



УДК 621.316

**АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ АГРЕГАТИВ МАЛОЇ ГЕС ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ
ДО ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ**

Стаднік Микола Іванович, д.т.н., доцент
Васильківський Вадим Анатолійович,
Вінницький національний аграрний університет

N. Stadnik, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
V. Vasytkivsky,
Vinnytsia National Agrarian University

В статті проведено аналіз надійності роботи агрегатів малої ГЕС, запропоновано засоби автоматизації, для підвищення ефективності і безвідмовності роботи обладнання. Для підвищення надійності роботи малої ГЕС і безперебійного електропостачання споживачів, пропонується проведено аналіз роботи основного обладнання за базовими показниками надійності. Цей аналіз надасть можливість усунути неполадки, передбачати відмови, контролювати процес виробництва електроенергії, підвищити довговічність агрегатів.

Зазначенні пропозиції дозволять вести цілодобовий контроль за роботою основних агрегатів малої ГЕС, зокрема, своєчасно виявляти дефекти, запобігати відмовам, автоматизовано контролювати рівень води у водосховищі, тобто підвищити надійність роботи малої ГЕС. Запропоновані рішення дозволять подовжити термін роботи малих ГЕС які значний час знаходяться в експлуатації та проекти яких розроблялися декілька десятиліть назад.

Ключові слова: малі ГЕС, надійність агрегатів, алгоритм підвищення надійності, засоби автоматизації, система автоматичного керування.

Рис. 5. Літ. 6.

1. Вступ

На сьогодні практично всі провідні країни світу розробляють принципово нову ідеологію побудови та функціонування енергетичної галузі з метою надання безпечного, надійного, економічно доцільного та екологічно прийняттого енергозабезпечення споживачів. Зазначена ідеологія базується на активній інформатизації та інтелектуалізації енергетичних об'єктів, широкому використанні розосередженої генерації, в першу чергу, на рівні розподільних електричних мереж середньої та низької напруги, створенні та впровадженні провідних енергоефективних технологій у сфері генерації, акумулювання, розподілу енергії, систем зв'язку та телекомунікацій, засобів керування та захисту, формуванні нової тарифної та регуляторної політики [1-3].

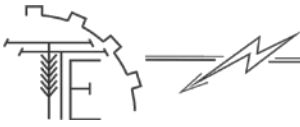
2. Мета

Провести аналіз роботи агрегатів малої ГЕС за основними показниками надійності для подальшої автоматизації цих об'єктів засобами автоматичного контролю, що дасть нам змогу усунути можливість виникнення раптових відмов і неполадок, контролювати процес роботи і своєчасно приймати необхідні рішення щодо раціонального використання природних ресурсів і робочого ресурсу обладнання.

3. Результати дослідження

Об'єктом нашого дослідження є мала ГЕС, побудована на р. Південний Буг в 1960 році, отож розглянемо основне обладнання встановлене на ній, а саме:

- Три гідрогенератори, типу ВГС-325/49-32, з такими номінальними параметрами : $I = 286\text{A}$, $U = 6300\text{V}$, $S = 3125\text{ kVA}$, $\cos \varphi = 0,8$, $\text{ККД} = 94,5\%$;
- Відкрита розподільча установка 35 кВ (ВРУ-35 кВ);
- Масляні вимикачі (МВ-10 кВ, ВМК-35 кВ):
- МВ-10кВ, типу ВМГ-133, номінальні параметри: $I = 600\text{A}$, $U = 10\text{kV}$;
- ВМК-35 кВ, номінальні параметри: $I = 1000\text{A}$, $I_{\text{від}} = 16\text{ kA}$, $U = 35\text{kV}$, $U_{\text{н. ел. маг}} = 220\text{ V}$;
- Збудник генератора, типу ВВС-74/39-6, $U = 160\text{ V}$, $P = 65\text{ кВт}$;



- Головний щит управління ГЕС.

