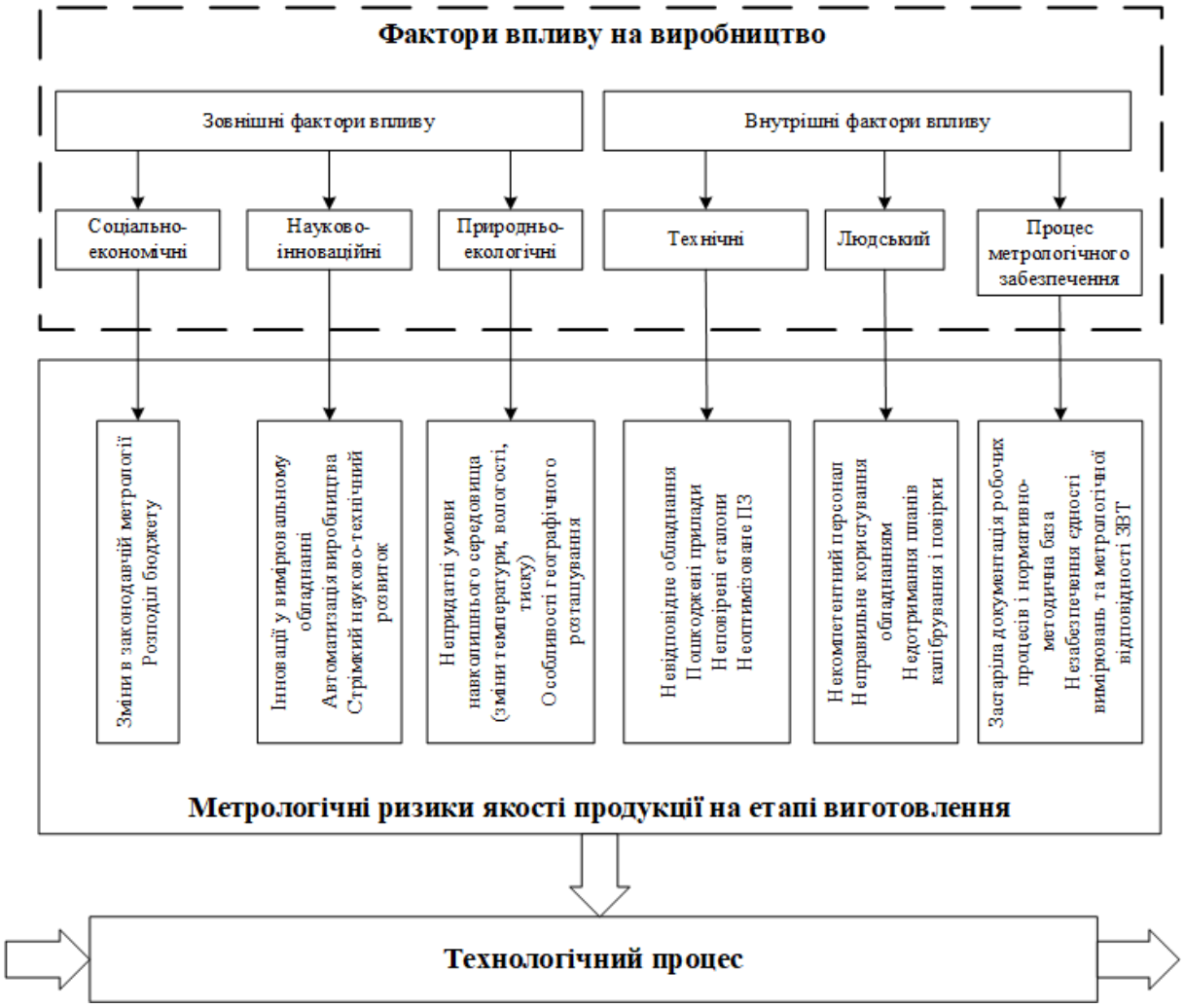

Рисунок 1. Класифікація МР від факторів впливу на технологічний процес

Тому перед оцінкою ризиків необхідна ідентифікація факторів впливу, які є джерелами МР. Отримана з різних джерел інформація про виявлені ризики збирається в одній інформаційній системі, основою якої є реєстр ризиків [4]. У ньому дані структуруються згідно з наведеною класифікацією (рисунок 1), яка дозволяє їх описати та порівняти. Приклад такого реєстру ризику зображено в таблиці 1.

