Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут післядипломної освіти
Кафедра менеджменту та адміністрування

**Малісевич Софія Василівна**

УДК_005

# МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Планування якості в галузі вітроенергетики
(назва роботи)

Менеджмент та адміністрування
(назва освітньої програми)

073 – Менеджмент
(шифр і назва спеціальності)

*С. В. Малісевич*
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього рівня)

Науковий керівник *Станьковська Ірина Мирославівна, К.е.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри проф. _____ Кінаш І. П.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент_____
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ 2025 рік

Івано-франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут економіки та менеджменту
Кафедра менеджменту та адміністрування
Спеціальність 073 Менеджмент
ОП Менеджмент та адміністрування

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

*Завідувач кафедри МіА*
_____Кінаш І.П.
**"___"_____2025 р.**

# ЗАВДАННЯ
## НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Студенту ____Малісевич Софії Василівній_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи __ Планування якості в галузі вітроенергетики _____
Керівник роботи Станьковська Ірина Мирославівна
Затверджена наказом № _____ від _____
2 Термін здачі студентом закінченої роботи _____
3 Вихідні дані до роботи *фактичні показники діяльності підприємств, статистична та бухгалтерська звітність, технологічні карти, інструкції, розпорядження та ін., вітчизняні та закордонні видання, матеріали преси, спеціальних тематичних журналів, Internet*
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань) *Вступ*.
*Розділ 1. Теоретико-методологічні засади планування якості в галузі вітроенергетики;*
*Розділ 2. Діагностика планування якості у галузі вітроенергетики;*
*Розділ 3 Пропозиції щодо покращення планування діяльності в сфері якості в галузі вітроенергетики;*
*Висновки*
*Перелік використаних джерел*
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням креслень) *1 Тема роботи 2 Якість та її планування: зміст та значення. 3 APQP4Wind – методології забезпечення якості. 4 Етапи планування якості у галузі вітроенергетики. 5 Аналіз ринку вітроенергетики. 6 Аналіз діяльності компанії Mita-Teknik. 7 Аналіз планування якості продукції в Mita-Teknik. 8 Пропозиції щодо покращення планування діяльності в сфері якості в галузі вітроенергетики. 9 Пропозиції щодо вдосконалення планування якості в Mita-Teknik та їхня економічна ефективність. 10 Дякую за увагу*

# КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Номер і назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|
| Розділ 1 | 30.09.2025 | |
| Розділ 2 | 31.10.2025 | |
| Розділ 3 | 30.11.2025 | |
| Повністю виконана робота | 17.12.2025 | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

*Студент _____ / Малісевич С.В.* /

Особистий підпис Розшифровка підпису

**Керівник роботи _____ / _Станьковська І.М._ /**

Особистий підпис Розшифровка підпису

# РЕФЕРАТ

У магістерській роботі досліджено проблему планування якості на підприємствах вітроенергетики та визначено основні напрями та шляхи даного процесу на одному з провідних підприємств.

Об'єктом дослідження є система управління якістю та управління проектами в компанії Mita-Teknik. Предметом дослідження є методологія застосування принципів APQP4Wind для поліпшення планування якості, розвитку постачальників та міжфункціональної співпраці протягом життєвого циклу продукції. Метою даного дослідження є аналіз застосовності та ефективності структури APQP4Wind в організаційному та операційному контексті Mita-Teknik, а також розробка рекомендацій, спрямованих на поліпшення процесів планування якості, співпраці з постачальниками та розробки продукції.

Для досягнення мети визначено наступні завдання дослідження: переглянути теоретичні основи та структурні компоненти системи APQP4Wind; проаналізувати існуючу систему управління якістю та архітектуру процесів у Mita-Teknik; виявити прогалини, виклики та можливості для вдосконалення; запропонувати практичні заходи та вдосконалення процесів для успішного впровадження APQP4Wind.

Для аналізу застосовуються такі методи дослідження: огляд літератури, SWOT-аналіз, інтерв'ю та консультації з експертами, метод кейс-стаді, синтез та моделювання. У роботі наведено 23 рисунки та 6 таблиць. Використано 56 джерел. Отримані результати можуть бути використані з метою удосконалення системи якості на галузевих підприємствах.

**Ключові слова:** планування якості продукції, вітроенергетика, APQP4Wind, програмне забезпечення, вітрова турбіна, система кроку (кута нахилу) вітрових турбін.

## ABSTRACT

The master's thesis investigates the problem of quality planning at wind energy companies and identifies the main directions and methods of this process at one of the leading companies. The object of the study is the quality management and project management system at Mita-Teknik.

The subject of the study is the methodology for applying APQP4Wind principles to improve quality planning, supplier development and cross-functional collaboration throughout the product life cycle.

The aim of this study is to analyse the applicability and effectiveness of the APQP4Wind structure in the organisational and operational context of Mita-Teknik, as well as to develop recommendations aimed at improving quality planning processes, supplier cooperation and product development.

To achieve this goal, the following research tasks have been identified: review the theoretical foundations and structural components of the APQP4Wind system; analyse the existing quality management system and process architecture at Mita-Teknik; identify gaps, challenges and opportunities for improvement related to the company's current approach to product quality planning and supplier management; propose practical measures and process improvements for the successful implementation of APQP4Wind.

The following research methods are used for a comprehensive analysis of the implementation of APQP4Wind at Mita-Teknik: literature review, SWOT analysis, interviews and consultations with experts, case study method, synthesis and modelling. The study contains 23 figures and 6 tables. 56 sources were used. The results obtained can be used to improve the quality system at industry enterprises.


**Keywords:** product quality planning, wind energy, APQP4Wind, software, wind turbine, wind turbine pitch (angle of inclination) system.

# ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

| | |
|---|---|
| Аналіз видів і наслідків відмов (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) | покроковий підхід до виявлення всіх можливих відмов у конструкції, процесі виробництва або складання, а також у продукті чи послузі. |
| Аналіз системи вимірювання (MSA – Measurement System Analysis) | експериментальний та математичний метод визначення того, наскільки варіація в процесі вимірювання впливає на загальну мінливість процесу. |
| Блок-схема процесу (Process Flow Chart) | графічне зображення різних етапів процесу в послідовному порядку. |
| Валідація дизайну (Design Validation) | тестування, спрямоване на забезпечення того, щоб продукт або система відповідали визначеним потребам користувачів та зазначеним вимогам у визначених умовах експлуатації. |
| Верифікація дизайну (Design Verification) | це важливий етап у розробці будь-якого продукту. Також відома як кваліфікаційне тестування, верифікація дизайну забезпечує відповідність продукту, розробленого за проектом, продукту, передбаченому за призначенням. |
| Вітрова турбіна | пристрій, що перетворює кінетичну енергію вітру (природного та поновлюваного джерела) на електрику. |

| | |
|---|---|
| Крок (або крок лопаті, кут кроку або кут нахилу лопаті) | це кут повороту (обертання) лопаті відносно площини ротора. |
| Продукт | система, підсистема, компонент або послуга, що надається |
| Прототип (Prototype) | ранній зразок, модель або версія продукту, створена для тестування концепції або процесу, або для використання як об'єкт для відтворення або вивчення |
| Процес затвердження продукту (PPAP- Production Part Approval Process) | це доказ того, що постачальник зрозумів вимоги замовника. В основному він передбачає збір усіх даних та інформації, що були отримані на етапах APQP, та подання їх у встановленому порядку та форматі замовнику для затвердження. |
| Статистичний контроль процесу (SPC – Statistical Process Control) - | застосування статистичних методів і процедур (таких як контрольні діаграми) для аналізу властивої процесу або його результатам мінливості з метою досягнення і підтримки стану статистичного контролю, а також для поліпшення можливостей процесу. |
| Якість | ступінь відповідності продукції, процесу або послуги встановленим чи очікуваним потребам і вимогам за умови забезпечення стабільності та надійності результатів |

ЗМІСТ

ВСТУП.....11
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПЛАНУВАННЯ ЯКОСТІ В ГАЛУЗІ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ.....14
1.1 Якість та її планування: зміст та значення.....14
1.2 Історія створення та мета APQP4Wind – методології забезпечення якості для глобальної вітроенергетичної галузі.....16
1.3 Етапи планування якості у галузі вітроенергетики.....21
РОЗДІЛ 2. ДІАГНОСТИКА ПЛАНУВАННЯ ЯКОСТІ В ГАЛУЗІ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ.....36
2.1 Характеристика та аналіз ринку вітроенергетики.....36
2.2 Аналіз діяльності компанії Mita-Teknik як спеціалізованого постачальника систем управління та програмного забезпечення для вітрових електростанцій 41
2.3 Аналіз планування якості продукції в Mita-Teknik.....50
2.4 Практики управління якістю в компанії Mita-Teknik.....54
2.5 Глобальні тенденції, з якими стикається Mita-Teknik.....56
РОЗДІЛ 3 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ПЛАНУВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ ЯКОСТІ В ГАЛУЗІ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ.....62
3.1 Пропозиції щодо вдосконалення планування якості в галузі вітроенергетики.....62
3.2 Пропозиції щодо вдосконалення планування якості в Mita-Teknik.....71
3.3 Розрахунок ефективності впровадження запропонованих заходів.....80
ВИСНОВКИ.....83
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....86

# ВСТУП

Швидке глобальне розширення сектору вітроенергетики значно підвищило складність ланцюгів постачання, процесів забезпечення якості та циклів розробки продукції в цій галузі. У міру того, як турбінні системи стають все більш досконалими та інтегрованими, потреба у стандартизованих та надійних методах управління якістю стає критичною. Однією з найвпливовіших ініціатив, спрямованих на вирішення цих проблем, є APQP4Wind, галузева система управління якістю, розроблена для гармонізації вимог та процесів між виробниками вітрових турбін, постачальниками та технологічними партнерами. Її мета – зменшити варіативність показників якості, мінімізувати ризики проектів та забезпечити надійне виконання заходів з розробки та виробництва продукції.

Дана тема була обрана через зростаючу важливість уніфікованих стандартів якості у секторі вітроенергетики, а також через практичну необхідність організацій адаптуватися до все більш суворих вимог споживачів. Для таких компаній, як Mita-Teknik, всесвітньо визнаного постачальника систем управління вітровими турбінами, рішень SCADA та технологій модернізації, впровадження APQP4Wind є не тільки вимогою відповідності, але й стратегічною можливістю. Різноманітний асортимент продукції компанії, складні інженерні процеси та участь у міжнародних ланцюгах постачання роблять її ідеальним прикладом для вивчення практичних викликів та переваг впровадження APQP4Wind. Крім того, оскільки Mita-Teknik працює в умовах високої конкуренції та технологічної динаміки, оптимізація процесів забезпечення якості є надзвичайно важливою для збереження конкурентоспроможності на ринку та забезпечення довгострокової операційної ефективності.

Метою даного дослідження є аналіз застосовності та ефективності структури APQP4Wind в організаційному та операційному контексті Mita-Teknik,

а також розробка рекомендацій, спрямованих на поліпшення процесів планування якості, співпраці з постачальниками та розробки продукції.

Для досягнення мети визначено наступні завдання дослідження: переглянути теоретичні основи та структурні компоненти системи APQP4Wind; проаналізувати існуючу систему управління якістю та архітектуру процесів у Mita-Teknik; виявити прогалини, виклики та можливості для вдосконалення, пов'язані з поточним підходом компанії до планування якості продукції та управління постачальниками; запропонувати практичні заходи та вдосконалення процесів для успішного впровадження APQP4Wind.

Об'єктом дослідження є система управління якістю та управління проектами в компанії Mita-Teknik.

Предметом дослідження є методологія застосування принципів APQP4Wind для поліпшення планування якості, розвитку постачальників та міжфункціональної співпраці протягом життєвого циклу продукції.

Новизна дослідження полягає в практичному аналізі впровадження APQP4Wind в контексті спеціалізованого постачальника вітрових технологій, а не виробника турбін, що є основним предметом більшості існуючих досліджень. Аналізуючи дану систему з точки зору середнього за розміром постачальника технологій, робота надає нові уявлення про те, як APQP4Wind може бути адаптована, масштабована або налаштована для організацій з різними оперативними можливостями. Крім того, дослідження пропонує структурований підхід до інтеграції елементів APQP4Wind в існуючі процеси Mita-Teknik, пропонуючи методологію, яка може бути застосована до інших постачальників у ланцюжку створення вартості вітрової енергії.

Для комплексного аналізу впровадження APQP4Wind у компанії Mita-Teknik застосовуються такі методи дослідження:

Огляд літератури – аналіз стандартів APQP, APQP4Wind, ISO 9000, теорії управління якістю та найкращих практик у вітроенергетичній галузі, а також внутрішньої документації якості компанії Mita-Teknik.

SWOT-аналіз – вивчення сильних сторін, можливостей, слабких сторін та загроз для компанії Mita-Teknik.

Інтерв'ю та консультації з експертами – збір інформації від інженерів, фахівців з якості та менеджерів з постачання.

Метод кейс-стаді – використання компанії Mita-Teknik як реального прикладу для оцінки практичної застосовності APQP4Wind.

Синтез та моделювання – розробка рекомендацій та вдосконалених структур процесів, адаптованих до потреб компанії.

Робота складається з трьох розділів. У першому розділі визначено узагальнене поняття якості та її планування, а також описано історію створення, мету та етапи APQP4Wind. У другому розділі наведено характеристику глобального ринку вітроенергетики, характеристику діяльності компанії Mita-Teknik як спеціалізованого постачальника систем управління та програмного забезпечення для вітрових турбін і вітрових електростанцій, проведено аналіз планування та управління якоістю в Mita-Teknik, а також глобальних тенденцій, з якими стикається компанія. У третьому розділі розглягуто пропозиції щодо вдосконалення планування якості у глобальній галузі вітроенергетики, в компанії Mita-Teknik, а також проведено розрахунки ефективності запропонованих заходів.

Робота апробована на матеріалах конференції «Економіка, фінанси, управління та право в умовах нестабільності та глобальних викликів XXI століття» (Хмельницький, 11 грудня 2025 р.).

# РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПЛАНУВАННЯ ЯКОСТІ В ГАЛУЗІ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ

## 1.1 Якість та її планування: зміст та значення

Поняття якості вже протягом десятиліть є центральною темою в управлінні, виробництві та наданні послуг. Це багатовимірне поняття, яке варіюється залежно від контексту, перспективи та мети. Хоча якість часто асоціюється з досконалістю та відповідністю, вона в основному представляє здатність продукту, послуги або процесу задовольняти заявлені або приховані потреби [26].

Не існує єдиного загальноприйнятого визначення якості. Різні вчені, організації та галузі інтерпретують його відповідно до своїх цілей і пріоритетів. Різні визначення поняття “якість” наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - визначення поняття “якість”

| Автор | Визначення поняття “якість” |
|---|---|
| ISO 9000:2015 | ступінь, в якому сукупність властивих об'єкту характеристик відповідає вимогам [25] |
| Джуран, 1998 | придатність до використання [27] |
| Кросбі, 1979 | відповідність вимогам [8] |
| Демінг, 1986 | безперервний процес вдосконалення, зосереджуючись на стабільності та задоволеності споживачів [9] |
| Гарвін, 1984 | здатність продукту або послуги відповідати або перевищувати очікування споживачів [16] |
| Окленд, 2014 | дотримання стандартів проектування та виробництва [34] |

Джерело: сформовано автором

Крім простого визначення, значення якості охоплює ширший спектр: продуктивність, надійність, довговічність, естетику та сприйняту цінність.

На практиці якість можна інтерпретувати з різних точок зору,

З точки зору орієнтованості на продукт, якість визначається вимірюваними характеристиками (наприклад, міцністю, точністю, довговічністю).

З точки зору орієнтованості на користувача, якість – це ступінь, в якому продукт задовольняє індивідуальні переваги та очікування клієнта.

З точки зору орієнтованості на виробництво, якість означає відповідність специфікаціям дизайну або процесу (тобто «правильне виконання роботи»).

З точки зору цінності, якість представляє собою баланс між продуктивністю та вартістю – надання цінності за гроші.

Згідно з ISO 9000:2015, значення якості розширено до : «організація, орієнтована на якість, просуває культуру, яка призводить до поведінки, ставлення, діяльності та процесів, що забезпечують цінність шляхом задоволення потреб та очікувань клієнтів та інших зацікавлених сторін»[26].

Отже, якість є як технічним поняттям (об'єктивно вимірюваним), так і сприйнятним поняттям (суб'єктивним, заснованим на очікуваннях зацікавлених сторін).

Підсумовуючи, можна визначити якість ступінь відповідності продукції, процесу або послуги встановленим чи очікуваним потребам і вимогам за умови забезпечення стабільності та надійності результатів.

Якість відіграє вирішальну роль у досягненні конкурентоспроможності організації, лояльності клієнтів та операційної ефективності. Вона зменшує відходи, знижує витрати, пов'язані з невідповідністю (дефекти, переробка), та покращує репутацію компанії.

Планування якості є важливим компонентом управління якістю, який зосереджується на визначенні стандартів, цілей та процесів, необхідних для забезпечення відповідності продукту або послуги вимогам споживачів та цілям організації. Згідно з Джураном (1998), планування якості передбачає ідентифікацію споживачів, визначення їхніх потреб, розробку характеристик

продукту, що відповідають цим потребам, та встановлення процесів, здатних стабільно забезпечувати такі характеристики [27]. Цей етап є основою для ефективного контролю якості та її поліпшення.

Стандарт ISO 9001:2015 підкреслює планування якості як частину «планування процесів системи управління якістю», що включає визначення ресурсів, відповідальності та заходів, необхідних для досягнення бажаних результатів [24].

Ефективне планування якості забезпечує виявлення та усунення потенційних проблем до моменту їх виникнення, а не виправлення їх після того, як вони вже виникли.

Згідно з Оклендом (2014), метою планування якості є інтеграція міркувань щодо якості на кожному етапі проектування продукту або послуги — від концепції до поставки — забезпечуючи, що «якість вбудована, а не перевірена». Цей проактивний підхід відповідає філософії загального управління якістю (TQM – total quality management), яка наголошує на профілактиці, а не виправленні, та постійному вдосконаленні всіх функцій організації [34].

## 1.2 Історія створення та мета APQP4Wind – методології забезпечення якості для глобальної вітроенергетичної галузі

На початку 2014 року Wind Denmark (раніше відома як Данська асоціація вітрової енергетики) заснувала мережеву групу, до складу якої увійшли постачальники, зацікавлені в забезпеченні якості.

Для зміцнення мережі виробники вітрових турбін та комунальні підприємства були запрошені до участі на рівних правах з постачальниками. У лютому 2014 року відбулося перше засідання мережі Wind Denmark з забезпечення якості (QA). Це стало початком співпраці в галузі забезпечення

якості між виробниками вітрових турбін, комунальними підприємствами та постачальниками в данській вітровій промисловості, а згодом з'явилася ідея APQP4Wind.

За сприяння Wind Denmark та підтримки Danish Industry Foundation, Siemens Gamesa Renewable Energy та Vestas Wind Systems розділили керівництво проектом APQP4Wind, який тривав з 2015 по 2018 рік у співпраці з KK Wind Solutions та LM Wind Power.

У серпні 2018 року APQP4Wind було засновано як незалежну організацію з глобальним охопленням та радою директорів, до складу якої входять GE Renewable Energy, KK Wind Solutions, LM Wind Power, Siemens Gamesa Renewable Energy, Vestas Wind Systems та Wind Denmark.

APQP4Wind - це загальна методологія забезпечення якості для глобальної вітроенергетичної галузі. Підґрунтям для APQP4Wind є постійне поліпшення якості, яке необхідне для зменшення ризиків, зниження витрат, пов'язаних з низькою якістю, та утримання темпів зниження середньої вартості енергії у вітроенергетичній галузі. Поглиблене планування якості продукції (APQP) є добре відомим поняттям в автомобільній промисловості і протягом десятиліть є основою для вдосконалення якості продукції у клієнтів та постачальників. У контексті APQP4Wind поняття APQP адаптоване до сфери бізнесу та особливих умов, що відрізняють вітроенергетику від автомобільної промисловості.

APQP4Wind має на меті максимально чітко викласти вимоги до процесу забезпечення якості продукції, а також процес затвердження частин (PPAP). Методика розроблена для всієї вітроенергетичної галузі та встановлює загальні стандарти і найкращі практики щодо планування та виконання заходів із забезпечення якості в усьому ланцюжку поставок, від виробників до постачальників компонентів.

Стандарти методики призначені для заміни процедур, специфічних для конкретних компаній, та встановлення узгоджених методів і процедур для всіх постачальників і субпостачальників з метою скорочення часу виведення продукції на ринок та підвищення ефективності в глобальній вітроенергетичній галузі.

Основною метою методики APQP4Wind є:

- Зменшення ризику дефектів та витрат на якість при впровадженні нових конструкцій та компонентів, що призведе до зниження витрат на енергію.
- Зменшення складності
- Поліпшення узгодженості планування якості продукції (PQP – Product Quality Planning) у ланцюжку створення вартості вітрової енергетики
- Забезпечення ефективного засобу для легкого доведення вимог до якості продукції до відома постачальників та субпостачальників
- Уникнення повторення проблем/несправностей.

Основні переваги для вітрової промисловості від використання підходу такі:

- Профілактичний підхід до якості
- Перехід від контролю якості до забезпечення якості
- Сприяння дозріванню бази постачальників у всьому світі
- Підтримка стандартизації та спрощення процесів для скорочення часу виведення на ринок та підвищення ефективності
- Підтримка прибуткового зростання.

Глобальний ринок вітроенергетики прийнято зображати у вигляді піраміди ланцюга постачання (рисунок 1.1).