Дані про дефекти та відмови основного обладнання малої ГЕС, були зібрані протягом 5 років експлуатації, формування методики та обробка результатів спостереження виконувалась авторами.

Для підвищення надійності роботи малої ГЕС і безперебійного електропостачання споживачів, необхідно провести аналіз роботи основного обладнання за базовими показниками надійності. Цей аналіз дасть можливість усунути неполадки, передбачати відмови, контролювати процес виробництва електроенергії, підвищити довговічність агрегатів [4].

■ Назва об'єкту ГГ-2 (ВГС-325/49-32) I= 286А U=6300В S=3125 кВА	■ Назва об'єкту ГГ-3 (ВГС-325/49-32) I= 286А U=6300В S=3125 кВА
■ Назва об'єкту ВРУ-35 кВ	■ МВ-10кВ (ВМГ-133)

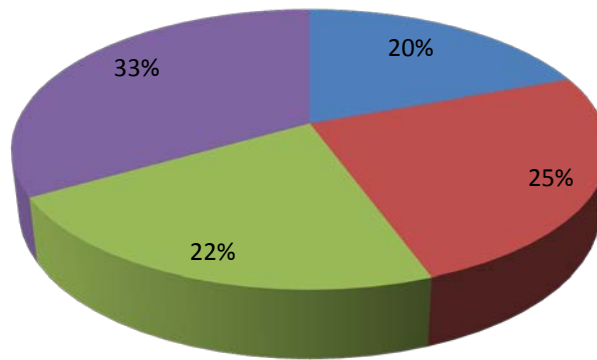


Рис. 1. Кругова діаграма дефектів ГЕС

Проведемо попередній аналіз надійності роботи малої ГЕС, використовуючи кругову діаграму.

Як показує кругова діаграма (рис. 1), найбільший відсоток дефектів припадає на масляний вимикач МВ-10 кВ, а саме 33%. На гідрогенераторі № 3 відсоток дефектів становить 25%, а на гідрогенераторі № 2 – 20%. На ВРУ-35 кВ відсоток дефектів – 22 %.

Отриманні результати попереднього аналізу застосуємо для розрахунків основних показників надійності.

Для одного технічного засобу статистична оцінка середнього напрацювання до відмови буде дорівнювати:

$$t_{cp} = \sum_{i=1}^n t_i / n ,$$

де t – час справної роботи ТЗ між $(i - 1)$ -ою та i -ою відмовами, днів;
 n – число відмов за час t .

Отже, середнє напрацювання до відмови для ГГ-2 становить:

$$t_{cp} = 913/8 = 114 \text{ днів}$$

Для ГГ-3 :

$$t_{cp} = 1219/7 = 174 \text{ днів}$$

Для ВРУ-35 кВ:

$$t_{cp} = 758/8 = 94 \text{ днів}$$

Для МВ-10 кВ:

$$t_{cp} = 763/8 = 95 \text{ днів}$$

Статистична оцінка коефіцієнта готовності буде дорівнювати:

$$K_r = t_p / (t_p + t_n),$$

де t_p – сумарний час справної роботи ТЗ, днів;

t_n – сумарний час вимушеного простою, днів.



Отже, коефіцієнт готовності для ГГ-2 буде дорівнювати:

$$K_r = \frac{1812}{1812 + 13} = 0,99$$

Для ГГ-3 :

$$K_r = \frac{1758}{1758 + 67} = 0,96$$

Для ВРУ-35 кВ:

$$K_r = \frac{1778}{1778 + 47} = 0,97$$

Для МВ-10 кВ:

$$K_r = \frac{1794}{1794 + 31} = 0,98$$

Ймовірність безвідмовної роботи визначається:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

де $n(t)$ – кількість обладнання, що відмовили за час t .

