

*О.В. Шаповалов канд.техн.наук, А.С. Лин, канд.техн.наук, доцент,  
І.П. Кравець канд.техн.наук, доцент, А.П. Кушнір канд.техн.наук, доцент  
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОНОМНОГО ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ З АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ**

Розглянуто проблему забезпечення електричним живленням внутрішнього протипожежного водопостачання та шляхи її вирішення. Проаналізовано відомі схеми перетворення напруги із використанням перетворювачів частоти та каскадних інверторів напруги. Розглянуто параметри вихідних напруг різних схем перетворення напруги, їх переваги та недоліки. Запропоновано схему активного резервування електроживлення внутрішнього протипожежного водопостачання з використанням акумуляторних батарей та каскадних інверторів напруги, який забезпечує формування кривої вихідної напруги автономного інвертора напруги і зменшує вміст вищих гармонік у складі напруги на виході перетворювача частоти.

**Ключові слова:** автономне електроживлення, внутрішнє протипожежне водопостачання, акумуляторні батареї, інвертори напруги

*O. Shapovalov, A. Lyn, I. Kravets, A. Kushnir*

## **OPTIMIZATION OF ELECTRICAL PARAMETERS OF THE AUTONOMOUS SOURCE OF ELECTRIC POWER SUPPLY OF INTERNAL FIRE-FIGHTING WATER SUPPLY WITH ACCUMULATED BATTERIES**

The article deals with the problem of providing the internal fire water supply with electrical power and ways to solve it. The existing schemes of voltage conversion using frequency converters and cascaded voltage inverters are analyzed. The parameters of the output voltages of various voltage conversion circuits, their advantages and disadvantages are considered. An active redundant power supply scheme for internal fire-fighting water supply using battery cells and cascade voltage inverters is proposed that ensures the formation of the curve of the output voltage of the AIN and reduces the content of higher harmonics in the voltage at the IF output.

**Keywords:** autonomous power supply, internal fire-fighting water supply, storage batteries, voltage inverters.

**Вступ.** На сьогодні область використання електропривода є дуже широка та охоплює різні галузі народного господарства, а саме: енергетику (різного виду насоси, повітродувні та димовитяжні вентилятори), нафтову і газову промисловість (бурові установки, насоси та компресори), вугільну і гірничорудну промисловість (екскаватори, конвеєри, шахтні підйомники, насоси, вентилятори і т. д.), хімічну і нафтохімічну, деревообробну і целюлозно-паперову промисловість, легку і харчову, комунальне господарство (насоси міських систем водопостачання), а також галузі цивільної безпеки, а саме: автоматичні системи пожежогасіння, системи протидимного захисту, внутрішнє протипожежне водопостачання тощо. Електропривод може виконувати не лише функцію перетворення і передачі електроенергії, що використовується для приведення в рух виконавчих органів автоматичних систем протипожежного захисту, але і функцію керування, яка безпосередньо бере участь у заданому процесі, визначає його якість, продуктивність і ефективність енергоспоживання. Тому до електроприводів ставляться високі вимоги і вони швидко вдосконалюються.

**Постановка задачі.** Електропривод внутрішнього протипожежного водопостачання є елементом цілої системи. Він бере участь в технологічному процесі – процесі подачі води з розрахунковим тиском до осередку пожежі – разі необхідності і протягом заданого часу. У працях [1, 2, 3] показано, що найбільшою проблемою для якісної роботи електропривода, у разі живлення асинхронного двигуна (АД) від перетворювача частоти (ПЧ) з автономним інвертором напруги (АІН), а отже збільшення витрати електроенергії і, як наслідок, зменшення часу роботи, є коливні моменти, які виникають внаслідок взаємодії магнітних полів від струмів вищих гармонік ротора з полями статора. Вони утворюються в результаті взаємодії всіх полів, утвореними вищими гармоніками напруг. Практично в електроприводах наявні тільки ті моменти, які виникають в процесі взаємодії струмів вищих гармонік ротора, що за порядком найближчі до першої (5-а і 7-а, 11-а і 13-а), з магнітним полем першої (основної) гармоніки.

