

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РИЗИКІВ НА ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА І ВСТАНОВЛЕННЯ СУЦІЛЬНОСКЛЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Nazar Kurylyak, PhD Student, Vasyl Yatsuk, Dr.Sc., Prof.,

Lviv Polytechnic National University, Ukraine;

e-mail: vasyl.o.yatsuk@lpnu.ua

Анотація

У статті розглядається застосування методу FMEA для оцінки та зниження метрологічних ризиків під час виробництва та монтажу суцільноскляних конструкцій. Проведено структурно-функціональний аналіз основних етапів реалізації проекту: від розробки технічної документації до гарантійного обслуговування. Для кожного підетапу визначено фактори ризику процесу. Відповідно до критеріїв тяжкості наслідків та ймовірності виникнення та виявлення, також проведено їх кількісну оцінку. Розраховано індекс пріоритету ризику (ІПР), який дозволив ранжувати критичні зони монтажного процесу. На основі результатів аналізу для зниження ризиків та підвищення якості монтажу конструкцій розроблено комплекс технічних та організаційних заходів. На основі європейських стандартів EN 12150, EN 12600 та EN 16612A запропоновано систему контролю вимірювань. Практичне впровадження запропонованих підходів перевірено у виробничих умовах.

Ключові слова

ризик, європейські стандарти, суцільноскляні конструкції, контроль якості, техніко-економічний ефект

1. Вступ

Естетична привабливість та осучаснений вигляд сприяли широкому впровадженню суцільноскляних конструкцій в теперішній архітектурі. Однак використання скла в будівництві може призводити до певних технічних ризиків, які можуть зменшити безпечність та довговічність конструкцій. Аналіз показав, що для зменшення ризиків під час виготовлення та встановлення скляних конструкцій слід дотримуватись вимог європейських стандартів, насамперед EN 16612, EN 12150 та EN 12600 [1-3]. В цих нормативних документах запропоновано ефективні методи контролю та оцінки якості скляних конструкцій. Їх впровадження є передумовою забезпечення надійності, довговічності та безпеки таких конструкцій. Сучасна цифрова трансформація кардинально змінює усталені підходи до забезпечення якості і вимагає швидкого адаптування до цих змін в управлінні якістю [4-6]. Вважається, що розвиток сучасної концепції Quality 4.0 базується на результатах промислової революції Industry 4.0 та використовує цифрові технології, автоматизацію та аналізування отриманих даних для оптимізації управління якістю. Для забезпечення задоволеності споживачів в реальному масштабі часу важливо пристосовуватись до постійних змін, що відбуваються, і встановити життєво важливий зв'язок між досконалою якістю та здатністю процвітання організацій в цих умовах [6].

Однак на практиці іноді трапляються механічні пошкодження скляних конструкцій або втрати ними своєї естетичної цінності. Вважається, що це є результатом помилок, допущених на етапі проектування, або під час будівельних робіт. На основі практичних досліджень «на місці» та літературного аналізу визначено певні ризики, причини та можливі наслідки, пов'язані з використанням скляних елементів. Також проаналізовано і подано рекомендації щодо безпечного використання скла [7].

Теоретичним підходом до визначення міцності скляних панелей зазвичай є імовірнісний на основі розподілу Вейбулла, однак він вимагає великої вибірки лабораторних досліджень. Альтернативним підходом до прогнозування ризику руйнування є стохастичне моделювання дефектів Гріффітса. Для спрощення реалізації запропонована методологія моделювання з усуненням необхідності проведення повторних фізичних експериментів на скляних панелях різних розмірів та за різних швидкостей навантаження [8]. Запропоновано також використовувати напів ймовірнісний метод у граничному проектуванні скляних конструкцій, представляючи належним чином відкалібровані значення коефіцієнтів часткової безпеки міцності матеріалу, щоб отримати ймовірність руйнування, сумісну з цільовими значеннями, зазначеними для кожного класу наслідків Єврокодом [9]. Однак, результати цих досліджень слугують тільки основою для проектування скляних конструкцій відповідно до загальних вимог до експлуатаційних характеристик, встановлених стандартами.

Загальні рекомендації для впровадження європейських стандартів у проектування скляних компонентів надає керівництво з європейського конструкційного проектування скляних компонентів [10]. Авторами було розглянуто економічний і безпековий вплив використання стандартів на конструкції, що дає змогу підвищення довговічності та оптимізації витрат, зменшення дефектів і усунення проблем під час монтажу.

2. Недоліки

Основною проблемою під час виробництва і встановлення суцільноскляних конструкцій є відсутність єдиного підходу до аналізування впливу ризиків в усьому технологічному циклі від виготовлення скла до його монтування і передавання замовнику.

