

*М.Г. ПАНТЕЛЯТ, П.С. МЯСОЄДОВ*

## ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ: ОГЛЯД СИСТЕМИ ТА ОРГАНІВ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ТА ФЕДЕРАТИВНОЇ РЕСПУБЛІКИ НІМЕЧЧИНА

З червня 2022 р. Україна має статус країни кандидата на вступ до Європейського Союзу (ЄС). На шляху до вступу до ЄС Україні необхідно провести низку реформ і повністю адаптувати національне законодавство відповідно до європейських критеріїв. Це стосується і нормативної бази стосовно електромагнітної сумісності. У зв'язку з цим, у роботі розглянуто особливості, структуру та основні функції сучасної загальної системи й органів стандартизації з питань електромагнітної сумісності технічних об'єктів і систем, що діють у Європейському Союзі як на міжнародному (загальноєвропейському), так і на національному рівні. Стосовно конкретної країни-члена ЄС, у статті розгляд виконується на прикладі Федеративної Республіки Німеччини (ФРН).

**Ключові слова:** електромагнітна сумісність, стандартизація, Європейський Союз, маркування європейської відповідності.

*M.G. PANTELYAT, P.S. MIASOEDOV*

## ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF TECHNICAL OBJECTS AND SYSTEMS: OVERVIEW OF THE SYSTEM AND STANDARDIZATION BODIES OF THE EUROPEAN UNION AND THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY

Since June 2022, Ukraine has the status of a candidate country for joining the European Union (EU). On the way to the EU, Ukraine needs to carry out a number of reforms and fully adapt national legislation in accordance with European criteria. This also applies to the regulatory framework regarding electromagnetic compatibility. In this regard, the work presents the features, structure and main functions of the modern general system and standardization bodies on electromagnetic compatibility of technical objects and systems operating in the European Union at both the international (pan-European) and national levels. With regard to a specific EU member state, the paper considers the example of the Federal Republic of Germany.

**Keywords:** electromagnetic compatibility, standardization, European Union, European conformity marking.

**Вступ.** У роботі [1] виконано детальний аналіз нормативних документів (Міжнародні стандарти ІЕС, Державні стандарти України ДСТУ) з питань електромагнітної сумісності (ЕМС) технічних об'єктів і систем стосовно сучасної електроенергетики та інших галузей промисловості. Наведено та проаналізовано вимоги до перешкодостійкості до впливу магнітного поля промислової частоти.

Проблема забезпечення електромагнітної сумісності технічних об'єктів і систем є актуальною, оскільки відповідні вимоги є обов'язковими у всіх економічно розвинених країнах світу. В Україні ці вимоги також діють, хоча й у меншому обсязі, ніж, наприклад, у Європейському Союзі (ЄС). З червня 2022 р. Україна має статус країни кандидата на вступ до Європейського Союзу. На шляху до вступу до ЄС Україні необхідно провести низку реформ і повністю адаптувати національне законодавство відповідно до європейських критеріїв. Це цілком стосується і нормативної бази стосовно ЕМС.

Тому, представляє інтерес детальний аналіз сучасної системи нормативних документів ЄС з питань ЕМС, а також огляд загальноєвропейських органів стандартизації, безпосередньо відповідальних за розробку та впровадження нормативної бази з ЕМС. Також, у зв'язку з очікуваним стрімким наближенням України до Європейського Союзу, потрібно звернути увагу на національні органи та системи стандартизації з ЕМС окремих країн-членів ЄС. Отже, **метою цієї статті** є огляд сучасної загальної системи та органів стандартизації стосовно електромагнітної сумісності, що діють у Європейському Союзі як на міжнародному (загальноєвропейському), так і на національному рівні. Стосовно конкретної країни-члена ЄС, у роботі розгляд ви-

конується на прикладі Федеративної Республіки Німеччини (ФРН) [2, 3], яка є, як кажуть, «локомотивом» ЄС, тобто країною з найбільш розвинутою економікою.

**Органи стандартизації ЕМС – міжнародний рівень** (рис. 1).

- ІЕС/МЕК (International Electrotechnical Commission / Міжнародна електротехнічна комісія) [4] відповідає за стандартизацію всієї електротехніки; у питаннях ЕМС вона діє через

- CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques / Спеціальний міжнародний комітет із радіоперешкод) [5].