Для гідрогенераторів вірогідність безвідмовної роботи, виходячи із наших даних становить:

$$P(t) = \frac{3-2}{3} = 0,33$$

Для масляного вимикача вірогідність безвідмовної роботи становить:

$$P(t) = \frac{4-2}{4} = 0,5$$

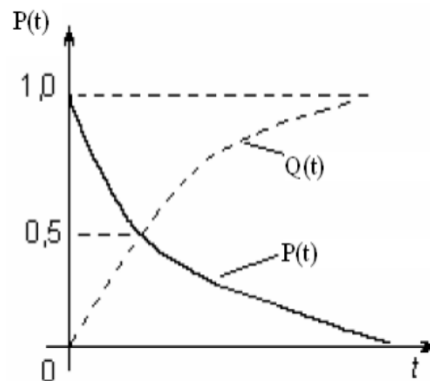


Рис. 2. Характеристика зміни ймовірностей безвідмовної роботи ($P(t)$) та ймовірності відмови ($Q(t)$)

З отриманих даних слід зазначити, що ймовірність безвідмовної роботи ($P(t)$) суттєво знизилась, це зумовлено тривалим періодом експлуатації обладнання, що в свою чергу веде до збільшення ймовірності відмови ($Q(t)$). Так, як ці показники пов'язані оберненою залежністю

Будь-який технічний засіб з початку і до кінця експлуатації має три найбільш характерних періоди роботи:

- 1) припрацювання ($0 < t < t_1$);
- 2) нормальна експлуатація ($t_1 < t < t_2$);
- 3) старіння чи знос ($t > t_2$) (рис. 2.1).

Побудуємо графік інтенсивності відмов рисунок 3 для всіх досліджуваних агрегатів, за термін спостереження 5 років (60 місяців).

В основу графіка було взято період спостереження 60 місяців – вісь ординат (t), а також кількість відмов (n) по кожному агрегату за цей період – вісь абсцис.

Аналізуючи даний графік, спостерігається, що кількість відмов кожного агрегату малої ГЕС збільшується, а інтервал між ними зменшується, тобто інтенсивність відмов зростає. Посилаючись на рис. 3 можна сказати, що за роки спостереження обладнання працює в нормальному режимі експлуатації [5]. Але варто зауважити, що в останні місяці спостереження інтенсивність відмов збільшилась, що свідчить про те, що обладнання поступово переходить у третю фазу експлуатації – період старіння (знос).

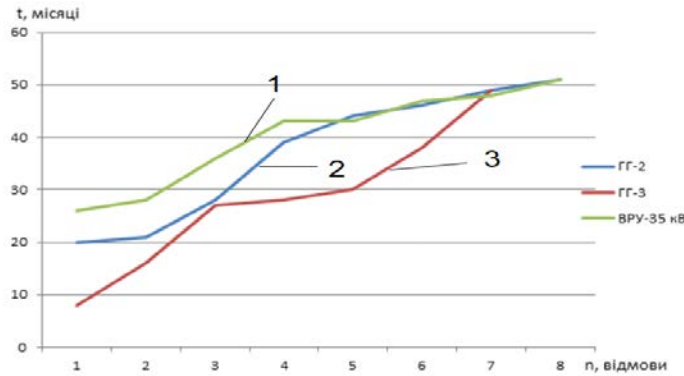
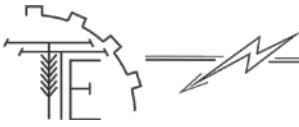


Рис. 3. Інтенсивність відмов по кожному агрегату за досліджувані роки:

1 – ВРУ-35 кВ; 2 – ГГ-2; 3 – ГГ-3

Для забезпечення ефективної експлуатації малої ГЕС необхідним є впровадження засобів автоматизації процесу вироблення електроенергії. При цьому автоматизовані систем керування, що розробляються, мають забезпечувати виконання таких задач:

– повна автоматизація інформаційного обміну між ГЕС та розрахунково-диспетчерським центром (у перспективі – оператором енергоринку) для розв’язання задач комерційного обліку електроенергії;

– контроль стану основного обладнання, його захист у аномальних режимах роботи та забезпечення надійності роботи ГЕС у цілому;

– забезпечення централізованого керування основними процесами, маневреності ГЕС та максимальної ефективності використання первинної енергії протягом заданого періоду роботи.