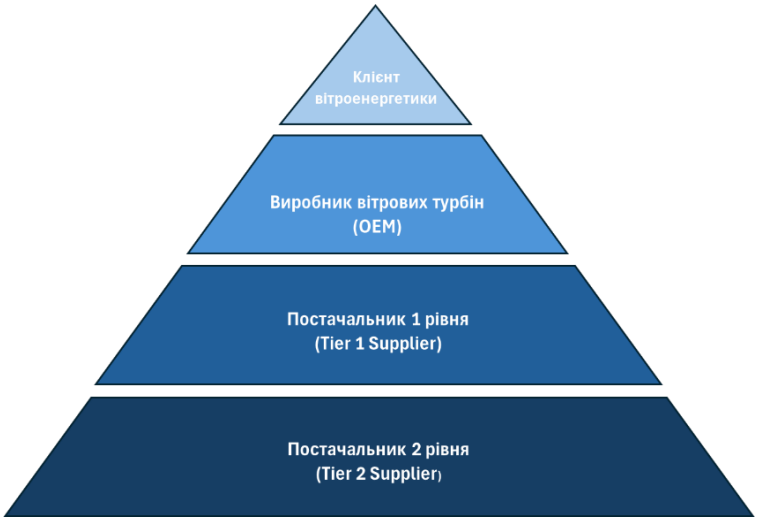



Рисунок 1.1 - Піраміда ланцюга постачання

Сфера застосування APQP4Wind стосовно піраміди ланцюга постачання додатково пояснюється моделлю відносин між клієнтом і постачальником, наведеною нижче. Рівні клієнта-постачальника можуть виходити за межі 3 рівня. Вимоги APQP4Wind застосовуються до всіх рівнів, крім моделі 1 рівня (рисунок 1.2).

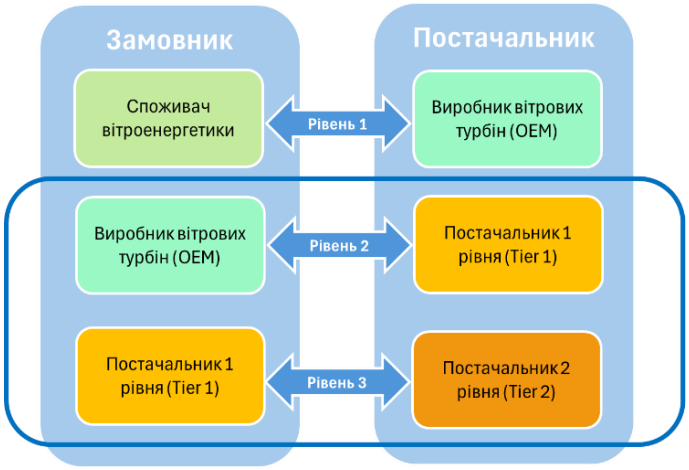



Рисунок 1.2 - Модель відносин між клієнтом і постачальником

Цикл планування якості продукції (рисунок 1.3) у вигляді графічної ілюстрації програми якості APQP4Wind. Різні етапи розташовані в послідовності,

що відображає запланований графік, і відповідають типовому циклу «плануй-виконуй-перевіряй-вживай заходів» (PDCA – Plan Do Check Act).

Мета циклу планування якості продукції:

- Встановити чіткий шлях для планування, впровадження та перевірки відповідності продукції вимогам за допомогою заходів із забезпечення якості
- Забезпечити можливість постачальникам та субпостачальникам постачати продукцію необхідної якості та кількості, правильно та вчасно

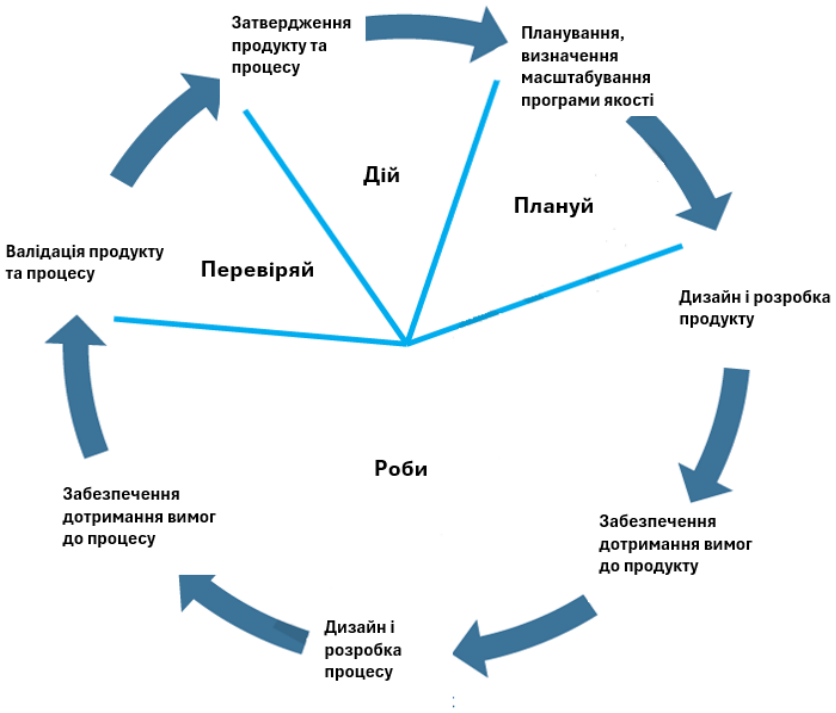



Рисунок. 1.3 - Цикл планування якості продукції

Цикл планування якості продукції підкреслює міжфункціональний підхід між замовником і постачальником, тим самим покращуючи комунікацію та співпрацю в усьому циклі якості продукції.

В результаті планування якості продукції постачальник повинен мати план якості продукції, який містить перелік результатів якості, що є результатом різних заходів із забезпечення якості, які виконує постачальник.

Рівень заходів у плані якості продукції може варіюватися залежно від продукту, що розробляється.

### 1.3 Етапи планування якості у галузі вітроенергетики

Етап 1 Планування, визначення та масштабування програми якості.

Даний етап описує вимоги до започаткування програми якості шляхом розуміння потреб, вимог та очікувань замовника, а також масштабування та планування заходів планування якості продукції. На цьому етапі постачальник спочатку призначає особу, відповідальну за програму якості. Ця відповідальна особа повинна очолювати міжфункціональну команду в організації постачальника та забезпечувати міжфункціональну участь у всій програмі якості. До складу команди з планування якості продукції повинні входити представники підрозділів виробництва, якості, інженерії, закупівель, логістики, продажів, субпостачальників та клієнтів. Ролі та очікування від членів команди повинні бути чітко визначені та доведені до відома.

Замовник повинен надати постачальнику необхідні документи, що стосуються вимог та специфікацій. Вони можуть включати, але не обмежуються, технічними специфікаціями, кресленнями та стандартами. Постачальник повинен проаналізувати та переглянути вимоги та очікування, і використовувати цей перегляд як важливий внесок для планування програми якості.

Голос клієнта (VOC – Voice of Customer) – це сукупне розуміння потреб, бажань, сприйняття та уподобань клієнта, отримане шляхом збору інформації від клієнта та знань і досвіду постачальника.

Засоби, що використовуються для збору цієї інформації, включають опитування, інтерв'ю із зацікавленими сторонами, звіти про те, що пішло добре

(TGR – Things Gone Right) та звіти про те, що пішло не так (TGW - Things Gone Wrong), коментарі та вказівки керівництва, записи про отриманий досвід.

Порівняльний аналіз – це процес порівняння власних процесів та показників ефективності з найкращими практиками галузі або інших компаній. Зазвичай вимірюються такі аспекти: якість, час та вартість. Дані порівняльного аналізу можуть бути використані для встановлення вимірюваних цілей ефективності, а також для розробки ідей щодо дизайну продукту та процесу. Порівняльний аналіз продукту та процесу може включати визначення найкращих показників ефективності у своїй категорії та визначення того, як була досягнута така ефективність. Він надає цінну інформацію для розробки нових дизайнів та концепцій, допомагаючи вдосконалити існуючі продукти та процеси понад можливості компаній, що є еталонами.

Інформація про минулі результати, проблеми з якістю та проблеми користувачів, якщо вона доступна, повинна також бути врахована. Слід підготувати перелік історичних зауважень/проблем замовника, щоб оцінити ймовірність їх повторення під час проектування, виготовлення, встановлення та використання продукту. Вони повинні розглядатися як доповнення до інших вимог до проектування та включатися в аналіз потреб замовника.

Постачальник повинен визначити потенційні процеси, які можуть бути передані субпостачальнику, якщо це доречно. На основі цієї інформації постачальник повинен відібрати відповідних субпостачальників, здатних виконати вимоги до продукту/ процесу.

На цьому етапі визначаються будь-які ризики або обмеження, пов'язані з доступністю або можливостями субпостачальника.

Запуск APQP (APQP Kick-off) - це офіційна зустріч між постачальником і замовником, на якій розпочинаються заходи з планування якості продукції. На цій зустрічі обговорюються та узгоджуються різні результати щодо якості та терміни,

визначені замовником. Загальна процедура успішної зустрічі з початку реалізації може бути розділена на чотири етапи:

- презентація ідей, ескізів, креслень, технічних даних, вимог, специфікацій;
- розробка адекватного плану якості до випуску продукту з етапами (графіком) для прототипу, серії 0 та серійного етапу.
- уточнення передачі документації та звітності (контакти, частота, тип інформації, план ескалації).
- зміст PPAP (Production Part Approval Process)

План якості продукції (PQP) є важливим інструментом для планування, моніторингу та надання інформації про стан якості результатів проекту. План якості продукції містить інформацію про опис продукції/процесу, відповідальність, графік та терміни виконання, статус.

Постачальник несе відповідальність за розробку плану якості продукції відповідно до якості результатів, узгоджених із замовником. Тип продукту, складність та очікування замовника повинні враховуватися при виборі термінів, які повинні бути заплановані та задокументовані. Діаграма термінів повинна містити перелік завдань, відповідальних осіб та термін виконання. План якості продукту повинен визначати результати PPAP та забезпечувати узгодженість обсягу PPAP із замовником та постачальником.

Етап 2 Дизайн і розробка продукту

Даний етап планування якості продукту описує вимоги до дизайну продукту з фокусом на забезпечення дотримання продуктом цілей та вимог замовника. Постачальник повинен забезпечити реалістичність проекту з точки зору задоволення вимог до продукту та його здатність постійно відповідати технічним, якісним та ціновим вимогам замовника.

Цей етап описує необхідність попереднього перегляду інженерних та інших технічних вимог, щоб гарантувати, що дизайн відповідає загальним очікуванням замовника. Повинно бути проведено аналіз здійсненності з залученням різних функціональних підрозділів, а також виявлено потенційні проблеми або несправності, які можуть виникнути під час виробництва, встановлення, введення в експлуатацію та обслуговування. Ця інформація повинна бути використана як важливий вхідний матеріал при розробці дизайну продукту та процесів.

Усі проекти та рішення повинні пройти перегляд інженерного проекту (EDR - Engineering Design Review) перед випуском для подальшого використання. Метою EDR є запобігання випуску дефектних та неповноцінних конструкцій та рішень, а отже, запобігання майбутнім невідповідностям та переробкам.

Усі необхідні документи, що стосуються правил безпеки, державного законодавства та інформації про речовини, що підлягають обмеженню та повідомленню, повинні бути ідентифіковані та відповідним чином доведені до відома.

Команда з планування якості продукції постачальника повинна оцінити реалістичність запропонованого дизайну, продукції або вимог замовника (TFC - Team Feasibility Commitment). Команда також може враховувати дані з управління ризиками, такі як FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), і повинна переконатися, що запропонована продукція може бути виготовлена, зібрана, випробувана, упакована та доставлена в необхідній кількості, за прийнятною для замовника вартістю, відповідно до узгодженого графіка або темпів доставки. Консенсус команди щодо реалізації запропонованого дизайну повинен бути задокументований та продемонстрований замовнику разом із супровідними звітами, розрахунками, переліком додаткових вимог, планом виконання та всіма відкритими питаннями, що потребують вирішення.

DFMEA (Design Failure Mode and Effects Analysis) - це аналітична техніка, яка використовується інженерами, відповідальними за проектування, та їхньою міжфункціональною командою для того, щоб, наскільки це можливо, забезпечити врахування та усунення в проекті потенційних відмов та пов'язаних з ними причин і механізмів. Продукти та їхні системи, вузли та компоненти повинні бути оцінені, а виявлені ризики повинні бути усунені за допомогою проектування або, принаймні, зведені до мінімуму в процесі проектування. Результати DFMEA є частиною проектної документації і повинні використовуватися для перевірки та валідації проекту, розробки виробничих процесів, планів контролю та визначення особливих характеристик.

Постачальник повинен забезпечити, щоб особливі характеристики (SC - Special Characteristics), зазначені в проектній документації та вимогах замовника, були зафіксовані та перелічені, а також повідомити замовнику про будь-які потенційні особливі характеристики, які були визначені в його проекті продукту або процесу. Постачальник повинен повідомити субпостачальникам про особливі характеристики, визначені як замовником, так і постачальником.

Проектування з урахуванням технологічності, складання, транспортування та обслуговування (DMATS - Design for Manufacturability, Assembly, Transport & Service) загалом означає інженерний процес, в якому продукт проектується таким чином, щоб його можна було «легко» виготовити, скласти, транспортувати та обслуговувати. Основна увага в DMATS повинна приділятися спрощенню структури продукту та зменшенню загальних витрат на виробництво, складання та обслуговування частин.

План перевірки проекту (DVP – Design Verification Plan) – це систематичне планування всіх випробувань або розрахунків для забезпечення того, щоб продукт або дизайн відповідали вимогам і специфікаціям. Він сприяє розробці логічної послідовності випробувань, вимагаючи від відповідальних підрозділів ретельно

планувати випробування, необхідні для забезпечення відповідності компонента або системи всім технічним вимогам, визначеним замовником. Він також забезпечує відповідність надійності продукту цілям замовника.

Перевірки/випробування повинні бути виконані до завершення етапу проектування, щоб можна було внести корективи в проект.

Вимоги до нового обладнання, інструментів, вимірювальних приладів/випробування та приміщення повинні бути визначен на основі перегляду проекту, аналізу здійсненності, особливих характеристик, DFMEA та PFMEA.

Специфікація матеріалів (BOM - Bill of Material) - це перелік сировини, напівпродуктів та матеріалів, що використовуються для виготовлення продукту.

Постачальник повинен забезпечити, щоб субпостачальники, обрані для постачання матеріалів, деталей або продуктів, були оцінені з метою забезпечення виконання вимог замовника субпостачальником. Постачальник несе відповідальність за проведення відповідних оцінок/аудитів субпостачальників. Терміни, встановлені постачальником для завершення оцінок/аудитів, повинні контролюватися та відстежуватися в плані якості продукції.

Управління інженерними змінами (ECM - Engineering Change Management) є важливою складовою даного етапу. Постачальник повинен забезпечити, щоб у разі внесення змін до креслень або специфікацій ці зміни були ефективно доведені до відома та впроваджені всіма відповідними сторонами (включаючи субпостачальників). Інженерні зміни повинні бути належним чином задокументовані з посиланням на PPAP і бути відстежуваними по відношенню до продукту. Це повинно бути задокументовано в історії продукту, що надає повний огляд того, що було змінено і в який момент часу. Будь-які зміни до продукту або процесу, запропоновані постачальником, повинні бути повідомлені замовнику за допомогою PSW (Part Submission Warrant).

Етап 3 Забезпечення дотримання вимог до продукту

Даний етап сфокусований на демонстрації того, що дотримання вимог до продукту забезпечується надійним дизайном продукту. Визначено вимоги щодо перевірки факторів дизайну та забезпечення випробувань і сертифікації відповідно до специфікації продукту. Цей етап також також визначає вимоги до створення прототипів, за допомогою яких перевіряються вимоги замовника, тим самим забезпечуючи відповідність проекту очікуванням замовника.

Звіт про перевірку дизайну (DVR - Design Verification Report) є доказом виконання плану перевірки дизайну. Результати всіх проведених тестів перевірки дизайну повинні бути задокументовані в цьому звіті.

Постачальник повинен забезпечити належне проектування інструментів, необхідних для виробництва продукту, а також надійність проектування інструментів та їх відповідність вимогам до продукту.

Постачальник повинен забезпечити, щоб відповідні субпостачальники, які постачають компоненти, визначені постачальником або замовником як критичні, відповідали вимогам APQP4Wind, а також, щоб особливі характеристики та специфічні вимоги замовника були ефективно доведені до відома та виконані за допомогою структурованого плану якості продукції для компонента від субпостачальника.

План контролю прототипу (PCP - Prototype Control Plan) - це опис вимірювань та функціональних випробувань, які будуть проводитися під час створення прототипу. Це робиться для того, щоб продукт відповідав специфікаціям та вимогам замовника, а також гарантує, що увага приділяється особливим характеристикам.

Створення прототипів стосується вимоги щодо створення прототипу продукту перед запуском у серійне виробництво. Прототип - це ранній зразок або модель для тестування продукту, концепцій та процесів, який використовується

як копія виробленого продукту. Прототип призначений для тестування та вдосконалення дизайну і допомагає перевірити, чи відповідає продукт, що розробляється, вимогам замовника.

Обидві сторони (замовник і постачальник) повинні домовитися про всі очікування та задокументувати, хто буде відповідальним за процес створення прототипу. Для уточнення, PQP повинен задокументувати ці очікування на стартовій нараді.

Етап 4 Дизайн і розробка процесу

Даний етап описує елементи, залучені до розробки виробничого процесу з метою виконання очікувань замовника до якості і вимог до продукту.

Цей етап також передбачає вимогу щодо проведення аналізу видів і наслідків відмов у виробничому процесі, що дозволяє заздалегідь виявити очікувані/потенційні проблеми, які можуть вплинути на виробництво.

Попередня схема технологічного процесу та план приміщення повинні бути складені та базуватися на вимогах до якості продукту та припущеннях щодо продукту/процесу.

Аналіз видів та наслідків відмов процесу (PFMEA – Process Failure Mode and Effects Analysis) - це аналітична техніка, яка використовується інженером, відповідальним за виробництво або складання, та міжфункціональною командою для забезпечення того, щоб, наскільки це можливо, потенційні режими відмов та пов'язані з ними причини і механізми були враховані та вирішені в процесі проектування та планування виробничого процесу.

Процеси виробництва та складання повинні бути оцінені, а ризики для продукту або подальших процесів повинні бути виявлені та усунені, або принаймні зведені до мінімуму в процесі проектування. PFMEA підтримує процес зі зменшенні ризику відмов шляхом:

- Визначення функцій та вимог процесу

- Визначення потенційних режимів відмов, пов'язаних з процесом
- Оцінки впливу потенційних відмов на клієнта та постачальника
- Визначення потенційних причин відмов у процесі виробництва або складання
- Визначення змінних процесу, на яких слід зосередити контроль для виявлення та зменшення відмов
- Створення рейтингового списку потенційних відмов, тим самим встановлюючи систему пріоритетів для розгляду превентивних / коригувальних заходів
- Забезпечення виконання вимог до спеціальних характеристик
- Визначення спеціальних характеристик
- У відповідних випадках PFMEA повинно враховувати всі ланки ланцюга створення вартості, включаючи вхідний / вихідний склад, складання / виробництво, транспортування, установку тощо.

Постачальник повинен забезпечити розробку та виконання плану аналізу системи вимірювання (MSA - Measurement System Analysis). План повинен охоплювати вимірювальні дії, необхідні для кваліфікації за допомогою повторюваності та відтворюваності вимірювального приладу (GR&R - Gage Repeatability and Reproduceability) всіх систем вимірювання, інструментів та вимірювальних приладів, що використовуються у виробництві для перевірки особливих характеристик процесу та продукту. Кваліфікація вимірювальних приладів повинна здійснюватися з використанням калібрування як обов'язкової умови, а потім дослідження MSA вимірювального обладнання, переліченого в плані контролю. MSA повинен застосовуватися до всіх особливих характеристик.

Постачальник повинен забезпечити розробку та впровадження плану попереднього дослідження можливостей процесу та попереднього плану контролю. Попередній план контролю повинен залишатися чинним до тих пір,

поки технологічна здатність не буде задокументована та прийнята замовником. Після цього затвердження попередній план контролю може бути замінений остаточним планом контролю, даними вибірки або поточним статистичним контролем процесу (SPC – Statistical Process Control) для надання регулярних звітів про придатність процесу (Process capability), відповідно до запиту замовника. Для невеликих обсягів 100% перевірка спеціальних характеристик повинна вимагатися планом контролю до визначення придатності процесу. Дослідження придатності процесу повинні застосовуватися до всіх спеціальних характеристик.

Постачальник повинен розробити та підтримувати внутрішні процедури/методи для забезпечення того, щоб специфікації упаковки та транспортування були зрозумілі та могли бути виконані. Метою є забезпечення якості продукції за допомогою відповідних методів та матеріалів упаковки.

Етап 5 Забезпечення дотримання вимог до процесу.

Даний етап сфокусовано на демонстрації того, що дотримання вимог до процесу забезпечується надійним дизайном процесу. Визначено вимогу описувати виробничий процес у послідовності етапів та забезпечувати плани контролю для початкового виробничого циклу (серія 0 / передсерія) з метою забезпечення якості продукції.

Схема технологічного процесу та план приміщення (Process Flow Chart and Floor Plan) чітко описують усі етапи та послідовність виробничого процесу. Схема повинна аналізувати весь процес, а не окремі етапи процесу. Схема технологічного процесу повинна надавати базові дані про процес під час проведення PFMEA та розробки плану контролю. Стандартизовані технологічні процеси можуть використовуватися для груп продуктів, де це доречно. Цей документ є частиною документації PPAP.