3. Мета

Метою цієї статті є аналіз ризиків та розроблення пропозицій для зменшення їх впливу на процес виробництва і встановлення суцільноскляних конструкцій. Основним завданням цього дослідження є виявлення ризиків на кожному етапі виробничого процесу, оцінювання матеріально-економічних втрат від їхнього виникнення та оцінка потенційних переваг від впровадження стандартів.

4. Нормативно-технічне забезпечення процесу встановлення суцільноскляних конструкцій

У процесі виробництва і встановлення сучасних суцільноскляних конструкцій необхідно дотримуватись певних основних стандартів і принципів. Під час проектування слід дотримуватись методології для розрахунку несучої здатності скляних панелей під дією різних видів навантажень, таких як сила вітру, власна вага, температура тощо, які подані в стандарті щодо визначення механічної міцності скляних конструкцій [1]. Для оцінки ризиків під час виготовлення скляних конструкцій, цей стандарт допомагає визначити потенційно слабкі місця та дефекти, які можуть призвести до втрати міцності конструкції.

Серія стандартів EN 1288-1 - EN 1288-5 охоплює методи випробувань на міцність скляних зразків при вигині [11-15]. Використання цих методів дозволяє визначити ризик появи тріщин і дефектів у процесі виробництва. Дотримання вимог цього стандарту допомагає мінімізувати ризик пошкоджень під час транспортування і монтажу. Серія стандартів EN 1288 охоплює методи випробувань на міцність скляних зразків при вигині. Використання цих методів дозволяє визначити ризик появи тріщин і дефектів у процесі виробництва. Дотримання вимог цих стандартів допомагає мінімізувати ризик пошкоджень під час транспортування і монтажу [11-15].

Окремий стандарт EN 12150-1 визначає вимоги до термозміцненого скла, яке часто використовується в конструкціях з високими вимогами до безпеки. Термозміцнене скло проходить додаткову термічну обробку, яка збільшує його міцність. Стандарт описує методи випробувань, що дозволяють зменшити ризик спонтанного руйнування, викликаного включеннями нікелевого сульфідів [2].

Кліматичні вимоги встановлюються в стандарті щодо правил розрахунку навантажень від вітру для будівельних конструкцій. У випадку скляних фасадів і суцільноскляних конструкцій цей стандарт є критично важливим для визначення допустимого рівня навантаження та забезпечення надійності конструкції в умовах вітрових навантажень. Це зменшує ризик поломки скла під впливом поривів вітру [16].

Стандарт EN 12600 описує методику тестування скла на ударну стійкість, що є особливо важливим для суцільноскляних конструкцій. Випробування дозволяє оцінити поведінку скла при ударі, зокрема, наявність ризику утворення гострих осколків. Використання цього стандарту сприяє мінімізації травм у разі розбиття скла [3].

У стандарті EN 356 подається класифікація скла за його здатністю протистояти проникненню під впливом ударів [17]. Це важливо для суцільноскляних конструкцій, що використовуються в громадських місцях або будівлях з підвищеними вимогами до безпеки. Така оцінка дозволяє передбачити можливі ризики у випадку вандалізму або інших механічних впливів [17].

У процесі оцінювання ризиків для виготовлення та монтажу суцільноскляних конструкцій європейські стандарти допомагають систематизувати вимоги до матеріалів та процесів. На етапі виготовлення скла стандарти EN 1288 і EN 12150 забезпечують контроль якості матеріалу та мінімізують ризик дефектів у виробництві. Під час монтажу скляних конструкцій стандарти EN 16612 та EN 1991-1-4 подають умови для гарантування, що конструкція витримає необхідні механічні навантаження та є безпечною в умовах експлуатації. Оцінка ударної стійкості згідно з EN 12600 дозволяє зменшити ризики у разі випадкового розбиття скла, забезпечуючи безпечні умови для людей поблизу конструкції.

Застосування європейських стандартів дозволяє забезпечити високий рівень якості та надійності суцільноскляних конструкцій, знижуючи ризики для кінцевого користувача та підвищуючи довговічність конструкції. Це також сприяє дотриманню регіональних норм безпеки та будівельних вимог, що особливо важливо для сертифікації та відповідності проектів.

