

# Комплектування енергоакумуляційної системи сонячної електростанції (СЕС).

## **1. Актуальність теми.**

Бурхливе збільшення числа і загальної потужності СЕС в Україні та інших країнах світу поряд із позитивними наслідками породжує певні проблеми. В першу чергу це великі добові коливання генерованої потужності з максимумом її опівдні та повною відсутністю генерованої енергії в темний період доби. До певного часу такі добові коливання потужностей були бажаними, оскільки пік потужності навантаження електроспоживання співпадав з максимумом потужності СЕС. Однак подальше зростання числа і загальної потужності СЕС у певних енергосистемах опівдні починає суттєво перевищувати потужність пікового електроспоживання, що потребує непростого регулювання режимів роботи на теплових та атомних електростанціях. Подібну проблему вже вирішують в багатьох країнах світу.

**2. Мета роботи** – обрати раціональну систему акумуляування електроенергії, отриманої в години максимальної генерованої потужності на сонячних електростанціях та систему енергоефективного керування комплексом.

**3. Завдання** – порівняти сучасні шляхи акумуляції енергії та зробити висновок щодо їх ефективності.

**4. Методи досліджень.** В роботі використано теоретичні методи з використанням комп'ютерної програми Excel та експериментальна перевірка залежності потужності генерування електроенергії від кута падіння променів сонця.

## **5. Результати роботи.**

Компанія TESLA пропонує застосування акумуляторних станцій з великою електричною ємністю. В години зменшення та відсутності генерування енергії СЕС акумулятори станції через інвертори живлять електромережу.

Іншим перспективним шляхом акумуляування генерованої енергії СЕС вважається зелена технологія виробництва водню. Така технологія досить

проста і давно розроблена на високому рівні. Проте досі у світовому виробництві водню електролізом отримують лише близько 5% [1]. Це пояснюється економічною недоцільністю витрачання електричної енергії для виробництва водню для теплоенергетичних потреб.

Більш доцільно електричну енергію перетворювати в теплову безпосередньо. При цьому з електричної енергії отримання теплової відбувається за виразом

$$W_T = U \cdot I_H \cos(\varphi) \cdot \eta_H \cdot \eta_{\Pi} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{с}};$$

де  $U$  – напруга живлення нагрівального пристрою, В;

$I_H$  – струм при роботі пристрою, А;

$\cos \varphi$  – коефіцієнт активної потужності, в.о.;

$\eta_H$  – коефіцієнт корисної дії нагрівального пристрою, в.о.;

$\eta_{\Pi}$  – коефіцієнт корисної дії провідників пристроїв комутації, в.о.

Для постійного струму коефіцієнт активної потужності приймають 1,0.

Втрати енергії у провідниках мережі визначаються виразом:

$$\Delta P_M = I_{\Pi}^2 \cdot R_{\Pi}, \text{ Вт}$$

де  $R_{\Pi}$  – активний опір провідників живлення електронагрівального пристрою.

За правильного виконання електричної мережі живлення нагрівального пристрою потужність втрат у провідниках не перевищує 1% встановленої потужності.

Якщо розглядати нагрівальні пристрої, що працюють на принципі активного опору, то приймають  $\eta_H \approx 0,97$ .

Найчастіше, коефіцієнт потужності таких електронагрівачів близький до одиниці. Таким чином загальний ККД такого нагрівального пристрою може бути в межах 95-96%. Якщо використовувати для енергетичних цілей водень, отриманий шляхом електролізу, то загальний коефіцієнт корисної дії пристрою буде значно нижчий, наприклад, для двигуна внутрішнього згорання ККД перетворення в механічну енергію близько 0,3. Питомі енерговитрати в кращих технологіях отримання водню електролізом в розрахунках приймають близько 50 кВт\*год на 1 кг. Таким чином, при порівнянні енергоефективності нагрівання шляхом спалювання водню, отриманого через електроліз, загальний коефіцієнт корисної дії буде нижчий орієнтовно у 3,5 рази порівняно з прямим електронагріванням. Найбільш ефективно хімічна енергія водню перетворюється в електроенергію в паливних елементах, які сьогодні швидко розвиваються і мають велику перспективу на електромобілях та водному електротранспорті.

