

УДК 621.311.61

*О.В. Шаповалов к.т.н., І.П.Кравець к.т.н., доцент, (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВНУТРІШНЬОГО ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ З АВТОНОМНИМ ДЖЕРЕЛОМ**

Визначена проблема у сфері забезпечення протипожежного захисту об'єктів з ризиком масової загибелі людей, які розташовані у віддалених від адміністративних центрів районах, проаналізовано існуючі джерела автономного живлення, які можна використовувати для резервування електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання та запропоновано напрямок підвищення рівня функціонування вказаної системи шляхом впливу на роботу автономного джерела з акумуляторними батареями та автономними інверторами напруги для забезпечення нормативних параметрів її роботи.

**Ключові слова:** акумуляторна батарея, автономне живлення, протипожежне водопостачання.

*О.В.Шаповалов к.т.н., И.П.Кравец к.т.н., доцент (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВНУТРЕННЕГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОПРОВОДА С АВТОНОМНЫМ ИСТОЧНИКОМ**

Определена проблема в сфере обеспечения противопожарной защиты объектов с риском массовой гибели людей, которые расположены в удаленных от административных центров районах, проанализированы существующие источники автономного питания, которые возможно использовать для резервирования электропитания системы внутреннего противопожарного водоснабжения и предложено направление повышения уровня функционирования указанной системы путем влияния на работу автономного источника с аккумуляторными батареями и автономными инверторами напряжения для обеспечения нормативных параметров ее работы.

**Ключевые слова:** аккумуляторная батарея, автономное питание, противопожарное водоснабжение.

*O.V.Shapovalov Candidate of Science (Engineering), I.P. Kravets Candidate of Science (Engineering), Docent (Lviv State University of Life Safety)*

## **IMPROVING THE FUNCTIONING OF THE INTERNAL FIRE LINE WITH INDEPENDENT POWER SUPPLY**

In this article a specific problem in the field of fire protection facilities with the risk of mass death of people who are located in remote areas of administrative centers, analyzed the existing autonomous power sources that can be used for backup power supply system of internal fire water supply and directions of improving the functioning of this system by interfere with the operation of an independent source with batteries and autonomous invertorami voltage for making a normative parameters of its work.

**Key words:** storage battery, autonomous feed, fire-prevention water-supply.

**Актуальність теми.** Істотне збільшення кількості надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру по всій території України, які призводять до знеструмлення об'єктів, міст і цілих районів, вимагає по новому подивитись на проблему

енергозабезпечення об'єктів та розробки альтернативних автономних джерел електричної енергії, які б забезпечували безперебійну роботу систем протипожежного захисту.

У системах протипожежного захисту (СППЗ), зокрема системах внутрішнього протипожежного водопостачання, для приводу насоса використовуються асинхронні двигуни (АД), для нормальної роботи яких необхідно забезпечити трифазну напругу синусоїдальної форми. Таку напругу можна формувати трифазною генераторною установкою або трифазним інвертором напруги, що живиться від акумуляторних батарей (АБ).

Використання нових сучасних матеріалів та технологій у виготовленні акумуляторних батарей дає можливість значно розширити сферу їх використання і застосовувати в якості вторинного джерела енергії для живлення електроспоживачів різного призначення в тому числі споживачів змінного струму СППЗ. Таким чином, застосування схем автономних джерел для резервування живлення електроприводу водяних насосів води системи внутрішнього протипожежного водопостачання (ВПВ) з використанням акумуляторних батарей та інверторів напруги, як альтернативи до схем з використанням генераторних установок з двигунами внутрішнього згорання, а також створення алгоритмів керування цими джерелами для забезпечення нормативних параметрів роботи протипожежного водопостачання є актуальною задачею, яка має наукове та практичне значення.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у вперше запропонованому способі регулювання параметрів живлення приводного насоса системи внутрішнього протипожежного водопостачання, що живиться від автономного джерела живлення, яке складається з акумуляторних батарей та автономних інверторів напруги, який поєднує одночасний контроль та регулювання величини напруги та частоти.