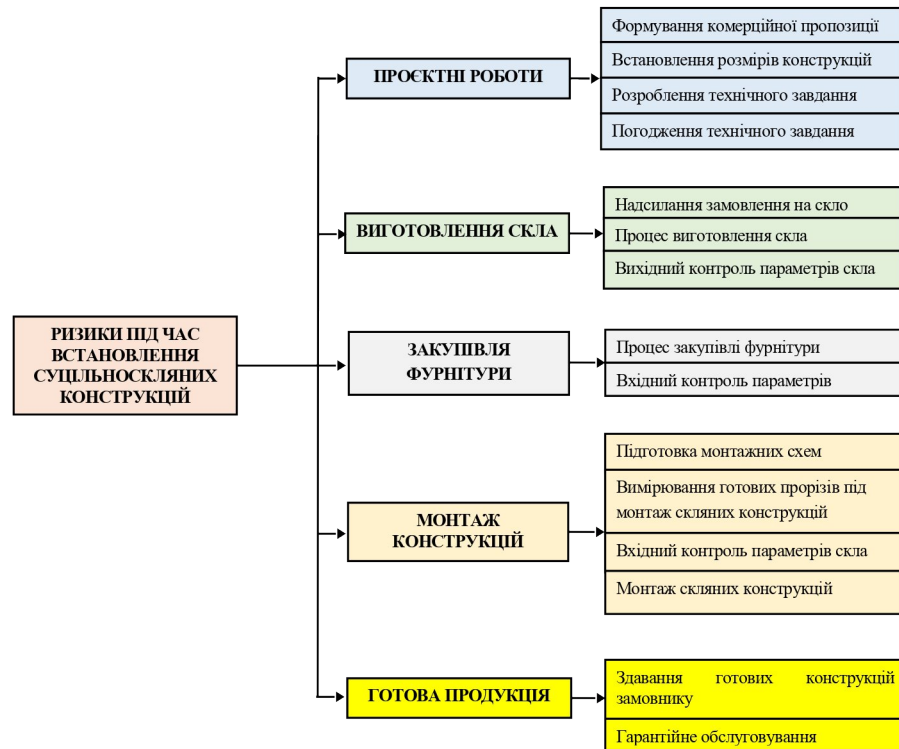
5. Методологія дослідження процесу виявлення ризиків під час виготовлення і встановлення суцільноскляних конструкцій

Для виявлення джерел можливих ризиків, збору та попереднього опрацювання даних було використано кілька класичних підходів. Зокрема, проведений систематичний огляд наукових статей дав можливість ідентифікувати основних види ризиків у виробництві скляних конструкцій і оцінити їхній економічний вплив. На одному із підприємств проведений аудит реальних виробничих і монтажних процесів для виявлення невідповідностей

стандартам і визначення ключових ділянок ризику. Для уточнення ймовірності виникнення ризиків та їхнього впливу на виробництво залучено низку фахівців з управління ризиками та контролю якості.

Використані методи забезпечують повний цикл оцінки ризиків, економічного аналізу та контролю за впровадженням стандартів. Цей підхід дозволяє оптимізувати витрати, знизити ризики і забезпечити ефективну інтеграцію європейських стандартів у виробничий процес, підвищуючи його надійність і конкурентоспроможність.

Аналіз показав, що процес виготовлення суцільноскляних конструкцій є складним і ризикованим процесом, який вимагає високого рівня контролю якості на всіх етапах. Оцінка основних ризиків на всіх етапах від постачальника та замовника зможе мінімізувати вплив цих ризиків (рис. 1). Весь цей процес можна поділити на такі основні етапи: виконання проектних робіт, виготовлення скла, закупівля фурнітури, монтаж



суцільноскляних конструкцій, здавання готової продукції замовнику.

Рис. 1. Оцінка основних ризиків на всіх етапах виготовлення і встановлення суцільноскляних конструкцій

В процесі виконання проектних робіт можуть виникати ризики під час формування комерційної пропозиції, встановлення коректних геометричних розмірів суцільно скляних конструкцій, розроблення та погодження технічного завдання. Аналіз показує, що тут основними ризиками можуть бути неправильно підібрана фурнітура або товщина скла, які можуть призвести до некоректної комерційної пропозиції. Такі ризики спричиняють потребу постачальника в коригуванні пропозиції, а замовник може отримати затримки в отриманні готової продукції. Для мінімізації таких ризиків потрібний ретельний підбір фурнітури та коректний розрахунок товщини скла. В процесі розроблення технічного завдання (ТЗ) ризики виникають через неправильно сформульовані вимоги до прорізів, параметри компенсаторів та зазорів також можуть вплинути на точність конструкцій, недостатність або неточність вимірювань, похибка інструментів. Це може спричинювати негативний вплив: на постачальника через потенційну потребу доопрацювання ТЗ, а на замовника через затримки погодження проекту. Для їх мінімізації слід залучати експертів і перевіряти розрахунки, використовувати точніше вимірювальне обладнання. Під час погодження технічного завдання ризиками може бути неузгодженість ТЗ з вимогами замовника, що може викликати ризик повторного погодження для постачальника і некоректність вимог для замовника. З метою їх мінімізації необхідні консультації з замовником і додаткові узгодження.

На етапі виготовлення скла ризики можуть виникати в процесах надсилання замовлення та виготовлення скла і вихідному контролю його параметрів. Джерелами ризиків можуть бути помилки у розмірах, товщині та типі скла, невідповідність його розмірів і товщини кресленням, наявність дефектів, невідповідність параметрів та кількості виробів встановленим вимогам. Вони можуть впливати на затримки та додаткові витрати на виправлення для постачальника, затримки в термінах отримання продукції для замовника, додаткові перевірки та можлива заміна продукції для постачальника, запізнення доставки для замовника. З метою коригування цих впливів ризиків необхідні ретельна перевірка перед надсиланням замовлення, сучасне обладнання та контроль процесу виробництва, візуальний і автоматизований контроль якості.