Слід розробити план готовності для виробничих інструментів та інструментів контролю, специфічних для продукту. План може включати терміни підготовки креслень / специфікацій інструментів, виробництва та кваліфікації інструментів. Цей документ повинен бути підготовлений та підтримуватися постачальником. Команда з планування якості продукції повинна контролювати терміни та стан виконання цього завдання.

План контролю нульової серії (0 Series Control Plan) є описом того, як вимірюються та контролюються спеціальні характеристики. Це робиться для того, щоб гарантувати, що процес знаходиться під контролем і що продукція відповідає специфікаціям і вимогам замовника. Це також гарантує, що особливі характеристики були враховані.

Постачальник повинен забезпечити наявність у зоні процесу відповідних робочих інструкцій, які описують кроки/процедури, яких необхідно дотримуватися для виконання процесу. Рекомендації для постачальника:

- Робочі інструкції повинні бути зрозумілими (доступними національною мовою відповідного виробничого майданчика) та доступними на робочому місці, включно з процедурами та інструкціями, пов'язаними з управлінням невідповідними продуктами.
- Усі співробітники повинні бути навчені або проінструктовані щодо завдань, які вони мають виконувати
- Робочі інструкції повинні бути підготовлені та перебувати під контролем
- Робочі інструкції повинні бути пов'язані з планом контролю.

Попередні дослідження придатності процесу (Preliminary Cpk - Process Capability Study) використовують статистичні методи, щоб показати, що продукт може бути виготовлений відповідно до специфікації. У разі невеликих обсягів слід проводити 100% перевірку, доки не буде визначено здатність процесу. Для

процесів з низькою здатністю слід вжити відповідних коригувальних заходів для поліпшення здатності процесу, а також проводити 100% перевірку до досягнення бажаної здатності процесу, з затвердженням відхилення замовником. Дослідження здатності процесу повинні застосовуватися до всіх вимірювань спеціальних характеристик.

Постачальник повинен забезпечити та завершити виконання PPAP для продуктів, що передаються на субпідряд субпостачальникам, відповідно до вимог замовника або постачальника.

Етап 6. Валідація продукту та процесу.

Даний етап описує основні характеристики затвердження продукційного процесу через оцінку пробних запусків продукції під час серії 0 (передсерійного виробництва). Під час виробництва серії 0 постачальник повинен перевірити, чи дотримуються план контролю та схема процесу, а також чи продукція відповідає вимогам замовника. Додаткові звіти про функціонування, перевірку та валідацію розмірів повинні бути складені постачальником, а будь-які проблеми повинні бути виявлені для розслідування та вирішення до початку серійного виробництва.

Основною метою виробництва серії 0 є перевірка та верифікація виробничих процесів для початку серійного виробництва.

Під час виробництва серії 0 повинні дотримуватися такі вимоги:

- Використання серійних виробничих установок, інструментів, обладнання для перевірки та умов (включаючи регулярний операційний персонал), в тому числі на території субпостачальника
- Використання серійних виробничих матеріалів
- Перевірка необхідної якості продукції при нормальних темпах виробництва
- Перевірка всіх виробничих процесів для серійного виробництва.

Постачальник повинен вести звіт про випробування та сертифікацію (Performance Test Report and Certification), щоб документувати відповідні записи випробувань характеристик, які визначено у специфікації замовника або характеристик, отриманих самим постачальником.

У звіті про випробування матеріалів та сертифікацію (Material Test Report and Certification) постачальник повинен підтвердити відповідність матеріалу зазначеному в проектній документації. Якщо це зазначено в проектній документації, повинні бути надані результати хімічних, фізичних, металургійних, експлуатаційних або функціональних випробувань.

Звіт про розміри (Dimensional Report) також відноситься до фактичних результатів вимірювань продукту серії 0.

Вимоги до затвердження зовнішнього вигляду залежать від конкретних вимог замовника. Звіт про затвердження зовнішнього вигляду (Appearance Approval Report) має застосовуватися лише в тому випадку, якщо проектна документація замовника має конкретні вимоги до зовнішнього вигляду.

Звіт по аналізу системи вимірювання (MSA) повинен бути доступний для всіх вимірювальних приладів, вимірювального та випробувального обладнання, що використовується для вимірювання спеціальних характеристик.

Випробування для перевірки відповідності продукції (Product Validation Testing) проводяться на готовій продукції серії 0 та серійного виробництва з метою забезпечення відповідності вимогам замовника. Технічні випробування повинні проводитися відповідно до плану перевірки конструкції (DVP) або специфікації замовника.

Замовник може вимагати проведення випробувань форми, відповідності та функціональності (FFF – Form, Fit, Function) продукції постачальника для перевірки відповідності її характеристик вимогам замовника.

План контролю серійного виробництва (Serial Production Control Plan) повинен забезпечувати відповідність вимогам до процесу та продукції під час регулярного/серійного виробництва.

Постачальник повинен забезпечити, щоб:

- Тип і обсяг перевірок та відповідне обладнання для перевірок серійного виробництва були чітко визначені
- Були визначені плани реагування на невідповідності
- Були включені всі особливі характеристики
- Були охоплені всі етапи виробничих процесів.

Якщо вимоги до особливих характеристик не виконуються, повинна застосовуватися 100% перевірка з затвердженням всіх відхилень замовником.

Етап 7 Затвердження продукту та процесу.

Це етап затвердження процесу планування якості продукції, під час якого вимоги замовника до якості продукції затверджено та схвалено. Він передбачає зобов'язання постачальника щодо документації PPAP та подання її замовнику для перегляду та затвердження; PPAP є доказом того, що постачальник зрозумів та виконує вимоги замовника. По суті, це передбачає збір усіх даних та інформації, що були отримані на етапах планування якості продукції, та подання їх у встановленому порядку та форматі замовнику для затвердження.

Постачальник повинен надати узгоджені документи PPAP замовнику для затвердження. Рівень документації повинен відповідати потребам замовника, які можуть відрізнятися залежно від конкретних продуктів та виробничих процесів.

На даному етапі відбувається офіційне подання документів PPAP та PSW (Part Submission Warrant - гарантія подання частини) замовнику для розгляду та затвердження. Результат повідомляється всім сторонам, залученим до процесу PPAP, як з боку замовника, так і з боку постачальника.

**Висновок до розділу 1.**

В даному розділі дано визначення та проаналізовано поняття «якості», розглянуто методологію APQP4Wind. APQP4Wind - це загальна методологія забезпечення якості для глобальної вітроенергетичної галузі, яка включає постійне поліпшення якості, яке необхідне для зменшення ризиків, зниження витрат, пов'язаних з низькою якістю, та утримання темпів зниження середньої вартості енергії у вітроенергетичній галузі. APQP4Wind має 7 етапів.

Етап 1 Планування, визначення та масштабування програми якості описує вимоги до започаткування програми якості шляхом розуміння потреб, вимог та очікувань замовника, а також масштабування та планування заходів планування якості продукції.

Етап 2 Дизайн і розробка продукту описує вимоги до дизайну продукту з фокусом на забезпечення дотримання продуктом цілей та вимог замовника.

Етап 3 Забезпечення дотримання вимог до продукту сфокусований на демонстрації того, що дотримання вимог до продукту забезпечується надійним дизайном продукту.

Етап 4 Дизайн і розробка процесу описує елементи, залучені до розробки виробничого процесу з метою виконання очікувань замовника до якості і вимог до продукту.

Етап 5 Забезпечення дотримання вимог до процесу сфокусовано на демонстрації того, що дотримання вимог до процесу забезпечується надійним дизайном процесу.

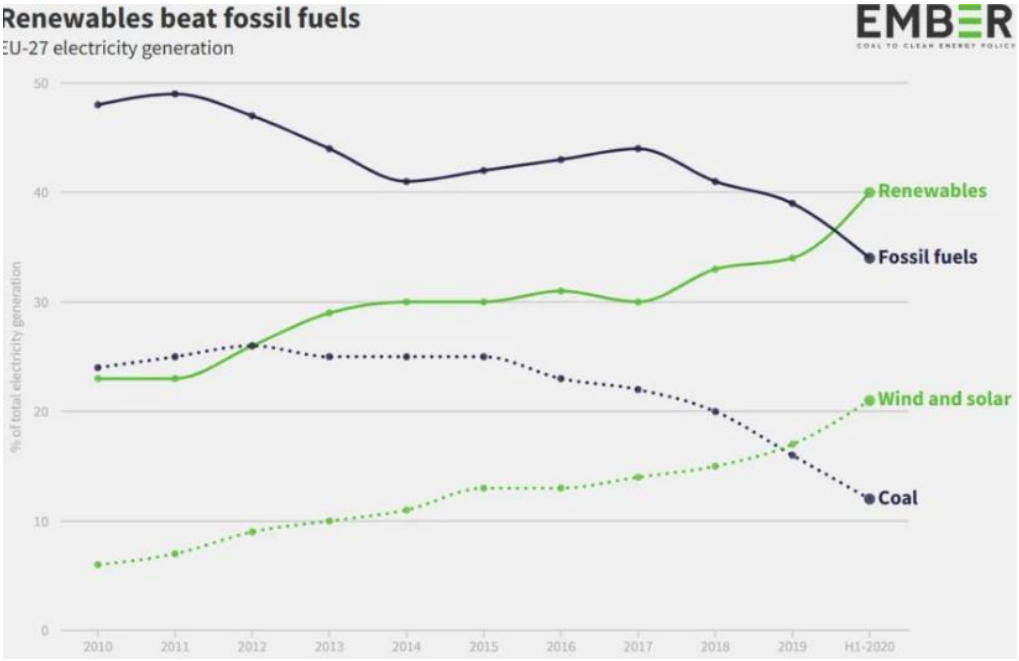
Етап 6 Валідація продукту та процесу описує основні характеристики затвердження продукційного процесу через оцінку пробних запусків продукції під час передсерії.

Етап 7 Затвердження продукту та процесу має на меті затвердження процесу планування якості продукції, під час якого вимоги замовника до якості продукції затверджено та схвалено.

# РОЗДІЛ 2 ДІАГНОСТИКА ПЛАНУВАННЯ ЯКОСТІ У ГАЛУЗІ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ

## 2.1 Характеристика та аналіз ринку вітроенергетики

Десятиліттями вітроенергетика стабільно зростає в Європейському Союзі, більш ніж подвоївши свою частку у виробництві електроенергії з 2010 року до середини 2020 року. До першої половини 2020 року вітер і сонце вперше перевершили вугілля, як відобрадено на рисунку 2.1, що означає невідворотний перехід до зелених джерел енергії [44].




*Renewables – відновлювальні джерела енергії; fossil fuels – викопне паливо; wind – вітер; solar – сонячна (енергія); coal – вугілля*

*По вертикалі – частка глобально згенерованої електроенергії (%)*

*По горизонталі – часові періоди*

Рисунок 2.1 - Використання енергії вітру і сонця у співвідношенні до вугілля

Незважаючи на скромні темпи зростання галузі на 0, 70% за 2024 рік, вітроенергетика продовжує залучати значні інновації.

У першому півріччі 2024 року було встановлено 45, 2 ГВт вітрової потужності. У річному обчисленні (YoY) загальна глобальна потужність зросла на 12, 6%, досягнувши 1097 ГВт до червня 2024 року.

Сукупна встановлена вітрова потужність Індії досягла 48, 16 ГВт у 2024 році та, за прогнозами, зросте до 89, 49 ГВт до 2030 року. Це зумовлено сукупним річним темпом зростання (CAGR) приблизно 11, 26% між 2025 і 2030 роками.

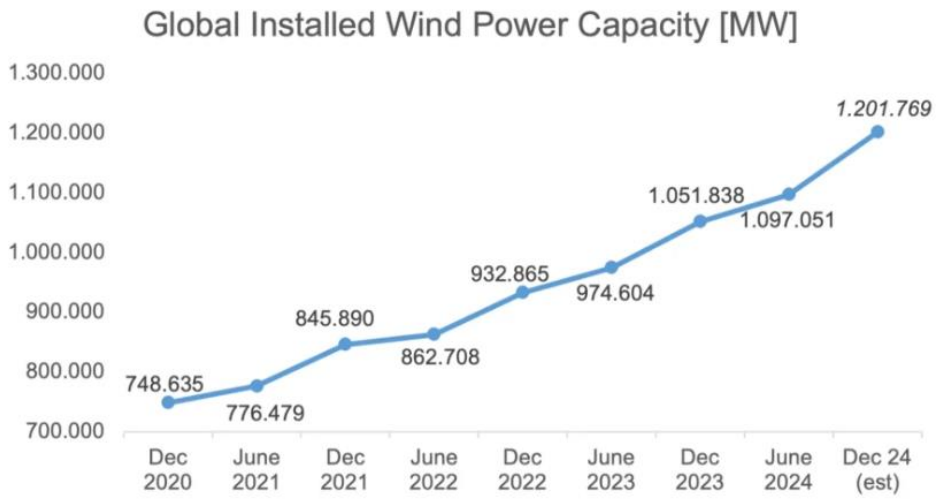
Глобальні вітрові установки мають вирости до 182, 5 ГВт до 2028 року. Офшорні вітрові проекти мають зрости з 9% до 20% від загальної кількості установок. Очікується, що частка Китаю знизиться з 59% до 41%, тоді як частка Європи зросте з 12% до 15%.

Північна Америка зберігає стабільну частку 7–10%, а Азія (за винятком Китаю), як очікується, зросте між 5-7%. Латинська Америка планує внести 3–5%, а Африка та Близький Схід зростуть з 1% до 3%.

На Китай припадало дві третини всіх глобальних вітрових потужностей і додано 76 ГВт вітрових потужностей, з 5 ГВт у морі. Європейський Союз (ЄС) додав 15 ГВт.

Крім того, сектор подав заявку на близько 588 960+ патентів і отримав 7200+ державних грантів на дослідження та комерціалізацію. Робоча сила, яка підтримує цей перехід, становить приблизно 7 мільйонів професіоналів у всьому світі, причому за останній рік кількість працівників зросла на 320 500 [44]. Глобальні встановлення потужності вітроенергетики наведено на рисунку 2.2.

У 2025 році світовий ринок вітроенергетики оцінюється в 108,81 мільярда доларів США. Прогнозується, що до 2034 року він досягне приблизно 260, 81 мільярда доларів США із сукупним річним темпом зростання (CAGR) 10, 2% з 2024 по 2034 рік [44].

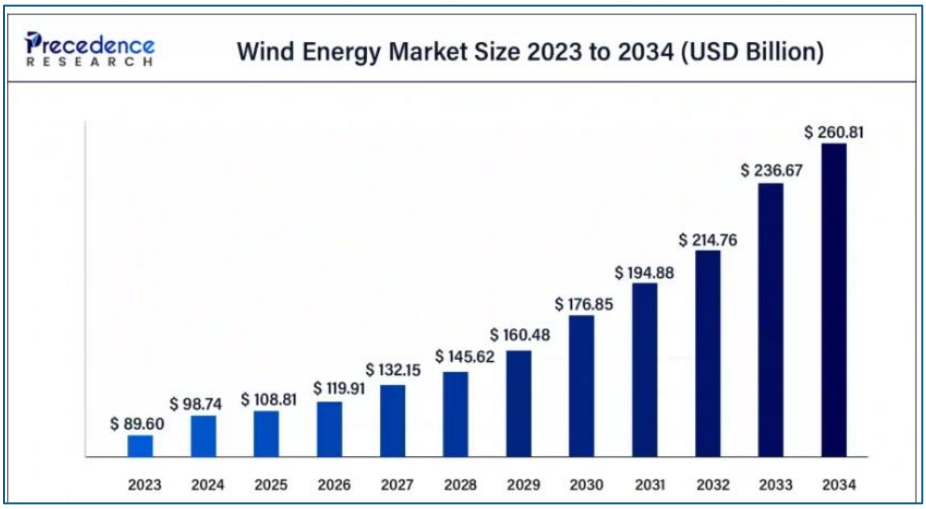



*По вертикалі – глобально встановлені потужності вітроенергетики (MW)*

*По горизонталі – часові періоди*

Рисунок 2.2 - Глобальні встановлення потужності вітроенергетики

Прогноз зростання ринку вітроенергетики наведено на рисунку 2.3.




*По вертикалі – прогнозована вартість світового ринку вітроенергетики (млрд. USD)*

*По горизонталі – прогнозовані часові періоди*

Рисунок 2.3 - Прогноз зростання ринку вітроенергетики

Основними складовими ринку є автоматизація вітрових турбін та системи кроку лопатей.

Обсяг ринку автоматизації вітрових турбін за останні роки значно зріс, з 15,56 млрд доларів у 2024 році до 16,84 млрд доларів у 2025 році із середньорічним темпом зростання (CAGR) 8,2%. Зростання в історичному періоді можна пояснити інноваціями в технології автоматизації, ініціативами щодо зниження витрат, масштабуванням потужностей вітрової енергетики, сприятливим регуляторним середовищем, акцентом на стандартах безпеки.

Автоматизація вітрових турбін передбачає інтеграцію технології для керування та оптимізації роботи вітрових турбін з метою підвищення ефективності та скорочення часу простою. Ця автоматизація включає моніторинг у реальному часі, контроль кроку лопатей, регулювання вихідної потужності та діагностику системи для підвищення продуктивності та надійності.

Основними компаніями, що працюють на ринку автоматизації вітрових турбін, є: Siemens AG, General Electric, Mitsubishi Electric Corporation, Schneider Electric SE, Honeywell International In ABB Lt Eaton Corporation, Parker Hannifin Corporation, Vestas Wind Systems A/S, Emerson Electric C Danfoss, Rockwell Automation In Nordex SE, Omron Corporation, Fanuc Corporation, Enercon GmbH, Yaskawa Electric Corporation, Yokogawa Electric Corporation, Moog In Suzlon Energy Limited, Axiomtek, Bachmann electronic GmbH, Inox Wind, Prima Automation [47].

У 2024 році ринок систем кроку вітрових турбін оцінювався в 1, 58 мільярда доларів США, а до 2030 року очікується, що він досягне 1, 93 мільярда доларів США, піднявшись на 3, 28% CAGR.

Ринок систем кроку вітрових турбін відноситься до галузі, що включає розробку, виробництво та інтеграцію систем, які контролюють кут (крок) лопатей вітрових турбін. Ці системи кроку мають вирішальне значення для регулювання аеродинамічної ефективності турбіни, забезпечення оптимального захоплення енергії за різних умов вітру та захисту турбіни від пошкодження під час високих швидкостей вітру. Регулюючи кути лопатей, система кроку підтримує оптимальну

швидкість ротора та максимізує вихідну потужність, мінімізуючи механічні навантаження.

Система кроку включає кілька чутливих компонентів - двигуни, підшипники, приводи, контролери та датчики - усі вони повинні підтримувати точність і довговічність протягом очікуваного 20-річного терміну служби турбіни. Офшорні установки стикаються з підвищеним ризиком, оскільки корозія солоної води прискорює деградацію компонентів, тоді як умови пустелі спричиняють стирання піском та збої в роботі. Крім того, обслуговування систем у віддалених або морських місцях є логістично складним і дорогим, що ще більше ускладнює експлуатаційну надійність. Ці фактори разом накладають інженерний тягар і навантаження з технічного обслуговування, що може перешкоджати продуктивності та збільшувати витрати протягом життєвого циклу.

Інтеграція інтелектуальних датчиків і технологій прогнозного обслуговування як ключова тенденція трансформує ринок систем кроку вітрових турбін. Щоб мінімізувати час простою та подовжити термін служби компонентів, оператори все частіше використовують інтелектуальні рішення керування, які дозволяють у режимі реального часу контролювати положення лопаті, поведінку приводу, температуру та рівні вібрації. Дані, зібрані з цих датчиків, аналізуються за допомогою алгоритмів для прогнозування механічних проблем до того, як станеться збій [51].

## 2.2 Аналіз діяльності компанії Mita-Teknik як спеціалізованого постачальника систем управління та програмного забезпечення для вітрових електростанцій

Mita-Teknik – данська компанія зі штаб-квартирою в Рьодкерсбро, Данія, заснована в 1969 році, з багаторічним досвідом у галузі автоматизації та систем управління [41].

У галузі вітроенергетики Mita-Teknik зарекомендувала себе як спеціалізований постачальник систем управління та програмного забезпечення, розроблених спеціально для вітрових турбін і вітрових електростанцій: управління турбінами, регулювання кута нахилу лопатей, системи управління вітровими електростанціями, моніторинг стану, комунікаційні мережі та підключення до енергомереж.

Emerson придбала Mita-Teknik у грудні 2021 року за готівку з метою зміцнення позицій Emerson у сфері відновлюваної енергетики, зокрема у сегменті вітроенергетики [12].

До придбання компанія Mita-Teknik займалася проектуванням систем управління для понад 400 моделей вітрових турбін і мала понад 60 000 встановлених систем по всьому світу [14].

Таким чином, у складі Emerson компанія Mita-Teknik займає високоспеціалізовану нішу: системи управління вітровими турбінами та пов'язані з ними післяпродажні послуги.

У структурі звітності Emerson Mita-Teknik входить до бізнес-сегменту «Автоматизація рішень» [12].

Стратегічні причини цього придбання та інтеграції включають:

- Розширення продуктового портфеля Emerson за рахунок рішень з управління, призначених спеціально для вітроенергетики (що доповнює існуючі пропозиції з автоматизації загального промислового виробництва та енергетики).

- Доступ до ринку управління та модернізації вітрових турбін, що обслуговує виробників оригінального обладнання, операторів вітрових електростанцій та ринок післяпродажного обслуговування старих турбін.

- Використання глобальної сервісної мережі Emerson, можливостей цифровізації та більш широких можливостей системної інтеграції для

масштабування пропозицій Mita-Teknik та задоволення більш широких потреб в управлінні активами / продовженні терміну експлуатації вітрових парків.

