

*Г.Й. Боднар, канд. техн. наук, доцент, О.В. Шаповалов
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

РОЗРОБКА АВТОНОМНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ПРОТИПОЖЕЖНИХ СИСТЕМ ВНУТРІШНЬОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

В статті висвітлено проблему забезпечення протипожежного захисту об'єктів з масовим перебуванням людей, які розташовані у віддалених від рятувальних частин населених пунктах та у важкодоступних районах. Запропоновано напрямки можливого усунення вказаної проблеми, описано фізичну та математичну моделі системи автономного живлення та наведено результати досліджень перехідних процесів, які виникають в системі під час роботи.

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

Вступ і постановка задачі. Забезпечення протипожежного захисту об'єктів з масовим перебуванням людей, кількість яких в останні роки стрімко збільшується як в державному, так і в приватному секторах, є першочерговою задачею безпеки життєдіяльності людини. Для розв'язання цієї проблеми усі установи з перебуванням людей, незалежно від форми власності, обладнують системами внутрішнього протипожежного водопостачання з насосами підвищувачами тиску води, приводні асинхронні електродвигуни (АД) яких живляться від двох вводів електромережі загального користування.

Однак, в умовах виникнення надзвичайних ситуацій природного чи техногенного характеру [2], коли лінії електропередач знеструмлені використати системи захисту стає неможливим через відсутність електроживлення. Враховуючи особливості розташування об'єктів, своєчасне втручання оперативно-рятувальних підрозділів стає також неможливим. Тому необхідно шукати шляхи вирішення цієї проблеми у застосуванні первинних засобів протипожежного захисту на початковій стадії розвитку пожежі із залученням чергового персоналу об'єкта та незалежно від ситуації забезпечити роботу систем пожежогасіння, якими обладнаний об'єкт.

За відсутності електропостачання об'єкта від мережі загального користування, можна використати електричну енергію від автономних джерел з АБ. Тому нами для таких випадків запропоновано живлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання від акумуляторних батарей (АБ), схема якого наведена на рис.1.

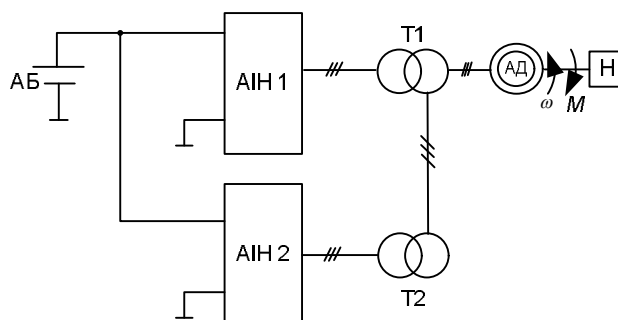


Рис. 1. Схема живлення привідного АД насоса системи внутрішнього протипожежного водопостачання від АБ

Опис схеми живлення АД від автономного джерела з АБ. В запропонованій схемі (рис.1) формування трифазної напруги здійснюється трифазними автономними інверторами напруги (АІН1, АІН2), які по входному колу з'єднані паралельно і живляться від АБ. АІН1,

АН2 під'єднанні до первинних обмоток трифазних трансформаторів Т1, Т2, обмотки яких з'єднані за схемою «зірка». Вторинні обмотки трансформаторів з'єднані послідовно. Напруги вторинних обмоток трансформаторів додаються. Коефіцієнти трансформації обох трансформаторів однакові. За допомогою трансформаторів відбувається процес формування трифазної напруги живлення привідного АД насоса. В наслідок того, що між АН1 і АН2 є зсув на 30° , напруга живлення АД є квазісинусоїдною. Схема, наведена на рис.1, передбачає модульний принцип побудови. Це дозволяє без зайвих зусиль зібрати і встановити автономне джерело живлення у відповідності до встановленого на об'єкті обладнання у будь-якому приміщенні. АБ у схемі, в залежності від потужності АД і розрахункового часу роботи системи, можна з'єднувати як послідовно так і паралельно.

Мета роботи. На основі аналізу властивостей та характеристик АБ, напівпровідникових перетворювачів енергії, схем формування квазісинусоїдних напруг розробити та дослідити роботу автономного джерела для живлення АД системи внутрішнього протипожежного водопостачання.