Під час закупівлі фурнітури ризиками можуть бути невідповідність типу фурнітури та її вартості порівняно з ТЗ. Це може призвести до перевитрат та потреби корекції замовлення для постачальника, невідповідність очікуваній вартості для замовника. Для зменшення впливу необхідна перевірка фурнітури перед початком процесу монтажу.

Під час монтажу суцільноскляних конструкцій можуть виникати ризики через некоректні монтажні схеми, що може призвести до помилок у встановленні конструкцій. Основними ризиками, які можуть спричинити затримки всього процесу, є невідповідність прорізів під встановлення конструкцій, невідповідність розмірів і товщини скла та фурнітури вимогам проекту під час вхідного контролю скла і фурнітури, помилки при монтажі або пошкодження конструкцій. Це негативно може впливати на витрати для постачальника через коригування проекту, затримки виконання монтажу, витрати на заміну непридатних компонентів та виправлення браку. Негативний вплив для замовника полягатиме у відтермінуванні завершення проекту, можливі помилки монтажу та витрати на їх виправлення. З метою коригування впливу таких ризиків слід ретельно перевіряти монтажні схеми і готові прорізи, проводити вхідний контроль усіх елементів перед монтажем, залучати кваліфікованих монтажників та здійснювати оперативний контроль виконуваних робіт.

На етапі здавання готової продукції можуть бути ризики виявлення дефектів або пошкоджень під час здавання, а також виявлення дефектів у період гарантійного обслуговування. Це вимагатиме заміни дефектної продукції і додаткові витрати на ремонт для постачальника, призводитимуть до можливих затримок або незручностей для замовника. Зменшити вплив цих ризиків доцільно з допомогою ретельного фінального огляду конструкцій перед здаванням і своєчасного проведення оглядів та ремонтних робіт під час гарантійного обслуговування конструкцій.

6. Результати дослідження процесу виявлення ризиків під час виготовлення і встановлення суцільноскляних конструкцій

У процесі виготовлення ефективним способом запобігання нещасним випадкам та захисту працівників від серйозних аварій під час виробництва скла, є використання матриці ризиків та методики визначення переваг замовлень за подібністю до ідеального рішення.

У дослідженні [18] основна увага приділяється оцінюванні небезпек для здоров'я працівників, пов'язаних з виробництвом скла, включно із впливом пилу, важких металів, шуму та високих температур. Такий підхід дозволяє розширити розуміння ризиків, що виникають не лише в контексті конструктивної надійності, а й безпеки робочого середовища.

Зроблені також спроби теоретичного та експериментального обґрунтування ризиків під час використання скло матеріалу як комерційного багат шарового продукту. Досліджувався також вплив цих листів безпеки на механічну реакцію скла на вигин. Зокрема, розглянуто результати аналізів моделювання, проведеними за допомогою тривимірної моделі в програмному забезпеченні для скінченних елементів (наприклад, Abaqus/CAE). Однак, вони стосуються переважно аналізу ризиків стосовно механічної стійкості суцільноскляних конструкцій [8]. Перевірка безпеки скляних конструкцій зазвичай проводиться на основі детерміністичного підходу без оцінки ймовірності руйнування. Тому використання напівймовірнісного методу у граничному проектуванні скляних конструкцій, дає можливість отримати ймовірність руйнування, сумісну з цільовими значеннями, зазначеними для кожного класу наслідків Єврокодом 1 (EN 1990) [19]. Однак при цьому не враховуються інші джерела ризиків.

Спираючись на відомі ризик-фактори, дані про історичні відмови, статистичні показники щодо інцидентів, а також експертні оцінки, формується перелік можливих чинників ризику [20]. Для цього застосовуються різноманітні методи виявлення ризиків такі як методи «мозкового штурму», експертні опитування, аналіз первинної документації, а також використовуються історичні дані [20]. На підставі виявлених факторів визначаються конкретні події, які можуть призвести до втрат якості (рис. 1).

Результати дослідження впливу ризиків кожного етапу на загальний процес виготовлення і встановлення суцільноскляних конструкцій з використанням історичних даних та із застосуванням коригувальних дій подано в таблиці 1. Дослідження проведено на вибірці об'ємом 150 замовлень (проектів) виконаних у період 2022–2025 рр.