- Підтримка більш широких цілей сталого розвитку та енергетичної трансформації шляхом автоматизації, спеціально призначеної для вітроенергетики, яка допомагає операторам знизити витрати на енергію та покращити використання активів.

Mita-Teknik підтримує матричну організаційну структуру, яка поєднує функціональну експертизу з проектними командами:

Виконавче керівництво контролює стратегічні рішення, інвестиції в R&D та відповідність галузевим стандартам. Інженерний та R&D відділи керують проектуванням продукції, алгоритмами управління та розробкою програмного забезпечення. Команди з забезпечення якості (QA) забезпечують відповідність стандартам ISO 9001 та галузевим стандартам (IEC 61400). Відділи експлуатації та обслуговування реалізують проекти, установку та поточне технічне обслуговування. Ця структура забезпечує міжфункціональну співпрацю, що є ключовим принципом APQP4Wind. Проекти організовані таким чином, щоб забезпечити інтеграцію планування якості, оцінки ризиків та валідації з найперших етапів розробки продукту.

Фінансові показники компанії за останні три роки наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Фінансові показники компанії Mita-Teknik

| **Показник** | **2023** | **2024** | **2025** |
|---|---|---|---|
| Загальний дохід, млн грн | 125 | 143 | 169 |
| Витрати, млн грн | 85 | 94 | 103 |
| Операційний прибуток, млн грн | 43 | 52 | 65 |
| Інвестиції у R&D, млн грн | 15 | 18 | 22 |
| Капітальні інвестиції, млн грн | 10 | 12 | 15 |
| Кошти на рахунках, млн грн | 31 | 37 | 42 |

Аналіз діяльності підприємства дає можливість зробити такі висновки.

- Зростання доходів на 15–18 % щорічно завдяки розширенню клієнтської бази та новим продуктам.
- Контроль над витратами з помірним збільшенням на 10 % щороку через впровадження автоматизації та оптимізації процесів.
- Активне інвестування у R&D для підтримки конкурентоспроможності та розвитку інноваційних рішень.
- Поступове збільшення капітальних вкладень на модернізацію інфраструктури та IT-систем.
- Збереження високої ліквідності та формування фінансової подушки без залучення значних позикових коштів.

Діяльність компанії Mita-Teknik можна розділити на чотири основні напрямки:

1) Системи управління вітровими турбінами [41]

Основним напрямком діяльності компанії Mita-Teknik є проектування та виробництво комплексних рішень для управління вітровими турбінами, зокрема:

-Основні системи управління турбінами, що регулюють функції повороту, нахилу, генератора та безпеки.

- Системи регулювання кута нахилу лопатей для точного регулювання лопатей, що оптимізує збір енергії (Mita Pitch System).
- Інтерфейси з приводами та перетворювачами для забезпечення стабільної подачі енергії.
- Інтегровані комунікаційні мережі для координації між турбінами всередині парку та між турбінами і парком енергомережі
- Системи підключення до мережі та управління енергією, що відповідають міжнародним стандартам (PPM - Power Plan Management).

Ці рішення характеризуються модульною архітектурою, що дозволяє адаптувати їх до різних моделей турбін, підвищуючи ефективність та надійність.

2) Вітропарк та системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) [37]

Окрім окремих турбін, Mita-Teknik пропонує рішення для управління вітропарком, які включають:

- Контролери парку, що оптимізують виробництво енергії на декількох турбінах.
- Системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), що забезпечують моніторинг у реальному часі, збір даних та оперативний аналіз. Платформа є прикладом інтеграції якісного аналізу даних та оперативного моніторингу, що надає операторам практичну інформацію та відповідає принципам APQP4Wind щодо постійного поліпшення якості.
- Системи моніторингу стану (CMS – Condition Monitoring System) для профілактичного обслуговування та раннього виявлення несправностей.

3) Рішення з модернізації та оновлення (Retrofit)

Mita-Teknik націлена на модернізацію існуючих вітрових турбін, вирішуючи проблеми старіння інфраструктури та необхідності підвищення ефективності [32, 33]. Основні переваги цих рішень з модернізації включають:

- Збільшення терміну експлуатації турбін понад початкові технічні характеристики.
- Підвищення річного обсягу виробництва енергії (AEP) за рахунок оптимізації продуктивності.
- Скорочення часу простою та витрат на технічне обслуговування за допомогою прогнозної діагностики.
- Адаптованість до різних моделей турбін OEM.

Цей сегмент демонструє стратегічний підхід компанії до створення доданої вартості та управління життєвим циклом — ключовий аспект діяльності, орієнтованої на якість.

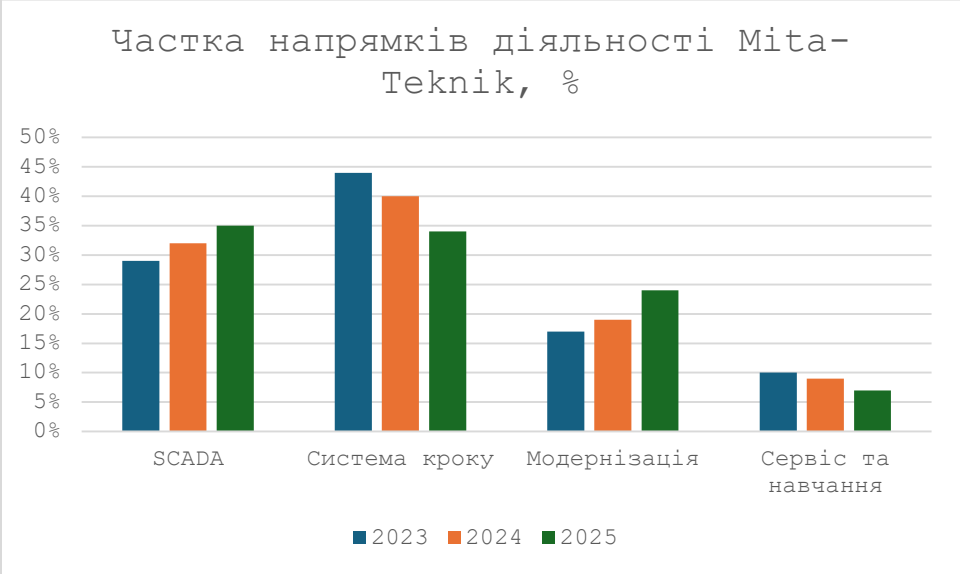
4) Сервіс, підтримка та навчання

На додаток до своїх продуктів, Mita-Teknik надає:

- Глобальну технічну підтримку та введення в експлуатацію на місці.
- Послуги з технічного обслуговування, ремонту та дистанційного моніторингу.
- Навчальні програми для операторів турбін та інженерів з систем управління, платформ SCADA та профілактичного технічного обслуговування.

Інтеграція цих послуг забезпечує комплексне управління якістю, від початкової установки до постійної операційної підтримки.

За останні три роки частка кожного з вищезазначених напрямків бізнесу змінювалася, як зображено на графіку 2.4:




*По горизонталі – основні напрямки діяльності Mita-Teknik*

*По вертикалі – відсотова частка у загальному бізнесі компанії*

Рисунок 2.4 – частка кожного з напрямків діяльності Mita-Teknik

Частка SCADA стабільно зростає від 29% у 2023 році до 35% у 2025 році. Це свідчить про поступове нарощування уваги компанії до цього напрямку. Система кроку: залишається найбільшим напрямком діяльності, проте спостерігається зменшення частки з 44% у 2023 до 34% у 2025 році. Тобто, хоч цей напрямок і лідирує, його питома вага трохи зменшується. Модернізація показує стабільне зростання від 17% у 2023 до 24% у 2025 році, що вказує на підвищення уваги до оновлення існуючих систем. Сервіс та навчання – найменший напрямок, частка якого поступово зменшується з 10% у 2023 до 7% у 2025 році. Отже, компанія поступово зміщує фокус з домінуючої системи кроку лопатей на SCADA та модернізацію, зменшуючи увагу до сервісу та навчання.

Технологічні можливості Mita-Teknik тісно пов'язані з системами управління якістю в секторі відновлюваної енергетики:

- Власні алгоритми управління, що максимізують енергоефективність, зберігаючи при цьому експлуатаційну безпеку.

- Відкрита та модульна архітектура систем, що дозволяє інтегрувати їх з різними апаратними платформами.

- Кібербезпечні протоколи зв'язку для моніторингу та дистанційної діагностики.

- Інструменти аналізу даних та профілактичного технічного обслуговування, що підтримують проактивний контроль якості.

Завдяки інвестиціям у дослідження та розробки компанія зберігає конкурентну перевагу, впроваджуючи принципи управління якістю на кожному етапі розробки, впровадження та обслуговування продукції.

Mita-Teknik обслуговує як виробників оригінального обладнання (OEM), так і незалежних виробників електроенергії (IPP) по всьому світу.

Основні сегменти клієнтів включають:

- Виробників вітрових турбін, які потребують модульних систем управління.

- Операторів та розробників, які шукають рішення для модернізації та оптимізації життєвого циклу.

- Постачальників послуг, які потребують передових можливостей моніторингу, аналітики та прогнозного технічного обслуговування.

Глобальна присутність компанії та її репутація як постачальника, орієнтованого на якість, підкреслюють її стратегічну роль у вітроенергетичній галузі [41].

Стратегічні пріоритети компанії відображають подвійну орієнтацію на технологічне лідерство та забезпечення якості:

- Технологічна незалежність завдяки модульним рішенням, сумісним з різними виробниками обладнання.

- Оптимізація життєвого циклу для максимізації виробництва енергії та довговічності турбін.

- Цифрова трансформація за допомогою вдосконаленого моніторингу, аналізу даних та профілактичного обслуговування.

- Сталий розвиток та надійність, забезпечення відповідності мінливим нормативним та галузевим стандартам.

Як незалежний постачальник технологій, Mita-Teknik сприяє постійному поліпшенню якості та продуктивності вітрових турбін, що робить її актуальним прикладом для вивчення впровадження APQP4Wind.

SWOT аналіз компанії Mita-Teknik:

Сильні сторони

Головна сила Mita-Teknik полягає в її технологічному досвіді та багаторічному досвіді роботи в галузі. Заснована в 1969 році, компанія завоювала репутацію надійного інженера та інноватора в галузі автоматизації турбін [14]. Її платформа MiScout SCADA та електричні системи регулювання кроку визнані за їх точність, адаптивність та сумісність з турбінами різних виробників. Після

придбання Emerson у 2021 році Mita-Teknik також отримала переваги від підвищеної фінансової стабільності та глобального охоплення, що забезпечило доступ до ширших ринків та ресурсів ланцюга поставок [14]. Фокус компанії на цифровізації та прогнозній аналітиці забезпечує їй вигідне положення на зростаючому ринку інтелектуального управління відновлюваними активами [37].

Слабкі сторони

Незважаючи на свої сильні сторони, Mita-Teknik стикається з певними внутрішніми обмеженнями. Її продуктовий портфель залишається зосередженим переважно на технологіях управління турбінами та регулювання кроку лопатей, що обмежує диверсифікацію в суміжних сферах автоматизації. У порівнянні з такими великими виробниками, як Siemens Gamesa або Vestas, масштаби та виробничі потужності Mita-Teknik є скромними, що обмежує її здатність конкурувати за обсягом або ціною. Інтеграція в Emerson, хоча і є вигідною, може також спричинити бюрократичну складність, яка може уповільнити цикли інновацій [19]. Крім того, дотримання вимог кібербезпеки та постійне оновлення програмного забезпечення вимагають високих витрат на дослідження і розробки, що тисне на маржу [37].

Можливості

Глобальний сектор вітроенергетики має значний потенціал зростання. Зростання інвестицій у цифровізовані, керовані даними рішення з технічного обслуговування та модернізації забезпечує нові джерела доходу. У міру наближення терміну експлуатації все більшої кількості турбін попит на оновлення контролерів та технології продовження терміну експлуатації буде зростати [30]. Розгортання морських вітрових електростанцій та гібридні проекти з відновлюваних джерел енергії, що поєднують вітрову, сонячну енергію та зберігання, відкривають додаткові ринки. Використання глобальної інфраструктури Emerson може дозволити Mita-Teknik розширити свою

присутність у Північній Америці та Азіатсько-Тихоокеанському регіоні, де, за прогнозами, очікується найсильніше зростання потужностей вітроенергетики [19].

Загрози

Зовні Mita-Teknik стикається з посиленням конкуренції з боку виробників оригінального обладнання, які все частіше розробляють власні системи управління, щоб зменшити залежність від постачальників. Консолідація ринку серед компаній, що займаються автоматизацією, також посилює конкурентний тиск [14]. Крім того, макроекономічна нестабільність, дефіцит компонентів та коливання енергетичної політики можуть затримати розвиток вітроенергетичних проектів [36]. Зростаюча складність загроз кібербезпеці для підключених систем SCADA становить додатковий постійний ризик [37].

Підсумки SWOT-аналізу наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - SWOT аналіз компанії Mita-Teknik

| Фактори | Ваговий коефіцієнт, ki | Оцінка впливу на підприємство, Rj , (1 – 5) бали | Сумарна оцінка, Aij (Aij=ki*Rj) |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| **Сильні сторони** | | | |
| Багаторічний технологічний досвід та репутація (з 1969 р.) | 0,25 | 5 | 1,25 |
| Власні високоточні рішення SCADA (MiScout) | 0,20 | 5 | 1,00 |
| Сумісність систем із турбінами різних OEM | 0,20 | 4 | 0,80 |
| Інтеграція в Emerson (фінансова стабільність, глобальний доступ) | 0,20 | 4 | 0,80 |
| Фокус на цифровізації та прогнозній аналітиці | 0,15 | 4 | 0,60 |
| Σ | 1 | | 4.45 |

Продовження таблиці 2.2

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| **Слабкі сторони** | | | |
| Обмежена диверсифікація продуктового портфеля | 0,25 | 4 | 1,00 |
| Менші масштаби порівняно з великими OEM (Vestas, Siemens Gamesa) | 0,20 | 4 | 0,80 |
| Обмежені виробничі потужності | 0,15 | 3 | 0,45 |
| Бюрократичні ризики після інтеграції в Emerson | 0,15 | 3 | 0,45 |
| Високі витрати на R&D та кібербезпеку | 0,25 | 4 | 1,00 |
| Σ | 1 | | 3.7 |
| **Можливості** | | | |
| Зростання глобального ринку вітроенергетики | 0,25 | 5 | 1,25 |
| Попит на модернізацію та продовження строку експлуатації турбін | 0,25 | 5 | 1,25 |
| Розвиток офшорної вітроенергетики | 0,20 | 4 | 0,80 |
| Гібридні ВДЕ-проєкти (вітер + сонце + накопичення) | 0,15 | 4 | 0,60 |
| Розширення присутності через глобальну мережу Emerson | 0,15 | 4 | 0,60 |
| Σ | 1 | | 4.5 |
| **Загрози** | | | |
| Вертикальна інтеграція OEM і власні системи управління | 0,25 | 5 | 1,25 |
| Консолідація ринку автоматизації | 0,20 | 4 | 0,80 |
| Макроекономічна нестабільність та дефіцит компонентів | 0,20 | 4 | 0,80 |
| Зміни державної енергетичної політики | 0,15 | 3 | 0,45 |
| Зростання кіберзагроз для SCADA-систем | 0,20 | 5 | 1,00 |
| Σ | 1 | | 4.3 |

Результати SWOT-аналізу свідчать, що Mita-Teknik має сильні конкурентні позиції завдяки технологічній експертизі та цифровим рішенням (S = 4,45), а також значні можливості для зростання на ринку модернізації та цифровізації вітроенергетики (O = 4,50). Водночас високий рівень загроз (T = 4,30) та внутрішні обмеження масштабування (W = 3,70) зумовлюють необхідність підвищення процесної зрілості та стандартизації, зокрема шляхом впровадження APQP4Wind.

### 2.3 Аналіз планування якості продукції в Mita-Teknik

Проекти починаються зі збору вимог від виробників турбін або операторів вітрових електростанцій, що забезпечує чітке визначення технічних характеристик та операційних цілей.

Дослідження реалістичності оцінюють технічні ризики, доступність ресурсів та відповідність нормативним вимогам.

Системи управління та рішення SCADA розробляються з модульною архітектурою, що полегшує тестування, модернізацію та адаптацію до різних платформ турбін.

Інженерні команди використовують інструменти моделювання та цифрові моделі для перевірки поведінки турбін за різних вітрових умов.

Перевірка та верифікація проектування проводяться на заздалегідь визначених етапах, щоб забезпечити відповідність вимогам замовника та нормативним вимогам.

Виробництво апаратного забезпечення для управління та інтеграція з програмними платформами здійснюються відповідно до задокументованих процедур та контрольних точок якості.

Протоколи тестування включають функціональні випробування, інтеграцію системи та перевірку надійності в умовах експлуатаційних навантажень.

Зворотні зв'язки від встановлених турбін аналізуються для постійного вдосконалення та доопрацювання проекту.

Перед впровадженням нового продукту компанія Mita-Teknik проводить пілотні установки та випробування з валідації, щоб переконатися, що продуктивність відповідає критеріям APQP4Wind.

Навчання монтажних бригад та інженерів-клієнтів координується з метою забезпечення експлуатаційної готовності та дотримання вимог безпеки.

APQP4Wind наголошує на структурованому плануванні протягом усього життєвого циклу продукції. Підхід Mita-Teknik відображає цю структуру поетапно, за допомогою мінімальних вимог, визначених у системі якості компанії, перелічених у внутрішній документації у вигляд чек-листа наведеного у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Чек-лист для проекту Mita-Teknik згідно етапів APQP4Wind

| | |
|---|---|
| **Етап 1. Планування, визначення та масштабування програми якості.** | |
| 1 | Розуміти очікування замовника |
| 2 | Визначити потенційні обмеження та ризики у виконанні вимог замовника |
| 3 | Визначити вартість та терміни своєчасної доставки продукту |
| 4 | Визначити будь-яку необхідну допомогу від замовника |
| 5 | Визначити потенційних постачальників та субпостачальників, а також процеси для виконання вимог |
| **Етап 2. Дизайн і розробка продукту** | |
| 1 | Провести глибокий перегляд інженерних та технічних вимог замовника |
| 2 | Виявити потенційні проблеми та виклики, які необхідно вирішити в дизайні |
| 3 | Переконатися, що продукт можна виготовити |
| 4 | Забезпечити дизайн продукту, який відповідає очікуванням замовника |

Продовження таблиці 2.3

| | |
|---|---|
| 5 | Виявити особливі характеристики |
| 6 | Скласти план перевірки факторів проектування |
| 7 | Визначити вимоги до інструментів, обладнання та вимірювальних приладів |
| 8 | Ініціювати залучення субпостачальників на основі оцінок |
| **Етап 3. Забезпечення дотримання вимог до продукту** | |
| 1 | Забезпечити перевірку дизайну продукту |
| 2 | Створити, випробувати та затвердити прототип продукту |
| 3 | Завершити та затвердити дизайн інструментів |
| **Етап 4. Дизайн і розробка процесу** | |
| 1 | Забезпечити розробку попереднього технологічного процесу |
| 2 | Виявити потенційні несправності та заходи щодо їх усунення |
| 3 | Провести попередній аналіз можливостей процесу, що розробляється |
| 4 | Розробити план аналізу системи вимірювання |
| **Етап 5. Забезпечення дотримання вимог до процесу** | |
| 1 | Забезпечити документацію технологічного процесу |
| 2 | Забезпечити аналіз системи вимірювання в процесі та підтвердження її придатності для запланованого використання (для вимірювання спеціальних характеристик) |
| 3 | Забезпечити наявність планів контролю для початкових виробничих циклів |
| 4 | Провести статистичний аналіз технологічних можливостей для спеціальних характеристик |
| 5 | Контролювати спеціальні характеристики процесу |
| **Етап 6. Валідація продукту та процесу** | |
| 1 | Забезпечити проведення виробничих випробувань |
| 2 | Перевірити та задокументувати продуктивність процесу |
| 3 | Забезпечити перевірку продукту на відповідність вимогам дизайну |
| 4 | Задокументувати відповідні звіти про випробування та сертифікацію |
| **Етап 7. Затвердження продукту та процесу** | |
| 1 | Забезпечити заповнення всієї необхідної документації PPAP |
| 2 | Подання документів PPAP відповідно до домовленостей із замовником |

## 2.4 Практики управління в компанії Mita-Teknik

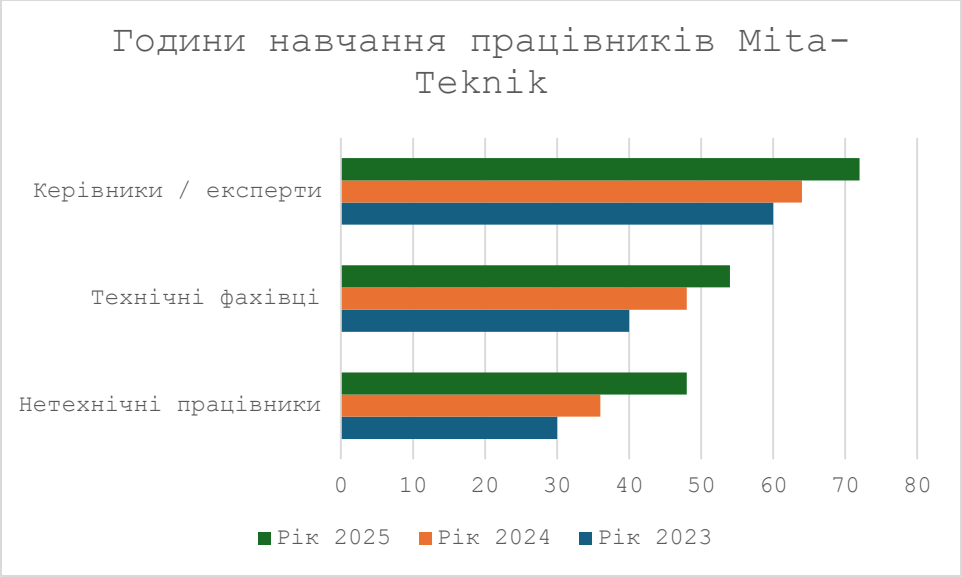
Ефективне управління процесами розробки, виробництва та обслуговування продукції має вирішальне значення у вітроенергетичному секторі, де висока надійність і продуктивність є надзвичайно важливими. Mita-Teknik, як провідний постачальник систем управління вітровими турбінами та рішень SCADA, інтегрує передові практики управління якістю, які тісно відповідають принципам APQP4Wind.

