

УДК 62-783

**ОЛІЙНИК А.П.**, керівник техн. відділу

ДП «Ітон Електрик», м. Київ

**КАШТАНОВ С. Ф.**, канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ

## **ВІДПОВІДНІСТЬ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ СУЧАСНИМ ВИМОГАМ БЕЗПЕКИ**

*Визначені основні особливості функціонування та застосування сучасного європейського та українського законодавств з безпеки промислового обладнання та наданні практичні рекомендації щодо забезпечення максимально можливого і гарантованого рівня його безпеки.*

**Ключові слова:** безпека, ризики, системи управління, системи контролю.

*Определены основные особенности функционирования и применения современного европейского и украинского законодательств по безопасности промышленного оборудования, а также даны практические рекомендации по обеспечению максимально возможного и гарантированного уровня его безопасности.*

**Ключевые слова:** безопасность, риски, системы управления, системы контроля.

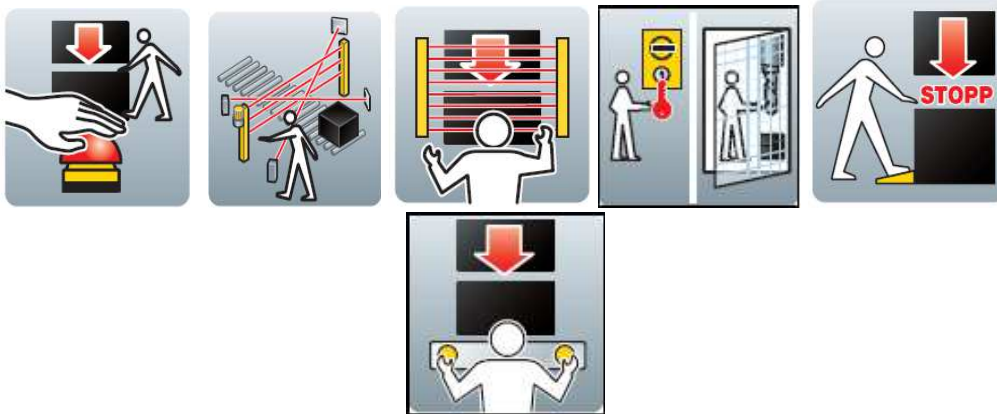
*The main features of the functioning and application of modern European and Ukrainian legislation on the safety of industrial equipment have been identified, and practical recommendations for ensuring the maximum possible and guaranteed level of its safety are given.*

**Keywords:** safety, risks, systems of control.

Метою даної роботи є визначення основних особливостей функціонування та застосування європейського та сучасного українського законодавств у сфері виробничої та промислової безпеки та надання відповідних практичних рекомендацій щодо забезпечення необхідного рівня безпеки виробничого та промислового обладнання, систем їх управління та контролю.

Згідно з існуючими вимогами європейського та українського законодавств у сфері виробничої та промислової безпеки [1-5], будь яке виробниче обладнання в залежності від умов його експлуатації повинно забезпечувати виконання відповідних функцій безпеки, а також мати відповідні гарантії щодо можливості їх забезпечення.

До основних функцій безпеки можна віднести:



- зупинення обладнання у разі виникнення аварійної ситуації;
- блокування захисних бар'єрів /огорожень/;
- захист від перезапуску обладнання у разі відключення живлення від електромережі;
- створення захисних світлових бар'єрів;
- двопозиційне (дворучне) управління тощо.

Спеціалістами корпорації «EATON/MOELLER», яка є одним із лідерів у сфері виробничої та промислової безпеки, розроблені відповідне керівництво/довідник [6], в якому, з урахуванням вимог Directive 2006/42/EC, EN 954-1 (ДСТУ EN 954-1:2003), EN ISO 13849-1 (ДСТУ EN ISO 13849-1-2016), IEC 62061 та інших діючих у цій сфері гармонізованих стандартів та відповідних Директив Європейського Співтовариства, надані практичні рекомендації з техніки безпеки для машин і систем їх управління та контролю, в тому числі запропоновані відповідні схеми та заходи щодо:

- безпеки їх ремонту обслуговування та експлуатації;
- захисту від ураження електричним струмом;
- забезпечення необхідного рівня безпеки у відповідності до норм стандарту EN 60204-1 (ДСТУ EN 60204-1:2015 Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги).