Реєстр ризику є одним із методів представлення, збереження та моніторингу ризиків, їх потенційних джерел (факторів впливу) та імовірних наслідків, які впливають на ТП. Наявність такого реєстру дозволяє отримати інформацію, яка стосується джерела конкретного ризику, а також є основою для оцінки комплексного показника МР [3], що включає різні групи джерел МР. Розробка такого реєстру, особливо за наявності великої кількості джерел ризиків, потребує значних зусиль [18]. Тому для їх ідентифікації пропонується залучати якомога більшу кількість персоналу та проводити періодичний моніторинг для виявлення нових МР і контролю вже існуючих. Ідентифікація повинна включати ризики, незалежно від того, чи впливає на них виробництво (внутрішні фактори впливу), чи ні (зовнішні фактори впливу).

Обговорення результатів. У цьому дослідженні представлений комплексний аналіз джерел метрологічних ризиків, які впливають на технологічний процес виробництва. Авторами визначено й описано основні джерела метрологічних ризиків та запропоновано систему класифікації за факторами впливу. Також наведено реєстр ризиків як інструмент для збору та моніторингу інформації щодо ризиків, їх потенційних джерел і ймовірних наслідків, що впливають на технологічний процес виробництва. Значущість цього дослідження полягає в його практичному значенні для аналізу факторів впливу на технологічний

© О-С. І. Корчинська, М. М. Микийчук, 2023
DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.273708

процес та їх зв'язку з метрологічними ризиками якості продукції на етапі виробництва. Результати дослідження можуть бути використані для розробки більш свідомого управління метрологічними ризиками на етапі виробництва продукції, що спричинить покращення якості та підвищення ефективності виробничого процесу. Подальші дослідження в цій галузі мають бути зосереджені на розробці математичної моделі для оцінювання метрологічного ризику. Це створить умови для більш точного та надійного управління метрологічними ризиками на етапі виробництва. Зі стрімким та безперервним розвитком науки і технологій використання інтелектуальних систем і алгоритмів машинного навчання набуває значного поширення. У результаті ускладнюється процес метрологічного забезпечення виробництва, виникають нові небезпеки. Необхідно продовжити дослідження й аналіз метрологічних ризиків для забезпечення якості та безпеки продукції, що випускається.

Таблиця 1. **Реєстр метрологічних ризиків**

№	МР	Причини (джерела) МР	Наслідки
	Зовнішні фактори впливу		
1	*Соціально-економічні*		
1.1	Внесення змін до Закону України «Про метрологію і метрологічну діяльність»	Оновлення вмісту Закону згідно з вимогами законодавства ЄС	Витрати часу на інтеграцію відповідних змін на виробництвах
1.2	…	…	…
2	*Науково-інноваційні*		
2.1	Розвиток «Індустрії 4.0»	Науково-технічний розвиток України в сфері метрології і кіберфізичних систем	Адаптація виробництва під кіберфізичні системи вимірювання
2.2	…	…	…
3	*Природно-екологічні*		
3.1	Невідповідна температура навколишнього середовища на виробництві	Підвищення температури навколишнього середовища внаслідок зміни погодних умов	Збільшення похибки результату внаслідок проведення вимірювання за межами нормальних умов роботи обладнання
3.2	…	…	…
	Внутрішні фактори впливу		
4	*Технічні*		
4.1	Відсутність спеціального обладнання для вимірювання нерівності поверхні матеріалів	Відсутність фінансування на закупівлю необхідного обладнання	Застосування не призначеного для цього обладнання, що призводить до зниження якості матеріалів
4.2	…	…	…
5	*Людський*		
5.1	Несвоєчасна повірка/калібрування ЗВТ	Відсутність графіків повірки/калібрування та відповідального персоналу за їх дотримання	Використання неповірених/невідкаліброваних ЗВТ, що призводить до недостовірності результатів вимірювання
5.2	…	…	…
6	*Система метрологічного забезпечення*		
6.1	Застаріла нормативно-методична база виробництва для проведення калібрування	Несвоєчасне отримання інформації про отримання/оновлення нової нормативно-методичної бази	Протермінування підготовки протоколів з результатами калібрування
6.2	…	…	…