Табл. 1. Результати дослідження впливу ризиків кожного етапу на загальний процес виготовлення і встановлення суцільноскляних конструкцій

№	Етапи	Вагомість, %	Вагомість після коригування, %
1	Проектні роботи	27	34
1.1	Формування комерційної пропозиції	6	8
1.2	встановлення коректних розмірів	7	9
1.3	розроблення технічного завдання	9	10
1.4	погодження технічного завдання	5	7
2	Виготовлення скла	26	27
2.1	надсилання замовлення на скло	8	9
2.2	виготовлення скла	11	9
2.3	вихідний контроль параметрів скла	7	9

3	Закупівля фурнітури	14	13
3.1	Процес закупівлі фурнітури	9	7
3.2	перевірка параметрів фурнітури	5	6
4	Монтаж скляних конструкцій	26	29
4.1	складання монтажних схем	6	7
4.2	вимірювання прорізів під конструкції	5	6
4.3	вхідний контроль параметрів скла	8	8
4.4	монтаж скляних конструкцій	7	8
5	Здавання готової продукції	7	9
5.1	здавання готової продукції	4	5
5.2	гарантійне обслуговування	3	4
	Загальні показники:	100	112

Збільшення загальної вагомості ризиків після впровадження коригувальних дій до 112% можна пояснити не простим перерозподілом ризиків між етапами, а уточненням і деталізацією їхньої оцінки. Запровадження додаткових контрольних заходів, багаторівневої перевірки та залучення точніших вимірювальних методів дозволили виявити раніше не враховані або недооцінені ризики. Таким чином, значення понад 100% відображає підвищення об'єктивності та повноти оцінювання ризиків, а не збільшення фактичної загальної небезпеки. Це забезпечує точніше управління ризиками та підвищує рівень безпеки й надійності конструкцій.

Дійсно аналіз змін вагомості після впровадження коригувальних дій показав, що на відміну від інших етапів, де ризики вдалося ефективно знизити, у пунктах 4 (монтаж конструкцій) і 5 (здавання готової продукції) відбулося зростання вагомості. Це пояснюється тим, що впровадження коригувальних дій на попередніх етапах, зокрема підвищення точності вимірювань, якості фурнітури та контролю технічного завдання, перенесло відповідальність і концентрацію залишкових ризиків саме на етапи монтажу та здачі. Іншими словами, зменшення ризиків на ранніх етапах виявило приховані ризики на завершальних фазах — зокрема людський фактор, помилки встановлення та можливі дефекти, виявлені при остаточному прийманні.

Коригувальні дії в пунктах 4 і 5 передбачали покращення монтажних схем, тестові установки, детальніший контроль на місці, а також введення системи після-монтажного контролю. Проте ці дії парадоксально підвищили виявлення нових або раніше прихованих проблем, що й призвело до збільшення їхньої відносної вагомості у загальному розподілі ризиків.

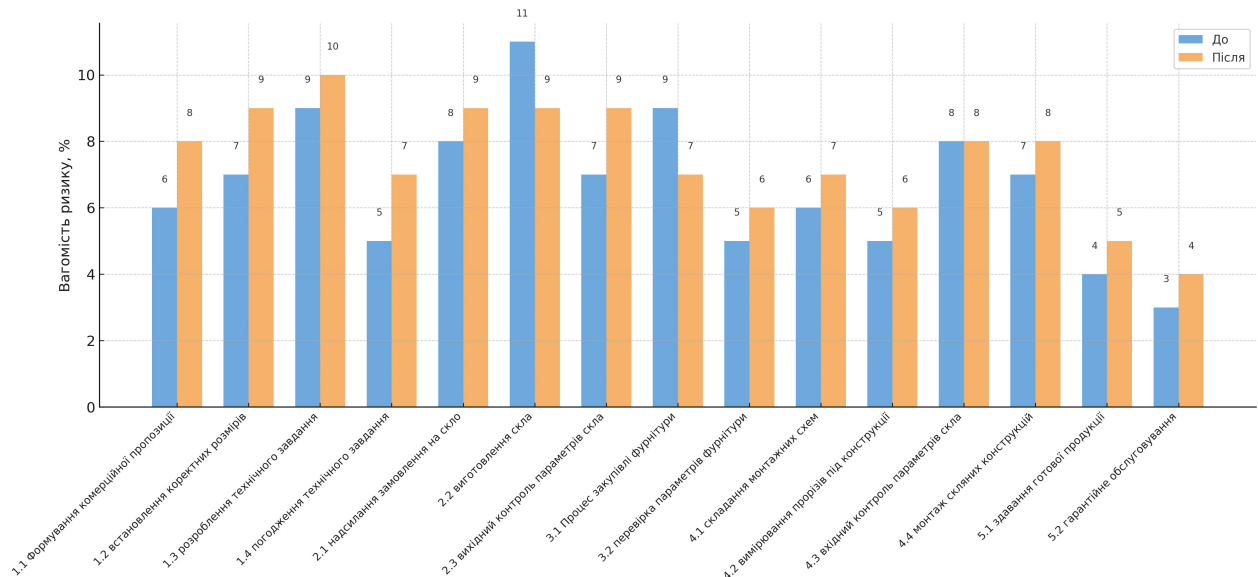


Рис. 2. Розподіл ризиків за складовими етапів до і після коригування (метод FMEA)