Крім того, спеціалістами «EATON/MOELLER» у відповідних розділах керівництва/довідника [6] запропоновані та апробовані ефективні алгоритми визначення основних показників безпеки виробничого та промислового обладнання у разі застосування в їх системах управління та контролю наступних функцій безпеки:

- аварійного відключення;
- запобігання непередбаченого запуску обладнання (повторних перезапусків);
- контролю з'ємних захисних бар'єрів /огорожень/ з блокуванням або без нього;
- контролю відкритих зон небезпеки;
- використання двопозиційних (дворучних) органів управління (типів I, II та III) тощо.

Крім того, незалежний від виробника інструмент розрахунку «SISTEMA» Інституту охорони праці та здоров'я німецького соціального страхування від нещасних випадків (IFA), який також використовується і спеціалістами «EATON/MOELLER»,

надає ефективну допомогу в оцінці компонентів систем управління, що пов'язані з безпекою в контексті стандарту EN ISO 13849-1, і дозволяє значно спростити аналіз та оцінку існуючих ризиків.

Згідно рекомендацій, що викладені в зазначеному вище керівництві/довіднику [6], визначення показників безпеки виробничого обладнання повинно здійснюватися за наступними стандартами:

1. **EN 954-1** «Safety of machinery SRP/CS. General principles for design» - «Безпека машин. Загальні принципи проектування».

*\*Примітки:*

а) Застосовується детерміністський (якісний) підхід щодо визначення показників функції безпеки;

б) для того, щоб класифікувати показники функції безпеки при роботі обладнання, використовується такий параметр, як категорія безпеки.

**Категорії безпеки згідно EN 954-1 (Вимоги):**

**B** - (Системи захисту/управління та компоненти)

1 - Додатково до "B" (Перевірені компоненти і принципи, що відповідають вимогам безпеки).

2 - Додатково до "B" (Перевірка функцій безпеки системою управління через необхідні інтервали /тестування та діагностика/).

3 - Додатково до "B" (Відмовостійкість та виявлення несправностей при відповідному рівні технічних засобів).

4 - Додатково до "B" (Відмовостійкість та виявлення несправностей, а також відсутність небезпеки накопичення несправностей).

2. **EN ISO 13849-1/-2** «Safety of machinery - Safety-related parts of control systems» - «Безпека машин - Безпека, що пов'язана з елементами систем управління».

Part 1: «General principles for design» – «Загальні принципи конструювання».

Part 2: «Validation» - «Перевірка».

*\*Примітки:*

а) На відміну від EN 954-1, в якому використаний детерміністський (якісний) підхід, в EN ISO 13849-1 використовується ймовірнісний підхід, що дозволяє реалізувати кількісний розгляд показників функції безпеки.

б) Для того, щоб класифікувати показники функції безпеки при роботі обладнання використовується п'ять значень рівнів експлуатаційної безпеки PLs (a, b, c, d, e), які визначаються середніми значеннями ймовірності небезпечних відмов за годину. Рівень «a»: вклад функцій управління в зниження ризику найбільш низький, а на рівні PL «e» - найбільш високий.

в) Остаточна перевірка всіх захисних заходів, що забезпечують надійне виконання передбачених функцій безпеки, є обов'язковою складовою частиною EN ISO 13849-2.

3. **IEC 62061** «Safety of machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems» - «Безпека машин. Функціональна безпека, що пов'язана з безпекою електричних, електронних та програмованих систем управління».

*\*Примітка: У загальному випадку IEC 62061, як і EN ISO 12100-1, є начебто альтернативою стандарту EN ISO 13849-1. Рівень безпеки обладнання згідно IEC 62061 визначається трьома рівнями так званої повноти безпеки SIL - «Safety Integrity» (1, 2, 3).*

При визначенні показників безпеки, на додаток до стандартів EN ISO 13849-1/-2 і IEC 62061, необхідно також використовувати:

1. **EN ISO 12100-1/2** «Safety of machinery General principles for design and risk evaluation. Basic concepts»

**ДСТУ EN ISO 12100:2016** «Загальні принципи проектування та оцінки ризику. Базові концепції».

2. **EN ISO 14121-1** «Principles for risk assessment» - «Принципи оцінки ризику».