© О-С. І. Корчинська, М. М. Микийчук, 2023
DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.273708

Висновки. Необхідність дослідження та аналізу джерел метрологічних ризиків, які є факторами, що впливають на технологічний процес, зумовлена стрімким та безперервним розвитком науки і техніки та зростанням вимог до показників якості. Під час проектування технологічних процесів набуває значного поширення використання інтелектуальних систем та алгоритмів машинного навчання, що ускладнює процес метрологічного забезпечення виробництва і призводить до виникнення нових небезпек. Ці небезпеки є джерелами метрологічних ризиків, які необхідно ідентифікувати та класифікувати. Джерелами метрологічних ризиків є будь-які фактори, що впливають на метрологічне забезпечення виробництва і перешкоджають його нормальному розвитку та функціонуванню.

Авторами визначено й описано основні джерела метрологічних ризиків, які впливають на технологічний процес, та наведено їх узагальнену класифікацію.

Новизною цієї роботи є визначення та опис основних джерел метрологічних ризиків, які є факторами впливу на технологічний процес виробництва.

Практична цінність полягає в аналізі факторів впливу на технологічний процес та встановленні їх взаємозв'язків із метрологічними ризиками якості продукції на етапі виготовлення.

Перспектива подальших досліджень пов'язана з розробкою математичної моделі оцінювання метрологічних ризиків, яка створить умови для більш усвідомленого управління метрологічними ризиками на етапі виготовлення продукції.

Список використаних джерел

[1] М. Микийчук, Б. Стадник, С. Яцишин, та Я. Луцик, "Розумні вимірювальні засоби для кіберфізичних систем", *Вимірювальна техніка та метрологія*, т. 77, с. 3-16, 2016. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://doi.org/10.23939/istcmtm2016.77.003.

[2] О. Василевський, "Концепція метрологічного забезпечення в індустрії 4.0", *ІТКІ*, т. 48, № 2, с. 37-44, Верес. 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-48-2-37-44.

[3] О-С. Корчинська, та Т. Гут, "Система управління метрологічними ризиками якості продукції на етапі виготовлення", *Вимірювальна техніка та метрологія*, т. 83, № 1, с. 29-34, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://doi.org/10.23939/istcmtm2022.01.029.

[4] *Risk management – Guidelines*, ISO 31000:2018, 2018. [Online]. Available: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en.

[5] Ю. Ковтуненко, А. Олексійчук, та Т. Васалатій, "Фактори зовнішнього середовища, які впливають на вибір стратегії виробничого підприємства", *Інвестиції: практика та досвід*, т. 11, с. 55-58, 2016. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.investplan.com.ua/pdf/11_2016/13.pdf.

[6] F. R. Khan, "Socio-economic factors influencing entrepreneurship development: An empirical study across the small and medium enterprises of Chennai", *International Journal of Students Research in Technology & Management*, vol. 2, no. 3, pp. 89-94, State of Tamil Nadu, India, May, 2014.

[7] M. K. Zonouzi, M. Hoseyni, and M. Khoramshahi, "Political factors affecting the survival of SMEs case study: An empirical study in Tehran Grand Bazaar", *Asia Pacific Management Review*, vol. 26, no. 1, pp. 47-56, 2021. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.apmrv.2020.07.002.

[8] S. Aghmiuni, S. Siyal, Q. Wang, and Y. Duan, "Assessment of factors affecting innovation policy in biotechnology", *Journal of Innovation and Knowledge*, vol. 5, pp. 180-190, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.jik.2019.10.002.

[9] *Метрологія. Терміни та визначення,* ДСТУ 2681:1994, Київ, Україна, 1 січ., 1995. [Online]. Available: https://dtp.lg.ua/Dokumentacija%20i%20oformlenie/DSTU_2681-94_metrologiya._terminy_i_opredeleniya.pdf.