Для прикладу в обґрунтуванні алгоритму роботи системи керування роботою внутрішнього протипожежного водопостачання розглянемо базу відпочинку «Захар Беркут», яка розташована в с. Волосянка Сколівського району Львівської області. Це п'ятиповерхова цегляна будівля з дерев'яною двосхилою покрівлею, об'ємом до 5000 м<sup>3</sup>, п'ятий поверх – мансардний, висота поверху становить 2,6 м. База обладнана двома протипожежними водоймами, які розташовані на 5 м вище нульової відмітки (рівня підлоги першого поверху) на відстані 80 м від будівлі. У відповідності до таблиць 3 [2] для захисту вказаного об'єкта застосовується внутрішній протипожежний водопровід із гасінням одним стволом з витратою 2,5 л/с. [2]. Беручи до уваги, що вказаний об'єкт облаштований внутрішнім протипожежним водопроводом діаметром 50 мм, пожежні кран-комплекти обладнані ручними пожежними стволами з діаметром насадки 16 мм, а висота компактної частини струменя повинна становити 6 м витрата на гасіння імовірної пожежі повинна корегуватись

за табл.5 [2] і становить 2,6 л/с. Будова водопровідної мережі внутрішнього протипожежного водопостачання бази відпочинку «Захар Беркут» зображена на рис. 1.

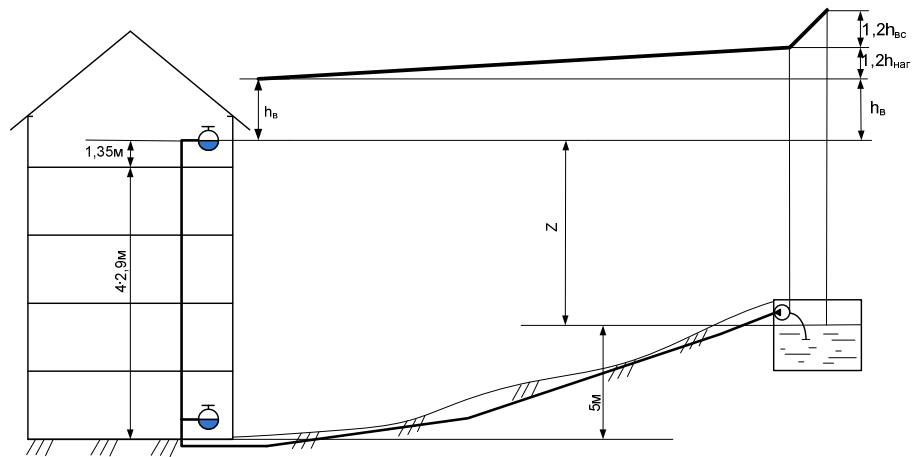


Рисунок – 1 Схема водопровідної мережі:  $h_B$  – висота компактної частини струменя (6 м);  $h_{НАГ}$  – висота підйому води у нагнітальній мережі (7,95 м);  $h_{BC}$  – висота підйому води у всмоктувальній мережі

Напір води, який повинен забезпечувати водяний насос визначаємо за формулою

$$H_{\text{нас}} = H_{g \text{ com}} + \sum H_{l \text{ tot}} + H, \quad (1)$$

де  $H_{g \text{ com}}$  – висота підйому води,  $\sum H_{l \text{ tot}}$  – сума втрат напору у лінії,  $H$  – необхідний мінімальний напір на розрахунковому ПКК, який становить 0,1 МПа (10м.вод.ст).

Втрати напору визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха на умовно поділених ділянках трубопроводу – всмоктувальному, напірному та стояку.

$$h = \lambda \frac{l}{d} \times \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт гідравлічного тертя,  $l$  – довжина ділянки водопровідної мережі,  $d$  – діаметр трубопроводу,  $g=9,8\text{м/с}^2$ .

Коефіцієнт гідравлічного тертя визначається як

$$\lambda = f \left( Re; \frac{\Delta}{d} \right), \quad (3)$$

число Рейнольдса

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{4Q}{\pi d \nu}, \quad (4)$$

де  $\nu$  - кінематична в'язкість.

За умови температури води  $t=10^\circ\text{C}$ ,  $\nu=0,0131 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Еквівалентна шорсткість для сталевих труб  $\Delta=0,2$ .