Необхідно зазначити, що застосування будь-яких захисних заходів, які використовуються для усунення існуючих небезпек та зниження рівнів можливих ризиків, повинно здійснюватися в певній послідовності у відповідності до вимог EN ISO 12100-1, що проілюстровано на рис.1.

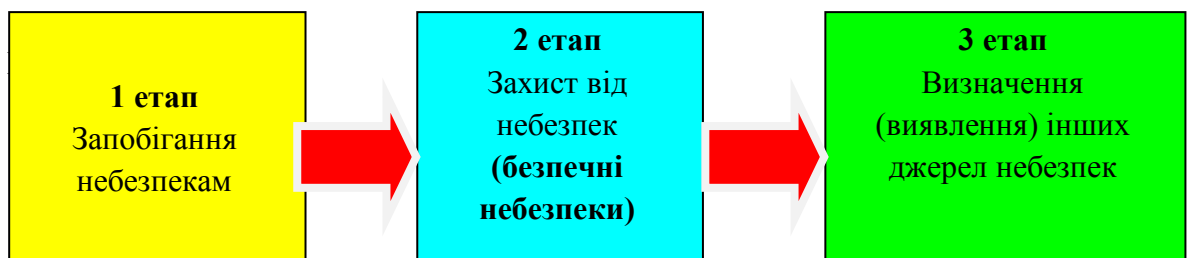


Рис.1. Послідовність виконання захисних заходів згідно з EN ISO 12100-1

**1 етап.** Запобігання небезпекам: усунення існуючих небезпек та зниження рівнів можливих ризиків за рахунок відповідних конструктивних заходів на етапі проектування та розробки машини.

**2 етап.** Захист від небезпек: зниження рівнів можливих ризиків за рахунок введення необхідних захисних заходів.

**3 етап.** Визначення (виявлення) інших джерел небезпек: зниження рівнів можливих ризиків за рахунок надання додаткової необхідної інформації /попереджень/ про залишкові ризики.

Якщо остаточний результат 1 етапу "Запобігання небезпекам" не призводить до достатнього зниження рівнів можливих ризиків відповідно до вимог EN ISO 12100-1, то ітераційний процес при проектуванні відповідно до вимог ISO 13849-1 або IEC 62061 повинен бути використаний також і на 2 етапі – "Безпечні небезпеки".

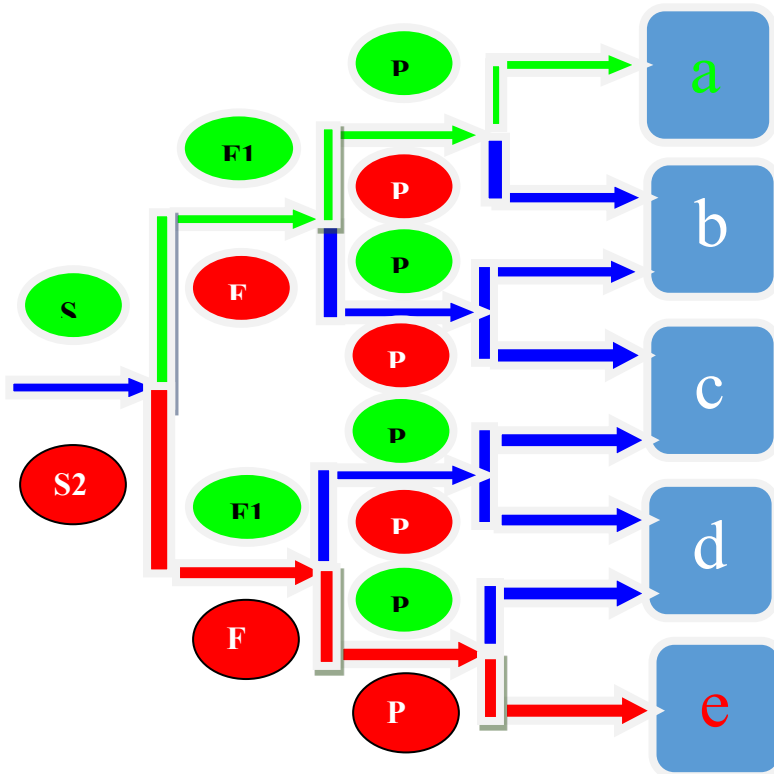
Ті частини систем управління машиною, які вирішують завдання безпеки, визначені в міжнародних стандартах, як "частини, що пов'язані з безпекою в системах управління" - "safety-related parts of control systems" (SRP/CS). Відповідно до вимог обох стандартів (ISO 13849-1 та IEC 62061) необхідні функції безпеки повинні бути забезпечені саме SRP/CS.