Рекомендації та правила, розроблені CISPR за міжнародною участю, створюють спільну технічну основу для національних нормативних документів країн-членів ЄС [6].

- CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique / Європейський комітет з електротехнічної стандартизації [7]).

CENELEC є однією з європейських організацій стандартизації (разом із ETSI – див. нижче), які офіційно визнані Європейським Союзом та Європейською асоціацією вільної торгівлі (the European Free Trade Association EFTA / ЄАВТ) [8] відповідальними за розробку та визначення добровільних стандартів на Європейському рівні [7], включно з країнами Центральної та Східної Європи.

- ETSI (European Telecommunication Standards Institute / Європейський інститут телекомунікаційних стандартів [9]).

- ІТУ/МСЕ (International Telecommunication Union / Міжнародний союз електрозв'язку) [10].

Ієрархічна структура органів стандартизації ЕМС

(міжнародний рівень) наведена на рис. 1 [2]: всередині органів є кілька технічних комітетів, в структурі яких – так звані робочі групи, що зазвичай займаються численними аспектами EMC.

INTERNATIONAL	Gremien	IEC/CISPR TC 41 Measuring Relay and Protection Equipment TC 77 EMC between Electrical Equipment Industrial Networks TC 65 Industrial Process Measurement and Control TC 45 Reactor Instrumentation TC 57 Telecontrol
	Normen	IEC Standards and Publications CISPR Publikationen und Empfehlungen
REGIONAL	Gremien	CENELEC, ETSI EG-Kommission
	Normen	TC 110-EMC Europäische Normen (EN) (Generic Standards, Basic Standards, Product Standards) EG-Rahmenrichtlinie 2004/108/EC vom 31.12.2004
NATIONAL	Gremien	DKE Bundesnetzagentur
	Normen	DIN-VDE- und DIN-Normen Verfügungen

Рис. 1. Ієрархічна структура органів стандартизації EMC [2]: пояснення основних скорочень див. у тексті

**Органи стандартизації EMC – національний рівень (ФРН).**

• DKE (Deutsche Elektrotechnische Kommission / Німецька електротехнічна комісія) (рис. 1) [6].

Підкомітети DKE працюють, у тому числі, у питаннях електромагнітної сумісності та відповідають за визначення відповідної серії національних стандартів ФРН DIN VDE та DIN.

Європейські стандарти (EN), ратифіковані (прийняті) CENELEC, повинні бути прийняті всіма країнами-членами CENELEC як ідентичні національні стандарти (у Німеччині – прийняті DKE у якості DIN EN).

Європейські стандарти CENELEC уже деякий час як сформували основу для гармонізації національних стандартів у країнах-членах ЄС.

**Європейські стандарти з EMC – поділ на класи.** Технічний комітет CENELEC 110 займається питаннями EMC, а також комплексно стандартизує основні поняття та визначення у цій сфері.

Стандарти поділяються на три класи (рис. 2):

1) Загальні стандарти: мінімальні вимоги до випромінювання перешкод і захищеності з посиланням на тип середовища (житлові, промислові, спеціальні середовища).

2) Основні стандарти: методи вимірювання та випробування, пов'язані з явищами для підтвердження EMC та необхідних обмежень (наприклад, для виробників випробувального обладнання).

3) Стандарти на продукцію: докладна інформація про налаштування вимірювання та тестування, умови роботи пристрою, що тестується, під час вимірювання чи тестування, допустимі граничні значення та суворість тестування тощо для продуктів або сімейств продуктів.