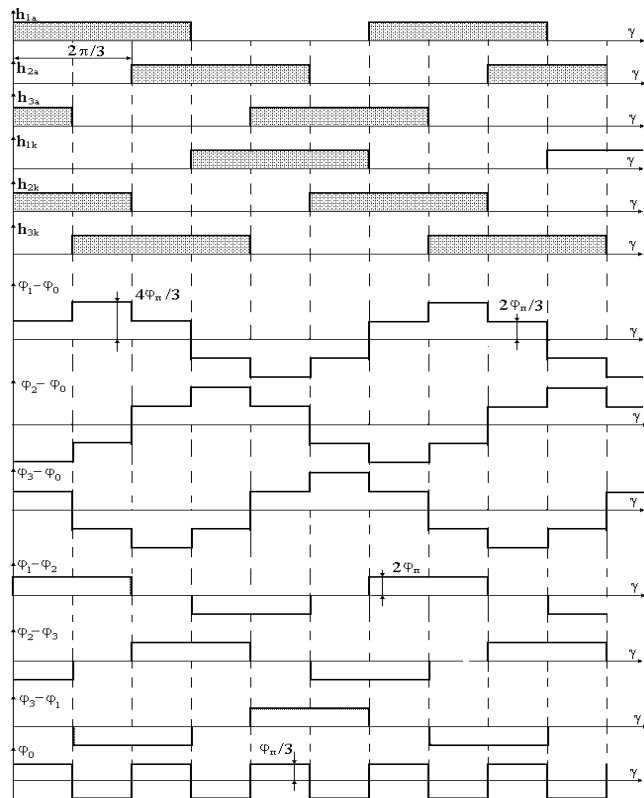
**Виклад основного матеріалу.** Умовами забезпечення якості напруги живлення електропривода внутрішнього протипожежного водопостачання є формування трифазної системи симетричних напруг на виході ПЧ з АІН можливе за умови, що між моментами включення вентилів в анодній і катодній групі відбувається зміщення на кут  $\rho = 2\pi/3$ . Для вищих гармонік це зміщення буде визначатися як:  $\rho_j = (2\pi/3)j$ , де  $j=1,5,7,11,13,\dots,n+1$ - порядковий номер гармоніки. В асинхронному двигуні (АД), що живиться такою напругою, виникають обертові магнітні поля, які для одних гармонік (7,13,19,..) збігаються з напрямком обертання основного поля, а для інших (5,11,17,...) – обертаються в протилежному напрямку, створюючи гальмівні моменти.

$$\rho_5 = (2\pi / 3)5 = 10\pi / 3 = (12\pi / 3) - (2\pi / 3) = -2\pi / 3 ,$$

$$\rho_7 = (2\pi / 3)7 = 14\pi / 3 = (12\pi / 3) + (2\pi / 3) = +2\pi / 3 .$$

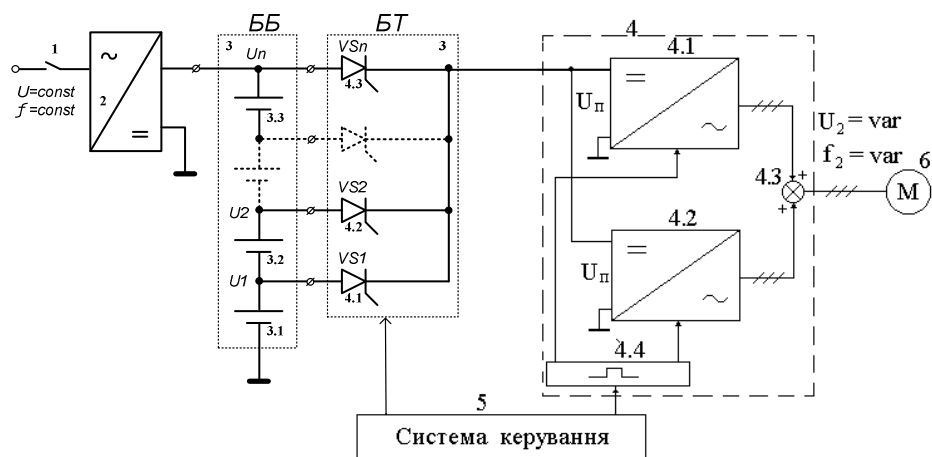
У схемах електропривода типу каскадний інвертор напруги – асинхронний двигун «КІН-АД» АІН з'єднують паралельно по вхідному колу, а вихідними колами під'єднують до АД через елементи сумування [4], які працюють за однаковим алгоритмом, показаним на рис. 1.