Як вже було сказано раніше, згідно із стандартом EN ISO 13849 для класифікації показників функції безпеки при роботі обладнання використовується п'ять значень рівнів експлуатаційної безпеки PL (a, b, c, d, e), які визначаються середніми значеннями

ймовірності небезпечних відмов за годину. Рівень «а»: вклад функцій управління в зниження ризику найбільш низький, а на рівні PL «е» - найбільш високий.

Алгоритм визначення необхідного рівня експлуатаційної безпеки PL (a, b, c, d, e) за стандартом EN ISO 13849 наведений на рис.2.

**Рівень а** = самий низький рівень ризику (low risk)  
**Рівень е** = самий високий рівень ризику (high risk)



**Параметри ризику:**

**(Risk parameters):**

**S** - тяжкість травми

**S1** невеликі (зазвичай виліковні травми)

**S2** серйозні (як правило, невиліковні) травми

**F** - частота і/або підтвердженість небезпеки

**F1** - рідко, не дуже часто і/або короткострокова дія

**F2** - часто, скоріше безперервно і/або довгострокова дія

**P** - можливість уникнути небезпеки або обмеження нанесеної шкоди

**P1** - можливо при певних умовах

**P2** - навряд чи можливо (малоймовірно)

Рис.2. Алгоритм визначення необхідного рівня експлуатаційної безпеки PL (a, b, c, d, e) за стандартом EN ISO 13849

На рисунку 3 наведений взаємозв'язок ймовірності небезпечної відмови за годину (PFH<sub>d</sub>) і рівня експлуатаційної безпеки PL (EN ISO 13849).

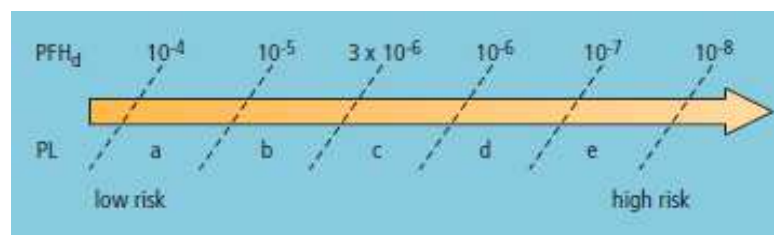


Рис. 3. Взаємозв'язок ймовірності небезпечної відмови за годину (PFH<sub>d</sub>) і рівня експлуатаційної безпеки PL – EN ISO 13849

Системи управління, які пов'язані з безпекою окремих блоків обладнання, повинні забезпечувати послідовне виконання наступних функцій безпеки:

- прийом вхідного сигналу безпеки (датчик);
- обробка сигналу безпеки (логіка);
- подача сигналу на виконавчі пристрої (привід).

Кінцева мета полягає в розробці такої системи управління і контролю, яка забезпечила би передбачені функції безпеки управління в разі виникнення несправностей чи аварій, а також необхідний рівень зниження можливих ризиків.

Що стосується проектування архітектури системи управління і визначення досягнутого рівня повноти безпеки (SIL) згідно з вимогами IEC 62061, то рівень повноти безпеки (SIL) згідно з IEC 62061 базується на наступних параметрах, які повинні бути визначені для кожної із підсистем:

- граничні SIL вимоги (SIL CL) – /SIL claim limit /;
- ймовірність небезпечної відмови протягом години (PFHd) – /Probability of a dangerous failure per hou/;
- тривалість життя – Life time.

Та як підсистеми можуть бути створені з різних компонентів (підсистеми елементів), то при визначенні значення PFHd необхідно, в першу чергу, визначити наступні характеристики для кожного з використовуваних елементів:

- інтенсивність небезпечних відмов за годину –  $\lambda_d$ ;
- загальна інтенсивність відмов за годину –  $\lambda$ .

Взаємозв'язок ймовірності небезпечної відмови за годину (PFHd) і рівня повноти безпеки SIL (IEC 62061) наведений на рис.4.