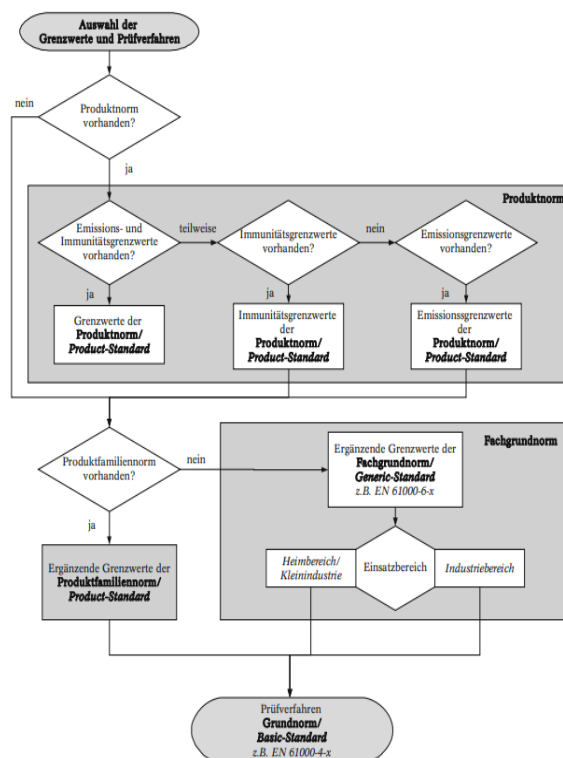


Рис. 2. Класи стандартизації [2]

**Правова основа стандартизації EMC – національний рівень (ФРН).** У ФРН недотримання передбачених законодавством стандартів з електромагнітної сумісності є адміністративним правопорушенням, яке карається великими штрафами.

Крім того, обладнання, про яке йде мова, може бути конфісковано.

Розподіл частот для радіо- та телевізійних станцій юридично регулюється ІТУ.

Федеральне мережеве агентство електроенергії, газу, телекомунікацій, пошти та залізниці (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen – Bnetz) [11] у складі Федерального міністерства економіки та боротьби зі зміною клімату:

- Контролює юридичні вимоги до EMC.
- Видає операторам дозволи на експлуатацію передавачів зв'язку, некомунікаційних генераторів радіочастот, громадських антенних систем, а також усуває радіоперешкоди тощо.

Закон ФРГ про EMC "EMVG" (від 31.12.2004) [3]:

- Стосується усіх електричних і електронних апаратів, установок і систем, що містять електричні або електронні компоненти.
- Імплементує Рамкову Директиву Ради ЄС 2004/108/EC (з 31.12.2004, замінює Рамкову Директиву 89/336/EEC [12-15]).

• Стосується дистриб'юторів (виробників та імпортерів) та операторів відповідного обладнання.

EMVG поширюється на всі електротехнічні та електронні пристрої, які:

- Щойно виготовлені в ЄС і розповсюджуються в межах ЄС.

• Імпортується новими або вживаними з третіх країн для розповсюдження в межах ЄС.

EMVG не поширюється на все електротехнічне та електронне обладнання, яке:

- Призначене для експорту за межі ЄС.
- Ввозиться з метою реекспорту.
- Тимчасово експлуатується на ярмарках і виставках.

• Вже розповсюджено в ЄС і буде перепродане вживаними.

- Аеронавігаційна продукція.
- Радіоблабнання, що використовується радіоаматорами, як визначено в Статуті та Конвенції ІТУ, якщо таке обладнання не є комерційно доступним.

• Обладнання, що має низький рівень електромагнітного випромінювання або сприяє електромагнітному випромінюванню настільки мало, що дозволяє радіо- та телекомунікаційному обладнанню та іншому обладнанню працювати за призначенням без неприємного погіршення під впливом електромагнітних завад, які зазвичай виникають під час їх використання.

- Військова техніка.

Закон ФРГ про телекомунікації "TKG" (від 23.06.2021) [16]:

• Стосується надання ліцензій на встановлення та експлуатацію телекомунікаційних систем і обладнання, наприклад, радіопередавачів, телефонів, телеграфу, факсів тощо.

• Замінює Закон ФРН про телекомунікаційні установки "FAG" (скасування монополії зв'язку Федеральної пошти) [17].

Юридично необов'язкові (незобов'язуючі) стандарти.

Це – переважно галузеві стандарти без юридичної сили. Приклади:

- Стандарти перешкодостійкості NANUR хімічної промисловості.
- Стандарти ISO автомобільної промисловості.
- Стандарти RTCA-EUROCAE авіаційної промисловості.
- Стандарт ASTM для вимірвальних елементів (ефективність екранування пластмас).

• Стандарти оборонного обладнання (VG) BAANBw (Федеральне відомство з обладнання, інформаційних технологій та використання збройних сил Німеччини).

- Американські військові стандарти (Mil-Stds).