Mita-Teknik співпрацює з мережею постачальників та партнерів у сфері компонентів, програмних інструментів та послуг.

Відбір та оцінка постачальників здійснюються на основі якості, надійності та відповідності стандартам вітроенергетичної галузі. Принципи APQP4Wind поширюються на постачальників через угоди про якість, спільну оцінку ризиків та обмін документацією. Це гарантує, що весь ланцюг постачання відповідає високим стандартам надійності та продуктивності, які очікуються в проектах вітрових турбін.

Ефективне управління в Mita-Teknik включає структуроване навчання співробітників для забезпечення усвідомлення якості. Інженери та сервісні техніки проходять навчання з процесів APQP4Wind, експлуатації системи SCADA та інтеграції систем управління. Платформи управління знаннями документують найкращі практики, процедури усунення несправностей та отриманий досвід, забезпечуючи систематичне фіксування та повторне використання досвіду в різних проектах. Кількість годин навчання працівників Mita-Teknik за останні роки постійно зростає, як вказано на графіку (рисунок2.4)

Практики управління проектами Mita-Teknik демонструють пряму відповідність APQP4Wind.




*По горизонталі – кількість годин на рік, призначених для навчання*

*По вертикалі – категорії працівників*

Рисунок 2.4 - Години навчання працівників Mita-Teknik за 3 роки

- Раннє інтегрування планування якості в початок проекту.
- Міжфункціональна співпраця між інженерними, QA, операційними та сервісними командами.
- Структурована оцінка ризиків та стратегії їх мінімізації.
- Валідація та верифікація як апаратного, так і програмного забезпечення.
- Постійний зворотний зв'язок для вдосконалення дизайну, процесів та операцій.

Така інтеграція гарантує, що продукти відповідають як очікуванням клієнтів, так і галузевим стандартам надійності, зменшуючи кількість відмов, простоїв та витрат протягом життєвого циклу.

Mita-Teknik є прикладом ефективних практик управління в рамках APQP4Wind, поєднуючи структуроване планування якості, міжфункціональну координацію та управління ризиками. Її підхід демонструє, що передові системи

якості можуть бути успішно застосовані у вітроенергетичному секторі для підвищення надійності продукції, оптимізації продуктивності турбін та підтримки сталого виробництва енергії.

Філософія управління компанії наголошує на постійному вдосконаленні, співпраці з постачальниками та обміні знаннями, що відображає основні принципи APQP4Wind і робить її зразком управління, орієнтованого на якість, у проектах з відновлюваної енергетики.

### 2.5 Глобальні тенденції, з якими стикається Mita-Teknik

1) Прискорення цифровізації та зростання послуг SCADA / CMS

Впровадження передових систем диспетчерського контролю та збору даних (SCADA), хмарних платформ та інструментів моніторингу стану швидко поширюється у вітроенергетичному секторі. Аналіз ринку прогнозує значне зростання середньорічного темпу зростання (CAGR) для сегментів SCADA та моніторингу стану, оскільки оператори прагнуть зменшити витрати на експлуатацію та технічне обслуговування і перейти до прогностичного технічного обслуговування та оптимізації парку обладнання. Для Mita-Teknik ця тенденція посилює попит на інтегровані пропозиції «апаратне забезпечення + програмне забезпечення» та відкриває можливості для продажу регулярних послуг (ліцензії на програмне забезпечення, аналітика, керовані послуги) на додаток до одноразового продажу апаратного забезпечення.

Стратегічні пропозиції: надавати пріоритет хмарним, модульним функціям SCADA/аналітики, щоб залишатися привабливими для власників активів та системних інтеграторів [37].

2) Сильне зростання ринків прогнозованого технічного обслуговування та аналітики

Рішення з прогнозованого технічного обслуговування вітрових турбін є одними з найшвидше зростаючих цифрових підсекторів, оскільки оператори застосовують аналітику для скорочення часу простою та продовження терміну експлуатації компонентів [35]. Оскільки Mita-Teknik поєднує логіку контролера, систем приводу кута нахилу та SCADA, вона має всі можливості для надання інтегрованих прогнозів (датчик → контролер периферії → хмарна аналітика → технічне обслуговування), перетворюючи свою встановлену базу в актив даних.

Стратегічні пропозиції: інвестувати в можливості машинного навчання, периферійну аналітику та партнерство з фахівцями з аналітики для монетизації даних з встановлених контролерів та систем кута нахилу [35].

3) Збільшення розміру та складності турбін (на суші та в морі)

Середні номінальні потужності турбін продовжують зростати (середня номінальна потужність у світі та більші розміри ротора/втулки), особливо в морі, де турбіни наближаються до 10 МВт і перевищують цю позначку, що вимагає більш потужних, надійних і відмовостійких систем управління та регулювання кута нахилу лопатей [19]. Більші турбіни підвищують вимоги до систем регулювання кута нахилу лопатей, складності логіки управління та сертифікації для експлуатації в морі. Це створює як виклики (перегляд технічних специфікацій, більш суворі умови експлуатації), так і можливості (нові варіанти продукції для великих турбін) для лінійок продуктів Mita-Teknik з регулювання кута нахилу лопатей та управління.

Стратегічні пропозиції: розробка масштабованих платформ систем регулювання кута нахилу лопатей та високонадійних контролерів, сертифікованих для турбін потужністю 10 МВт+ та морських умов; прискорення досліджень і розробок для забезпечення сумісності з архітектурою турбін наступного покоління [19].

4) Стабільний ринок систем повороту/нахилу та попит на модернізацію, але з розвитком ремоторнізації

Прогнози ринку показують стабільне зростання систем повороту та нахилу, а також послуг з модернізації на вторинному ринку, що обумовлено великою кількістю встановлених турбін старого зразка, які потребують оновлення або продовження терміну експлуатації [38]. Одночасно ремоторнізація (заміна старих турбін на нові високоефективні агрегати) та будівництво нових установок змінять масштаби та терміни модернізації. Для Mita-Teknik ринок модернізації залишається важливим джерелом доходу, але довгостроковий попит буде все більше залежати від циклів ремоторнізації та темпів впровадження нових турбін.

Стратегічні пропозиції: дотримуватися двостороннього підходу: (а) конкурентні пакети модернізації/оновлення для старих парків; (б) лінійки продуктів та комерційні угоди, сумісні з новими специфікаціями OEM, щоб залучити бізнес OEM та інтеграторів [30].

5) Конкурентний тиск: інсорсинг OEM та консолідація ринку

OEM все частіше розробляють власні рішення для управління або консолідують постачальників, тоді як промислові групи продовжують купувати спеціалізовані компанії (наприклад, придбання Mita-Teknik компанією Emerson), щоб пропонувати комплексні рішення для автоматизації. Така динаміка може зменшити маржу незалежних постачальників, але також створює можливості для виходу з ринку та масштабування. Власність Emerson над Mita-Teknik допомагає в масштабуванні та доступі до ринку, але компанія повинна продовжувати диференціюватися за допомогою галузевої експертизи, гнучкості модернізації та міжплатформної сумісності.

Стратегічні пропозиції: підкреслювати унікальну експертизу на ринку післяпродажного обслуговування, швидше впровадження модернізації та

міжплатформну сумісність; використовувати канали материнської компанії для масштабування, зберігаючи гнучкість та близькість до клієнтів [14].

6) Проблеми з ланцюгом поставок, фінансуванням та макроекономікою

Обмеження ланцюга поставок, вищі капітальні витрати та зміна інтересів інвесторів (інфляція, процентні ставки) можуть затримати реалізацію нових проектів та змістити попит у бік продовження терміну експлуатації, а не будівництва нових об'єктів на деяких ринках. Ці умови можуть тимчасово збільшити попит на післяпродажне обслуговування (що вигідно для Mita-Teknik), але зменшити обсяги будівництва нових об'єктів в найближчій перспективі в інших секторах.

Стратегічні пропозиції: розширити пропозицію післяпродажного обслуговування, створити гнучкі комерційні моделі (контракти на основі результатів, модернізація як послуга) та оптимізувати відносини з постачальниками для управління ризиками, пов'язаними з витратами та поставками [19].

7) Кібербезпека, стандарти та відповідність нормативним вимогам для цифрових активів

Оскільки контролери та системи SCADA розкривають все більше операційних даних та інтерфейсів дистанційного керування, ризики кібербезпеки та нормативні вимоги зростають. Відповідність галузевим стандартам, безпечні оновлення та стійкі архітектури тепер є комерційними відмінностями. Mita-Teknik повинна продемонструвати надійну кіберстійкість, щоб завоювати великих клієнтів та підтримувати функції взаємодії з мережею (наприклад, синтетична інерція, послуги мережі).

Стратегічні пропозиції: інвестувати в безпеку за замовчуванням, безпечні механізми оновлення та офіційну відповідність/сертифікацію критичних

інфраструктурних кіберстандартів; просувати ці можливості як додаткову цінність для обережних власників активів.

**Висновок до розділу 2**

Десятиліттями вітроенергетика стабільно зростає в Європейському Союзі, більш ніж подвоївши свою частку у виробництві електроенергії з 2010 року до середини 2020 року. До першої половини 2020 року вітер і сонце вперше перевершили вугілля, що означає невідворотний перехід до зелених джерел енергії. У 2025 році світовий ринок вітроенергетики оцінюється в 108, 81 мільярда доларів США.

Mita-Teknik — данська компанія заснована в 1969 році, з багаторічним досвідом у галузі вітроенергетики. Американська компанія Emerson Electric придбала Mita-Teknik у грудні 2021 року з метою зміцнення позицій Emerson у сфері відновлюваної енергетики, зокрема у сегменті вітроенергетики.

Діяльність компанії Mita-Teknik можна розділити на чотири основні напрямки: системи управління вітровими турбінами; вітропарк та системи SCADA; рішення з модернізації та оновлення вітрових турбін; сервіс, підтримка та навчання.

Практики управління проектами Mita-Teknik демонструють пряму відповідність APQP4Wind: раннє інтегрування планування якості в початок проекту; міжфункціональна співпраця між інженерними, QA, операційними та сервісними командами; структурована оцінка ризиків та стратегії їх мінімізації; валідація та верифікація як апаратного, так і програмного забезпечення; постійний зворотний зв'язок для вдосконалення дизайну, процесів та операцій.

Mita-Teknik є провідним прикладом орієнтованої на якість ділової практики в секторі відновлюваної енергетики. Поєднуючи передові системи управління турбінами, рішення SCADA та моніторингу, а також послуги з модернізації,

компанія демонструє, як технологічні інновації та структуроване управління якістю можуть підвищити операційну ефективність, надійність та стійкість. Її підхід тісно узгоджується з принципами, викладеними в APQP4Wind, надаючи практичну ілюстрацію планування якості та постійного вдосконалення в контексті глобальної вітроенергетики.

Найближчі перспективи Mita-Teknik полягають у перетворенні її великої встановленої бази на цифровий дохід (аналітика, прогнозне технічне обслуговування), розширенні лінійок продукції для більших і морських турбін, а також збереженні лідерства на ринку післяпродажного обслуговування в міру розвитку OEM-виробників і ринків. Водночас компанія повинна пом'якшити циклічність політики та ланцюгів постачання за допомогою географічної диверсифікації, гнучких комерційних моделей та глибшої інтеграції практик кібербезпеки та сертифікації.

# РОЗДІЛ 3 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ПЛАНУВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ В СФЕРІ ЯКОСТІ У ГАЛУЗІ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ

## 3.1 Пропозиції щодо вдосконалення планування якості в галузі вітроенергетики

Глобальний сектор вітроенергетики стикається зі зростаючою складністю, масштабами та ризиками ланцюга поставок, прагнучи до вищої надійності, нижчої середньої вартості енергії (LCoE) та прискореного впровадження. Методологія APQP4Wind, яка забезпечує загальну структуру «розширеного планування якості продукції», адаптовану до вітроенергетичної галузі, пропонує структурований шлях до кращої узгодженості між виробниками оригінального обладнання, постачальниками та комунальними підприємствами. Однак для досягнення свого повного потенціалу галузь в цілому повинна впровадити низку вдосконалень. У цьому розділі викладено стратегічні пропозиції щодо того, як вітроенергетична галузь може покращити впровадження та використання APQP4Wind для підвищення якості, зниження витрат та більшої глобальної стандартизації.

1) Прискорити впровадження в масштабах галузі та інтегрувати в ланцюги поставок комунальних підприємств, виробників оригінального обладнання та постачальників

Хоча APQP4Wind набув популярності (про що свідчить зростання кількості членів та оновлення посібника до версії 1.3), у багатьох регіонах та на багатьох рівнях ланцюгів постачання він все ще недостатньо поширений. Наприклад, енергетична компанія Vattenfall повідомила, що вітроенергетика «все ще розвивається» з точки зору широкого впровадження APQP4Wind, та визнала необхідність розширити участь за межі виробників оригінального обладнання,

включивши постачальників частин та послуг. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі нижче (рисунок 3.1).

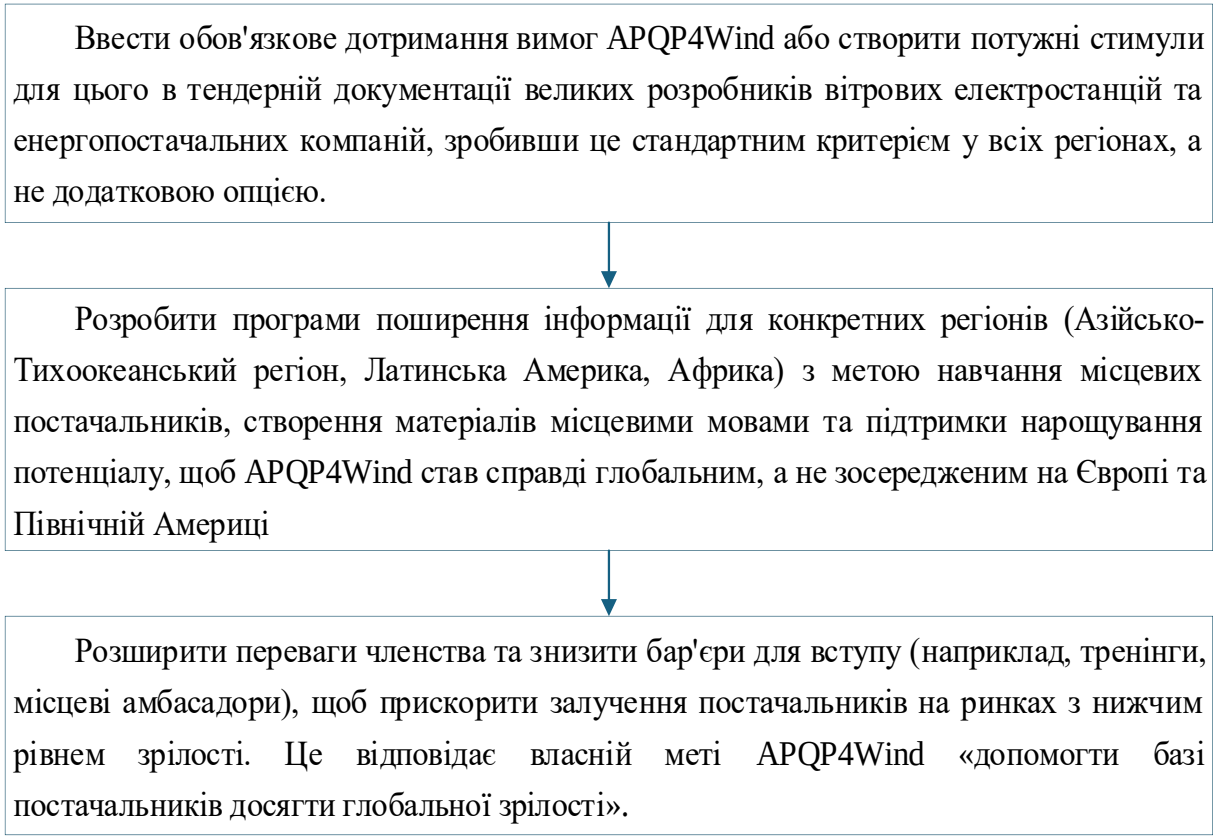



Рисунок 3.1 – Пропоновані заходи щодо прискорення впровадження APQP4Wind в масштабах галузі

Впровадивши APQP4Wind у всьому ланцюжку — комунальні підприємства, виробники оригінального обладнання, постачальники 1-го та 2-го рівня — галузь підвищить узгодженість, зменшить варіативність і, таким чином, поліпшить надійність та скоротить час виходу на ринок.

2) Посилити цикли вимірювання, оцінки зрілості та постійного вдосконалення.

Одним з основних механізмів APQP4Wind є інструмент оцінки зрілості, який дозволяє організаціям оцінювати свою відповідність методології. Однак дані галузі свідчать, що лише деякі компанії систематично інтегрують ці оцінки в

програми постійного вдосконалення. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.2).

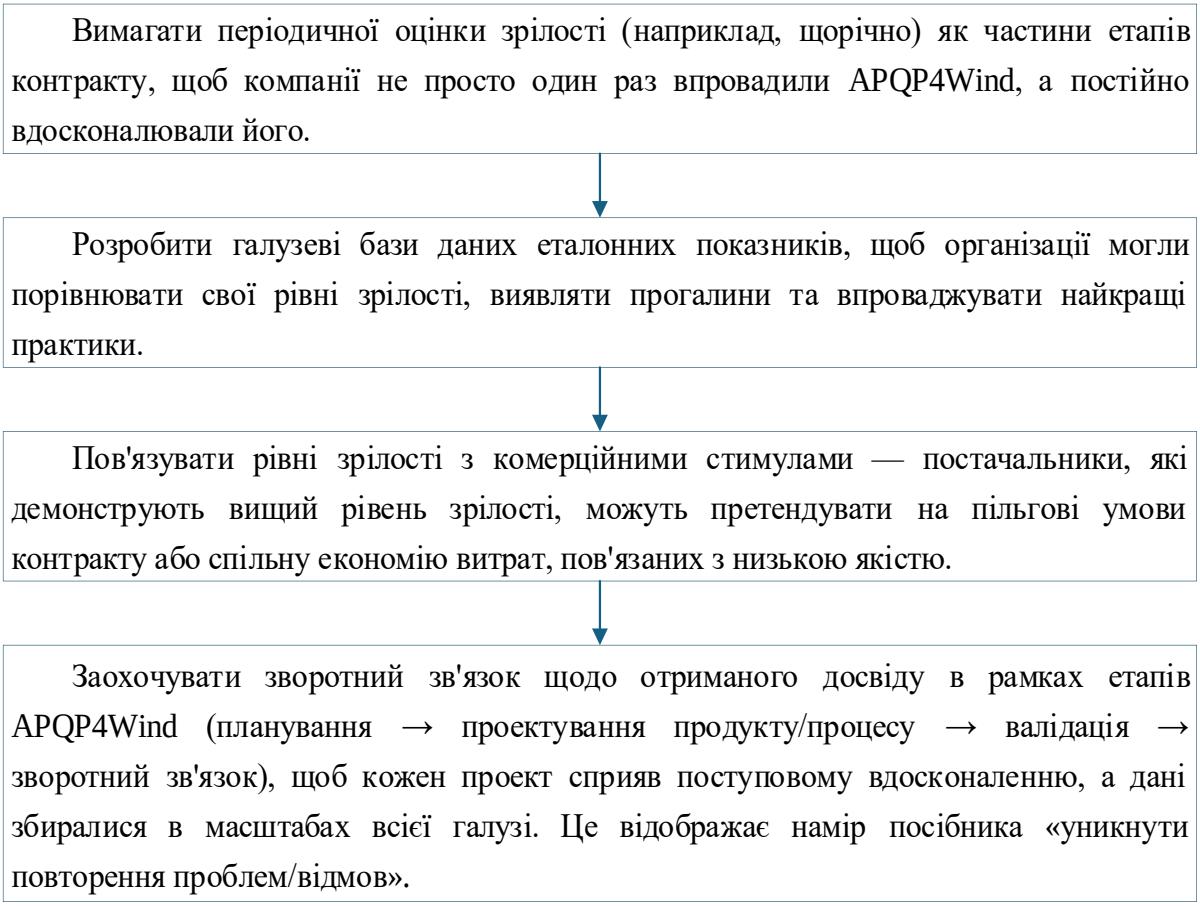



Рисунок 3.2 – Пропоновані заходи щодо посилення циклів вимірювання, оцінки зрілості та постійного вдосконалення.

Підвищення суворості вимірювань та зворотного зв'язку змінить галузь з дотримання вимог («виконання APQP4Wind») на ефективність («реалізація її переваг»).

3) Наголошувати на управлінні ризиками на ранніх етапах та проектуванні з урахуванням надійності у великих та морських проектах

Зі збільшенням потужності турбін, розширенням морських установок та поширенням гібридних енергетичних систем, складність та ризики

вітроенергетичних продуктів зростають. Посібник APQP4Wind вже охоплює FMEA, особливі характеристики, аналіз системи вимірювання та PPAP для компонентів.

