

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-78-9>

УДК 681.2-5; 681.2: 531.7; 005.6

КУРИЛЯК Назар

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0009-0008-8169-7618>

e-mail: [nazar.i.kuryliak@lpnu.ua](mailto:nazar.i.kuryliak@lpnu.ua)

ЯЦУК Василь

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-4213-4862>

e-mail: [vasyl.o.yatsuk@lpnu.ua](mailto:vasyl.o.yatsuk@lpnu.ua)

## МОЖЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ МОНТАЖУ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ СТЕКОЛ

Важливим напрямком впровадження всебічної економії енергоресурсів є використання перспективних новітніх тенденцій в архітектурі та дизайні, особливо під час встановлення великогабаритних стекол. Відмічено також можливість зменшення в результаті таких покращень ціни на готову продукцію завдяки орієнтації на поточні та майбутні потреби споживачів через оперативний моніторинг та регулювання параметрів якості продукції в масштабі реального часу.

В епоху цифрових технологій суттєво змінюється класичний підхід до визначення якості, а також і до її забезпечення. На основі прогнозу розвитку систем управління якістю Quality 4.0 запропоновано структуру цифрової системи забезпечення необхідного споживачу рівня якості під час встановлення великогабаритних стекол. Розроблено також пропозиції щодо визначення мінімальної частоти опитувань для кожного з вимірюваних (оцінюваних) параметрів якості. Запропоновано також математичну модель для встановлення кількості числових співвідношень щодо окремих показників якості продукції.

Ключові слова: великогабаритні стекла, якість встановлення, цифрова система управління якістю, частота опитувань, математична модель

KURYLYAK Nazar, YATSUK Vasyl

Lviv Polytechnic National University

## POSSIBILITIES OF BUILDING DIGITAL QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS FOR THE MOUNTING OF LARGE GLASSES

An important direction in the implementation of comprehensive energy saving is the use of promising new trends in architecture and design, especially when installing large-sized glasses. The possibility of reducing the price of finished products as a result of such improvements is also noted due to orientation to current and future needs of consumers through operational monitoring and regulation of product quality parameters on a real-time scale.

In the era of digital technologies, the classical approach to defining quality, as well as to its provision, is changing significantly. Based on the Quality 4.0 quality management system development forecast, the structure of a digital system for ensuring the quality level required by the consumer during the installation of large-sized glasses is proposed. Proposals for determining the minimum survey frequency for each of the measured (evaluated) quality parameters have also been developed. A mathematical model for establishing the number of numerical ratios in relation to individual indicators of product quality is also proposed.

Key words: large-sized glasses, installation quality, digital quality management system, survey frequency, mathematical model

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

В сучасному житловому будівництві широко використовується листове великогабаритне скло, яке застосовується як у вигляді зовнішніх перегородок, так і скляно-металевих фасадів [1]. Під час монтажу великогабаритних листових скляних застосовують достатньо складні технології, в яких передбачено постійний моніторинг і документування параметрів процесів [2-4] (рис. 1). Відповідно ціна таких виробів є суттєво дорожчою по відношенню до інших будівельних матеріалів, тому брак під час їх виробництва спричиняє значні ризики та фінансові збитки. Для мінімізування ризиків підприємства встановлюють електронні системи контролювання своїх технологічних процесів. Це різного роду вимірювальні та обчислювальні прилади, сенсори та інші засоби, з'єднані в єдиній електронній системі управління технологічним процесом. Вдосконалення таких систем є запорукою сталого розвитку підприємства у цій галузі.

Згідно з аналізом сучасного ринку об'єм закупленої сировини суттєво не змінився але суттєво виросла ціна закупівлі [5]. Таким чином на сьогодні ціна для кінцевого споживача виросла, так само як і вагомість ризиків під час її виробництва. За специфікою застосування стекол точність їх монтажу відіграє ключову роль, так як можливість коригування їх просторового розташування є не великою і назагал не перевищує декількох міліметрів [6]. Основною проблемою при цьому є неможливість усунути брак вже готового виробу, так як після термічної обробки гартоване скло вже не підлягає обробці, оскільки воно стає надто крихким.