Аналогічними розрахунками можна порівняти енергетичну ефективність використання електричних акумуляторів і водневої енергоутилізації.

Так ККД процесу зарядження електричних акумуляторів найпоширеніших типів вважається близько 0,75, а розрядження може досягати 0,8. Таким чином загальний ККД використання становитиме близько 0,6.

В нинішній час кращим промислово освоєним процесом виробництва водню досягають результату енергозатрат близько 50 кВт\*год. на 1 кг водню, що становить 180 МДж на 1 кг. Подальші проблеми зберігання отриманого водню також досить великі, однак обнадійливі перспективи має гідридна технологія зберігання водню, яка сьогодні досліджується у багатьох лабораторіях передових країн світу [2].

Отже можна зробити перший висновок про те, що виробництво водню шляхом електролізу для енергетичних цілей є доцільним лише у випадку неможливості використання електроенергетичних процесів. Однак це не стосується електроенергії сонячних та вітрових електроустановок в години

максимального генерування. У порівнянні з електрохімічними акумуляторами водневе енергоакумулювання не має жорстких кількісних та режимних обмежень, тому водневу технологію акумуляування можна вважати досить конкурентноспроможною.

Важливою умовою ефективної роботи СЕС з система акумуляування [3]. Слід вважати наявність технічних засобів безперервного орієнтування світлосприймальної площини фотоелектричних панелей на сонячне опромінення. Це реалізується сучасними автоматизованими трекерними системами, які однак мають високу ціну та конструктивну складність. Тому в Білоцерківському національному аграрному університеті було розроблено і виготовлено трекерні системи щоглового типу, призначені для прибудівлевого встановлення, що не потребує відведення спеціальних майданчиків.

Крім того розробка нових типів енергоефективних систем [4] орієнтування площини фотоелектричних панелей на прибудівлевих поворотних опорах дозволяє суттєво збільшити загальний виробіток електроенергії протягом світлового дня порівняно з нерухомо встановленими панелями на південних схилах дахів.



Рис. 1. Фотоелектричні панелі на двохосьовому трекері

На фото рис.1 показано блок фотоелектричних панелей на поворотній опорі з механізмом зміни кута нахилу світлоприймальної поверхні.

Блок фотоелектричних панелей підключений до інвертора гібридного типу, встановленого в електромонтажній шафі, показано на рис.2.



Рис. 2. Гібридний інвертор Ахіома, до якого підключені блок фотоелектричних панелей, електромережа і акумуляторні батареї.

Такий тип інвертора дозволяє підключення до персонального комп'ютера для програмованого керування процесом генерування електроенергії та її акумуляування в години максимальної потужності від сонячного потоку [5].

Загальний інтерфейс висвітлює основні електроенергетичні параметри роботи СЕС: поточне генерування електроенергії, виробіток за день, місяць, рік, поточна напруга, потужність та частота мережі, напруга та потужність панелей, струм розрядження - заряджання акумуляторної батареї та інші параметри (рис. 3).

Програмне забезпечення інвертора дозволяє дистанційно керувати параметрами генерування електроенергії: встановлювати струм та напругу заряджання – розряджання акумуляторної батареї, напругу припинення віддачі електроенергії з акумуляторної батареї (початок заряджання),

пріоритет використання електроенергії (рис. 4) (вхідної: від сонячних панелей – батареї – мережі і вихідної: сонячна – з мережі – з батареї) [6].