**Європейська відповідність CE з питань EMC та її отримання.** Маркування CE (рис. 3, абревіатура фр. Conformité Européenne – європейська відповідність) – спеціальний знак, який наноситься на виріб та засвідчує, що виріб відповідає основним вимогам директив ЄС і гармонізованим стандартам Європейського Союзу, а також те, що продукт пройшов процедуру оцінки відповідності директивам. Маркування CE вказує на те, що виріб не є шкідливим (небезпечним) для здоров'я його споживачів, а також нешкідливий для навколишнього середовища. При цьому [2]:

• Маркування відповідності CE вимагає декларації про відповідність (сертифікату відповідності, CoC –

Certificate of Conformity) для пристроїв і систем у ЄС (не для окремих деталей та компонентів від постачальників).

• Запроваджена обов'язковість маркування CE для компонентів і вузлів на ринку ЄС.

• Під вимогу маркування підпадають «граничні» випадки, наприклад блоки живлення.

• «Стационарне» («нерухоме») обладнання (наприклад, цілісні підприємства) не потребує маркування CE.

Процедура отримання відповідності CE детально описана у [2] (рис. 4).



Рис. 3. Маркування відповідності CE: позначка та її дизайн

Слід зазначити, що у ФРН на національному рівні введено також [2] маркування VDE-EMV (рис. 5) як додатковий знак випробування та сертифікації стосовно відповідності вимогам з EMC. Для сертифікації продукції залучаються «уповноважені органи» (випробувальні лабораторії), які гарантують кінцевому користувачеві повну відповідність стандартам стосовно EMC. Приклад – випробувальний центр Німецької асоціації електричних, електронних та інформаційних технологій VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. [18].

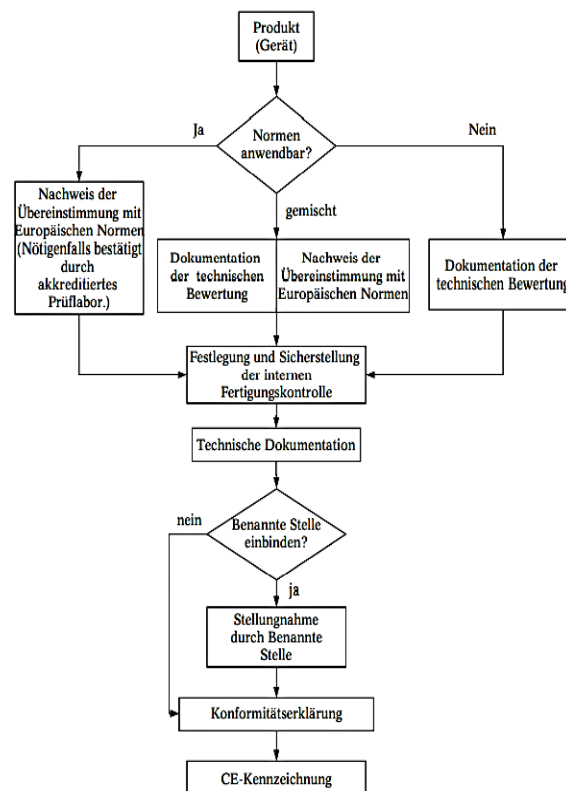


Рис. 4. Отримання відповідності CE [2]



Рис. 5. Маркування VDE-EMV (ФРН)

**Висновки.** Розглянуто особливості, структуру та основні функції сучасної загальної системи й органів стандартизації з питань електромагнітної сумісності технічних об'єктів і систем на міжнародному рівні у рамках Європейського Союзу, а також на національному рівні на прикладі Федеративної Республіки Німеччини. Детальний аналіз відповідних міжнародних і національних нормативних документів планується виконати у наступних публікаціях.

**Підтримка виконання роботи.** Робота виконана в рамках проекту “СЕМ+ЕМС@NTU-КхPI” Німецької служби академічних обмінів (DAAD) за програмою “Ukraine digital: Ensuring academic success in times of crisis” [19, 20]. Автори вдячні проф. Маркусу Клеменсу, Бергський університет м. Вупперталь, Німеччина (Prof. Markus Clemens, Bergische Universität Wuppertal, Germany) за курс лекцій з питань електромагнітної сумісності (ЕМС) технічних систем (Elektromagnetische Verträglichkeit technischer Systeme / Electromagnetic Compatibility of Technological Systems) [21], люб'язно наданий ним у рамках зазначеного проекту.