Рис.1 Сучасні скляні фасади з інтегрованим кріпленням із легкими тримачами  
([https://www.gpd.fi/GPD2023\\_proceedings\\_book/](https://www.gpd.fi/GPD2023_proceedings_book/))

Підсумовуючи сказане, вдосконалення методів обчислення та усунення ризиків під час встановлення великогабаритних стекол є перспективним напрямком для дослідження та впровадження нових технологій у цій сфері, яка стає все більш популярною в новітніх тенденціях архітектури та дизайну. Також важливим елементом таких покращень може стати зменшення ціни на готову продукцію, що буде вигідним для кінцевого споживача і зробить цей матеріал більш доступним у проектуванні та втіленні в життя нових проектів.

### ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є аналіз можливостей для побудови цифрових систем управління якістю монтажу великогабаритних стекол.

#### Сучасний стан процесу монтажу великогабаритних стекол

Виробництво та монтаж великогабаритних стекол являє собою трудомісткий технологічний процес від проектування будівлі, встановлення розмірів стекол, їх передавання на виробництво і виготовлення гартованих стекол, контролювання їх розмірів після виготовлення, транспортування і монтаж на будові. Розпочинається цей процес із проектування будівлі та встановлення форми і розмірів стекол. Після чого проводиться будівництво і окремо замовляється виготовлення стекол, які зазвичай мають індивідуальні особливості. Граничні відхилення розмірів скла, після виготовлення повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-110-2001. Після перевірки продукції на технологічний брак на лицевій найбільшій площині виробу наклеюється стікер із зазначенням його основних характеристик товщини, кольору та габаритів. В подальшому скло пакується та транспортується на будову, де проходить процедуру входного контролю та монтується на будівельному об'єкті, відповідно до проекту. Зараз переважно усі ці процеси здійснюються вручну, що містить ризики від помилок операторів. Автоматизація процесів формування і передавання таких даних в єдину систему контролю та автоматизації процесів виробництва дає можливість забезпечити об'єктивність і оперативність виявлення браку. Все частіше на підприємствах застосовуються хмарні технології для управління бізнес процесами. Провідне місце в таких технологіях займають системи дистанційного збору (СДЗ) вимірювальних даних про геометричні розміри монтованих стекол. У найпростішому випадку вони являють собою метричні цифрові рулетки з електронним передаванням результатів через Bluetooth або Wi-Fi передавачі в систему СДЗ для подальшого опрацювання цих даних (рис. 2) [8, 9].

Цифрові рулетки з електронним передаванням результатів конструктивно і технологічно призначені для забезпечення максимально можливих зручностей під час застосування на будівництві. З розвитком таких технологій постає питання формування таких СДЗ на виробництві для отримання оперативної інформації про якість продукції для забезпечення швидкого реагування керівників на ті чи інші загрози пов'язані з таким виробництвом. Також є важливим і сам процес контролю і правильної передачі даних до системи. Такий процес має бути максимально простим в його виконанні та швидкий за часом. Неможливо зупинити технологічний процес на виробництві для довготривалого контролю якості так як це буде економічно не доцільним для будівництва.



Рис. 2 Зовнішній вигляд метричних цифрових рулеток з електронним передаванням результатів

### Шляхи вдосконалення методів оцінки якості продукції

Із бурхливим розвитком науково-технічної революції Industry 4.0 класичні системи управління якістю за ISO 9001 повинні переходити до систем Quality 4.0, які повинні відповідати промисловим системам побудованих на розумних пристроях та кіберфізичних системах з мінімальною участю людини [10, 11]. За визначенням американських фахівців Quality 4.0 об'єднує передові цифрові технології Industry 4.0 із досконалою якістю для значного підвищення продуктивності та ефективності [12]. Забезпечити необхідний рівень Quality 4.0 в сучасних умовах можна на основі автоматизації та оцифрування процесів забезпечення якості. Підтримання постійної якості за допомогою обробки даних у реальному часі стає кінцевою метою Quality 4.0. Для цього на сьогодні застосовуватиметься увесь арсенал сучасних технологій на базі Інтернету речей, штучного інтелекту та аналітики великих даних [11]. У Європейському Союзі створюється цифрова економіка та суспільство з довгостроковим потенціалом зростання і забезпеченням конкурентоспроможності на ринку [13]. Тільки оцифрування процесів оцінювання та забезпечення якості продуктів, товарів і послуг на основі європейської метрологічної хмари дасть можливість досягнення шляхом цифрової трансформації суспільства з [14].