Побудова математичної моделі. Для побудови математичної моделі системи внутрішнього протипожежного водопостачання з автономним джерелом живлення використано теорію математичного моделювання електромашино-вентильних систем (ЕМВС) [1].

Відповідно до вищевказаної теорії елементи схеми (АБ, АН, Т, АД) розглядаються як багатополіусники, вітки яких з'єднуються між собою у вузлах системи. Математична модель такої системи є замкнутою системою диференціальних рівнянь, яка складається з рівнянь, що описують елементи системи і рівнянь для визначення потенціалів вузлів системи.

Кожний елемент системи описується зовнішнім вузловим векторним рівнянням :

$$p\vec{i}_e + \vec{G}_e \cdot \vec{\phi}_e + \vec{C}_e = 0, \quad (1)$$

де $\vec{i}_e = (i_1, \dots, i_n)_t$; $\vec{\phi}_e = (\phi_1, \dots, \phi_n)_t$ – вектори струмів зовнішніх віток та потенціалів зовнішніх полюсів електричного багатополіусника; \vec{G}_e, \vec{C}_e - відповідно матриця ($n \times n$) і вектор розмірністю n , які визначаються параметрами структурного елемента; n - кількість полюсів електричного багатополіусника. Рівняння (1) є узагальненим рівнянням структурного елемента (АБ, АН1, АН2, Т1, Т2, АД), яке отримуємо з рівнянь, що описують роботу елементів схеми.

Для прикладу математична модель АД буде мати вигляд:

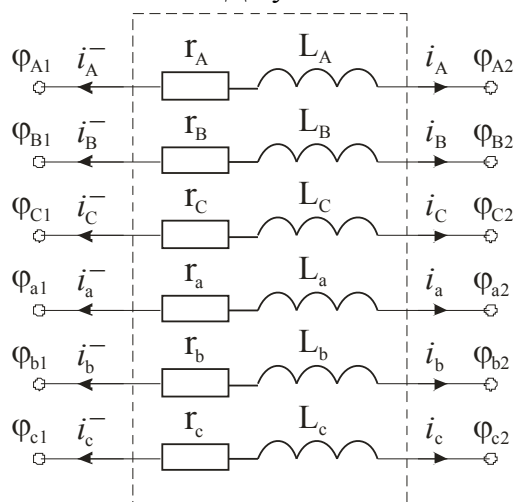


Рис.2. Розрахункова схема АД

АД (асинхронна машина) описується зовнішнім вузловим векторним рівнянням, яке встановлює співвідношення між потенціалами зовнішніх полюсів та струмами зовнішніх віток і має вигляд [1]:

$$p\vec{i}_{am} + \check{G}_{am}\vec{\varphi}_{am} + \vec{C}_{am} = 0 \quad (2)$$

де: $\vec{\varphi}_{am} = (\vec{\varphi}_1, \vec{\varphi}_2)_t$, $\vec{\varphi}_1 = (\varphi_{A1}, \varphi_{B1}, \varphi_{C1}, \varphi_{a1}, \varphi_{b1}, \varphi_{c1})_t$, $\vec{\varphi}_2 = (\varphi_{A2}, \varphi_{B2}, \varphi_{C2}, \varphi_{a2}, \varphi_{b2}, \varphi_{c2})_t$ – вектори потенціалів зовнішніх полюсів; $\vec{i}_{am} = (\vec{i}_m, \vec{i}_m^-)_t$, $\vec{i}_m = (i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c)_t$, $\vec{i}_m^- = (i_A^-, i_B^-, i_C^-, i_a^-, i_b^-, i_c^-)_t$ – вектори струмів зовнішніх віток (струмів фаз статора та ротора).

Коефіцієнти рівняння (2) визначаються так:

$$\check{G}_{am} = \begin{bmatrix} \check{L}_{am}^{-1} & -\check{L}_{am}^{-1} \\ -\check{L}_{am}^{-1} & \check{L}_{am}^{-1} \end{bmatrix}; \vec{C}_{am} = \begin{bmatrix} \check{L}_{am}^{-1} \\ -\check{L}_{am}^{-1} \end{bmatrix} \times \vec{E}_{am}; \vec{E}_{am} = p_0 \check{\psi}_{am}^{\gamma} \omega_{am} + \check{R}_{am} \vec{i}_m,$$