Для реалізації вказаних задач необхідною умовою є забезпечення можливості контролю та керування об’єктом у реальному часі.

Існуючий алгоритм керування роботою малої ГЕС характеризується тим, що значна кількість операцій по формуванню режимів роботи генераторів та контролю за їх станом виконуються оператором в ручному режимі [6, 7]. Наприклад, керування направляючим апаратом для формування пуску генератора, режими синхронізації частоти із об’єднаною енергетичною системою України, рівень води у водосховищі, масла у масляних вимикачах та інше виконується диспетчером в ручному режимі що суттєво впливає на якість процесів та потребує значних втрат часу. Крім того у гідрогенераторах не контролюється рівень вібрації, а тільки температура підшипників, обмоток статора і ротора, що не дає повної інформації про роботу агрегату, і не дає можливості планувати профілактичні роботи та визначити робочий ресурс, що є дуже важливим для механізмів та машин з таким терміном роботи.

Таким чином, прийнявши до уваги недоліки, пропонуємо застосувати систему датчиків, зокрема рівня води і рівень масла з відповідним пристроями, датчик вібрації встановити на підшипники гідрогенераторів, а дані від датчиків вивести в систему контролю, для того, щоб диспетчер міг дистанційно контролювати режими роботи агрегатів, а також своєчасно приймати відповідні рішення по роботі ГЕС. Для підвищення якості процесу синхронізації пропонуємо розширити кількість модулів цього призначення.

Контролювати рівень води потрібно у трьох положеннях, а саме:

- верхній рівень 1 (ВР1) необхідний для пуску МГЕС в роботу для одного ГГ;
- верхній рівень 2 (ВР2) необхідний для пуску всіх ГГ одночасно;
- нижній рівень 3 (НР3), при даному рівневі води МГЕС потрібно вимикати, тому що напір не буде задовольняти номінальних параметрів роботи.

Робочий напір повинен задовольняти умову:

$$H_p \geq H_{ст},$$

де $H_{ст}$ – статичний напір, м;

Статичний напір $H_{ст}$ дорівнює різниці відміток верхнього й нижнього б’єфів, м:

$$H_{ст} = h_{вб} - h_{нб},$$

де $h_{вб}$ – верхній б’єф (ВБ) і $h_{нб}$ – нижній б’єф (НБ) – відповідно ділянки річки вище водонапірної споруди ГЕС і нижче будинку ГЕС.