Враховуючи те, що між моментами включення вентилів окремих АІН у часі є зміщення, яке забезпечується між фазними напругами завдяки схемам з'єднань обмоток сумуючих елементів (трансформаторів), в схемі КІН можлива часткова або повна компенсація вищих гармонік, оскільки при таких зміщеннях вони знаходяться в протифазі.



**Рисунок 1** – Діаграма роботи вентилів АИН та криві напруг

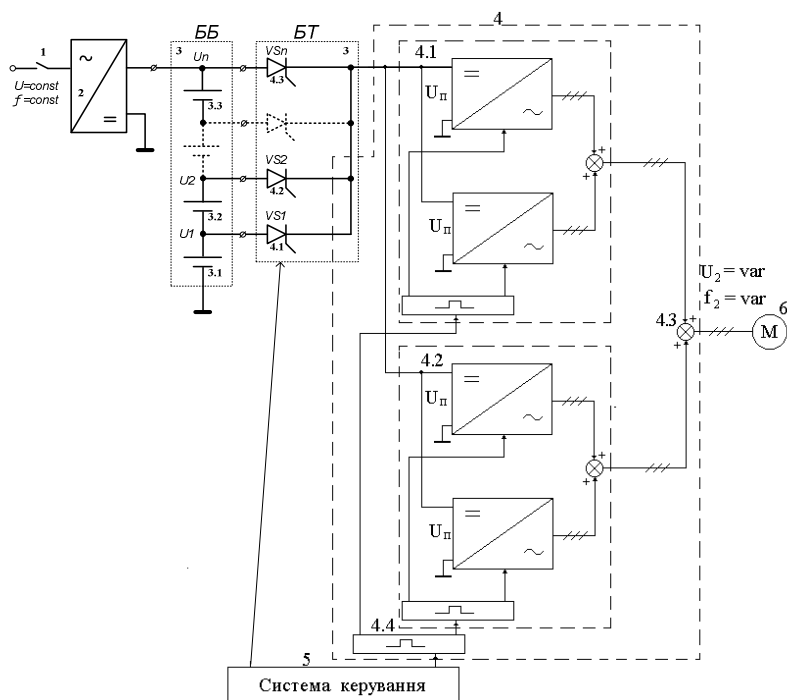
Тому, при правильному розрахунку співвідношення витків або коефіцієнтів трансформації сумуючих трансформаторів, вказані гармоніки при додаванні будуть компенсуватися. Оскільки в схемі КИП використовуються АИН з  $\lambda = 2\pi/2$ , то в цьому випадку на виході перетворювача частоти незалежно від величини навантаження будуть формуватися напруги квазісинусоїдної форми.



**Рисунок 2** – Блок-схема електропривода з КИП (K2AИН-АД)

У схемі (рис.2) амплітуда напруги  $U_2$  регулюється керуванням випрямлячем (КВ) або підключенням визначеної кількості акумуляторних батарей (АБ) з блока батарей (ББ) які

здійюються за допомогою комутаційного блока тиристорів (БТ), а частота  $f_2$  - шляхом зміни в часі тривалості включення вентилів АІН. В усталеному режимі вентиля АІН4.1 і АІН4.2 працюють з однаковою тривалістю в строгій відповідності до заданої частоти і мають зміщення в часі. Формування напруг на виході ПЧ відбувається в результаті додавання у вузлі 4.3 фазних напруг з виходів АІН4.1 і АІН4.2, що мають фазове зміщення, яке вноситься системою керування 5 внаслідок запізнення в часі між моментами включення вентилів АІН, та зміщення, яке забезпечується у вузлі.