де $\check{\psi}_{am}^{\gamma} = \check{L}_{am}^{\gamma} \vec{i}_m$ – вектор похідних поточкозчеплень обмоток статора і ротора АД за кутом повороту ротора γ_{am} , який дорівнює добутку похідної матриці індуктивностей АД \check{L}_{am} за цим же кутом на $\vec{i}_m = (i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c)_t$ – вектор струмів статора і ротора (струми статора і ротора не є функцією кута повороту ротора); $\check{R}_{am} = \text{diag}(r_A, r_B, r_C, r_a, r_b, r_c)$ – діагональна матриця активних опорів; p_0 – кількість пар полюсів АД; ω_{am} – кутова швидкість обертання ротора АД.

Матриця індуктивностей асинхронної машини \check{L}_{am} , елементами якої є власні та взаємні індуктивності обмоток статора і ротора, визначається так [1]:

$$\check{L}_{am} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \frac{L_m + L_{\sigma s} + \frac{L_{0s}}{2}}{2} & \frac{-L_m - L_{\sigma s} + L_{0s}}{2} & \frac{-L_m - L_{\sigma s} + L_{0s}}{2} \\ \frac{-L_m - L_{\sigma s} + L_{0s}}{2} & \frac{L_m + L_{\sigma s} + \frac{L_{0s}}{2}}{2} & \frac{-L_m - L_{\sigma s} + L_{0s}}{2} \\ \frac{-L_m - L_{\sigma s} + L_{0s}}{2} & \frac{-L_m - L_{\sigma s} + L_{0s}}{2} & \frac{L_m + L_{\sigma s} + \frac{L_{0s}}{2}}{2} \\ \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am}) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} - \rho) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} + \rho) \\ \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} + \rho) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am}) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} - \rho) \\ \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} - \rho) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} + \rho) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am}) \\ \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am}) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} + \rho) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} - \rho) \\ \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} - \rho) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am}) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} + \rho) \\ \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} + \rho) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am} - \rho) & \frac{L_m}{k_{iaa}} \cos(\gamma_{am}) \\ \frac{L_m + L_{\sigma r} + \frac{L_{0r}}{2k_{iam}^2}}{2k_{iam}^2} & \frac{-L_m - L_{\sigma r} + L_{0r}}{2k_{iam}^2} & \frac{-L_m - L_{\sigma r} + L_{0r}}{2k_{iam}^2} \\ \frac{-L_m - L_{\sigma r} + L_{0r}}{2k_{iam}^2} & \frac{L_m + L_{\sigma r} + \frac{L_{0r}}{2k_{iam}^2}}{2k_{iam}^2} & \frac{-L_m - L_{\sigma r} + L_{0r}}{2k_{iam}^2} \\ \frac{-L_m - L_{\sigma r} + L_{0r}}{2k_{iam}^2} & \frac{-L_m - L_{\sigma r} + L_{0r}}{2k_{iam}^2} & \frac{L_m + L_{\sigma r} + \frac{L_{0r}}{2k_{iam}^2}}{2k_{iam}^2} \end{bmatrix}$$

де: L_m – робоча індуктивність; $L_{\sigma s}$, $L_{\sigma r}$ – індуктивності розсіювання статора і ротора; L_{0s} , L_{0r} – нульові складові індуктивностей статора і ротора;

γ_{am} – кут між осями однойменних фаз статора і ротора;

k_{iam} – коефіцієнт приведення обмотки ротора до обмотки статора (індуктивності ротора є приведеними до статора).

Для врахування нелінійності кривої намагнічення магнітопроводу робоча індуктивність L_m визначається як функція струму намагнічення:

$$L_m = \frac{\Psi_m}{i_\mu},$$

де Ψ_m – потокозчеплення, яке визначається за кривою намагнічення для даного струму намагнічення i_μ .

Рівняння (2) використовується для знаходження на основі потенціалів зовнішніх полюсів АД вектора похідних струмів статора і ротора $p\vec{i}_m = (pi_A, pi_B, pi_C, pi_a, pi_b, pi_c)_t$. Цей вектор, входить до складу вектора інтегрування АМ, який має вигляд:

$$p\vec{Y}_{ам} = (p\vec{i}_m, p\gamma_{ам}, p\omega_{ам})_t$$

Елементи цього вектора є також похідними кутової швидкості $p\omega_{ам}$ та кута повороту ротора $p\gamma_{ам}$, які визначаються за формулами:

$$p\omega_{ам} = (M_{ам} + M_n) / J, \quad p\gamma_{ам} = p_0 \omega_{ам},$$

де: $M_{ам}$ – електромагнітний момент АД, M_n – зовнішній момент на валу (його знак від’ємний для гальмівного характеру зовнішнього моменту).