Відомо, що якість продукції, товарів, послуг характеризується сукупністю всіх функціональних, естетичних та економічних властивостей та визначається їх споживчою вартістю та загальними витратами на їх виробництво, реалізацію (постачання) та експлуатацію [15]. Очевидно, що в сучасних умовах, її слід оцінювати в режимі реального часу за інтегральним показником із використанням сучасних цифрових технологій [10-12]. Сучасні мікроелектронні та інформаційні технології дають можливість оцифрування більшості процесів визначення та оцінювання в масштабі реального часу інтегрального показника якості. В епоху розвитку Industry 4.0 мова може вже йти про побудову кібер-фізичної системи для забезпечення, підтримки та оцінки якості. Природньо на сучасному етапі розвитку технологій можна говорити про цифрове управління в системі управління якістю (СУЯ) (рис. 3). Цифрову систему управління в СУЯ можна представити як структуру із цифровим зворотним зв'язком у масштабі реального часу, що забезпечує відповідний вимогам замовника рівень якості продукції та послуг [16]. За аналогією до цифрового керування технічними об'єктами цифрове оцінювання та вимірювання показників якості відіграватиме роль основної ланки СУЯ, що формує команди управління відповідно до сучасних вимог замовника [17].

Канал вимірювання (оцінювання) надає цифрову інформацію про одиничні показники якості продукції та послуг для забезпечення ефективності СУЯ. В блоці порівняння на основі її співставлення з цифровою інформацією про рівень задоволеності споживачів в режимі реального часу формуються цифрові команди керування технологічними об'єктами, щоб підтримувати задоволеність споживачів. Різниця цифрова інформація перетворюється на набір аналогових сигналів для такого керування параметрами фізичних процесів об'єкта керування, щоб задовольнити поточні або очікувані потреби споживача. Аналіз показує, що цифрове управління може забезпечити підвищення об'єктивності впровадження всіх процесів і принципів управління в СУЯ за умови реалізації на основі сучасних мікроелектронних та інформаційних технологій.



Рис. 3. Структура цифрової системи управління в СУЯ

### Встановлення мінімальної частоти опитування для кожного з вимірювальних каналів для оцінювання параметрів якості

Оскільки об'єкт управління (продукція, послуги) в загальному випадку є достатньо інерційним, то під час цифровізації його параметрів якості з використанням достатньо швидкодійних засобів створюється надмір вимірювальної інформації. Для суттєвого зменшення її кількості інтуїтивно можна запропонувати зменшити частоту опитувань вимірювальних каналів. Однак детальніший аналіз показує необхідність вибору певного набору показників якості та такої частоти опитувань, за якої їх числові співвідношення на даний момент задовольняли б замовників, а також передбачуваний і непередбачуваний вплив на відповідних зацікавлених сторін. Це слід вирішувати з урахуванням динаміки концепції якості продукції та послуг, яка в першу чергу залежить від передбачуваного та непередбачуваного впливу на всі зацікавлені сторони згідно з ISO 9001:2015. Так як впровадження СУЯ є стратегічним рішенням організації, яке може допомогти підвищити її загальну ефективність і забезпечити міцну основу для ініціатив сталого розвитку, вибір організації певної кількості показників якості повинен постійно змінюватися [16]. Це забезпечує гнучкість структури розроблюваної СУЯ та можливості оперативної зміни низки показників якості продукції та послуг відповідно до зміни задоволеності всіх зацікавлених сторін. Кількість числових значень показників якості продукції та послуг у реальному часі доцільно визначати на основі співвідношень, які слідує із теореми відліків (Найквіста-Шеннона) [17, 18]. Якщо зміну показників якості можна апроксимувати безперервним сигналом  $x(t)$  зі спектром, обмеженим частотою  $F_{max}$ , то його можна однозначно і без втрат відновити за його дискретними відліками, знятими на частоті  $f_{dsr}=2F_{max}$ , або із показань взятих з періодом  $T_{dsr}=1/2F_{max}$ .