Але галузь повинна адаптувати ці інструменти спеціально до високоскладних, великомасштабних систем (наприклад, турбіни >10 МВт, плавучі морські вітроелектростанції). Пропоновані заходи наведено в блок-схемі нижче (рисунок 3.3).

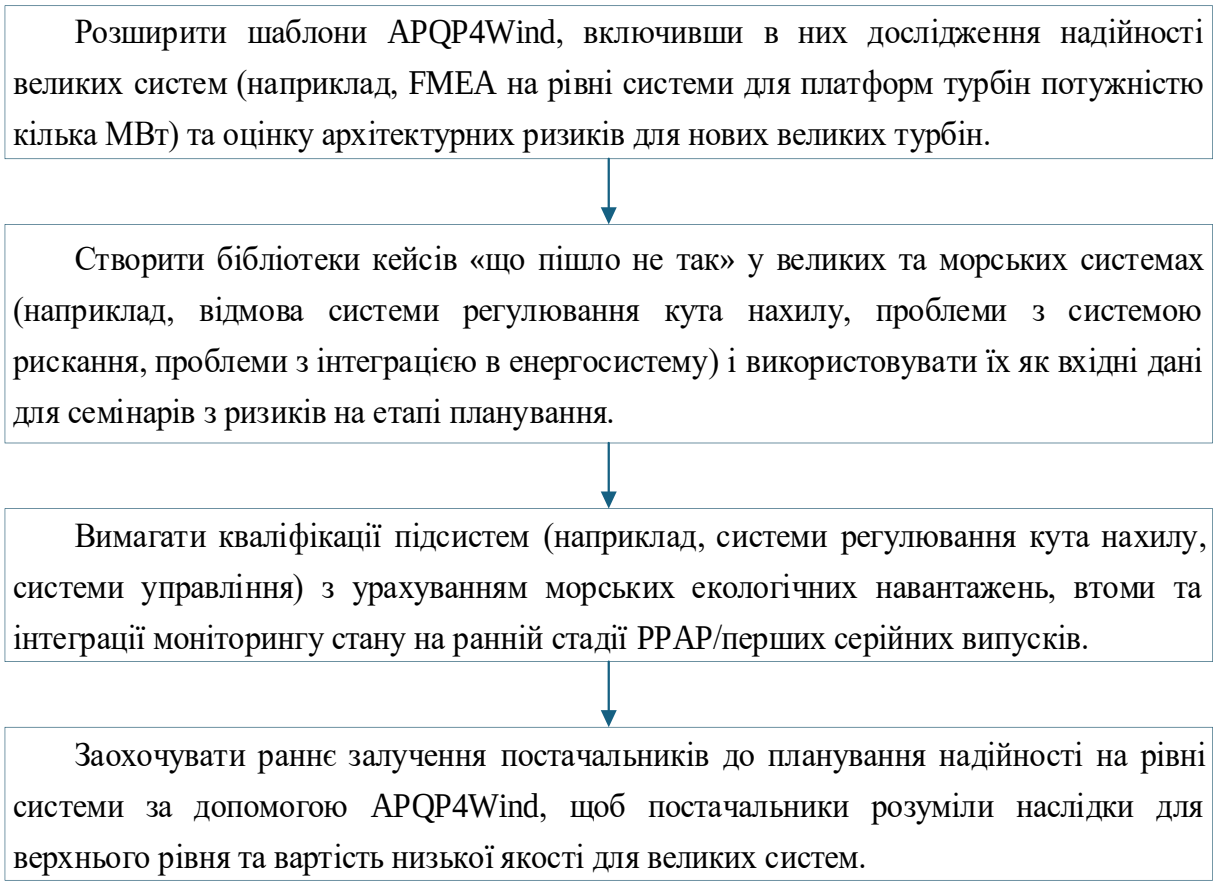



Рисунок 3.3 – Пропоновані заходи щодо посилення управління ризиками

Зосереджуючи інструменти управління ризиками APQP4Wind на великих масштабах та офшорних умовах, галузь може зменшити кількість несподіваних відмов, затримок виходу на ринок та витрат протягом життєвого циклу.

4) Розширити цифровізацію, аналіз даних та інтеграцію сервісних моделей в рамках APQP4Wind

Вітроенергетична галузь все більше переходить до моделі, орієнтованої на послуги та дані: моніторинг продуктивності турбін за допомогою SCADA, моніторинг стану, аналіз та цифрові двійники. Однак поточна орієнтація APQP4Wind залишається зосередженою на фізичному плануванні якості продукції, контролі процесів та узгодженні дій постачальників. Існує можливість розвинути методологію для підтримки компонентів цифрових послуг.. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 2.4).

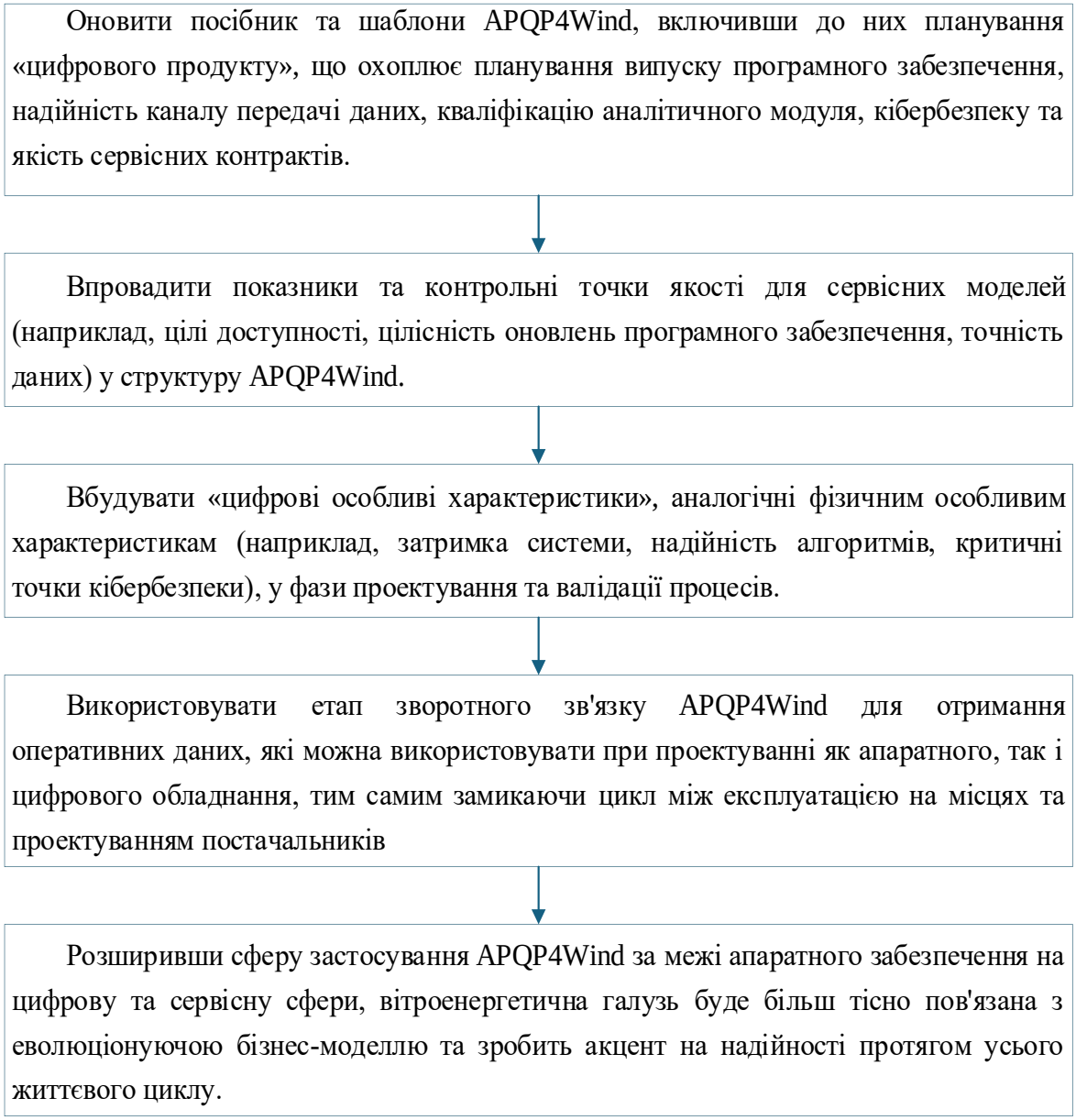


Рисунок 3.4 – Пропоновані заходи щодо розширення цифровізації, аналізу даних та інтеграції сервісних моделей

5) Посилити баланс між глобальною стандартизацією та локалізацією

APQP4Wind має на меті забезпечити глобальний стандарт для ланцюжка створення вартості у вітроенергетичній галузі.

Однак місцеві ринкові умови, регуляторні режими та зрілість ланцюжка поставок значно різняться в різних регіонах. Напруга між глобальною стандартизацією та регіональною адаптацією потребує більш чіткого управління. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.5).

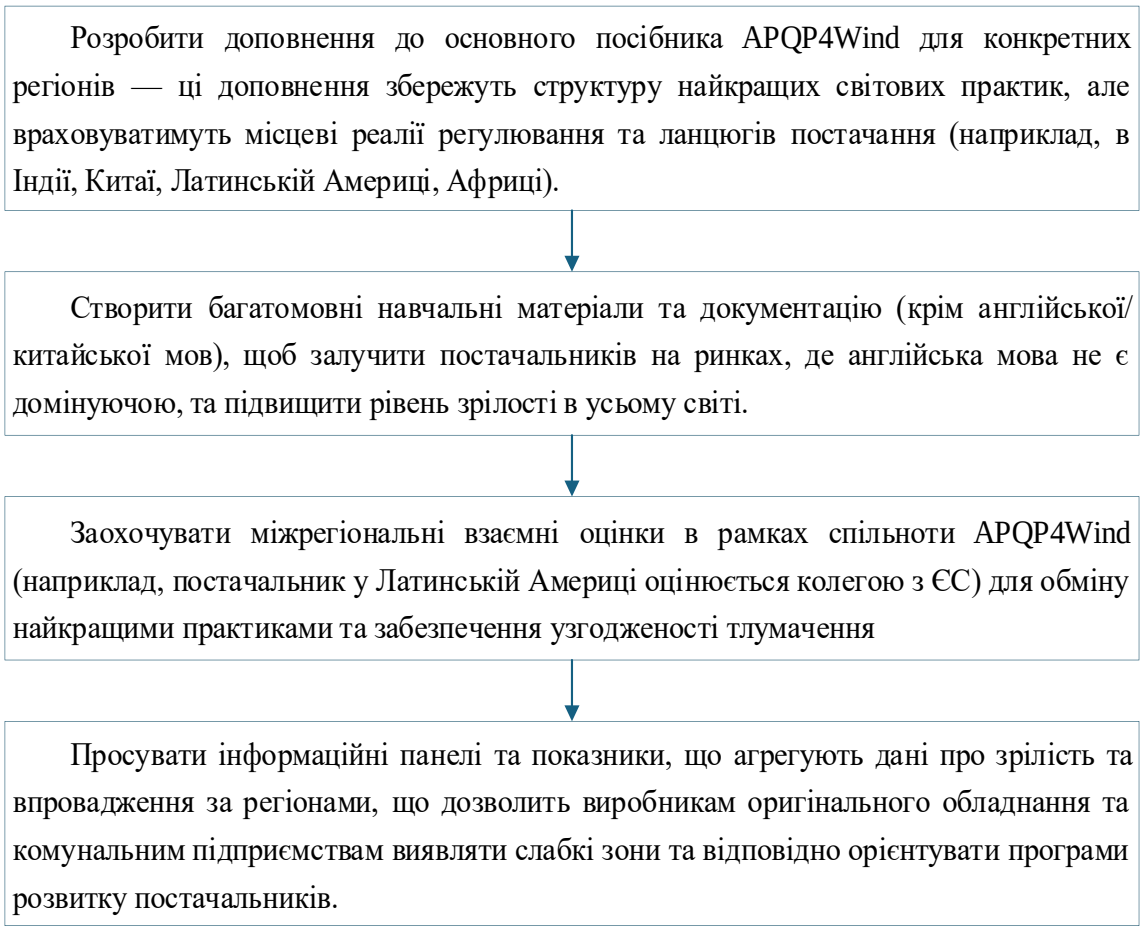



Рисунок 3.5 – Пропоновані заходи щодо посилення балансу між глобальною стандартизацією та локалізацією

Збалансування глобальної узгодженості та регіональної релевантності прискорить зрілість, дозволить ширше залучати постачальників та зменшить витрати на варіантні процеси.

6) Інтегрувати сталий розвиток, циркулярну економіку та планування витрат життєвого циклу

Вітроенергетична галузь відчуває все більший тиск з метою демонстрації сталого розвитку, повторного використання компонентів та принципів циркулярної економіки. Хоча APQP4Wind наголошує на якості та вартості неякісної продукції, його поточний обсяг може бути розширений для більш чіткого включення критеріїв сталого розвитку (поза межами якості продукції). Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.6).

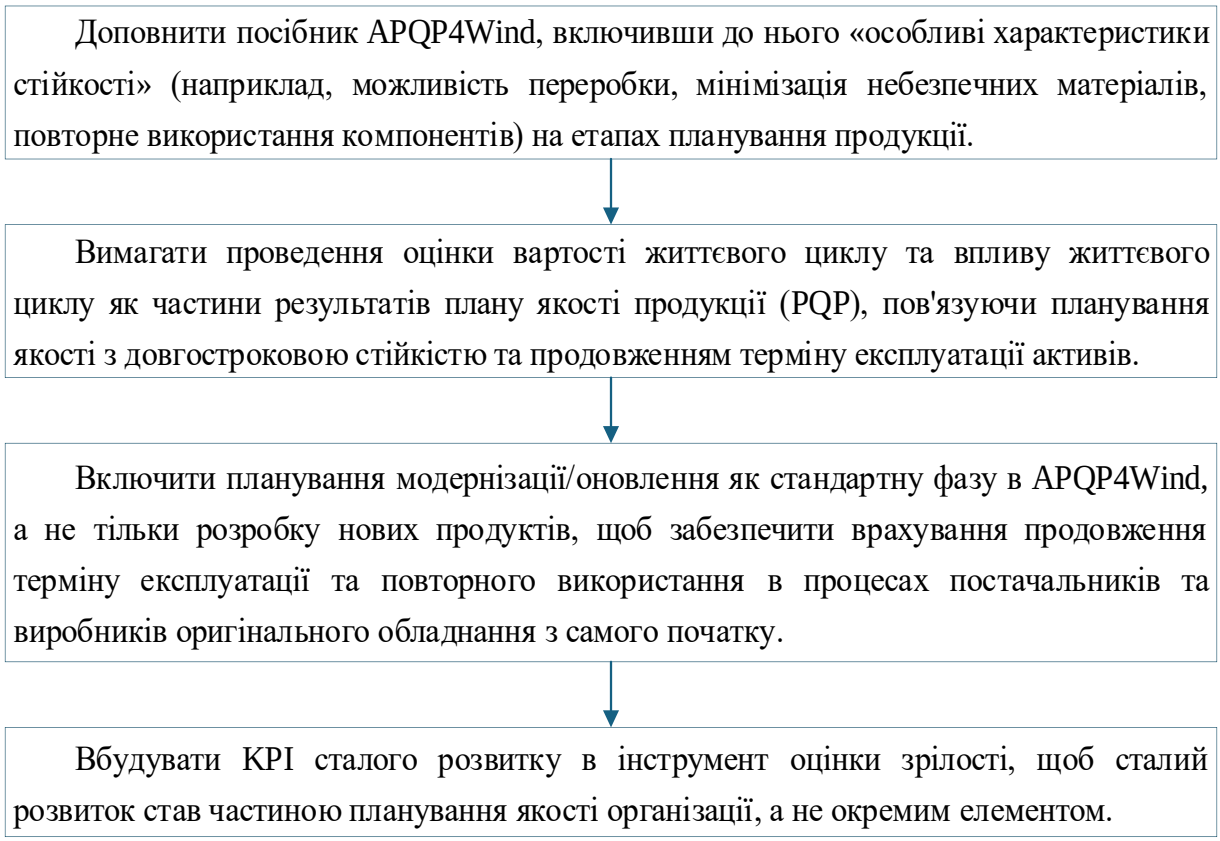



Рисунок 3.6 – Пропоновані заходи щодо інтегрування сталого розвитку, циркулярної економіки та планування витрат життєвого циклу

Вбудувавши сталий розвиток в APQP4Wind, вітроенергетична галузь зможе краще узгодити якість продукції з продуктивністю активів протягом життєвого циклу, стратегією повторного використання та регуляторними/суспільними очікуваннями.

7) Покращити навчання, сертифікацію та зміну культури ланцюга поставок.

Успішна реалізація APQP4Wind залежить не тільки від процесів, але й від людей та культури. Коментарі представників галузі підкреслюють, що узгодження інтересів зацікавлених сторін, спільна мова та раннє залучення є ключовими факторами успіху. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.7).

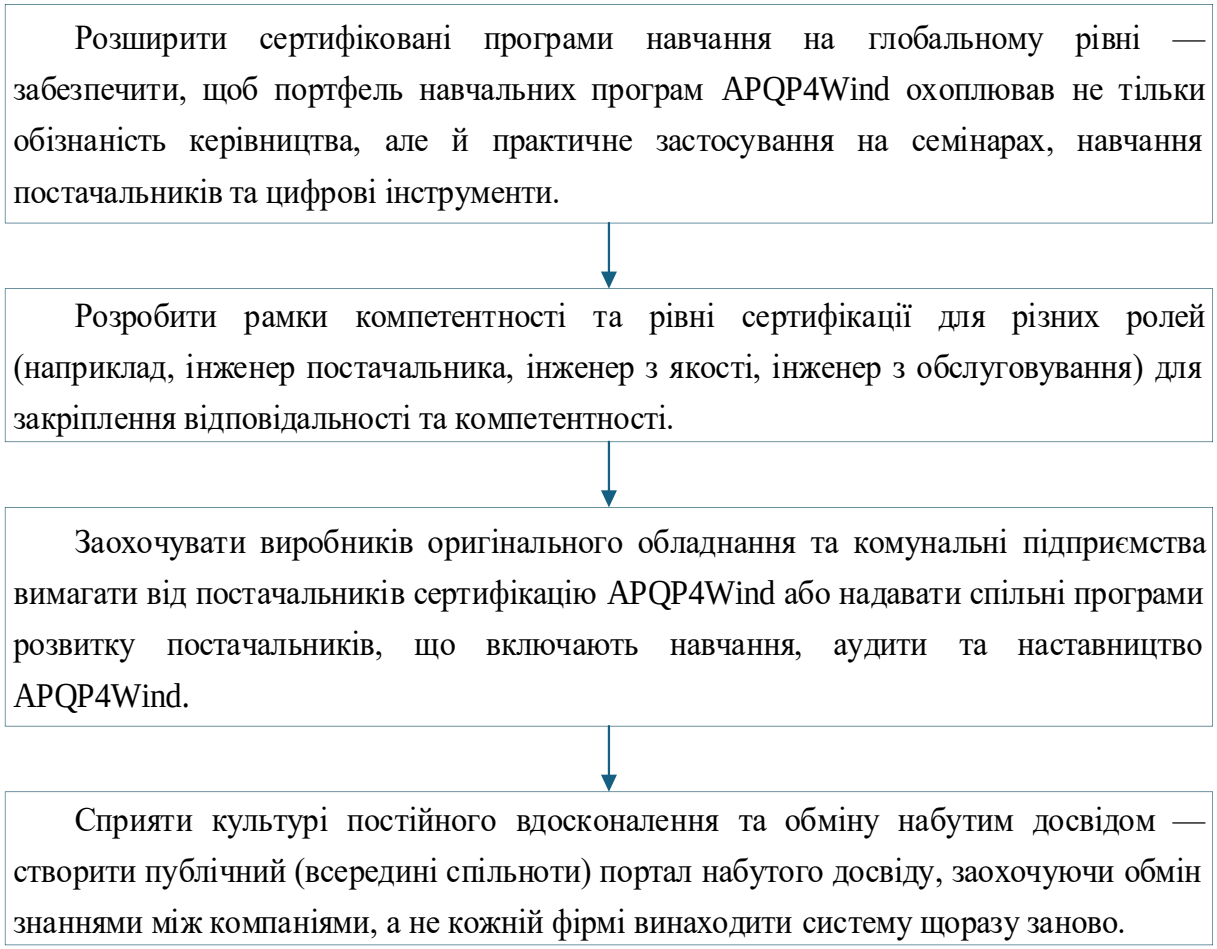



Рисунок 3.7 – Пропоновані заходи щодо покращення навчання, сертифікації та зміни культури ланцюга поставок

Покращення навчання та культурної інтеграції прискорить і поглибить впровадження APQP4Wind у ланцюжку поставок, зменшивши кількість дефектів і невідповідностей.

Отже, вітроенергетична галузь перебуває на вирішальному етапі, коли стандартизація, планування якості та зрілість ланцюга поставок є необхідними для досягнення глобальних цілей розгортання, зниження витрат та підвищення надійності. Методологія APQP4Wind забезпечує міцну основу, але для реалізації всіх її переваг необхідні узгоджені поліпшення: розширення впровадження, посилення вимірювання та постійне вдосконалення, адаптація до складності великих систем, включення елементів цифровізації та сталого розвитку, збалансування глобальної стандартизації з регіональною локалізацією, а також інвестиції в навчання та культуру.

Впровадивши запропоновані вдосконалення, вітроенергетика може перетворити APQP4Wind з «рекомендованого стандарту» на повністю інтегровану глобальну практику, що сприятиме підвищенню надійності, зниженню загальної вартості володіння та більшій узгодженості результатів ланцюга поставок у різних регіонах та технологіях.