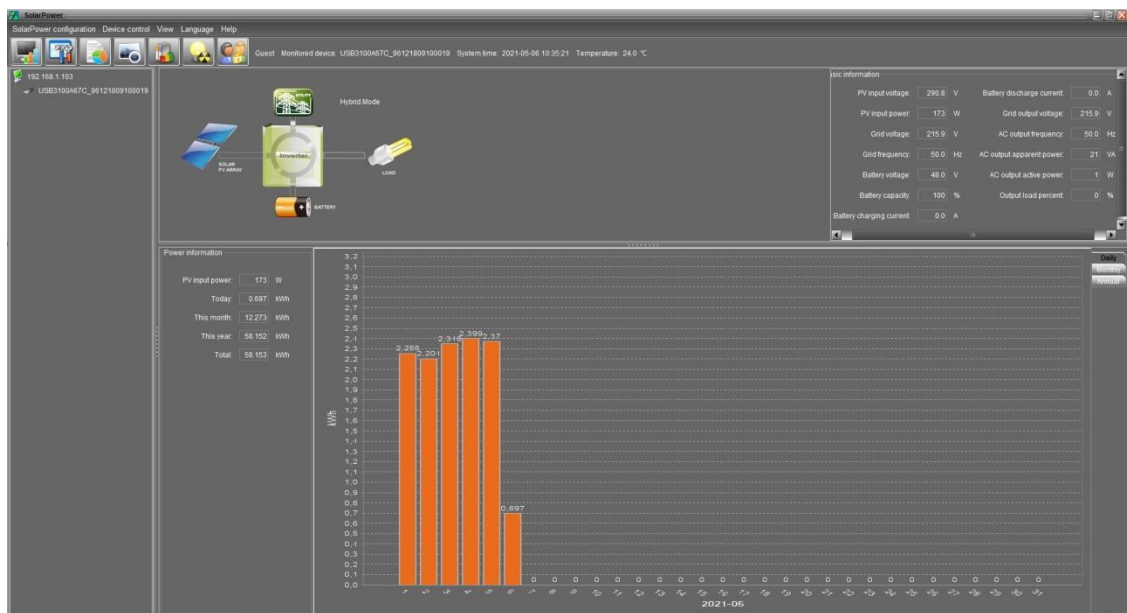


Рис. 3. Загальний інтерфейс програми керування гібридним інвертором з персонального комп'ютера