Метод FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) використано для ідентифікації потенційних точок відмов і оцінки їхнього впливу на якість монтажу суцільноскляних конструкцій. Оцінювання ризиків здійснювалося за трьома параметрами: S — серйозність наслідків, O — частота виникнення, D — вірогідність виявлення. На основі цих оцінок обчислювався індекс пріоритетності ризику (RPN) за співвідношенням $RPN = S \times O \times DRD$, що дозволило структуровано визначити найбільш критичні елементи процесу. Такий підхід забезпечує обґрунтовану пріоритетизацію коригувальних дій, знижує імовірність дефектів та оптимізує систему управління якістю при встановленні великогабаритних скляних елементів.

7. Аналіз шляхів зменшення впливу ризиків у процесі встановлення суцільноскляних конструкцій

Для зменшення фінансово-економічних ризиків у процесі виготовлення суцільноскляних конструкцій можна запропонувати такий план заходів, що охоплює кожен етап процесу від підбору матеріалів до монтажу та контролю якості (табл.2).

Табл. 2. Шляхи зменшення фінансово-економічних ризиків у процесі виготовлення суцільноскляних конструкцій

Назва пропозиції	Опис пропозиції	Можливе джерело економічного ефекту
1. Планування процесів та підбір матеріалів		
1.1. Перевірка постачальників	Укласти договори з надійними постачальниками, які мають сертифікати якості та забезпечують дотримання строків доставки.	Уникнення витрат на заміну матеріалів та зменшення тривалості робіт
1.2. Контроль якості матеріалів	Впровадити процедури перевірки якості матеріалів на етапі отримання (скло, фурнітура). Це допоможе виявити дефекти до початку виробництва.	Уникнення витрат на заміну матеріалів та зменшення тривалості робіт
1.3. Створення резерву матеріалів	Зберігати певний резерв матеріалів, щоб уникнути затримок через можливий брак чи дефекти в поставках.	Уникнення витрат через брак та зменшення тривалості робіт
2. Організація процесу вимірювань		
2.1. Підготовка інструментів	Забезпечити регулярне калібрування вимірювальних приладів для підвищення точності вимірювань.	Уникнення витрат через брак
2.2. Навчання персоналу	Провести навчання для працівників щодо правильної техніки вимірювань, щоб зменшити ймовірність похибок	Уникнення витрат через брак
2.3. Додаткові перевірки	Для важливих проектів проводити повторні вимірювання або залучати незалежних експертів для контролю результатів	Уникнення витрат через брак
3. Виготовлення скла та контроль його якості		
3.1. Впровадження стандартів якості	Застосування стандартів, таких як EN 16612 та EN 12150, для забезпечення відповідності скла вимогам до міцності	Уникнення витрат через брак
3.2. Використання автоматизованих систем контролю	Автоматизація процесу контролю якості для виявлення дефектів, що можуть бути непомітні під час візуального огляду	Збільшення продуктивності праці
3.3. Регулярне технічне обслуговування обладнання	Проведення технічного обслуговування виробничого обладнання для мінімізації ймовірності поломок під час виготовлення	Збільшення продуктивності праці, уникнення витрат через брак та зменшення тривалості робіт
4. Підготовка технічного завдання ТЗ		
4.1. Спільне узгодження ТЗ	Проведення консультацій з замовником для уточнення вимог і особливостей проекту для зменшення ризику переробок	Уникнення ризику втрати контракту або/та зменшення тривалості робіт
4.2. Детальний опис технічних вимог	Створення точного і вичерпного технічного завдання, що враховує всі параметри конструкції (товщину скла, фурнітуру, габарити тощо)	Уникнення ризику втрати контракту або/та зменшення тривалості робіт і зменшення браку
5. Процес монтажу суцільноскляних конструкцій		
5.1. Тестовий монтаж	Проведення тестового монтажу для перевірки відповідності конструкції проекту і уникнення помилок на етапі встановлення	Уникнення ризику браку та зменшення тривалості робіт
5.2. Підготовка монтажних схем	Розробка детальних монтажних схем з урахуванням специфіки проекту. Це знизить ймовірність помилок під час встановлення	Уникнення ризику браку та зменшення тривалості робіт