**Рисунок 3** – Блок-схема електропривода з КІН (К:2К2АИ-АД)

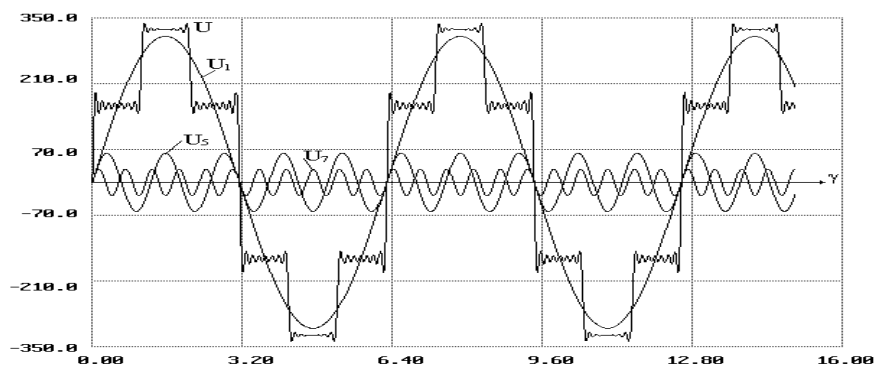
В схемі зображеній на рис. 3, формування напруги на виході ПЧ електропривода відбувається аналогічно як у схемі, показаній на рис. 2. Напруга мережі  $U_1$  частотою  $f_1$  подається на вхід блока 4, що складається з 2-х блоків 4.1 і 4.2 (розглянутих вище каскадів К2АИН), які, в свою чергу, утворюються з 2-х однакових АИН. Каскади К2АИН4.1 і К2АИН4.2 по вхідному колу з'єднані паралельно, вихідними – через вузол 4.3 (сумуючий трансформатор).

З двох схем К:2К2АИН можна створити нову схему каскаду, тобто кількість АИН у схемі КІН можна таким чином збільшувати.

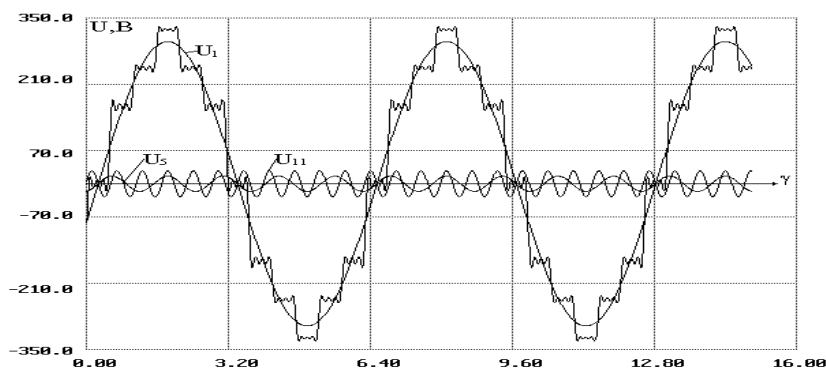
У схемах електропривода з КІН, залежно від кількості інверторів і схеми з'єднання обмоток сумуючих трансформаторів, можна повністю або частково компенсувати усі вищі гармоніки, що за порядком найближчі до першої, які чинять найбільший негативний вплив на роботу електропривода.

Тому можна стверджувати, що проблему ефективного використання обмеженого запасу електричної енергії АБ з метою забезпечення резервування електроживлення приводного АБ водяного насоса внутрішнього протипожежного водопостачання можна успішно вирішити, якщо провести заміну нерегульованого електропривода на регульований, використовуючи схему «КІН-АД».