Враховуючи характеристики водопровідних мереж внутрішнього протипожежного водопостачання бази відпочинку «Захар Беркут» [1], використовуючи вирази (2, 3, 4), знаходимо  $\sum H_{l\ tot} = h1 + h2 + h3$

Підставивши значення  $\lambda1=0,03$  [1] у (2) втрату напору у всмоктувальному трубопроводі  $h1$  становить

$$h1 = \left( \frac{l1}{d1 \times 10^{-3}} \right) \times \left[ 8 \times \frac{(q \times 10^{-3})^2}{3.14^2 \times (d1 \times 10^{-3})^4 \times 9.81} \right]$$

$$h1 = 0.091, \text{ м}$$

Враховуючи ідентичні характеристики стояка та всмоктувального трубопроводу, запишемо втрату напору в стояку  $h2$ , яка становить

$$h2 = \frac{h1 \times 12.95}{2.1} = 0.564, \text{ м}$$

Підставивши значення  $\lambda3=0,029$  [1] у (2) знайдемо втрату напору у напірному трубопроводі  $h3$ , яка становить

$$h3 = \lambda3 \left( \frac{l3}{d3 \times 10^{-3}} \right) \times \left[ 8 \times \frac{(q \times 10^{-3})^2}{3.14^2 \times (d3 \times 10^{-3})^4 \times 9.81} \right]$$

$$h3 = 0.159, \text{ м}$$

$$H_{\text{нас}} = H_{g\ \text{сom}} + h1 + h2 + h3 + H = 20,264 \text{ м.вод.ст}$$

Гідравлічні характеристики внутрішнього протипожежного водопостачання показані на рис. 2.

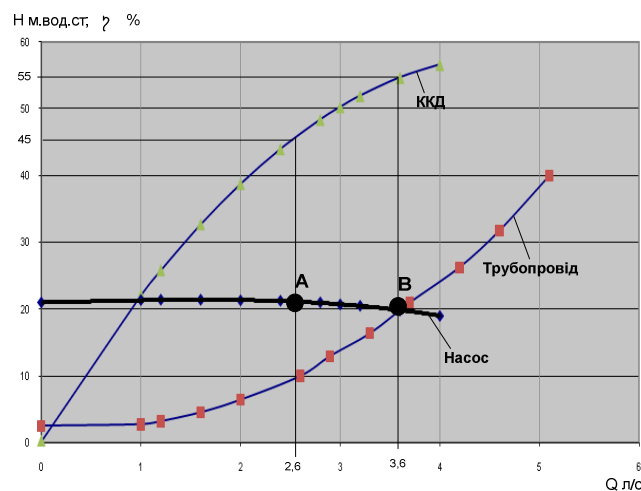


Рисунок – 2 Спільна робота насоса та внутрішнього протипожежного водопроводу

Розташування точки «А», яка відповідає потрібній витраті води на гасіння ліворуч від точки «В», що характеризує робочу точку гідравлічної системи і забезпечення нею розрахункових параметрів (Н, Q) у відповідності до [2].

Експериментально визначено [1], що протягом 1 години роботи системи внутрішнього протипожежного водопостачання від автономного джерела з АБ, напруга живлення АД знизилась на 10%. Тому максимальний момент АД, який має квадратичну залежність від напруги, теж зменшиться. Якщо прийняти, що момент навантаження не змінюється або мало змінюється, то з формули можна визначити кутову швидкість обертання колеса насоса.

$$M_2 = 2 \times b \times M_K \times \frac{(1+1,64 \times s_K)}{\frac{s_K + s_2}{s_2} + 2 \times 1,64 \times s_K}, \quad (2)$$

де  $M_K$  – критичний момент при номінальній напрузі живлення (визначають з паспортних даних АД за формулою),  $s_K$  – критичне ковзання,  $b$  – коефіцієнт співвідношення напруг ( $b = 0.8$ ).

Механічні характеристики АД водяного насоса системи ВПВ при номінальній напрузі живлення та пониженій на 10% напрузі (340 В), що утворилась в результаті розряду АБ, показані на рис.3 [1].