Тоді, за аналогією до методики визначення похибки модуляції, можна встановити мінімальне значення часу вимірювання/оцінювання значень показників якості  $T_{dsr} \geq (T_0/\pi) \arcsin(\gamma_{max})$ , де  $T_0=1/F_{max}$ ;  $T_{dsr}$  - мінімальна тривалість вимірювання/оцінювання значень показників якості;  $\gamma_{max}$  - максимальне значення відносної похибки модуляції [17].

Під час здійснення цієї процедури слід враховувати дуже повільну часову зміну фізичних показників якості порівняно із швидкодією навіть найповільніших сучасних АЦП.

### Встановлення роздільної здатності під визначення числових значень показників якості продукції

Застосування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) об'єктивніше і оперативніше дає можливість забезпечення необхідного рівня якості виготовлюваних товарів, продукції та послуг. З цією метою сучасні міжнародні нормативні документи рекомендують впроваджувати систематичний і повний контроль процесів вимірювання як окрему і тривалу процедуру. Під час застосування ЗВТ для оцінювання якості важливим є забезпечення встановлення необхідної роздільної здатності під визначення числових значень показників якості. Це буде слугувати для отримання компромісу між апаратними затратами та необхідною точністю визначення показників якості. Необхідна роздільна здатність визначатиме кількість розрізняваних градацій під час вимірювань. Як відомо вона визначається гарантійним значенням похибки ЗВТ



$\Delta_{pe}(x, P, \vec{Q}, \vec{\xi}, k_H, t)$ , яку в більшості практичних випадків в робочих умовах експлуатації та в момент часу  $t$  можна подати як [19]:

$$\Delta_{pe}(x, P, \vec{Q}, \vec{\xi}, k_H, t) = \bar{\Delta}_0(P, \vec{Q}, \vec{\xi}, k_H, t) \pm k(P, \vec{Q}, \vec{\xi}, t) \sigma(x, P, \vec{Q}, \vec{\xi}, k_H, t), \quad (1)$$

де  $\bar{\Delta}_0(P, \vec{Q}, \vec{\xi}, k_H, t)$  - адитивна складова похибки ЗВТ;

$\sigma(x, P, \vec{Q}, \vec{\xi}, k_H, t)$  - середньоквадратичне відхилення похибки;

$k(P, \vec{Q}, \vec{\xi}, t)$  - довірчий коефіцієнт;

$\vec{Q}$  - вектор параметрів ЗВТ;

$\vec{\xi}$  - вектор елементарних похибок;

$k_H$  - номінальний коефіцієнт передавання ЗВТ;

$P$  - довірна ймовірність.

Випадкова складова похибки визначатиметься шумами компонентів ЗВТ, причому слід враховувати теплові шуми й шуми виду  $1/f$ . Якщо для ЗВТ прийняти за нижню границю частотного діапазону частоту  $f_{kl}$  його калібрувань (встановлення „нульових” показів), а за верхню – частоту  $f_{hf}$  пропускання, то його  $1/f$  шум буде частотно обмеженим і у першому наближенні стаціонарним в широкому розумінні, амплітуди якого розподілені за нормальним законом [17].

Під час визначення випадкової складової похибки пропонується використати інформаційний підхід. При цьому джерелом вимірювальної інформації природно вважати об'єкт вимірювання, а приймачем - ЗВТ. Ця аналогова інформація передається по каналу зв'язку, в якому діє шум, зведений на вхід ЗВТ. Відомо, що еквівалентна дисперсія вхідного випадкового шумового сигналу визначається як сума дисперсій окремих джерел. Тоді пропонується визначати кількість вимірювальної інформації  $M_x$ , отриманої ЗВТ під час вимірювання, на основі теореми К.-Е. Шеннона [17-19]:

$$M_x = Ct_x = t_x B \log_2 \left( 1 + \frac{S_x}{N_n} \right) = t_x B \log_2 \left( 1 + \frac{U_x^2}{D_{nU}} \right), \quad (2)$$

де  $C$  - продуктивність вимірювального каналу;  $t_x$  - час вимірювання;

$B = f_H - f_L$  - ширина смуги пропускання вимірювального каналу;