[10] *Standard temperature and pressure (STP)*, NIST. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_temperature_and_pressure.

[11] М. Микийчук, "Метрологічне забезпечення якості продукції на стадії виготовлення", дис. д-ра техн. наук, Національний університет "Львівська політехніка", Львів, 2012, с. 292.

[12] М. Микийчук, П. Столярчук, та Т. Бубела, "Основні завдання та ознаки метроло-

© О-С. І. Корчинська, М. М. Микийчук, 2023
DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.273708

гічного забезпечення якості продукції", *Вимірювальна техніка та метрологія*, т. 74, 2013.

[13] S. Artemuk, V. Brydinskyi, I. Mykytyn, and Y. Khoma, "Application of deep neural networks for EEG signal processing in brain-controlled wheeled robotic platform", in *2021 11th IEEE Int. Conf. on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, 2021, pp. 81-85. doi: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660965.

[14] С. Лейко, "Поняття компетенція та компетентність: теоретичний аналіз", *Педагогічний процес: теорія і практика*, т. 4, с. 128-135, 2013.

[15] H. Baayen, S. Vasishth, R. Kliegl, and D. Bates, "The cave of shadows: Addressing the human factor with generalized additive mixed models", *Journal of Memory and Language*, vol. 94, pp. 206–234, 2017.

[16] N. Anuar, and J. Kim, "A direct methodology to establish design requirements for human–system interface (HSI) of automatic systems in nuclear power plants", *Annals of Nuclear Energy*, vol. 63, pp. 326-338, 2014.

[17] Yong Bai, Wei-Liang Jin, *Marine Structural Design*, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, p. 977, 2015. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/C2013-0-13664-1.

[18] T. Tambovceva, "Classification of factors influencing environmental management of enterprise", *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 22, no. 6, pp. 867-884, 2016. doi: 10.3846/20294913.2016.116000.

References

[1] M. Mykyychuk, B. Stadnyk, S. Yatsyshyn, Y. Lutsyk, "Smart measuring instruments for cyber-physical systems", *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia*, vol. 77, pp. 3-16, 2016. [Online]. Available: https://doi.org/10.23939/istcmtm2016.77.003 [in Ukrainian].

[2] O. Vasilevskyi, "The concept of metrological equipment in industry 4.0", *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia*, vol. 48, no. 2, pp. 37-44, Sept., 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-48-2-37-44 [in Ukrainian].

[3] O-S. Korchynska, and T. Hut, "Metrological risks in management system of product quality at the manufacturing stage", *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia*, vol. 83, no. 1, pp. 29-34, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.23939/istcmtm2022.01.029 [in Ukrainian].

[4] *Risk management – Guidelines*, ISO 31000:2018, 2018. [Online]. Available: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en.

[5] U. Kovtunenko, A. Oleksiichuk, and T. Vasalatii, "External environment factors that affect the choice of strategy of industrial enterprises", *Investytsii: praktyka ta dosvid*, vol. 11, pp. 55-58, 2016. [Online]. Available: http://www.investplan.com.ua/pdf/11_2016/13.pdf [in Ukrainian].

[6] F. R. Khan, "Socio-economic factors influencing entrepreneurship development: An empirical study across the small and medium enterprises of Chennai", *International Journal of Students Research in Technology & Management*, vol. 2, no. 3, pp. 89-94, State of Tamil Nadu, India, May, 2014.

[7] M. K. Zonouzi, M. Hoseyni, and M. Khoramshahi, "Political factors affecting the survival of SMEs case study: An empirical study in Tehran Grand Bazaar", *Asia Pacific Management Review*, vol. 26, no. 1, pp. 47-56, 2021. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.apmrv.2020.07.002.

[8] S. Aghmiuni, S. Siyal, Q. Wang, and Y. Duan, "Assessment of factors affecting innovation policy in biotechnology", *Journal of Innovation and Knowledge*, vol. 5, pp. 180-190, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.jik.2019.10.002.