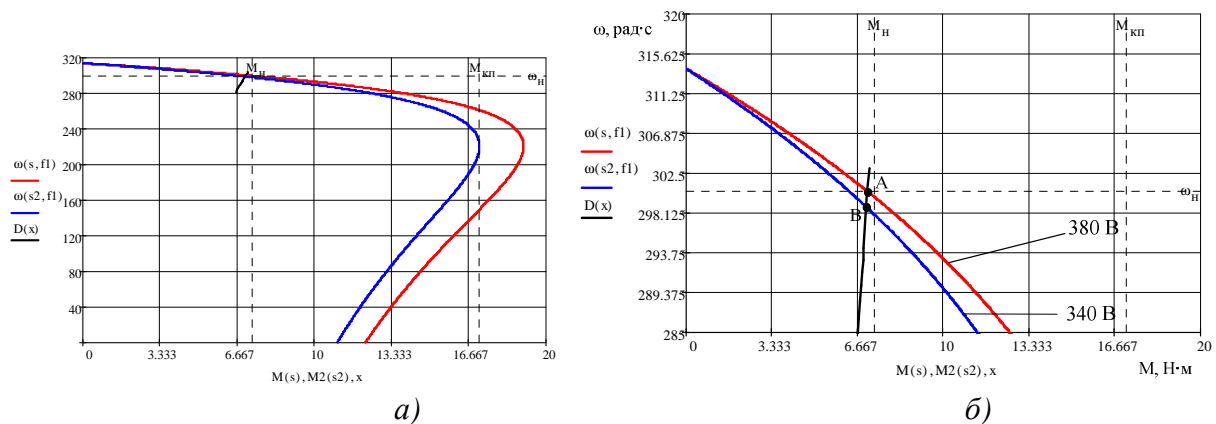


Рисунок – 3 Механічні характеристики АД та водяного насоса:  
а) загальний вигляд, б) фрагмент в зоні навантаження

На рис. 4 наведено характеристики водяного насоса при номінальній та зниженій напрузі живлення АД та відповідні робочі точки системи.

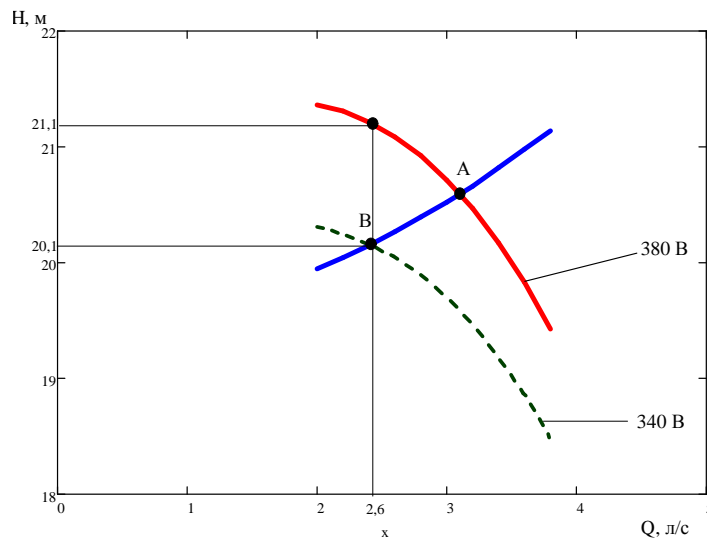


Рисунок –. 4 Характеристики водяного насоса

Напір, який створює водяний насос системи ВПВ що живиться від автономного джерела з АБ, протягом розрахункового часу (1 год) знаходиться в межах вимог [2] і становить 20,1 м.в.с.

Кількість АБ у схемі автономного джерела залежить від їх електричних параметрів і потужності АД. У розглянутій схемі автономного джерела [1] враховуючи спади напруг на її елементах, та коефіцієнти трансформації трансформаторів використано 10 АБ напругою по 12В.

У випадку непередбачуваного зменшення напруги акумуляторних батарей з різних причин, зменшується напруга живлення АД, що в свою чергу зменшує його крутний момент і, як наслідок, параметри водяного насоса, а також час роботи внутрішнього протипожежного водопостачання.

З метою компенсації відхилення параметрів живлення АД, що безпосередньо впливає на параметри внутрішнього протипожежного водопостачання, нами запропоновано регулювання параметрами АД, а саме значення параметрів живлення залежно від спаду напруги на акумуляторних батареях резервного джерела. Найпростіші схеми резервування напруги [2] дають можливість компенсації зменшення напруги акумуляторних батарей у випадку непередбачуваних ситуацій, уведенням додаткової або додаткових акумуляторних батарей. Вказаний варіант дозволяє продовжити час роботи системи внутрішнього протипожежного водопостачання, але за структурною побудовою утворює додаткове навантаження на загальний об'єм автономного резервного джерела. Утворюється «резервування системи резервування». З метою забезпечення розрахункових параметрів системи внутрішнього протипожежного водопостачання та розрахункового часу її роботи, не збільшуючи потужності джерела живлення (АБ), ми пропонуємо регулювання частоти

живлення АД за зворотнім зв'язком рис.5, де АБ – блок акумуляторних батарей, АІН – автономний інвертор напруги, АД – асинхронний двигун приводу водяного насоса, СК – система керування, Н – водяний насос.