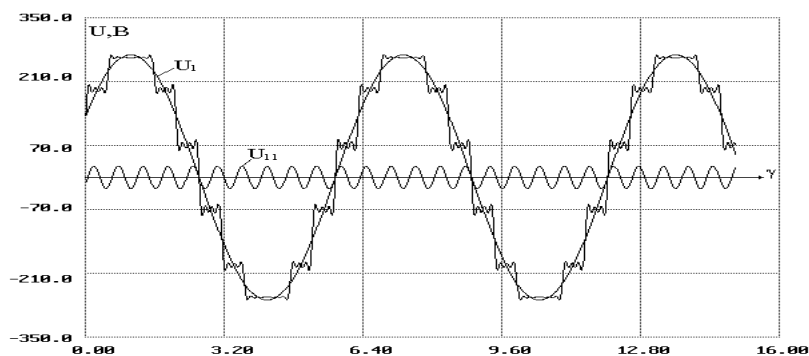
Результати розрахунків показують залежності напруг від часу, які показані на рисунках 4-7. Для оцінки несинусоїдності напруг використано коефіцієнти відносної присутності окремих гармонік  $K_j$  і коефіцієнт гармонік  $K_r$  [5, 6, 7]. Значення цих коефіцієнтів розраховані для кожної схеми і представленні у вигляді гістограм (рис. 8-11).



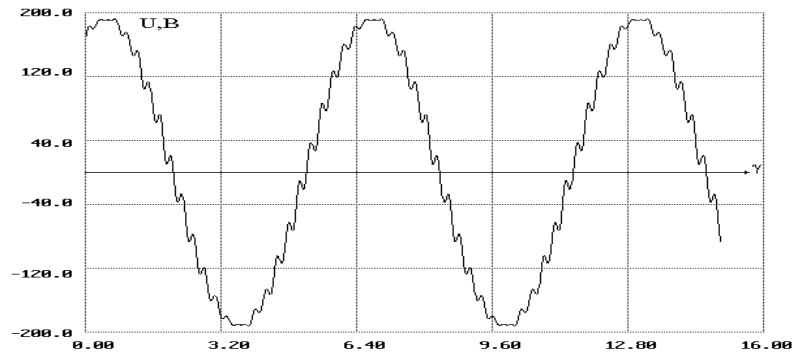
*Рисунок 4 – Залежності напруги і 1-ї, 5-ї та 7-ї гармонік (АІН)*



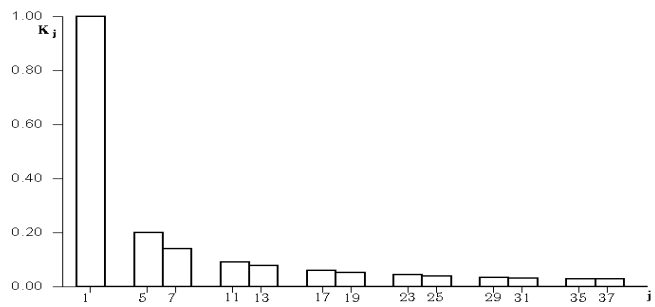
*Рисунок 5 – Залежності напруги і 1-ї, 5-ї та 11-ї гармонік (К2АІН-АД, Y/Y-Y/Y)*



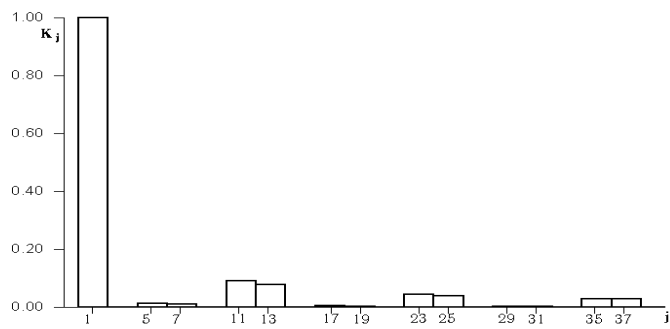
*Рисунок 6 – Залежності напруги і 1-ї та 11-ї гармонік (К2АІН-АД)*