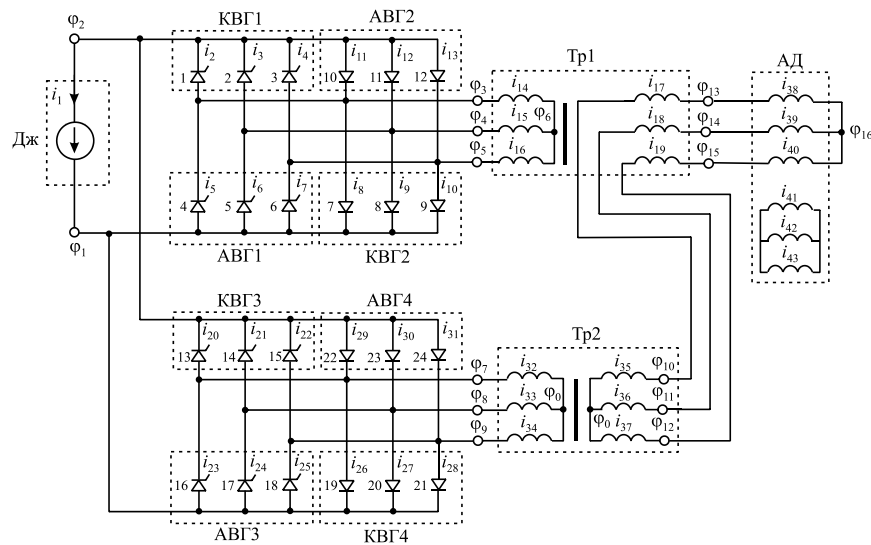


Рис. 3. Розрахункова схема автономного джерела живлення АД системи внутрішнього протипожежного водопостачання

Структурні елементи схеми з’єднуються між собою у вузлах системи (рис.3). З’єднання елементів між собою задається матрицями Π_j , які встановлюють на основі першого закону Кірхгофа математичний зв’язок між струмами зовнішніх віток структурних елементів відповідно до схеми з’єднань. Кількість рядків матриці дорівнює кількості незалежних вузлів системи, а кількість стовпців рівна кількості зовнішніх віток елемента. Елементами матриці є 0 і 1. Якщо i -та зовнішня вітка структурного елемента входить в j -ий незалежний вузол системи то на перетині i -го стовпчика та j -го рядка записується 1, всі інші елементи матриці дорівнюють 0.

Співвідношення між потенціалами зовнішніх полюсів елементів та потенціалами незалежних вузлів системи описується рівнянням [1]:

$$\vec{\varphi}_e = \vec{n}_j^T \cdot \varphi_c, \quad (3)$$

де $\vec{\varphi}_e$ – вектор потенціалів незалежних вузлів системи.

Потенціали незалежних вузлів схеми (рис. 3) можуть бути визначені з векторного рівняння виду [1]:

$$\vec{G}_c \cdot \vec{\varphi}_c + \vec{C}_c = 0, \quad (4)$$

де коефіцієнти визначаються на основі коефіцієнтів зовнішніх вузлових векторних рівнянь виду (1) кожного структурного елемента та матриць з'єднань елемента. Вони визначаються за формулами:

$$\vec{G}_c = \sum_{j=1}^m \tilde{n}_j \cdot \vec{G}_{ej} \cdot \tilde{n}_j^T; \quad \vec{C}_c = \sum_{j=1}^m \tilde{n}_j \cdot \vec{C}_{ej}, \quad (5)$$

m – кількість елементів, що входять у систему.

Рівняння (4) є математичною моделлю загальної схеми (рис.1) живлення АД від автономного джерела з АБ.

На рис. 4. наведено результати математичного моделювання, зокрема: а – залежність швидкості обертання ротора при пуску АД; б – залежність струму статора при пуску; в – форма напруги живлення АД в усталеному режимі.