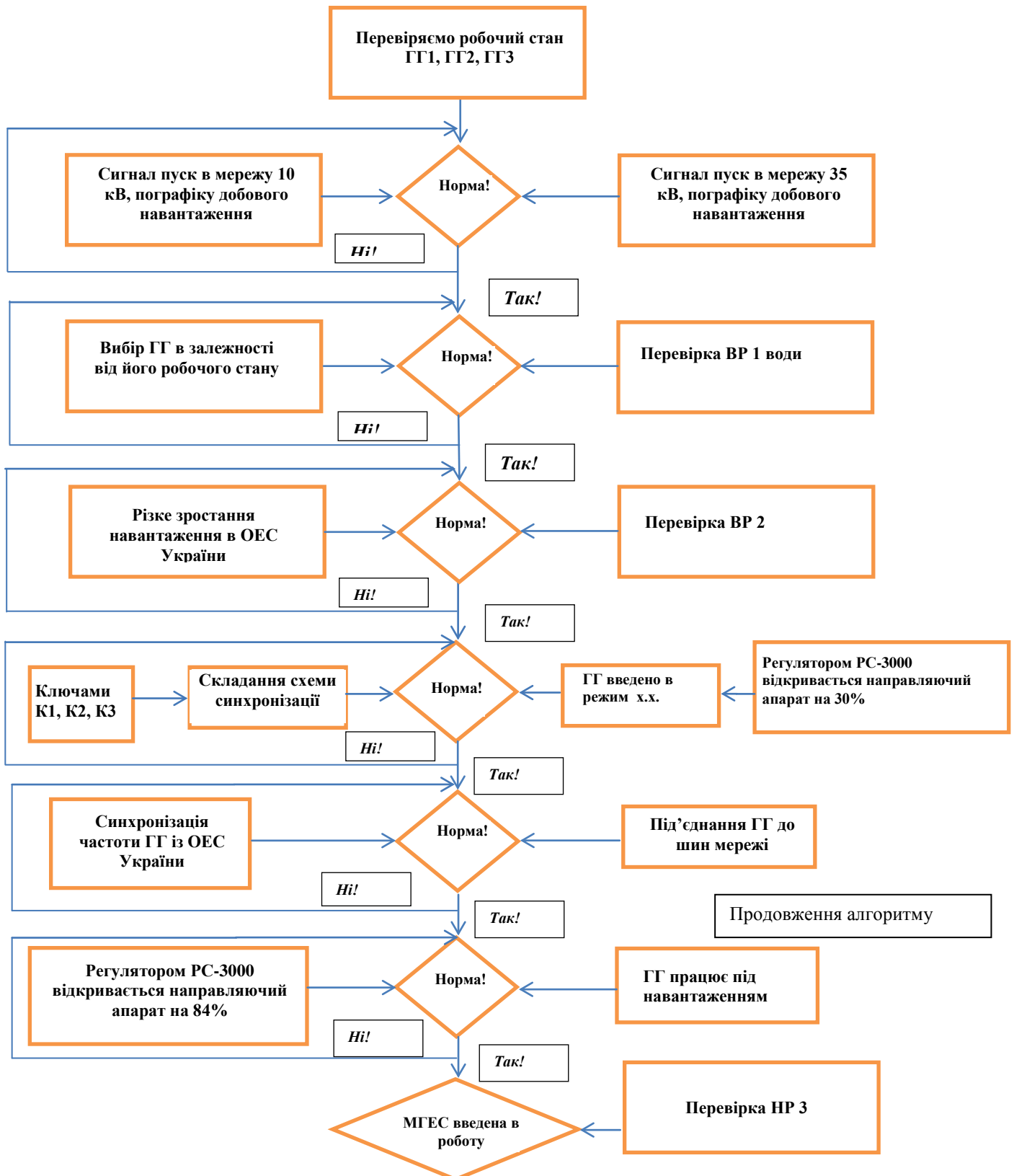
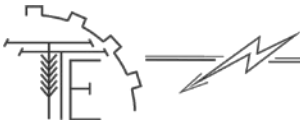
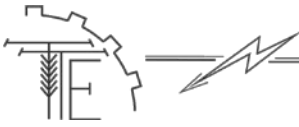


Рис. 4. Алгоритм автоматизованого пуску МГЕС в роботу

Контролювати рівень масла бажано:

- номінальний рівень масла (НР), що забезпечує номінальні параметри роботи агрегату;
- нижній критичний рівень (НКР), при даному рівневі обслуговуючому персоналу, необхідно провести технічний огляд агрегату і виконати необхідні дії, по усуненню даної ситуації.



Номінальний рівень масла повинен задовольняти умову:

$$h_{\text{нр}} \geq h_{\text{нрк}}$$

В якості датчиків рівня. В даному випадку застосуємо гідростатичні рівнеміри.

Усунувши недоліки отримаємо автоматизований алгоритм пуску малої ГЕС в роботу зображений на рисунку 4.