5.3. Забезпечення безпеки на місці монтажу	Проводити інструктажі для монтажників з питань техніки безпеки, щоб уникнути пошкоджень конструкцій	Уникнення ризику страхових виплат від травматизму, зменшення браку та тривалості робіт
6. Вихідний контроль якості перед здаванням продукції замовнику		
6.1. Багаторівневий контроль якості	Впровадження багаторівневого контролю якості на кожному етапі виготовлення і монтажу, що включає візуальний огляд, автоматизовані перевірки і остаточну перевірку перед здаванням	Уникнення ризику браку та зменшення тривалості робіт
6.2. Тестування на міцність і стійкість	Проведення тестів, таких як ударна стійкість (EN 12600), для забезпечення відповідності продукції стандартам безпеки	Уникнення ризику браку та зменшення тривалості робіт
6.3 Документування процесу контролю	Ведення записів про всі перевірки і тести, що дозволить виявляти систематичні помилки та вдосконалювати процес	Уникнення ризику браку та зменшення тривалості робіт
7. Гарантійне обслуговування і зворотній зв'язок із замовниками		
7.1. Система зворотного зв'язку	Запровадити процес зворотного зв'язку від замовників для виявлення можливих дефектів або незадоволених очікувань. Це допоможе у вдосконаленні виробничих процесів	Уникнення ризику браку та зменшення тривалості робіт і підвищення конкурентоспроможності
7.2. Регулярний огляд конструкцій	Пропонувати замовникам регулярний огляд та обслуговування скляних конструкцій, щоб запобігти потенційним проблемам	Уникнення ризику браку та зменшення тривалості робіт
7.3. Аналіз гарантійних випадків	Вивчення гарантійних випадків для виявлення причин повторюваних проблем та їхнього запобігання в майбутніх проектах	Уникнення ризику браку та зменшення тривалості робіт
Резюме та очікувані результати плану зменшення ризиків		Оцінювання можливого економічного ефекту

Фінансовими наслідками затримок можуть бути прямі і непрямі витрати на виправлення, а також втрати від невикористаних можливостей. Прямі витрати включають додаткові витрати на робочу силу, обладнання та інші ресурси, необхідні для завершення проекту. Непрямі витрати на утримання персоналу або обладнання, які були найняті спеціально для цього проекту і витрати на тимчасове зберігання матеріалів або конструкцій. Втрати від невикористаних можливостей можуть бути під час затримки ресурсів на одному проекті, що може обмежити можливість брати нові проекти та призводить до недоотримання прибутку.

Цей план дозволить значно знизити ймовірність виникнення ризиків у процесі виготовлення та монтажу суцільноскляних конструкцій, забезпечуючи зниження витрат на усунення дефектів та переробку, підвищення якості та надійності продукції, збільшення задоволеності клієнтів та мінімізацію випадків гарантійних звернень, скорочення часу виконання проектів за рахунок усунення затримок і помилок.

Практика показує, що реалізація цього плану допомагає компанії оптимізувати процеси, забезпечити дотримання стандартів і зменшити фінансові втрати, пов'язані з ризиками. Впровадження європейських стандартів у виробництво та монтаж суцільноскляних конструкцій матиме значний економічний ефект, оскільки дозволить зменшити витрати, підвищити ефективність процесів та збільшити прибутковість проектів.

8. Висновки

Таким чином, актуальними завданнями нормативного та метрологічного забезпечення високого рівня якості та надійності монтажу суцільноскляних конструкцій є застосування європейських стандартів. Це дозволяє знижувати ризики для кінцевого користувача та підвищувати довговічність конструкцій. До того ж такий підхід сприятиме дотриманню регіональних норм безпеки та будівельних вимог, що особливо важливо для сертифікації та оцінювання відповідності проектів.

Проведений аналіз дав оцінити джерела основних ризиків на всіх етапах виготовлення суцільноскляних конструкцій. використано для ідентифікації потенційних точок відмов і оцінки їхнього впливу на якість монтажу суцільноскляних конструкцій. Оцінювання ризиків здійснювалося за параметрами серйозності наслідків, частоти виникнення та вірогідності виявлення. За цими оцінками обчислювався індекс пріоритетності ризику, що дозволило структуровано визначити найкритичніші елементи процесу. Як наслідок такий підхід може забезпечувати обґрунтовану пріоритетність коригувальних дій, знижувати ймовірність дефектів та оптимізувати систему управління якістю під час встановленні великогабаритних скляних елементів.

Для зменшення фінансово-економічних ризиків у процесі виготовлення суцільноскляних конструкцій проаналізовано весь технологічний процес, зроблено рекомендації щодо його оптимізації, що дозволить значно знизити ймовірність виникнення ризиків у процесі виготовлення та монтажу суцільноскляних конструкцій. Усе забезпечуватиме зниження витрат на усунення дефектів та переробку, підвищення якості та надійності продукції, збільшення задоволеності клієнтів та мінімізацію випадків гарантійних звернень, скорочення часу виконання проектів за рахунок усунення затримок і помилок.