### 3.2 Пропозиції щодо вдосконалення планування якості в Mita-Teknik

Оскільки сектор вітроенергетики стає все більш чутливим до продуктивності, впровадження системи забезпечення якості, таких як APQP4Wind, пропонує Mita-Teknik стратегічний шлях для підвищення надійності продукції, зниження витрат, пов'язаних з низькою якістю, та зміцнення узгодженості ланцюга поставок. Наступні пропозиції окреслюють ключові напрямки вдосконалення процесів та стратегічної орієнтації Mita-Teknik згідно APQP4Wind.

1) Формалізація та інтеграція APQP4Wind у життєвий цикл продукту

Одним з основних кроків для Mita-Teknik є систематична інтеграція системи APQP4Wind у життєвий цикл розробки та виробництва продукції. APQP4Wind визначається як загальна методологія забезпечення якості для глобальної вітроенергетичної галузі, призначена для зменшення варіацій, уникнення повторення несправностей та узгодження очікувань постачальників і виробників оригінального обладнання.

Для Mita-Teknik це означає перегляд внутрішніх процесів розробки — проектування апаратного забезпечення контролерів, систем управління кроком, модулів SCADA — та приведення кожної фази у відповідність до етапів, описаних у посібнику APQP4Wind: планування, проектування продукту, проектування процесу, валідація продукту та процесу, а також зворотний зв'язок [3]. Таким чином, Mita-Teknik може гарантувати, що випуск її продуктів та оновлення систем включають структуровані контрольні точки якості, аналіз ризиків (еквіваленти DFMEA/PFMEA) та залучення постачальників у послідовний спосіб. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.8).

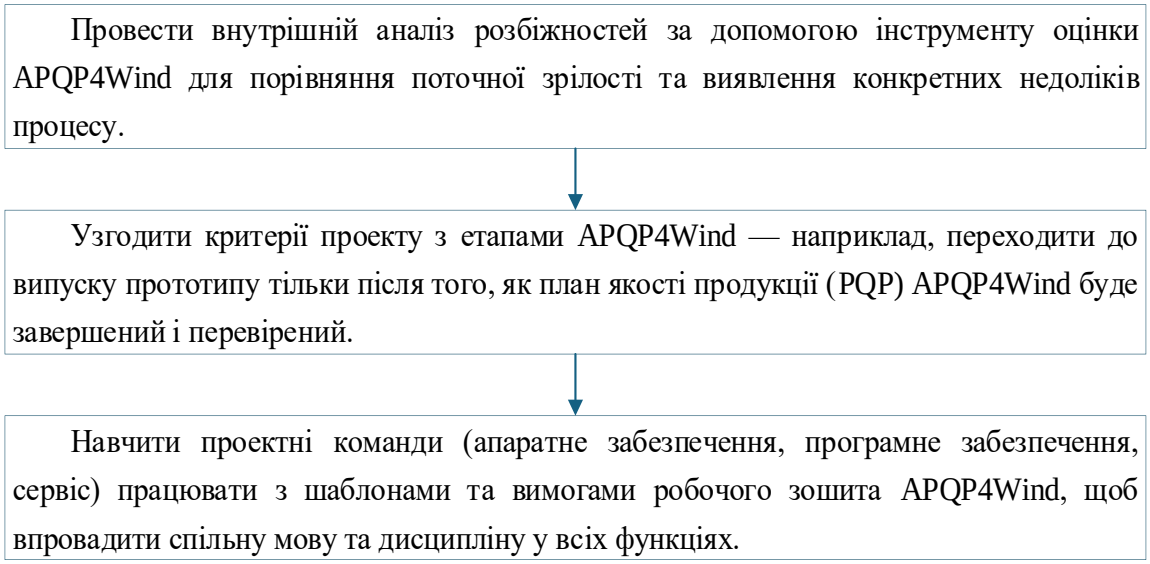



Рисунок 3.8 – Пропоновані заходи щодо формалізації та інтеграції APQP4Wind у життєвий цикл продукту

2) Посилення управління ризиками та коригувальні дії

Наразі Mita-Teknik застосовує структуровані стратегії оцінки та зменшення ризиків, які є центральними для APQP4Wind, лише для компонентів, а не для програмного забезпечення. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.9).

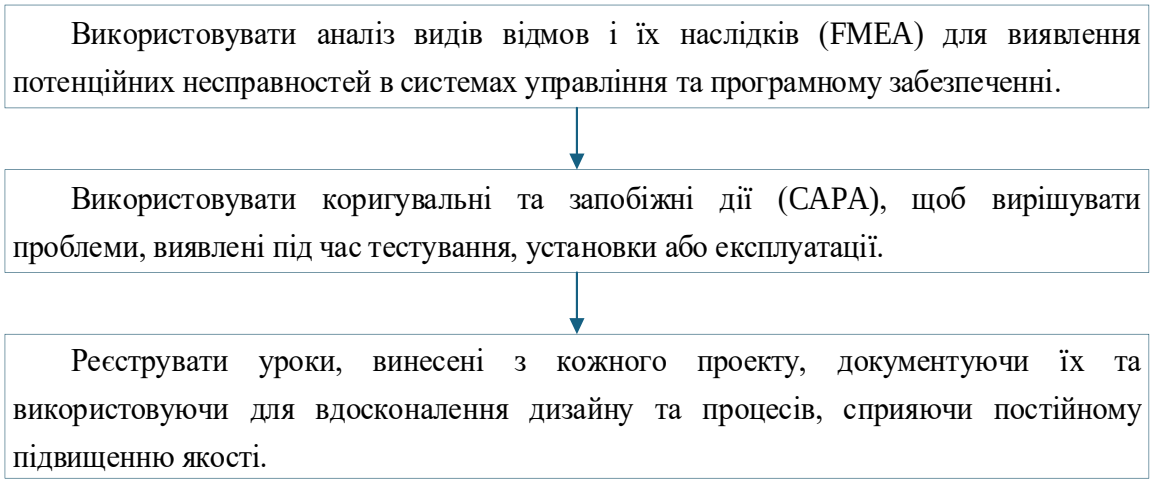



Рисунок 3.9 – Пропоновані заходи щодо посилення управління ризиками та корегувальних дій

3) Посилення кваліфікації постачальників і підсистем

APQP4Wind наголошує на кваліфікації постачальників і технологічних можливостях як методі зменшення дефектів і витрат на якість [15].

Для компанії Mita-Teknik, чия діяльність охоплює як модулі управління, так і обладнання для регулювання кроку лопатей, і яка покладається на глобальний ланцюг поставок, це є можливістю підвищити надійність. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.10).

4) Використання встановленої бази для постійного вдосконалення та зворотного зв'язку на основі даних

Сильна сторона Mita-Teknik полягає в її великій встановленій базі систем управління та регулювання кроку.

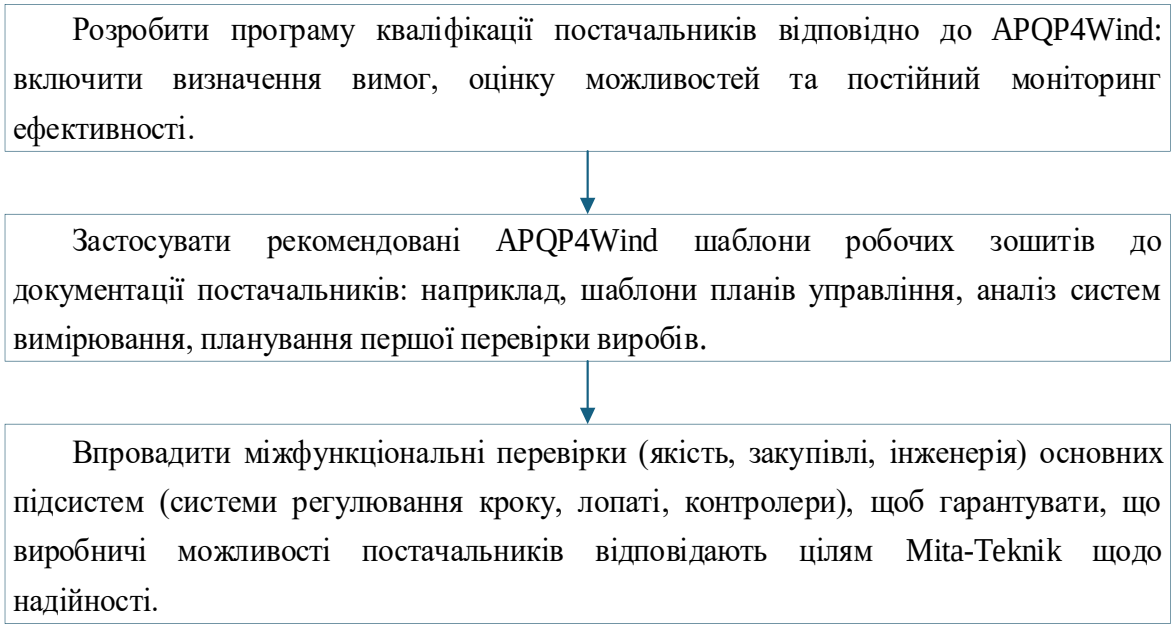



Рисунок 3.10 – Пропоновані заходи щодо посилення кваліфікації постачальників і підсистем

Щоб отримати більшу цінність та узгодити із циклами зворотного зв'язку APQP4Wind, компанія повинна інституціоналізувати механізми зворотного зв'язку «від поля до проектування». Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.11).

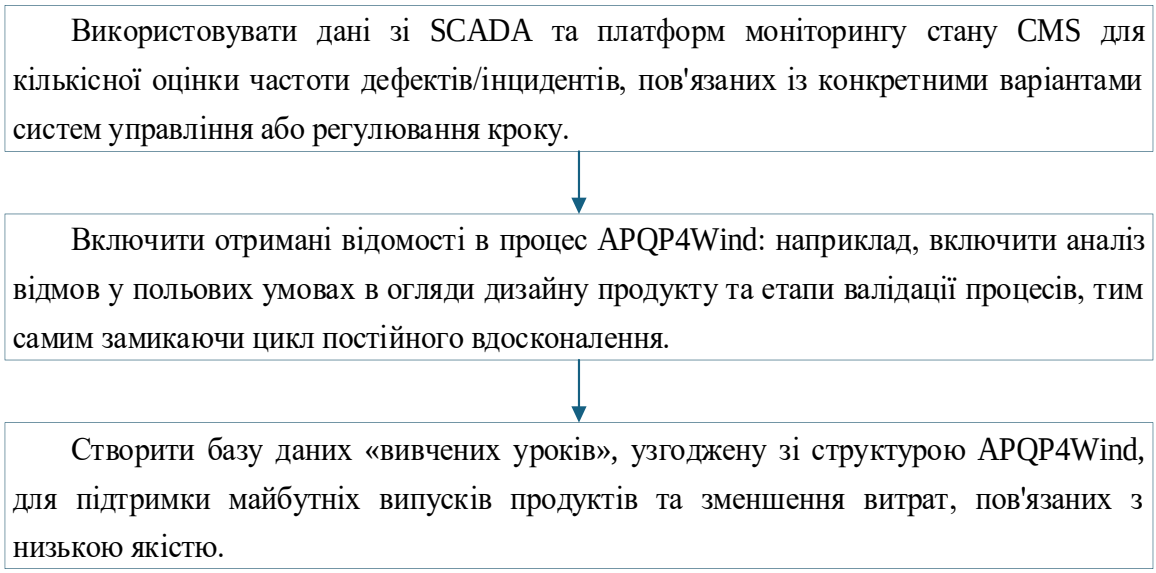



Рисунок 3.11 – Пропоновані заходи щодо використання встановленої бази для постійного вдосконалення та зворотного зв'язку

5) Розширення пропозиції цифрових послуг у рамках систем якості APQP4Wind

Як обговорювалося в попередніх розділах, Mita-Teknik переходить від продажу обладнання до моделей обслуговування/аналітики. Впровадження APQP4Wind може підкріпити довіру до цього переходу, особливо при наданні послуг з прогнозного обслуговування або цифрових двійників. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.12).

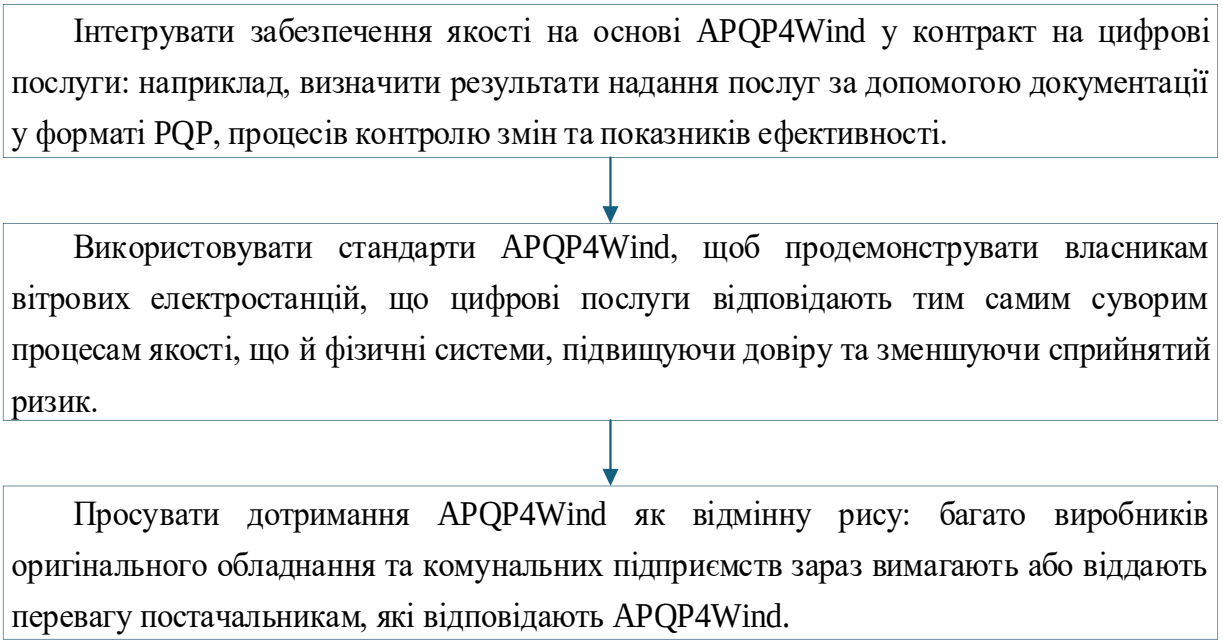



Рисунок 3.12 – Пропоновані заходи щодо розширення пропозиції цифрових послуг

6) Поліпшення сертифікації морських установок та готовності модульних продуктів за допомогою APQP4Wind

З огляду на тенденцію в галузі до використання більших турбін та морських установок, контролери та системи регулювання кута нахилу лопатей Mita-Teknik повинні відповідати більш суворим вимогам. Застосування ретельних етапів кваліфікації продуктів та процесів APQP4Wind допоможе керувати складністю, ризиками та витратами. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.13).

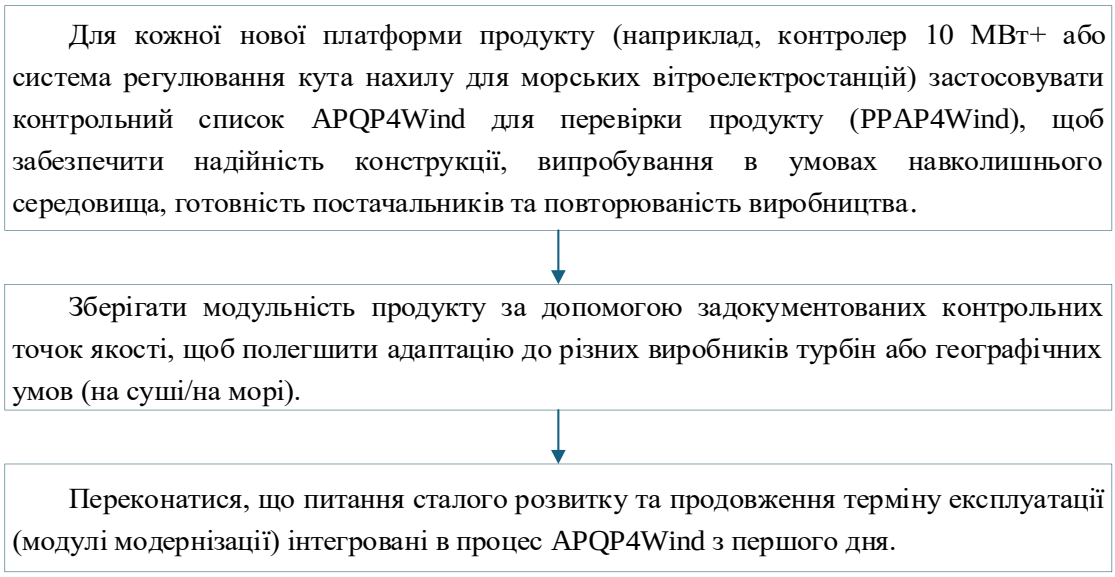



Рисунок 3.13 – Пропоновані заходи щодо поліпшення сертифікації морських установок та готовності модульних продуктів

7) Впровадження сталого розвитку, стійкості ланцюга поставок та культури цифрової якості.

Хоча APQP4Wind зосереджений на плануванні якості продукції та контролі процесів, його основні принципи можуть бути поширені на сталий розвиток, стійкість та цифрову трансформацію – сфери, що мають стратегічне значення для Mita-Teknik. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.14).

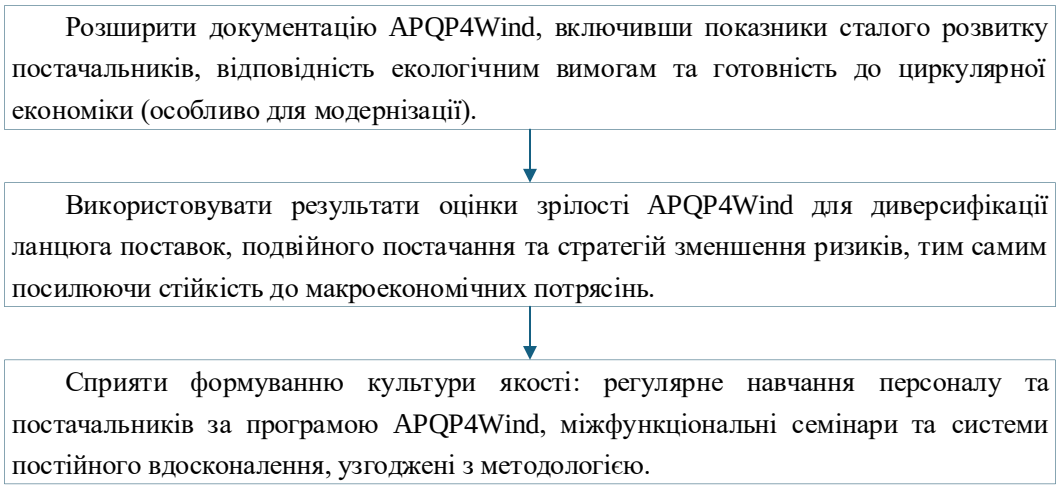



Рисунок 3.14 – Пропоновані заходи щодо впровадження сталого розвитку, стійкості ланцюга поставок та культури цифрової якості

8) Моніторинг, вимірювання та узгодження KPI

Нарешті, щоб впровадження APQP4Wind було дійсно вигідним, Mita-Teknik повинна створити систему моніторингу та вимірювання, яка пов'язує зрілість APQP4Wind з бізнес-результатами. Пропоновані заходи наведено в блок-схемі (рисунок 3.15).

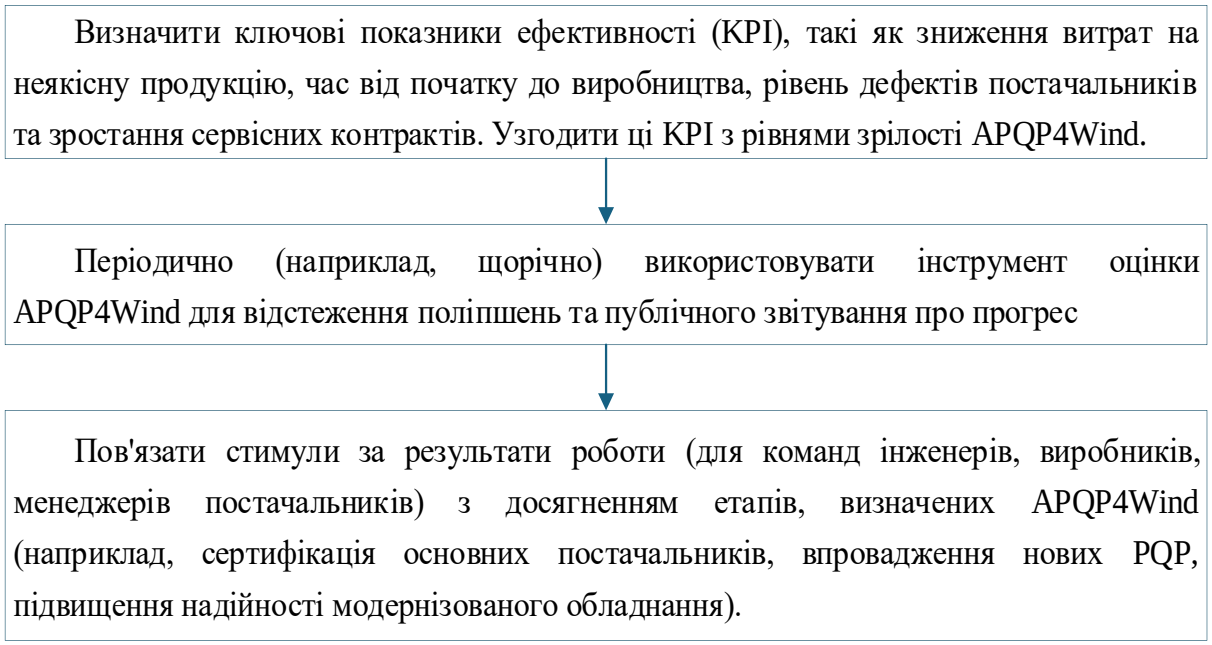



Рисунок 3.15 – Пропоновані заходи щодо моніторингу, вимірювання та узгодження KPI

Отже, шляхом більш глибокого впровадження методології APQP4Wind у свою діяльність компанія Mita-Teknik може зміцнити свої позиції як постачальника, орієнтованого на якість, у ланцюжку створення вартості в галузі вітроенергетики. Зокрема, інтеграція APQP4Wind у розробку продуктів, кваліфікацію постачальників, бізнес-моделі цифрових послуг, готовність офшорних продуктів, стратегію сталого розвитку та вимірювання ефективності дозволить компанії:

- зменшити мінливість і кількість несправностей,
- прискорити вихід нових платформ на ринок,

- посилити довіру до післяпродажного обслуговування,
- виділитися на тлі зростаючого тиску на ланцюг поставок і якість.