Виконавши всі поставлені задачі, отримаємо дану схему АСК малої ГЕС (рис. 5):

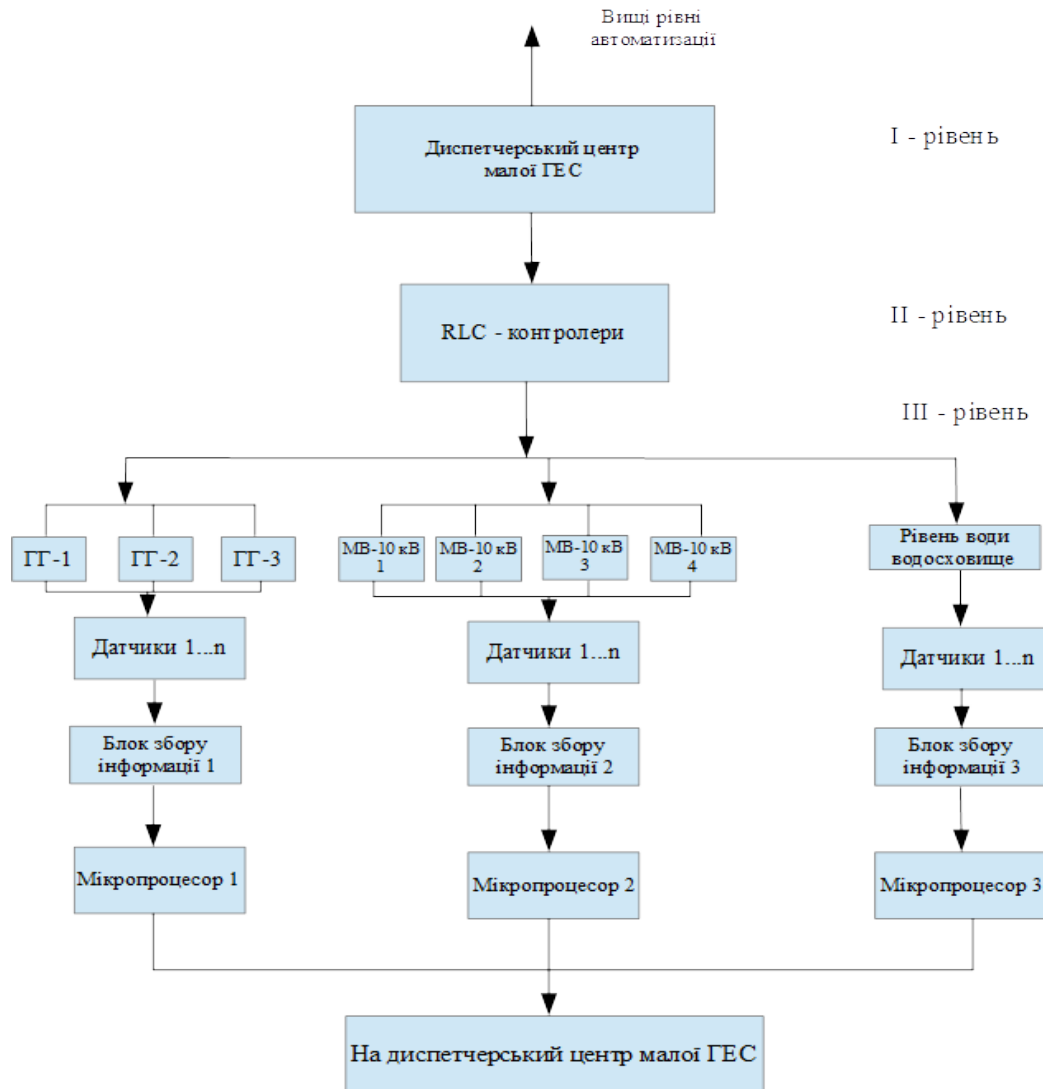


Рис. 5. Загальна схема АСК малої ГЕС

Схема АСК малої ГЕС, контролює заданні параметри за допомогою відповідних датчиків, які в свою чергу передають сигнали про стан обладнання на блоки збору інформації, після попереднього опрацювання, вони через відповідні модулі передаються на диспетчерський центр малої ГЕС. На підставі цієї інформації диспетчер приймає необхідні рішення.