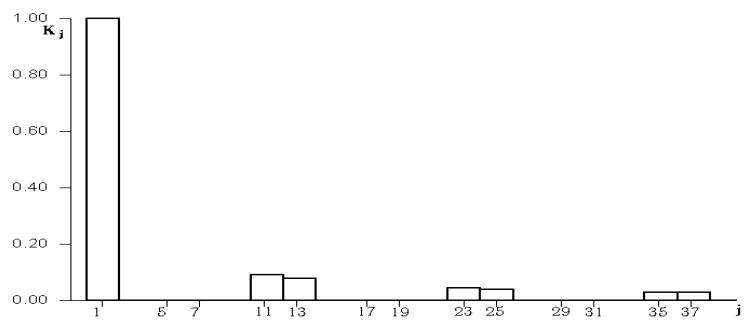
**Рисунок 7** – Залежність фазної напруги (К:2К2АІН-АД)



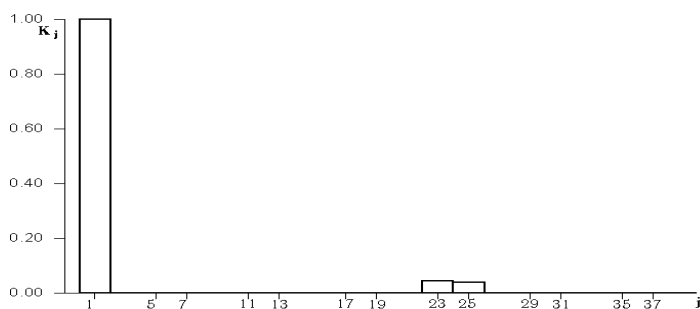
**Рисунок 8** – Гістограма гармонічного складу напруги (АІН)



**Рисунок 9** – Гістограма гармонічного складу напруги (К2АІН, Y/Y-Y/Y)



**Рисунок 10** – Гістограма гармонічного складу напруги (К2АІН)



**Рисунок 11** – Гістограма гармонічного складу напруги (K:2K2A1H)

Найбільший вплив на характер зміни електромагнітного моменту АД мають такі пари гармонік як: 5-а і 7-а; 11-а і 13-а. Відсутність у схемі керування приводного АД водяного насоса внутрішнього протипожежного водопостачання K:2K2A1H вказаних гармонік дає можливість стверджувати, що вказана схема керування є найбільш сприятливою для систем які живляться від джерел з обмеженим запасом електричної енергії.

**Висновки.** Одним із способів формування кривої вихідної напруги перетворювача частоти є спосіб, що базується на з'єднанні трифазних мостових інверторів напруги з однократною комутацією і тривалістю пропускнуго стану вентилів  $\lambda = 2\pi/2$  у каскадні схеми. З'єднання інверторів в каскад дає змогу будувати уніфіковані схеми перетворювачів напруги, які складаються з однотипних модулів (A1H) та сумуючих трифазних трансформаторів. Таке з'єднання двох блоків A1H у каскад дає змогу компенсувати в складі напруги в навантаженні всі гармоніки з ряду  $j=6k \pm 1$ , де k – непарне число, тобто 5-у і 7-у, 17-у і 19-у і т. д. тим самим уникнути негативних впливів на електромеханічну систему внутрішнього протипожежного водопостачання, яка живиться від автономного джерела живлення з акумуляторними батареями. Це дає змогу зменшити втрати електроенергії, а отже збільшити час роботи вказаної системи.