Ці пропозиції надають Mita-Teknik дорожню карту для використання APQP4Wind не лише як сертифікату, а як стратегічного двигуна для операційної досконалості та конкурентної переваги в умовах розвитку вітроенергетичної галузі.

### 3.3 Розрахунок ефективності впровадження запропонованих заходів

Удосконалення процесів планування якості на основі методології APQP4Wind, посилення управління ризиками та впровадження цифрових інструментів передбачає певні інвестиційні витрати, але водночас забезпечує значний економічний ефект завдяки підвищенню ефективності, зниженню кількості відмов і рекламацій, скороченню простоїв обладнання та покращенню співпраці з постачальниками.

Приблизний розрахунок вартості запропонованих заходів та очікуваний економічний ефект наведено в таблицях 3.1 та 3.2.

Розрахунок ефективності:

Річний економічний ефект: E = 1 000 000 грн

Сумарні інвестиційні витрати: $C_{вп}$ = 1 120 000

Термін окупності: T = $C_{вп}$/E = 1 120 000 / 1 000 000 = 1, 12 року (≈ 13,5 місяців)

NPV (за 5 років, ставка дисконту 10%) = + 2 679 000 грн

Отже, запропоновані заходи дозволяють досягти окупності інвестицій за 1,1 року, а чистий приведений дохід (NPV) за п’ятирічний період становить близько 2,7 млн грн, що підтверджує високу економічну ефективність і

стратегічну доцільність реалізації програми вдосконалення системи планування якості відповідно до вимог APQP4Wind.

Таблиця 3.1 – Приблизний розрахунок вартості запропонованих заходів

| Захід | Основні витрати | Орієнтовна сума, тис. грн |
|---|---|---|
| Формалізація та інтеграція APQP4Wind | консультації, розробка документації, навчання персоналу | 250 |
| Посилення управління ризиками та коригувальних дій | розробка Risk Register, FMEA, 8D-процедур | 120 |
| Підвищення кваліфікації постачальників | навчання, аудит, сертифікація | 150 |
| Використання бази даних для вдосконалення | створення системи зворотного зв’язку, аналітика | 80 |
| Розширення цифрових послуг (QMS, аналітика APQP4Wind) | впровадження програмного забезпечення | 300 |
| Поліпшення сертифікації морських установок і модульних продуктів | аудит, сертифікаційні послуги | 100 |
| Впровадження сталого розвитку та цифрової культури якості | розробка політики, тренінги | 70 |
| Моніторинг та узгодження KPI | створення системи вимірювання ефективності | 50 |

Таблиця 3.2 - очікуваний економічний ефект запропонованих заходів

| Показник | До впровадження, тис. грн/рік | Після впровадження, тис. грн/рік | Економія, тис. грн/рік |
|---|---|---|---|
| Витрати на рекламації та гарантійне обслуговування | 600 | 300 | 300 |
| Витрати через простої обладнання | 400 | 220 | 180 |
| Втрати від дефектів і переробок | 500 | 250 | 250 |
| Втрати від неузгодженості постачальників | 300 | 150 | 150 |
| Підвищення ефективності процесів (збільшення продуктивності, краща інтеграція) | — | — | 120 |
| **Разом річний ефект (E)** | — | — | **1 000** |

Окрім фінансової вигоди, компанія отримає нематеріальні результати:

- підвищення рівня довіри клієнтів та сертифікаційних органів;

- зміцнення позицій на ринку морської та наземної вітроенергетики;
- зниження виробничих ризиків;
- формування культури сталого розвитку та цифрової якості.

**Висновок до розділу 3**

У розділі наведено наступні пропозиції щодо вдосконалення планування якості в галузі вітроенергетики: прискорити впровадження в масштабах галузі та інтегрувати в ланцюги поставок комунальних підприємств, виробників оригінального обладнання та постачальників; посилити цикли вимірювання, оцінки зрілості та постійного вдосконалення; наголошувати на управлінні ризиками на ранніх етапах та проектуванні з урахуванням надійності у великих та морських проектах; розширити цифровізацію, аналіз даних та інтеграцію сервісних моделей в рамках APQP4Wind; посилити баланс між глобальною стандартизацією та локалізацією; інтегрувати сталий розвиток, циркулярну економіку та планування витрат життєвого циклу; покращити навчання, сертифікацію компетентності та зміну культури ланцюга поставок.

Пропозиції щодо вдосконалення планування якості в Mita-Teknik згідно APQP4Wind: формалізувати інтеграцію APQP4Wind у життєвий цикл продукту; посилити управління ризиками та коригувальні дії; посилити контроль кваліфікації постачальників; використовувати встановлену базу для постійного вдосконалення та зворотного зв'язку; розширити пропозицію цифрових послуг у рамках систем якості APQP4Wind; поліпшити сертифікацію морських установок та готовності модульних продуктів за допомогою дисципліни APQP4Wind; впроваджувати сталий розвиток, стійкість ланцюга поставок та культуру цифрової якості; моніторити, вимірювати та узгоджувати KPI.

Окрім фінансової вигоди, компанія отримає нематеріальні результати: підвищення рівня довіри клієнтів та сертифікаційних органів; зміцнення позицій на ринку морської та наземної вітроенергетики; зниження виробничих ризиків; формування культури сталого розвитку та цифрової якості.

# ВИСНОВКИ

Якість – це багатовимірне поняття, яке варіюється залежно від контексту, перспективи та мети. Можна визначити якість ступінь відповідності продукції, процесу або послуги встановленим чи очікуваним потребам і вимогам за умови забезпечення стабільності та надійності результатів.

APQP4Wind - це загальна методологія забезпечення якості для глобальної вітроенергетичної галузі. APQP4Wind має на меті максимально чітко викласти вимоги до процесу забезпечення якості продукції, а також процес затвердження частин (PPAP). Методика розроблена для всієї вітроенергетичної галузі та встановлює загальні стандарти і найкращі практики щодо планування та виконання заходів із забезпечення якості в усьому ланцюжку поставок, від виробників до постачальників компонентів. APQP4Wind включає 7 етапів поглибленого планування якості; планування, визначення та масштабування програми якості; дизайн і розробка продукту; забезпечення дотримання вимог до продукту; дизайн і розробка процесу; забезпечення дотримання вимог до процесу**;** **в**алідація продукту та процесу; затвердження продукту та процесу.

Десятиліттями вітроенергетика стабільно зростає в Європейському Союзі, більш ніж подвоївши свою частку у виробництві електроенергії з 2010 року до середини 2020 року. До першої половини 2020 року вітер і сонце вперше перевершили вугілля, що означає невідворотний перехід до зелених джерел енергії.

У 2025 році світовий ринок вітроенергетики оцінюється в 108, 81 мільярда доларів США. Прогнозується, що до 2034 року він досягне приблизно 260, 81 мільярда доларів США із сукупним річним темпом зростання (CAGR) 10, 2% з 2024 по 2034 рік.

Mita-Teknik — данська компанія зі штаб-квартирою в Рьодкерсбро, Данія, заснована в 1969 році, з багаторічним досвідом у галузі вітроенергетики, що зарекомендувала себе як спеціалізований постачальник систем управління та

програмного забезпечення, розроблених спеціально для вітрових турбін і вітрових електростанцій: управління турбінами, регулювання кута нахилу лопатей, системи управління вітровими електростанціями, моніторинг стану, комунікаційні мережі та підключення до енергомереж.

Американська компанія Emerson Electric придбала Mita-Teknik у грудні 2021 року за готівку з метою зміцнення позицій Emerson у сфері відновлюваної енергетики, зокрема у сегменті вітроенергетики.

Діяльність компанії Mita-Teknik можна розділити на чотири основні напрямки: системи управління вітровими турбінами; вітропарк та системи SCADA; рішення з модернізації та оновлення вітрових турбін; сервіс, підтримка та навчання.

Практики управління проектами Mita-Teknik демонструють пряму відповідність APQP4Wind: раннє інтегрування планування якості в початок проекту; міжфункціональна співпраця між інженерними, QA, операційними та сервісними командами; структурована оцінка ризиків та стратегії їх мінімізації; валідація та верифікація як апаратного, так і програмного забезпечення; постійний зворотний зв'язок для вдосконалення дизайну, процесів та операцій. Така інтеграція гарантує, що продукти відповідають як очікуванням клієнтів, так і галузевим стандартам надійності, зменшуючи кількість відмов, простоїв та витрат протягом життєвого циклу.

Mita-Teknik стикається з наступними глобальними тенденціями, які мають значний сплив на планування та розвиток бізнесу компанії: прискорення цифровізації та зростання спектру послуг SCADA / CMS; значне зростання ринків прогнозованого технічного обслуговування та аналітики; збільшення розміру та складності турбін (на суші та в морі); стабільний ринок приводів повороту/нахилу та попит на модернізацію, але з розвитком ремоторнізації; розширення офшорної енергетики та нестабільність регіональної політики; конкурентний тиск через інсорсинг OEM та консолідація ринку; проблеми з ланцюгом поставок,

фінансуванням та макроекономікою; кібербезпека, стандарти та відповідність нормативним вимогам для цифрових активів.

З метою вдосконалення планування якості в галузі вітроенергетики пропонується прискорити впровадження в масштабах галузі та інтегрувати в ланцюги поставок комунальних підприємств, виробників оригінального обладнання та постачальників; посилити цикли вимірювання, оцінки зрілості та постійного вдосконалення; наголошувати на управлінні ризиками на ранніх етапах та проектуванні з урахуванням надійності у великих та морських проектах; розширити цифровізацію, аналіз даних та інтеграцію сервісних моделей в рамках APQP4Wind; посилити баланс між глобальною стандартизацією та локалізацією; інтегрувати сталий розвиток, циркулярну економіку та планування витрат життєвого циклу; покращити навчання, сертифікацію компетентності та зміну культури ланцюга поставок.

З метою вдосконалення планування якості в Mita-Teknik згідно APQP4Wind пропонується: формалізувати інтеграцію APQP4Wind у життєвий цикл продукту; посилити управління ризиками та коригувальні дії; посилити контроль кваліфікації постачальників; використовувати встановлену базу для постійного вдосконалення та зворотного зв'язку; розширити пропозицію цифрових послуг у рамках систем якості APQP4Wind; поліпшити сертифікацію морських установок та готовності модульних продуктів за допомогою дисципліни APQP4Wind; впроваджувати сталий розвиток, стійкість ланцюга поставок та культуру цифрової якості; моніторити, вимірювати та узгоджувати KPI.

Окрім фінансової вигоди, компанія отримає нематеріальні результати: підвищення рівня довіри клієнтів та сертифікаційних органів; зміцнення позицій на ринку морської та наземної вітроенергетики; зниження виробничих ризиків; формування культури сталого розвитку та цифрової якості.

# ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 APQP4Wind celebrates key highlights from WindEurope 2025. https://apqp4wind.org/news/apqp4wind-celebrates-key-highlights-from-windeurope-2025

2 APQP4Wind launches an Assessment Tool for the global wind industry. https://apqp4wind.org/news/apqp4wind-launches-an-assessment-tool-for-the-global-wind-industry

3 APQP4Wind Workbook (version 1.3). https://apqp4wind.org/purchase/apqp4wind-workbook-version-13

4 APQP4Wind. (2025, August 6). The world's leading wind OEMs unite around APQP4Wind. https://apqp4wind.org/news/celebrating-the-growing-apqp4wind-community

5 APQP4Wind. (n.d.). Advanced Product Quality Planning for Wind Energy (2019). https://apqp4wind.org/

6 APQP4Wind. (n.d.). APQP4Wind Manual (2019). https://apqp4wind.org/apqp4wind-resources/apqp4wind-manual

7 APQP4Wind. Vattenfall joins forces with APQP4Wind to mature the wind industry. https://apqp4wind.cn/%E6%96%B0%E9%97%BB/vattenfall-joins-forces-with-apqp4wind-to-mature-the-wind-industry

8 Crosby, P. B. (1979). Quality is Free: The Art of Making Quality Certain. McGraw-Hill.

9 Deming, W. E. (1986). Out of the Crisis. MIT Press.

10 DNV GL. Service Specification DNVGL-SE-0441: Type and Component Certification of Wind Turbines. – Høvik: DNV GL, 2021.

11 Emerson Automation Solutions. (n.d.). Mita-Teknik. https://stage-auth.www.emerson.com/en/automation-systems/mita-teknik

12 Emerson Automation Solutions. (n.d.). Mita-Teknik. https://www.emerson.com/en-us/automation/mita-teknik

13 Emerson Strengthens Presence in Renewable Energy Sector With Acquisition of Mita-Teknik - Panel Builder US. https://www.panelbuilderus.com/news-for-panel-builders/6960-emerson-strengthens-presence-in-renewable-energy-sector-with-acquisition-of-mita-teknik

14 Emerson. (2021, December 3). Emerson acquires Mita-Teknik. https://www.emerson.com/en-us/news/corporate/emerson-acquires-mita-teknik

15 EXEL Composites: WHY APQP4WIND STANDARDS MATTER FOR WIND INDUSTRY MANUFACTURERS | Industry-Asia. https://www.industry-asia-pacific.com/news/62693-exel-composites-why-apqp4wind-standards-matter-for-wind-industry-manufacturers

16 Garvin, D. A. (1984). What Does “Product Quality” Really Mean? Sloan Management Review, 26(1), 25–43.

17 Garvin, D. A. (1987). Competing on the eight dimensions of quality. Harvard Business Review, 65(6), 101-109.

18 Grand View Research. (2024). Offshore wind turbine market report. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/offshore-wind-turbine-market-report

19 GWEC. Wind Turbine Suppliers deliver new record volume. https://www.gwec.net/news/wind-turbine-suppliers-deliver-new-record-volume-despite-difficult-year-full-of-diverse-challenges

20 IATF 16949:2016. Quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations. – International Automotive Task Force, 2016.

21 IEA Wind TCP. Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation. – International Energy Agency, 2022.

22 IEC 61400 Series. Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements. – International Electrotechnical Commission, Geneva, 2019.

23 IEC. (2019). IEC 61400 – Wind turbines standards series. International Electrotechnical Commission.

24 International Organization for Standardization. (2015). ISO 9000:2015.

25 ISO 9001:2015. Quality Management Systems – Requirements. – International Organization for Standardization, Geneva, 2015.

26 ISO. (n.d.). What is the ISO 9000 Standards Series? https://asq.org/quality-resources/iso-9000

27 Juran, J. M. (1998). Juran's Quality Handbook (5th ed.). McGraw-Hill.

28 MDM. (2021, December). Emerson acquires Mita-Teknik – wind-power control automation business. Modern Distribution Management. https://www.mdm.com/news/operations/mergers-acquisitions/emerson-acquires-mita-teknik/

29 Mita-Teknik A/S Annual report 1 October 2023 - 30 September 2024. https://regnskaber.cvrapi.dk/xhtml/51298066/amNsb3VkczovLzAzLzU0LzcxLzU3LzJhLzNmODQtNDhmMC1iNjcwLWFkNzliYzE0NzU2Yg.pdf

30 Mordor Intelligence. (2024). Wind turbine pitch and yaw control system market. https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/wind-turbine-pitch-and-yaw-control-system-market

31 Nicholls, J. (1992). Is Quality Free? The TQM Journal, 4(3), 26-30.

32 North American Windpower. (2020, November 4). Nordic Wind, Mita-Teknik Retrofitting Minnesota Project With New Tech. https://nawindpower.com/nordic-wind-mita-teknik-retrofitting-minnesota-project-with-new-tech

33 North American Windpower. (2020, November 4). Vestas Selects Mita-Teknik For Controller Upgrades In North America. https://nawindpower.com/vestas-selects-mita-teknik-for-controller-upgrades-in-north-america

34 Oakland, J. S. (2014). Total Quality Management and Operational Excellence: Text with Cases (4th ed.). Routledge.

35 Predictive Maintenance For Wind Turbines Market Research Report 2033 DataIntelo. (2024). https://dataintelo.com/report/predictive-maintenance-for-wind-turbines-market

36 Reuters. (2025, February 17). Germany offshore wind rollout stalls; auction reforms sought. https://www.reuters.com/business/energy/germany-offshore-wind-auction-2025

37 SCADA in Renewable Energy Market Revenue Trends, 2025 To 2030 MarketsandMarkets. (2025). https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/scada-renewable-energy-market-18400746.html

38 SNS Insider / GlobeNewswire. (2025). Pitch and yaw drive market update. https://www.snsinsider.com/reports/wind-turbine-pitch-and-yaw-drive-market-7079

39 Strategic Planning: Advanced Product Quality Planning (APQP) - The Catalyst for Quality and Efficiency in the Wind Energy Industry | SGS Ukraine. https://www.sgs.com/en-ua/news/2024/09/strategic-planning-and-apqp4wind

40 Technavio. (2024). Wind turbine condition monitoring system market. https://newsroom.technavio.org/wind-turbine-condition-monitoring-system-market

41 Thorsten Asbjorn, Peter Borberg. Let's move together, Odense 2022

42 What Does Quality Mean in Business? A Full Look – CLIMB. https://climbtheladder.com/what-does-quality-mean-in-business-a-full-look/

43 What is quality planning? (Definition and importance) | Indeed.com UK. https://uk.indeed.com/career-advice/career-development/quality-planning

44 Wind Energy Market Report 2025 | StartUs Insights. https://www.startus-insights.com/innovators-guide/wind-energy-market-report/

45 Wind Energy Market Size, Growth Outlook 2025-2034. https://www.gminsights.com/industry-analysis/wind-energy-market

46 Wind Systems Magazine. (2022). Conversation with Matt Roberts. Wind Systems Magazine. https://www.windsystemsmag.com/conversation-85/

47 Wind Turbine Automation Global Market Size & Competitors. https://www.researchandmarkets.com/report/global-wind-turbine-automation-market#rela3-5731105

48 Wind Turbine Control System Global Market Insights 2025, Analysis and Forecast to 2030, by Manufacturers, Regions, Technology, Application. https://www.researchandmarkets.com/reports/5731105/wind-turbine-control-system-global-market

49 Wind Turbine Pitch and Yaw Drive Market Size to Hit USD. https://www.globenewswire.com/news-release/2025/10/27/3174292/0/en/Wind-Turbine-Pitch-and-Yaw-Drive-Market-Size-to-Hit-USD-13-62-Billion-by-2032-Research-by-SNS-Insider.html

50 Wind Turbine Pitch Servo Drive Market - Global Forecast 2025-2030. https://www.researchandmarkets.com/reports/6154325/wind-turbine-pitch-servo-drive-market-global#rela4-5731105

51 Wind Turbine Pitch System Market - Global Industry Size, Share, Trends, Opportunity, and Forecast, 2020-2030F. https://www.researchandmarkets.com/reports/6108788/wind-turbine-pitch-system-market-global#rela0-5731105

52 WindEurope. Quality Management in the Wind Energy Supply Chain. – Brussels: WindEurope, 2020. – 48 p.

53 Windfair. (2013, November 1). MITA-TEKNIK A/S achieves ISO 9001:2008. https://w3.windfair.net/wind-energy/news/12453-mita-teknik-a-s-achieves-iso-9001-2008

54 WindPower International. (n.d.). Mita-Teknik. https://www.windpower-international.com/companies/mita-teknik/

55 Вітроенергетика | Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. https://saee.gov.ua/diialnist/vidnovliuvalna-enerhetyka/alternatyvna-enerhetyka/vitroenerhetyka

56 Стратегічне планування якості | TMS Academy. https://academy.tms.ua/uk/blog-uk/stratehichne-planuvannia-iakosti/

**Бібліографічна довідка**

**Малісевич Софія Василівна**

Тема магістерської роботи: «Планування якості в галузі вітроенергетики»

Обсяг пояснювальної записки ___85____ аркушів.

Кількість рисунків _____

Кількість таблиць _____

Графічний матеріал (слайди, плакати) _____ шт.

1 Тема роботи

2 Якість та її планування: зміст та значення.

3 APQP4Wind – методології забезпечення якості.

4 Етапи планування якості у галузі вітроенергетики.

5 Аналіз ринку вітроенергетики.

6 Аналіз діяльності компанії Mita-Teknik.

7 Аналіз планування якості продукції в Mita-Teknik.

8 Пропозиції щодо покращення планування діяльності в сфері якості в галузі вітроенергетики.

9 Пропозиції щодо вдосконалення планування якості в Mita-Teknik та їхня економічна ефективність.

10 Дякую за увагу

Додатки ___ _ ___ шт. _____ стор.

„____”_____20___р.

Підпис студента