Запропоновані технічні рішення дозволять підвистити надійність функціонування ГЕС.

Очевидно, що реалізація описаної АСК малої ГЕС вимагає, крім належної апаратної реалізації, капітальних витрат та витрат часу. Але економічний ефект, пов'язаний з покращенням керованості та маневреності ГЕС, із підвищенням надійності роботи та ефективності використання водного потенціалу, за приблизними оцінками дозволить компенсувати усі зазначені витрати протягом 2-3 років.

**4. Висновки**

Було проведено аналіз надійності роботи агрегатів малої ГЕС, по результатам якого розроблено алгоритм функціонування в автоматизованому режимі, відмінність від теперішнього полягає в застосуванні засобів для діагностування, контролю і керування основним обладнанням, для підвищення надійності роботи малої ГЕС.

Зазначенні пропозиції дозволять вести цілодобовий контроль за роботою основних агрегатів малої ГЕС, зокрема, своєчасно виявляти дефекти, запобігати відмовам, автоматизовано контролювати рівень води у водосховищі, тобто підвищити надійність роботи малої ГЕС. Запропоновані рішення дозволять подовжити термін роботи малих ГЕС які значний час знаходяться в експлуатації та проекти яких розроблялися декілька десятиліть назад.

Список використаних джерел

1. Нормування показників надійності технічних засобів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://vasilevskiy.vk.vntu.edu.ua/file/c07afe95926131da38bbf40c9045efd0.pdf>
2. Вихарев Ю. Анализ состояния и перспективы развития малой гидроэнергетики в Украине / Ю. Вихарев, А. Карамушка, А. Никиторович, В. Рябошапка // Энергетическая политика Украины. – 2005. – № 6. – С. 90 – 96.
3. Лежнюк П.Д. Повышение эффективности эксплуатации малых ГЭС средствами автоматического управления / П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, О.В. Никиторович // Гидроэнергетика Украины. – 2007. – № 3. – С. 38 – 41.
4. Половко А. М. Основы теории надёжности. – М.: Наука, 1964. 446 с.
5. Володарський Є. Т. Статистична обробка даних: Навчальний посібник / Є.Т. Володарський, Л.О. Кошева. – К.: НАУ, 2008. – 308 с.
6. ГОСТ 27.002 – 89. «Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения». – М.: Издательство стандартов, 1989. 20с.
7. Матвійчук В.А. Аналіз режимів роботи мікроелектромереж і методів керування ними / В.А. Матвійчук, О.О. Рубаненко, В.В. Явдик // Всеукраїнський науково-технічний журнал. Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2017. – 1(96).– С.56-59

References

- [1] *Rationing of indicators of reliability of technical means [Rationing indicators of reliability of technical means] – Rezhym dostupu: <http://vasilevskiy.vk.vntu.edu.ua/file/c07afe95926131da38bbf40c9045efd0.pdf> [in Ukrainian].*
- [2] Vyharev, Yu., Karamushka, A., Nikitorovich, A., Ryaboshapka, V. (2005). *Analysis of the state and prospects of small hydropower development in Ukraine [Analysis of the state and prospects for the development of small-scale hydropower in Ukraine]* Energy policy of Ukraine [in Ukrainian].
- [3] Lezhniuk, P.D., Kulik, V.V., Nikitorovich, O.V. (2007). *Improving the efficiency of operation of small hydroelectric power stations by means of automatic control [Increase of efficiency of operation of small HPP by means of automatic control]* Hydroenergetics of Ukraine [in Ukrainian].
- [4] Polovko, A.M. (1964). *The basics of reliability theory [Fundamentals of the theory of reliability]*. Moscow: Nauka [in Russian].
- [5] Volodarsky, Ye.T., Kosheva, L.O. (2008). *Statistical Data Processing [Statistical processing of data]* K.: NAU [in Ukrainian].
- [6] GOST 27.002 – 89. (1989). *Reliability in the technique. Basic concepts. Terms and Definitions [Reliability in technology. Basic concepts. Terms and Definitions]*. Moscow: Publishing House of Standards [in Russian].
- [7] Matviichuk, V.A., Rubanenko, O.O., Yavdyk, V.V. (2017). *Analiz rezhymiv roboty mikroelektromerezh i metodiv keruvannia nymy [Analysis of operating modes of microelectric networks and their management methods]* Vseukrainskyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. Tekhnika, enerhetyka, transport APK.- All-Ukrainian Scientific and Technical Journal. Engineering, power engineering, transport of agroindustrial complexes, 56-59 [in Ukraine].

**АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ МАЛОЙ ГЭС И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ К ЕЕ ПОВЫШЕНИЮ**

В статье проведен анализ надежности работы агрегатов малой ГЭС, предложены средства автоматизации для повышения эффективности и безотказность работы оборудования. Для повышения надежности работы малой ГЭС и бесперебойного электроснабжения потребителей, предлагается проведен анализ работы основного оборудования по базовым показателям надежности. Этот анализ позволит устранить неполадки, предусматривать отказы, контролировать процесс производства электроэнергии, повысить долговечность агрегатов.

Указании предложения позволят вести круглосуточный контроль за работой основных агрегатов малой ГЭС, в частности, своевременно выявлять дефекты, предотвращать отказы, автоматизировано контролировать уровень воды в водохранилище, то есть повысить надежность работы малой ГЭС. Предложенные решения позволят продлить срок работы малых ГЭС которые значительное время находятся в эксплуатации и проекты которых разрабатывались несколько десятилетий назад.

Ключевые слова: малые ГЭС, надежность агрегатов, алгоритм повышения надежности, средства автоматизации, система автоматического управления.

Рис. 5. Лит. 6.

ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF THE WORK OF THE SMALL HYDRAULIC DEVICES AND THE DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS TO ITS INCREASES

The article analyzes the reliability of the operation of small hydroelectric generating units, and proposes automation tools to improve the efficiency and reliability of the equipment. In order to increase the reliability of the operation of a small power plant and uninterrupted power supply of consumers, it is proposed to analyze the operation of the main equipment on the basis of reliability indicators. This analysis will provide an opportunity to solve problems, provide for refusals, monitor the process of production of electricity, improve the durability of aggregates.

The indicated proposals will allow to carry out round-the-clock control over the work of the main units of the small hydroelectric power station, in particular, to detect defects in a timely manner, to prevent failures, to automatically control the water level in the reservoir, that is, to increase the reliability of the operation of a small hydroelectric power station. The proposed solutions will extend the life of small hydroelectric power stations which have been in operation for a considerable time and projects which were developed several decades ago.

Keywords: small HPP, unit reliability, reliability increase algorithm, automation means, automatic control system.

Fig. 5. Ref. 6.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Стадник Микола Іванович – доктор технічних наук, доцент кафедри «Електричних станцій і систем» Вінницького національного технічного університету (Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна, e-mail: stadnik1948@gmail.com).

Васильківський Вадим Анатолійович – магістр, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email:vasilkivskii95@ukr.net).

Стадник Николай Иванович – доктор технических наук, доцент кафедры «Электрические станции и систем» Винницкого национального технического университета (Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21021, Украина, e-mail: stadnik1948@gmail.com).

Васильковский Вадим Анатольевич – магистр, Винницкий национальный аграрный университет (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: vasilkivskii95@ukr.net).

Stadnik Nikolay – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Power Stations and Systems of the Vinnytsia National Technical University (95 Khmelnytsky Shosse, Vinnytsya, 21021, Ukraine, e-mail: stadnik1948@gmail.com).

Vasylkivsky Vadim – Master's degree, Vinnytsia National Agrarian University (3, Sunny St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: vasilkivskii95@ukr.net).