$S_x = (U_x^2 / R_{in}) t_{mx}$  - енергія корисного сигналу;

$N_n = (U_n^2 / R_{in}) t_{mx} = (D_n / R_{in}) t_{mx}$  - енергія еквівалентного вхідного шуму;

$U_x$  - вимірювана напруга;  $R_{in}$  - вхідний опір ЗВТ;

$U_n, D_{nU} = D_{1U} + R_x D_{In} + 4kT R_x B$  - відповідно, напруга та дисперсія еквівалентного вхідного шуму;

$D_{n1U}, D_{In}$  - дисперсія еквівалентного шуму за напругою та за струмом відповідно;  $k$  - стала

Больцмана;

$T$  - температура внутрішнього опору джерела вимірюваної напруги.

З іншого боку, основною метою виконання процесу вимірювань є отримання вимірювальної інформації, числове значення якої зазвичай визначається через ентропію (міру Шеннона) або логарифмічну міру невизначеності (міру Хартлі). Природно прийняти, що вхідна невизначеність рівна ширині  $X_2 - X_1$  діапазону вимірювання ЗВТ, а невизначеність після виконання вимірювань визначатиметься похибкою розрізнення  $\Delta_p$  окремих результатів вимірювання. Тоді за рівноймовірних законів розподілу вимірюваної величини та похибки розрізнення  $\Delta_p$  кількість отриманої після вимірювання інформації оцінимо за співвідношенням [17, 19]:

$$H_{mx} = \log(X_2 - X_1) - \log \Delta_p = \log \frac{X_2 - X_1}{\Delta_p}, \quad (3)$$

де  $X_2 - X_1$  - ширина діапазону вимірювання ЗВТ;

$\Delta_p$  - похибка розрізнення окремих результатів вимірювання даним ЗВТ.

Коефіцієнт якості  $K_x$  або ефективності ЗВТ можна подати у вигляді добутку обох кількостей отриманої в результаті вимірювання інформації:

$$K_x = M_x H_{mx} = t_x B \log \left( 1 + \frac{X^2}{D_n} \right) \log \frac{X_2 - X_1}{\Delta_p}, \quad (4)$$

де  $X = U_x; I_x R_{sh}; I_{sc} R_x$  - вхідні електричні сигнали під час вимірювання напруги, струму та опору відповідно.

З аналізу виразу (4) можна зробити висновок про те, що при усіх інших однакових умовах кількість отримуваної вимірювальної інформації з допомогою даного ЗВТ визначатиметься похибками вимірювального кола, які обумовлюються такими факторами як характеристики ЗВТ, об'єкта, умови вимірювань, кваліфікація оператора, час тощо [17, 19].

Дисперсії  $D_{nU}$  та  $D_{nI}$  шумового сигналу, зведені до входу ЗВТ, в частотній смузі від  $\omega_{kl}=2\pi f_{kl}$  до  $\omega_{hf}=2\pi f_{hf}$  можна визначити за теоремою Вінера-Хінчіна за співвідношенням [17, 19]

$$D_n = \lim_{\tau \rightarrow 0} D_n(\tau) = A_{0e}(f_{hf} - f_{kl}) + A_{fe} f_{fe} \ln \frac{f_{hf}}{f_{kl}}, \quad (5)$$

де  $A_{0e}$ ,  $A_{fe}$ ,  $\omega_{fe}$  – відповідно, спектральні густини еквівалентних густин теплового та  $1/f$

шумів і кругової частоти спряження цих шумів;

$D_n = D_{nU}$ ;  $D_{nI}$ .

Отже, вимірювальний пристрій, що використовується для реалізації зворотного зв'язку в системі цифрового управління об'єктом, з метрологічної точки зору виконуватиме завдання прецизійного багатоканального ЦАП і повинен мати високі метрологічні характеристики.

### ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Показано перспективність вдосконалення методів визначення та усунення ризиків під час встановлення великогабаритних стекол через зростання популярності в новітніх тенденціях архітектури та дизайну. Відмічено також важливість зменшення в результаті таких покращень ціни на готову продукцію, що буде вигідним для кінцевого споживача і зробить скляний матеріал доступнішим у проектуванні та втіленні в життя нових проектів.