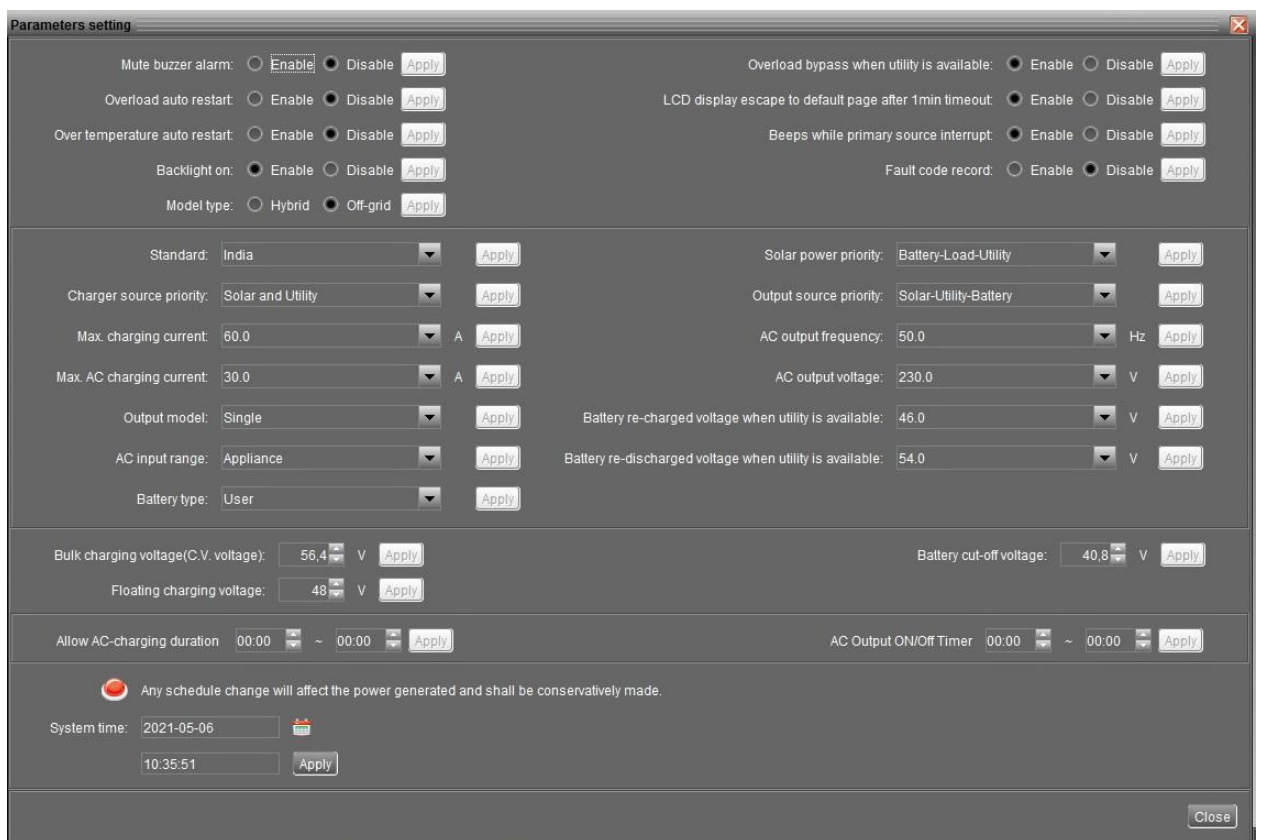


Рис. 4. Вікно програми встановлення заданих параметрів системи генерування та акумулювання.

## **6. Висновки.**

1. Для більшої рівномірності передачі генерованої електроенергії від сонячних електростанцій необхідно встановити акумулюючі системи з електричними акумуляторами, а за певних потреб з електролізерами для виробництва водню.
2. Для збільшення виробітку електроенергії блоки фотоелектричних панелей раціонально встановлювати на трекерах з цілодобовою орієнтацією світлосприймальної площини на сонячне випромінювання.
3. Високоєфективна робота енергетичного комплексу з сонячною електростанцією та акумуляторним блоком досягається гібридним інвертором, підключеним до комп'ютера, що забезпечує безперервне програмоване керування та запис параметрів.

### Список літератури

1. Кислова О.В. Основи електрохімії: навч. Посібник/О.В. Кислова, Ш.С. Макєєва.-К.: КНУДТ, 2017.-128 с.
2. Байрачний Б. І. Перспективи використання сонячних батарей у водневій енергетиці для автономного забезпечення тепловою енергією / [Б. І. Байрачний, Г. Г. Тульський, Ю. А. Желавська та інші] // Відновлювана енергетика. – 2015. – № 1. – С. 11 – 14.
3. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець; Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. – 109 с.
4. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk>
5. Встановлення сонячних батарей. Варіанти конструкцій під монтаж сонячних батарей [Електронний ресурс]:-2018р. Режим доступу до ресурсу: <http://mysolarenergyua.blogspot.com/2017/03/blog-post30>
6. <https://alfa.solar/uk/>

## **The completion of energy accumulation system**

### **1. Relevance of the topic.**

The rapid increase in the number and total capacity of SES in Ukraine and other countries, along with the positive consequences, raises certain problems. First of all, these are large daily fluctuations of the generated power with its maximum at noon and the complete absence of generated energy in the dark period of the day. For some time, such daily power fluctuations were desirable because the peak power load capacity coincided with the maximum power of the SES. However, the further increase in the number and total capacity of SES in certain power systems at noon begins to significantly exceed the capacity of peak power consumption, which requires difficult regulation of operating modes at thermal and nuclear power plants. A similar problem is already being solved in many countries around the world.

2. **Purpose of work** is to choose a rational system of accumulation of the electric power received in hours of the maximum generated power at solar power plants and system of energy-efficient management of a complex.