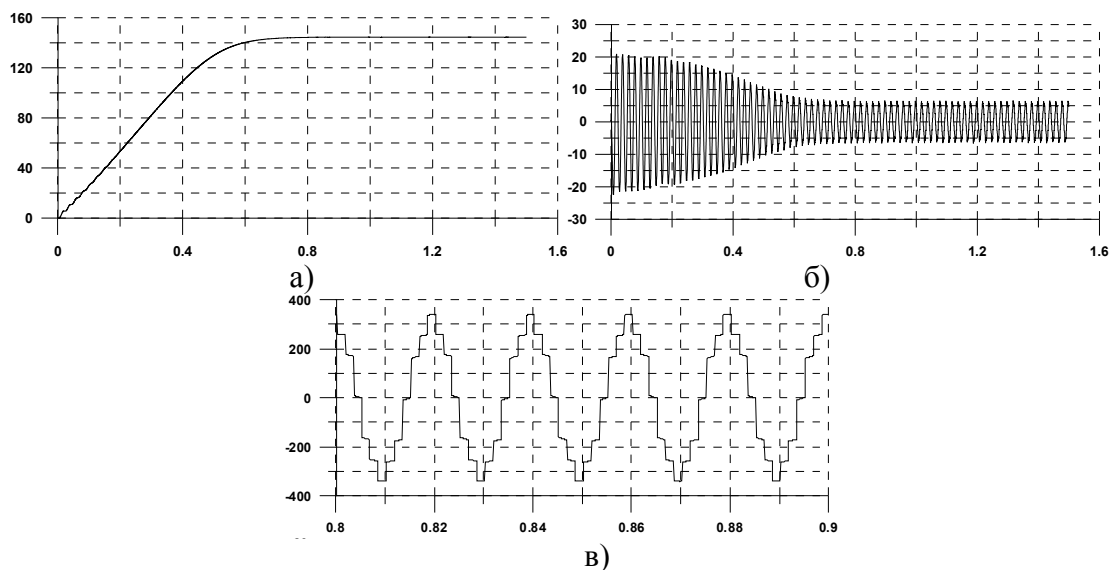


Рис. 4. Результати математичного моделювання

Фізична модель. Для створення експериментальної установки нами було використано десять кислотних (автомобільних) АБ ємністю 50 А·г напругою 12 В, два АІН і два трифазні трансформатори з коефіцієнтом трансформації $K = 2$ (рис. 5).

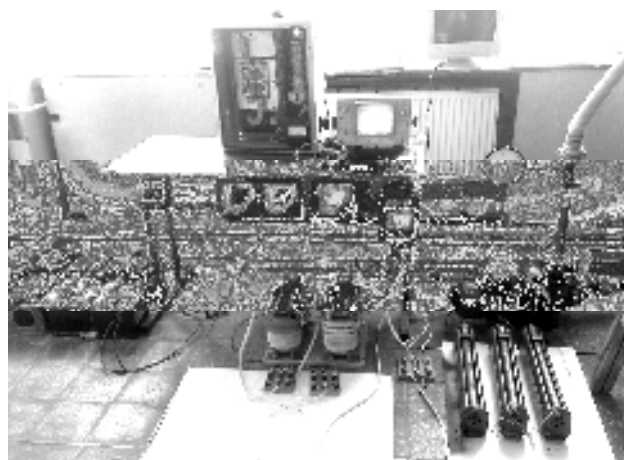


Рис. 5. Експериментальна установка автономного живлення АД

Для привода водяного насоса типу КМ 50-32-125 продуктивністю 125 м³/год, напором 20 м, використано АД типу АИР 80 В2У3 потужністю 2,2 кВт, напругою 380 В. В схемі живлення АД передбачена робота як від автономного джерела, так і від мережі загального користування. Відповідно, дослідження проводились від мережі та автономного джерела з АБ.

На рис.6 наведено результати досліджень за умови живлення АД від мережі, на рис.7 – результати досліджень за умови живлення АД від автономного джерела з АБ.