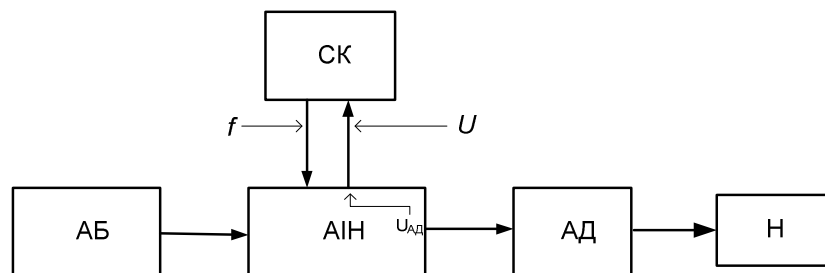


Рисунок – 5 Структурна схема керованого живлення асинхронного двигуна

Враховуючи квадратичну залежність величини стуму від частоти живлення, доцільно здійснювати регулювання частоти в межах 5% , що становить 2,5 Гц.

У випадку зменшення напруги живлення приводного двигуна до мінімально допустимого значення 340В, яка відповідає точці «В» (рис. 3, 4), Протягом часу меншого за розрахунковий, виникає необхідність утримання нормативних параметрів необхідних для гасіння імовірної пожежі.

Зменшення напруги живлення АД насоса підвищувача тиску води системи ВПВ впливає на його механічні характеристики і як наслідок на швидкість обертання робочого колеса насоса [1, 3, 4].

$$\omega = \omega_0 \times (1 - s), \quad (3)$$

де  $\omega_0$  – кутова швидкість обертання магнітного поля АД,  $\omega_0=2\pi f/p$ ,  $f$  – частота напруги живлення,  $p$  - число пар полюсів АД,  $s$  – ковзання АД, залежить від навантаження.

У цьому випадку система керування отримує інформацію за зворотнім зв'язком про настання критичної ситуації. Точка «В» знаходиться на межі значення необхідної витрати (рис.4) на гасіння і подальше зменшення напруги призведе до зменшення кількості води на гасіння. Для уникнення вказаної ситуації система керування формує керуючий вплив на АІН для збільшення частоти напруги живлення АД на 0,5 Гц. Якщо прийняти, що момент навантаження не змінюється або мало змінюється, то можна визначити кутову швидкість обертання колеса насоса підставивши значення у (3) в результаті чого кутова швидкість вала АД за виразом (3) збільшується до 293,5 рад.

$$M_{s1} = 9,823, \quad b1 = 0,8$$

$$\omega = \omega_{s1} \times (1 - s1)$$

$$\lambda_3 = b1^2 \times \lambda1 = 1,666$$

$$s_3 = \frac{s_k}{(\lambda_3 + \sqrt{\lambda_3^2 - 1})} = 0,099,$$

$$\omega = 293,5 \text{ рад}\cdot\text{с}$$

де  $s_k$  – критичне ковзання,  $b$  – коефіцієнт співвідношення напруг ( $b = 0.89$ ),  $\lambda$  – кратність максимального моменту для АИР80В2У3.

Механічні характеристики АД водяного насоса системи ВПВ при номінальній напрузі живлення та пониженої на 10% (340 В), що утворилась в результаті розряду АБ, а також при збільшеній частоті напруги на 0,5 Гц ( точка С), показані на рис.б.