В епоху цифрових технологій суттєво змінюються класичний підхід до визначення поняття якості, а також і до її забезпечення. Орієнтація на поточні та майбутні потреби споживачів вимагає оперативного моніторингу та регулювання параметрів якості продукції в масштабі реального часу. На основі прогнозу розвитку систем управління якістю Quality 4.0 запропоновано структуру цифрової системи забезпечення необхідного споживачу рівня якості під час встановлення великогабаритних стекол. Розроблено також пропозиції щодо визначення мінімальної частоти опитувань для кожного з вимірюваних (оцінюваних) параметрів якості. Запропоновано також математичну модель для встановлення кількості числових співвідношень щодо величини окремих показників якості продукції.

### Література

1. Yatsuk V., Kurylyak N. [Quality monitoring during the installation of large tempered glass structures](#). Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2023. – Vol. 84, № 4. – P. 39–43.
2. Особливості скління сучасних висотних будівель. SIMAX, 2023. [Online]. Available: <https://zlp.com.ua/ua/blog/ostekleniya-sovremennyh-vysotnyh-zdanij> (Last accessed: 20.05.2024)
3. The Future of Glass Construction in a Warmer World: A Selection of Glazed but Efficient Projects. Arch Daily, 2023. [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/987719/the-future-of-glass-construction-in-a-warmer-world-a-selection-of-glazed-but-efficient-projects#> (Last accessed: 20.05.2024)
4. Quality Control of Glass Facades. Curtain Wall and Point-Fixed Systems Carolina Silveira Machado Pereira Costa. Civil Engineering Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal, April 2018. [Online]. Available: [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970719973967222/Quality\\_Control\\_of\\_Glass\\_Facade\\_Ingles.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970719973967222/Quality_Control_of_Glass_Facade_Ingles.pdf) (Last accessed: 20.05.2024)
5. Тенденції розвитку ринку флоат-скла. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://construction-market.korfor.com.ua/rynok-float-skla/> (Дата доступу 20.05.2024 р.)
6. ДСТУ Б В.2.7-110-2001 Скло загартоване будівельне. Технічні умови (ГОСТ 30698-2000), чинний. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=4814](https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4814) (Дата доступу 20.05.2024 р.)
7. Світлопрозорі конструкції. ТЗОВ «Паритет». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://paritetcompany.com/> (Last accessed: 20.05.2024)
8. Mileseey Outdoor Laser Distance Meter 100 m 4x Zoom Laser Measurement Distance Bluetooth Digital rangefinder with Camera. [Online]. Available: <https://prom.ua/ua/p1125046784-lazernaya-elektronnaya-ruletka.html> (Last accessed: 20.05.2024)
9. ENGLISH T1 TOMAHAWK DIGITAL TAPE MEASURE by REEKON Tools. [Online]. Available: <https://store.reekon.tools/products/t1-tomahawk-digital-tape-measure> (Last accessed: 20.05.2024)

10. 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>
11. Shockey S. Quality 4.0 and the Future of Quality Management. Electronic resource, available: <https://clarkstonconsulting.com/insights/future-of-quality-management/> (Last accessed: 20.05.2024)
12. 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: 20.05.2024)
13. European Commission. (2020). European Metrology Cloud Initiative. Retrieved from <https://ec.europa.eu/jrc/en/emc>
14. Commission notice The 'Blue Guide' on the implementation of EU product rules 2022 (Text with EEA relevance), 2022/C 247/01, C/2022/3637, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.C.2022.247.01.0001.01.ENG> (Last accessed: 11.05.2024)
15. Кваліметрія: навч. посібник / В.Р. Куць, П.Г. Столярчук, В.М. Друзюк. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 256 с.
16. Kurylyak N., Yatsuk V. Possibilities of improving quality management systems in the digital age. *Norwegian Journal of development of the International Science* No 132/2024, p. 120-123. Electronic resource, available: <https://zenodo.org/records/11200244> (Last accessed: 01.06.2024)
17. Яцук В., Малачівський П. Методи підвищення точності вимірювання. Львів.: вид. «Бескид-Біт», 2008. - 358 с.
18. Cyber-Physical Systems: Metrological Issues, Monograph, S. Yatsyshyn, B. Stadnyk, Editors, Internat. Frequency sensor association publishing, S.L., Barcelona, Spain, 2016, 326 p.
19. Поліщук Є.С., Дорожовець, М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка. Підручник. – 2-е вид., доп. та переробл. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 544 с.