Конфлікт інтересів

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

Посилання

- [1] EN 16612:2019. Glass in building – Determination of the lateral load resistance of glass panes by calculation
- [2] EN 12150-1:2015+A1:2019. Glass in building. Thermally toughened soda lime silicate safety glass – Definition and description
- [3] EN 12600 Safety Glazing Testing Summary
- [4] Zulqarnain, A.; Wasif, M.; Iqbal, S.A. Developing a Quality 4.0 Implementation Framework and Evaluating the Maturity Levels of Industries in Developing Countries. *Sustainability* 2022, 14, 11298. <https://doi.org/10.3390/su141811298> (Last accessed: 20.05.2025)
- [5] Shockey S. Quality 4.0 and the Future of Quality Management. Electronic resource, available: <https://clarkstonconsulting.com/insights/future-of-quality-management/> (Last accessed: 20.05.2025)
- [6] Bassi D. Quality 4.0: Quality Management in the Digital Age. Electronic resource, available: <https://www.linkedin.com/pulse/quality-40-management-digital-age-darshi-bassi/> (Last accessed: 20.05.2025)
- [7] Respondek Z. Glass Building Elements - Technical Aspects of Safe Usage in the Structure. *System Safety: Human - Technical Facility - Environment*. VOLUME 1 (2019): ISSUE 1 (MARCH 2019). available: <https://sciendo.com/article/10.2478/czoto-2019-0038/> (Last accessed: 20.05.2025)
- [8] Silvana M, Numerical fragility assessment and structural performance analysis of glass facade systems including post-fracture residual capacity. (2023) Tesi di dottorato. Electronic resource, available: <https://arts.units.it/handle/11368/3048138> (Last accessed: 20.05.2025)
- [9] Pathirana M, Lam N., Pereira S., Lihai Z., Dong R., Gad E., Risks of failure of annealed glass panels subject to point contact actions. *International Journal of Solids and Structures*. Volume 129, 15 December 2017, Pages 177-194. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020768317304067?via%3Dihub>
- [10] Joint Research Centre: Institute for the Protection and Security of the Citizen, Langosch, K., Dimova, S., Pinto, A. V., Siebert, G. et al., *Guidance for European structural design of glass components – Support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes*, Dimova, S.(editor), Pinto, A. V.(editor) and Denton, S.(editor), Publications Office, 2013, <https://data.europa.eu/doi/10.2788/5523> (Last accessed: 20.05.2025)
- [11] prEN 1288-1 rev - Glass in building - Determination of the bending strength of glass - Part 1: Fundamentals of testing glass
- [12] EN 1288-2:2000 - Glass in building - Determination of bending strength of glass - Part 2: Coaxial double ring test on flat specimens with large test surface areas
- [13] EN 1288-3:2000 - Glass in building - Determination of the bending strength of glass - Part 3: Test with specimen supported at two points (four-point bending)
- [14] EN 1288-4:2000 - Glass in building - Determination of the bending strength of glass - Part 4: Testing of channel shaped glass
- [15] EN 1288-5:2000 - Glass in building - Determination of the bending strength of glass - Part 5: Coaxial double ring test on flat specimens with small test surface areas
- [16] EN 1991-1-4 Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions
- [17] EN 356 Intruder Resistance: Testing and Classification of Resistance Against Manual Attack
- [18] National Research Council (US) Committee on Industrial Hygiene. Occupational Health Hazards in the Glass Manufacturing Industry. National Academies Press (US); 1988. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499748/>
- [19] Badalassi M., Biolzi L., Gianni Royer-Carfagni G., Salvatore W. Safety factors for the structural design of glass. *Construction and Building Materials*. Volume 55, 31 March 2014, Pages 114-127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.005>
- [20] Артемук О-С., Микийчук М., Метод прогнозування метрологічних ризиків якості продукції, *Measuring and computing devices in technological processes*, vol. 4, pp. 179–186, 2024, <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-22>

Дані про авторів

Куриляк Назар Ігорович

аспірант

Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології»

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

E-mail: nazar.i.kuryliak@lpnu.ua

Контактний тел.: +38 067 48 60 805

Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 0
Кількість статей у міжнародних базах даних – 0
Номер ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8169-7618>

Nazar Kurylyak
PhD student
Department of Information Measurement Technologies
Lviv Polytechnic National University
Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013
E-mail: nazar.i.kuryliak@lpnu.ua
Contact tel.: +38 067 48 60 805
The number of articles in national databases – 0
The number of articles in international databases – 0
Number ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8169-7618>

Яцук Василь Олександрович
Доктор техн. наук, професор
Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології»
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013
E-mail: yatsuk.vasyl.o.yatsuk@lpnu.ua
Контактний тел.: +38 097 934 66 66
Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 95
Кількість статей у міжнародних базах даних – 12
Номер ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4213-4862>

Vasyl Yatsuk
Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Information Measurement Technologies
Lviv Polytechnic National University
Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013
E-mail: yatsuk.vasyl.o.yatsuk@lpnu.ua
Contact tel.: +38 097 934 66 66
The number of articles in national databases – 95
The number of articles in international databases – 12
Number ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4213-4862>