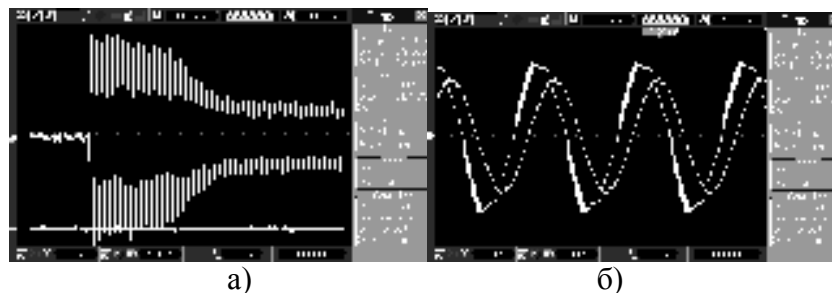


Рис. 6. Результати досліджень при живленні АД від мережі: а) залежність струму статора при пуску, б) форма струму і напруги в усталеному режимі

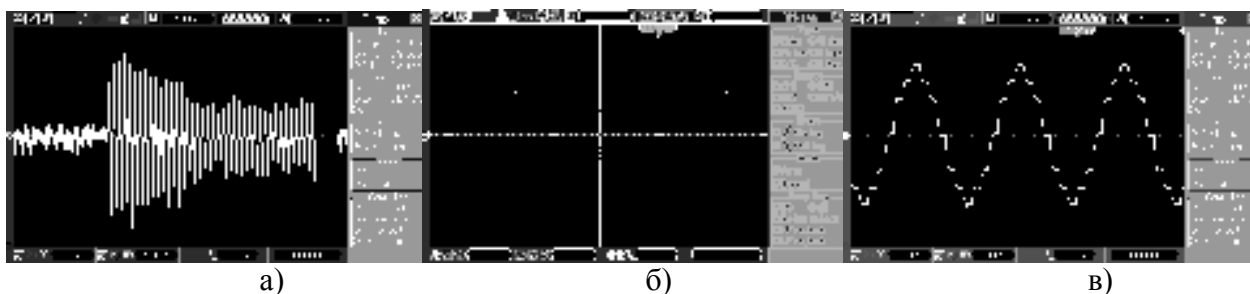


Рис. 7. Результати досліджень на фізичній моделі: а) залежність струму статора при пуску від АБ, б) форма струму і напруги АД при живленні від АБ в усталеному режимі, в) форма напруги живлення АД від АБ

Використання автономних джерел живлення з обмеженим запасом енергії, ставить додаткові задачі щодо раціонального використання наявного запасу енергії без втрат, оскільки це впливає на час роботи системи. Найбільші втрати енергії відбуваються під час прямого пуску АД. Тому процес пуску слід регулювати.

Висновки. 1. Для живлення асинхронних двигунів привода насосів – підвищувачів тиску води в системах внутрішнього протипожежного водопостачання можна використовувати автономні джерела з АБ і перетворювачами енергії. Такі джерела живлення дадуть змогу забезпечити безперерйну роботу насосів протягом розрахункового часу від моменту виявлення пожежі до прибуття оперативного рятувальних підрозділів.

2. Для ефективного використання запасу енергії АБ необхідно процес пуску двигуна регулювати, тобто здійснювати частотний пуск, оскільки пускові струми АД перевищують струм споживання двигуном в 5 разів.

3. Запропоновані автономні джерела з АБ можна також використовувати для живлення аварійного освітлення та інших протипожежних систем.

Список літератури:

1. **Плахтина Е.Г.** Математическое моделирование электромашинно – вентильных систем. – Львов, 1986. – 164 с..
2. **Національна доповідь** про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році.

**РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ
ДЛЯ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ СИСТЕМ ВНУТРЕННЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

В статье освещена проблема обеспечения противопожарной защиты объектов с массовым пребыванием людей, которые расположены в населенных пунктах удаленных от спасательных частей и в труднодоступных районах, предложено направление возможного устранения указанной проблемы, описаны физическая и математическая модели системы автономного питания и приведены результаты исследований переходных процессов которые возникают в системе в ходе работы.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, автономное питание, противопожарное водоснабжение

G.I. Bodnar, O.V. Shapovalov

**DEVELOPMENT AUTONOMOUS POWER SOURCES FOR FIRE-FIGHTING SYSTEMS
OF INTERNAL WATER SUPPLY**

The article highlights the problem of providing of fire-prevention defence of objects with the mass stay of people which are located in settlements remote from rescue units and districts difficult of access. Means of possible removal of the indicated problem are offered. Physical and mathematical models of self-contained power supply are described and research results of transient process which occur in the system during operation are provided.

Key words: storage battery, self-contained power supply, fire-prevention water supply