**Acknowledgment.** The work was carried out within the framework of the project “СЕМ+ЕМС@NTU-КхPI” of the German Academic Exchange Service (DAAD) under the program “Ukraine digital: Ensuring academic success in times of crisis” [19, 20]. The authors are grateful to Prof. Markus Clemens, Bergische Universität Wuppertal, Germany for a course of lectures on electromagnetic compatibility (EMC) of technological systems (Elektromagnetische Verträglichkeit technischer Systeme / Electromagnetic Compatibility of Technological Systems) [21] kindly provided by him within the framework of the specified project.

#### Список літератури

1. Король Е. Г., Пантелія М. Г. Вимоги щодо електромагнітної сумісності технічних засобів на об'єктах електроенергетики і промисловості, *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: *Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика*, 2013, 15(988), с. 35–60.
2. Schwab A.J., Kürner W. *Elektromagnetische Verträglichkeit*. – 6., bearb. und aktualisierte. – Heidelberg: Springer, 2011. – 545 p. ISBN 978-3-642-16609-9.
3. Bundesnetzagentur - [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Technik/TechnischeVertraeglichkeit/EMVG20080226pdf.pdf?jsessionid=3BED7DA33B4A324068013D96ECAEEE7D?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Technik/TechnischeVertraeglichkeit/EMVG20080226pdf.pdf?jsessionid=3BED7DA33B4A324068013D96ECAEEE7D?__blob=publicationFile&v=2)
4. IEC - <https://www.iec.ch/homepage>
5. IEC - CISPR Dashboard > Scope - [https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:0:::FSP\\_ORG\\_ID,FSP\\_LANG\\_ID:1298,25](https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1298,25)
6. DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE - <https://www.dke.de/de>
7. CEN-CENELEC - CEN-CENELEC - <https://www.cencenelec.eu/>
8. European Free Trade Association - [www.efta.int](http://www.efta.int)
9. ETSI - Welcome to the World of Standards! - <https://www.etsi.org/>
10. ITU: Committed to connecting the world -

11. Bundesnetzagentur - [https://www.bundesnetzagentur.de/EN/Home/home\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/EN/Home/home_node.html)
12. DIRECTIVE 2004/108/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:390:0024:0037:EN:PDF>
13. Директива № 2004/108/ЄС від 15.12.2004 Європейського Парламенту і Ради ЄС про зближення законодавств держав-членів ЄС відносно електромагнітної сумісності і про відміну Директиви 89/336/ЄЄС. Редакція від 15.12.2004 - [https://zakononline.com.ua/documents/show/245590\\_\\_\\_245655](https://zakononline.com.ua/documents/show/245590___245655)
14. Повідомлення комісії «Блакитна настанова» з імплементації правил ЄС щодо продуктів 2016 року від 26.07.2016 № COM/2007/0287 [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_015-16#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_015-16#Text)
15. ДСТУ-Н 7730:2015 Настава щодо застосування Директиви 2004/108/ЄС (Guide for the EMC Directive 2004/108/EC:2010, IDT) - [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=66871](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66871)
16. Telekommunikationsgesetz (TKG) - [https://www.gesetze-im-internet.de/tkg\\_2021/TKG.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/tkg_2021/TKG.pdf)
17. Telekommunikationsgesetz (TKG): telecommunications act: ITWissen.info - <https://www.itwissen.info/Telekommunikationsgesetz-TKG-telecommunications-act.html>
18. VDE - die Technologie-Organisation - <https://www.vde.com/de>
19. Ukraine digital: Ensuring academic success in times of crisis – DAAD - <https://www.daad.de/en/information-services-for-higher-education-institutions/further-information-on-daad-programmes/ukraine-digital/>
20. Allgemeine Vorlage zur Erstellung von Word-Dokumenten (Querformat) - [https://static.daad.de/media/daad\\_de/pdfs\\_nicht\\_barrierefrei/%C3%9Cb%C3%B6rderte%20projekte%20ukraine%20digital%202022.pdf](https://static.daad.de/media/daad_de/pdfs_nicht_barrierefrei/%C3%9Cb%C3%B6rderte%20projekte%20ukraine%20digital%202022.pdf)
21. Clemens M. *Electromagnetic Compatibility of Technical Systems*. – Lecture notes. Wintersemester 2022/2023. – Wuppertal: University of Wuppertal, 2022.