[9] *Metrology. Terms and definitions*, DSTU 2681:1994, Kyiv, Ukraine, Jan. 1, 1995. [Online]. Available: https://dtp.lg.ua/Dokumentacija%20i%20oformlenie/DSTU_2681-94_metrologiya._terminy_i_opredeleniya.pdf [in Ukrainian].

[10] *Standard temperature and pressure (STP)*, NIST. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_temperature_and_pressure.

[11] M. Mykyychuk, "Metrological assurance of product quality at the manufacturing stage", Ph. D. dissertation, Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2012, p. 292 [in Ukrainian].

[12] M. Mykyychuk, P. Stolyarchuk, and T. Bubela, "Main tasks and signs of metrological product quality assurance",

© О-С. І. Корчинська, М. М. Микийчук, 2023
DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.273708

Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia, vol. 74, 2013 [in Ukrainian].

[13] S. Artemuk, V. Brydinskyi, I. Mykytyn, and Y. Khoma, "Application of deep neural networks for EEG signal processing in brain-controlled wheeled robotic platform", in *2021 11th IEEE Int. Conf. on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, 2021, pp. 81-85. doi: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660965.

[14] S. Leyko, "Concepts of competence and competence: theoretical analysis", *Pedahohichnyi protses: teoriia i praktyka*, vol. 4, pp. 128-135, 2013 [in Ukrainian].

[15] H. Baayen, S. Vasishth, R. Kliegl, and D. Bates, "The cave of shadows: Addressing the human factor with generalized additive mixed models", *Journal of Memory and Language*, vol. 94, pp. 206–234, 2017.

[16] N. Anuar, and J. Kim, "A direct methodology to establish design requirements for human–system interface (HSI) of automatic systems in nuclear power plants", *Annals of Nuclear Energy*, vol. 63, pp. 326-338, 2014.

[17] Yong Bai, Wei-Liang Jin, *Marine Structural Design*, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, p. 977, 2015. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/C2013-0-13664-1.

[18] T. Tambovceva, "Classification of factors influencing environmental management of enterprise", *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 22, no. 6, pp. 867-884, 2016. doi: 10.3846/20294913.2016.116000.

O-S. I. Korchynska, *Ph. D. Student,*
e-mail: olha-solomiia.i.korchynska@lpnu.ua
M. M. Mykyychuk, *Dr. Sc., Professor*
e-mail: mykolamm@ukr.net
Lviv Polytechnic National University
Stepan Bandera st, 12, Lviv, 79000, Ukraine

SOURCES OF METROLOGICAL RISKS AS FACTORS OF INFLUENCE ON THE TECHNOLOGICAL PROCESS

The constant development of science and technology, the introduction of numerous innovations, and the complication of technological processes, especially in the part of metrological support, determine the importance of research and analysis of sources of metrological risks, which in a certain way affect the formation of product quality at the manufacturing stage. All this gives rise to many new metrological risks for production, which must be identified, classified, and their causes and consequences must be identified in time. The authors have identified and described the main sources of metrological risks as factors influencing on the technological process and have made their generalized classification, which allows to combine the influencing factors of different nature into certain groups and to facilitate the identification process during the assessment of metrological risks. It is proposed to divide them into sources of the external environment, on which the enterprise can't influence, but only adapt to them, and sources of the internal environment, which can be influenced. The external environment includes socio-economic, scientific-innovative, and natural-ecological factors. The sources of the internal environment include technical, human, and metrological support system factors. Identification should include risks, regardless of their nature, complexity, and controllability. It is recommended to store information about identified risks obtained from various sources in a single information system, which is based on the risk register. It stores information about each risk's identified causes and consequences, and the data is structured according to the proposed classification, allowing it to be described and compared. Such a register allows for obtaining information related to the source of a specific risk and serves as a basis for its assessment and minimization.

Keywords: *metrological risks identification, risk register, external factors of influence, internal factors of influence, metrological support of production.*

Стаття надійшла 09.01.2023
Прийнято 09.02.2023

© О-С. І. Корчинська, М. М. Микийчук, 2023
DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.273708