#### Список літератури

1. Плахтина О. Г. Математичне моделювання процесів в електроприводі з каскадним інвертором напруги / Плахтина О. Г., Боднар Г. Й., Куцик А. С., Плахтина І. О. // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Електроенергетичні та електромеханічні системи". – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2000. – №400. – С.122-126.
2. Вербовой П. Ф. Улучшение характеристик и повышение эффективности использования асинхронных двигателей / Вербовой П. Ф. // Технічна електродинаміка. – 1997. – №3. – С.51-56.
3. Шумилов Ю. А. Исследование магнитных вибро-возмущающих сил асинхронного двигателя при питании от статического преобразователя частоты / Шумилов Ю. А., Герасимчук В. П. // Техническая электродинамика. – 1997. – №4. – С.44-47.
4. Плахтина О. Г. Дослідження системи "каскадний інвертор напруги – асинхронний двигун" / Плахтина О. Г., Боднар Г. Й., Куцик А. С. // Вісник ХДТУ. Спец. випуск

"Проблемы автоматизированного электропривода". – Харків: Вид-во ХДТУ. – 1998. – С.281-282.

5. Руденко В. С. Преобразовательная техника Руденко В. С., Сенько В. И., Чиженко И. М. – Киев: Изд-во "Вища школа", 1978. – 424с.

6. Боднар Г. Й. Розробка автономного джерела живлення для протипожежних систем внутрішнього водопостачання / Г. Й.Боднар, О. В. Шаповалов // Збірник наукових праць «Пожежна безпека» – Л.: ЛДУ БЖД, 2012, – №20. – С.180-186.

7. Боднар Г. Й. Акумуляторні батареї в автономних установках для живлення систем протипожежної автоматики / Г. Й. Боднар, О. В. Шаповалов // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Техногенна безпека, теорія, практика, інновації». – Л.: ЛДУ БЖД, 2009.-176с.

### References

1. Plahtyna A. G., Bodnar H. Y., Kytsuk A. S., Plahtyna I. O. Mathematical modeling of a cascade of electric voltage inverter // Herald "Lviv Polytechnic", "Electricity and Electrical system" .- Lviv: Printed "Lviv Polytechnic" .- 2000.- №400.- s.122- 126. (in Ukr)

2. P. F. Verbovoy Improvement and Increase performance efficiency Using asynchronous engines // Technical elektrodynamika.-1997.-№3.-s.51-56. (in Rus)

3. Shumilov Y. A., Gerasymchuk V. P. Study of magnetic forces Disturbing Vibro-induction engine with POWER from static converter frequency // Tehnycheskaya elektrodynamyka.-1997.- №4.- with. 44-47. (in Rus)

4. Plahtyna A. G., Bodnar H. Y., Kytsuk A. S. The study of " Cascaded voltage inverter - induction motor" // Bulletin HDTU. Spec. vypusk "Problems automatic Elektroprivod" .- Kharkov: Printed HDTU., 1998.- p. 281-282. (in Ukr)

5. Rudenko V. S., Senko V. I., Chyzenko I. M. converter tehnyka.- Kiev: Publishing House "High School", 1978.- 424s. (in Rus)

6. Bodnar H. Y. The development of independent power supply for fire protection of internal water / H. Y. Bodnar, O. V. Shapovalov // Proceedings of "Fire Safety" - L .: LSULS, 2012 - P. 180-186. - №20. (in Ukr)

7. Bodnar H. Y. Batteries in stand-alone units to power the automation of fire / H. Y. Bodnar, O. V. Shapovalov // International scientific and practical conference "Techno Security, theory, practice and innovation"- L .: LSULS, 2009 - 176 P. (in Ukr)

Ми Шаповалов Олег Валерійович, Лин А.С., Кравець Ігор Пертрович, Кушнір Андрій Петрович " ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОНОМНОГО ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОАСТАЧАННЯ З АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ", засвідчуємо, що вона чесно презентує самостійно проведені дослідження і не містить плагіату.

Автори гарантують, що ними одержано всі необхідні дозволи на використання у статті матеріалів, що охороняються авторським правом.

Автори гарантують, що стаття підготовлена спеціально для наукового фахового журналу "Пожежна безпека", ніде раніше не публікувалася і не подана до інших видань.



А.С. Лин  
І.П.Кравець  
А.П.Кушнір