#### References (transliterated)

1. Korol E.G., Pantelyat M.G. Requirements on electromagnetic compatibility in industry and power industry. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. *Problemy vdoskonaliuvannya elektrichnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka*. 2013. No. 15 (988). pp. 35-60.
2. Schwab A.J., Kürner W. *Elektromagnetische Verträglichkeit*. – 6., bearb. und aktualisierte. Heidelberg: Springer, 2011. 545 p. ISBN 978-3-642-16609-9.
3. Bundesnetzagentur - [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Technik/TechnischeVertraeglichkeit/EMVG20080226pdf.pdf?jsessionid=3BED7DA33B4A324068013D96ECAEEE7D?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Technik/TechnischeVertraeglichkeit/EMVG20080226pdf.pdf?jsessionid=3BED7DA33B4A324068013D96ECAEEE7D?__blob=publicationFile&v=2)
4. IEC - <https://www.iec.ch/homepage>
5. IEC - CISPR Dashboard > Scope - [https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:0:::FSP\\_ORG\\_ID,FSP\\_LANG\\_ID:1298,25](https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1298,25)
6. DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE - <https://www.dke.de/de>
7. CEN-CENELEC - CEN-CENELEC - <https://www.cencenelec.eu/>
8. European Free Trade Association - [www.efta.int](http://www.efta.int)
9. ETSI - Welcome to the World of Standards! - <https://www.etsi.org/>
10. ITU: Committed to connecting the world - <https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>
11. Bundesnetzagentur - [https://www.bundesnetzagentur.de/EN/Home/home\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/EN/Home/home_node.html)
12. DIRECTIVE 2004/108/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:390:0024:0037:EN:PDF>
13. Dyrektyva 2004/108/JeS від 15.12.2004 Jevropejskoho Parlamentu і Rady JeS pro zbyzennja zakonodavstv derzav-členiv JeS vdnosno elektromahnitnoji sumisnosti і pro vid-minu Dyrektyvy 89/336/JeES. Redakcija vid 15.12.2004 - [https://zakononline.com.ua/documents/show/245590\\_\\_\\_245655](https://zakononline.com.ua/documents/show/245590___245655)
14. Povidomlennia komisii «Blakytina nastanova» z implementuvannia pravyl YeS shchodo produktiv 2016 roku vid 26.07.2016 № COM/2007/0287 [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_015-16#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_015-16#Text)
15. Guide for the EMC Directive 2004/108/EC:2010, IDT - [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=66871](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66871)
16. Telekommunikationsgesetz (TKG) - [https://www.gesetze-im-internet.de/tkg\\_2021/TKG.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/tkg_2021/TKG.pdf)

17. Telekommunikationsgesetz (TKG) :: telecommunications act :: (Querformat) -  
ITWissen.info - [https://static.daad.de/media/daad\\_de/pdfs\\_nicht\\_barrierefrei/%C3%9Cbersicht\\_gef%C3%B6rderte\\_projekte\\_ukraine\\_digital\\_2022.pdf](https://static.daad.de/media/daad_de/pdfs_nicht_barrierefrei/%C3%9Cbersicht_gef%C3%B6rderte_projekte_ukraine_digital_2022.pdf)  
<https://www.itwissen.info/Telekommunikationsgesetz-TKG-telecommunications-act.html>
18. VDE - die Technologie-Organisation - <https://www.vde.com/de>
19. Ukraine digital: Ensuring academic success in times of crisis – DAAD - <https://www.daad.de/en/information-services-for-higher-education-institutions/further-information-on-daad-programmes/ukraine-digital/>
20. Allgemeine Vorlage zur Erstellung von Word-Dokumenten
21. Clemens M. Electromagnetic Compatibility of Technical Systems. – Lecture notes, Wintersemester 2022/2023.– Wuppertal: University of Wuppertal, 2022.

*Поступила (received) 27.04.23*

*Відомості про авторів / About the authors*

**Пантелят Михайло Гаррійович (Panteliat Mykhailo Garrijovich)** – кандидат фізико-математичних наук, старший дослідник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1357-2134>; e-mail: [m150462@yahoo.com](mailto:m150462@yahoo.com).

**Мясоєдов Павло Сергійович (Miasoedov Pavlo Sergijovich)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант, кафедра електричних апаратів; м. Харків, Україна; e-mail: [pavel.myasoedov.97@gmail.com](mailto:pavel.myasoedov.97@gmail.com).