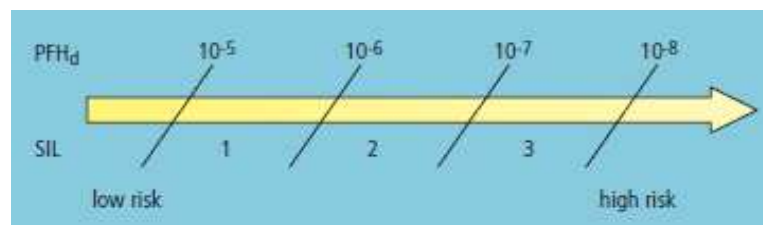


Рис. 4. **Взаємозв'язок ймовірності небезпечної відмови за годину (PFHd) і рівня повноти безпеки SIL – IEC 62061.**

Слід зазначити, що оскільки в діючих стандартах безпеки використовуються і різні системи класифікації та алгоритми визначення показників безпеки виробничого обладнання, то в керівництві/довіднику [6] надається інформація одразу для всіх основних вище згаданих стандартів за формою, яка приведена у таблиці 1.

Таблиця 1

## Показники безпеки (EN 954-1, EN ISO 13849-1 та IEC 62061)

<b>Category to EN 954-1</b> <b>Категорія безпеки згідно з EN 954-1</b>
<b>Performance level PL acc. to EN ISO 13849-1</b> <b>Рівень експлуатаційної безпеки PL згідно з EN ISO 13849-1</b>
<b>Safety Intergity Level SIL acc. to IEC 62061</b> <b>Рівень повноти безпеки SIL згідно з IEC (МЭК) 62061</b>

Таким чином, для кожної із запропонованих в керівництві/довіднику «EATON/MOELLER» [6] схем управління промисловим обладнанням та його контролю, одночасно наведені характерні для них значення основних показників безпеки у відповідності до вимог EN 954-1, EN ISO 13849-1 и IEC 62061, а також приведений перелік прийнятих при цьому допущень.

Існуючий взаємозв'язок таких показників безпеки для виробничого обладнання, як PFHd, PL і SIL за стандартами EN ISO 13849 та EN ISO 13849, наведений у таблиці 2.

Таблиця 2

## Взаємозв'язок основних показників безпеки (PFHd, PL і SIL)

Рівень експлуатаційної безпеки PL	Ймовірність небезпечної відмови за год [1/год] PFHd	Рівень повноти безпеки SIL
<b>a</b>	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	Ніяких спеціальних вимог з безпеки
<b>b</b>	$\geq 3 \times 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$	<b>1</b>
<b>c</b>	$\geq 10^{-6}$ to $3 \times 10^{-6}$	<b>1</b>
<b>d</b>	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$	<b>2</b>
<b>e</b>	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$	<b>3</b>

\*Примітки: 1. **a** – вклад функцій управління в зниження ризику є найбільш низьким;

2. **e** – вклад функцій управління в зниження ризику є найбільш високим.

Приведений в даній роботі аналіз особливостей функціонування європейського та сучасного українського законодавств у сфері виробничої та промислової безпеки та наданні практичні рекомендації щодо забезпечення максимально можливого і гарантованого рівня безпеки виробничого та промислового обладнання, систем їх управління та контролю повинні сприяти більш ефективному підвищенню загального рівня виробничої та промислової безпеки в Україні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. IEC 62061 «Safety of machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems».
2. ДСТУ EN ISO 12100:2016 «Безпечність машин. Загальні принципи проектування оцінювання ризиків та зменшення ризиків».
3. ДСТУ EN 954-1:2003 «Безпечність машин. Елементи безпечності систем керування. Частина 1. Загальні принципи проектування».
4. ДСТУ EN ISO 13849-1:2016 «Безпечність машин. Деталі систем управління, пов'язані з забезпеченням безпеки. Частина 1. Загальні принципи проектування».
5. Machinery Directive: Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006. / Official Journal of the European Union — 09.06.2006. — L157. — pp. 24-86.
6. Safety Manual: «Safety technology for machines and systems in accordance with the international standards EN ISO 13849-1 and IEC 62061».
7. <http://moeller.kiev.ua/rukovodstvo-po-bezopasnosti>