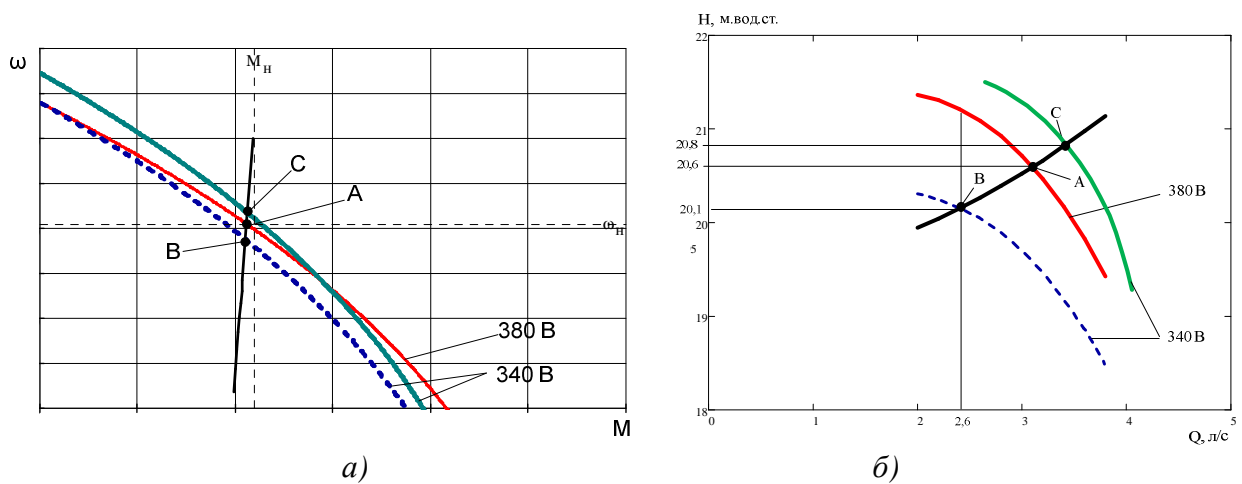


Рисунок –б а) залежність кутової швидкості АД від моменту (точка С при  $f=50,5\text{Гц}$ ); б) робоча точка внутрішнього протипожежного водопостачання (точка С при  $f=50,5\text{Гц}$ )

Таким чином при мінімальній напрузі робоча точка системи перемістилась з точки «В» в точку «С». Тим самим збільшивши напір в системі.

При подальшій роботі системи внутрішнього протипожежного водопостачання від акумуляторних батарей і зниженні напруги кутова швидкість зменшується. Система керування за зворотнім зв'язком отримавши інформацію про зниження напруги, повторно подає керуючий сигнал на АІН і збільшує частоту мережі живлення АД ще на 0,5 Гц (за умови необхідності та достатнього заряду батарей).

**Висновки.** Зменшення напруги живлення АД на 10%, в результаті розряду батарей, під час роботи насоса протягом 1 год, призводить до незначного зниження кутової швидкості обертання робочого колеса водяного насоса (близько 1%). Це практично не впливає на напір, який залишається в допустимих межах ( $H=20$  м.в.с. і  $Q=2.6$  л/с).

Використання регулювання частоти живлення АД, яке відбувається у автономному інверторі напруги керування у відповідності до алгоритму системи керування, що отримує значення напруги живлення за зворотнім зв'язком, дає можливість забезпечувати нормативні (розрахункові) значення напору і витрати внутрішнього протипожежного водопостачання,



без навантаження системи додатковою кількістю акумуляторних батарей, що в свою чергу підвищує рівень функціонування системи і захищеність об'єктів. Для підвищення точності керування роботою АД окрім величини напруги живлення можна здійснювати контроль ще за кількома параметрами системи – тиском і кутовою швидкістю.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Боднар Г.Й. Выбор вида и обоснование параметров источника питания системы противопожарной защиты объектов туристической отрасли / Г.Й.Боднар, О.В.Шаповалов // *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. Wydawnictwo Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpowarowej* Vol. 33 Issue 1, 2014.
2. Внутрішній водопровід та каналізація. ДБН В.2.5-64:2012. [Чинний від 2013-03-01]. – Мінрегіонбуд України, 2013 -105 с. (Державні будівельні норми).
3. Москаленко В.В. Современные системы автоматизированного электропривода. – М.: Высшая школа, 1980.
4. Кацман М.М., Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. – М.: Высшая школа, 1979.

### References

1. Bodnar G. *Choice of kind and ground of parameters of source of feed of the system of fire-prevention defence of objects of tourist industry.* *Bespechenstvo I tehnika pohgarnica.* Wydawnictwo centry Naykovo-Badavchego ohronyprocivpohgarovey – 33, 2014. (in Pol.)
2. *Internal water supply and sewerage.* DBN V.2.5-64:2012. Ministry of regional development – 105. (in Ukr.)
3. Moskalenko V. *Modern systems of automatic electric drive.* M: Vusshaya shkola-1980. (in Rus)
4. Katsman M., Yferov F. *Electric machines of automatic devices.* M: Vusshaya shkola-1979. (in Rus)

Ми Шаповалов Олег Валерійович, Кравець Ігор Петрович автори наукової статті " Підвищення рівня функціонування внутрішнього протипожежного водопостачання з автономним джерелом", засвідчуємо, що вона чесно презентує самостійно проведене 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.

О.В.Шаповалов

І.П.Кравець