#### References

1. Yatsuk V., Kurylyak N. [Quality monitoring during the installation of large tempered glass structures](#). *Measuring Equipment and Metrology*. – 2023. – Vol. 84, № 4. – P. 39–43.
2. Features of glazing of modern high-rise buildings. *SIMAX*, 2023. [Online]. Available: <https://zlp.com.ua/ua/blog/ostekleniya-sovremennyh-vysotnyh-zdanij> (Last accessed: 20.05.2024)
3. The Future of Glass Construction in a Warmer World: A Selection of Glazed but Efficient Projects. *Arch Daily*, 2023. [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/987719/the-future-of-glass-construction-in-a-warmer-world-a-selection-of-glazed-but-efficient-projects#> (Last accessed: 20.05.2024)
4. Quality Control of Glass Facades. *Curtain Wall and Point-Fixed Systems* Carolina Silveira Machado Pereira Costa. *Civil Engineering Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal*, April 2018. [Online]. Available: [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970719973967222/Quality\\_Control\\_of\\_Glass\\_Facade\\_Ingles.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1970719973967222/Quality_Control_of_Glass_Facade_Ingles.pdf) (Last accessed: 20.05.2024)
5. Development trends of the float glass market. [Online]. Available: <https://construction-market.korfor.com.ua/rynok-float-skla/> (Last accessed: 20.05.2024)
6. DSTU B V.2.7-110-2001 Tempered building glass. Specifications (GOST 30698-2000), valid. [Online]. Available: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=4814](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4814) (Last accessed: 20.05.2024)
7. Translucent designs. Ltd. "Parytet" [Online]. Available: <https://paritetcompany.com/> (Last accessed: 20.05.2024)
8. Mileseey Outdoor Laser Distance Meter 100 m 4x Zoom Laser Measurement Distance Bluetooth Digital rangefinder with Camera. [Online]. Available: <https://prom.ua/ua/p1125046784-lazernaya-elektronnaya-ruletka.html> (Last accessed: 20.05.2024)
9. ENGLISH T1 TOMAHAWK DIGITAL TAPE MEASURE by [REEKON Tools](#). [Online]. Available: <https://store.reekon.tools/products/t1-tomahawk-digital-tape-measure> (Last accessed: 20.05.2024)
10. 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>
11. Shockey S. Quality 4.0 and the Future of Quality Management. Electronic resource, available: <https://clarkstonconsulting.com/insights/future-of-quality-management/> (Last accessed: 20.05.2024)
12. 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: 11.05.2024)
13. European Commission. (2020). European Metrology Cloud Initiative. Retrieved from <https://ec.europa.eu/jrc/en/emc> (Last accessed: 20.05.2024)
14. Commission notice The 'Blue Guide' on the implementation of EU product rules 2022 (Text with EEA relevance), 2022/C 247/01, C/2022/3637, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.C.2022.247.01.0001.01.ENG> (Last accessed: 11.05.2024)
15. Qualimetry: education. manual / V.R. Kuts, P.G. Stolyarchuk, V.M. Druzyuk – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2012. – 256 с.
16. Kurylyak N., Yatsuk V. Possibilities of improving quality management systems in the digital age. *Norwegian Journal of development of the International Science* No 132/2024, p. 120-123. Electronic resource, available: <https://zenodo.org/records/11200244> (access date 01.06.2024)
17. Yatsuk V., Malachivskiy P. Methods of increasing measurement accuracy. Lviv.: ed. "Beskid Bit", 2008. - 358 p.
18. Cyber-Physical Systems: Metrological Issues, Monograph, S. Yatsyshyn, B. Stadnyk, Editors, Internat. Frequency sensor association publishing, S.L., Barcelona, Spain, 2016, 326 p.
19. Polishchuk E.S., Do-rozhovets, M.M., Yatsuk V.O. etc. *Metrology and measuring technology*. Textbook. – 2nd ed., add. and processing – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012. – 544 p.