3. **Task** is to compare modern ways of energy accumulation and draw a conclusion about their efficiency.

4. **Research methods.** The authors of this research used theoretical methods operating with the computer program Excel and experimental verification of the dependence of power generation on the angle of incidence of the sun's rays.

### **5. Results of work.**

Tesla company offers the usage of high-capacity battery stations. In the hours of reduction and absence of SES energy generation, the station batteries feed the mains through inverters. So the company TESLA offers the use of battery stations with a large electrical capacity. In the hours of reduction and absence of SES energy generation, the station batteries feed the power grid through inverters.



Another promising way to accumulate the generated energy of SES is green hydrogen production technology. This technology is quite simple and has been already developed to high level. However, only about 5% of the world's hydrogen production is still produced by electrolysis [1]. This is due to the economic inexpediency of consuming electricity for the production of hydrogen for thermal energy needs.

It is more expedient to convert electric energy into thermal directly. This is the expression for calculating receiving electric energy from thermal.

$$W_T = U \cdot I_H \cos(\varphi) \cdot \eta_H \cdot \eta_{\Pi} \cdot \frac{J}{\text{sec}};$$

where  $U$  is the supply voltage of the heating device, B;

$I_H$ - operation current during of the device, A;

$\cos(\varphi)$  - coefficient of active power;

$\eta_H$  - coefficient of efficiency of the heating device;

$\eta_{\Pi}$  - coefficient of efficiency of wires;

For direct current, the coefficient of active power is 1.0.

Energy losses in wires are determined by the expression:

$$\Delta P_M = I_{\Pi}^2 \cdot R_{\Pi}, \text{B}\tau$$

where  $R_{\Pi}$  is the active resistance of the conductors through which the power supply of the electric heating device. If the electrical circuit of the heating device is correctly mounted, the power losses in the wires do not exceed 1% of the installed power.

If we consider the heating devices operating on the principle of active resistance, then take  $\eta_H \approx 0,97$ .

Most often, the power factor of such electric heaters is close to one. Thus, the total efficiency of such a heating device can be in the range of 95-96%. If you use for energy purposes, hydrogen obtained by electrolysis, the overall efficiency of the device will be much lower, for example, for an internal combustion engine, the efficiency of conversion into mechanical energy is about 0.3. Specific energy consumption in the best technologies for obtaining hydrogen by electrolysis in the calculations take about 50 kW \* h per 1 kg. Thus, when comparing the energy efficiency of heating by burning hydrogen obtained by electrolysis, the total efficiency will be approximately 3.5 times lower compared to direct electric heating. The most efficiently chemical energy of hydrogen is converted into electricity in fuel cells, which today are rapidly developing and have great prospects in electric vehicles and hydroelectric vehicles.

Similar calculations can be used to compare the energy efficiency of electric batteries and hydrogen energy recovery.

Therefore, the efficiency of the process of charging electric batteries of the most common types is considered to be about 0.75, and the discharge can reach 0.8. Thus, the total efficiency of use will be about 0.6.

Nowdays, the best industrially developed hydrogen production process achieves the result of energy consumption of about 50 kW \* h. per 1 kg of hydrogen, which is 180 MJ per 1 kg. Further problems of hydrogen storage are also quite significant, but the hydride technology of hydrogen, which is currently being studied in many laboratories in developed countries, has promising prospects [2].

Therefore, we can draw the first conclusion that the production of hydrogen by electrolysis for energy purposes is appropriate only in the case of impossibility of using electricity processes. However, this does not apply to electricity from solar and wind power plants during peak generation hours. Compared to electrochemical batteries, hydrogen energy storage does not have strict quantitative and regime restrictions, so hydrogen storage technology can be considered quite competitive.

An important condition for the effective operation of the SES with the accumulation system [3]. It should be considered that there are technical means of continuous orientation of the light-receiving of photovoltaic panels to solar

radiation. This aim is executed by modern automated tracking systems, which, however, have a high cost and design complexity. Therefore, Bila Tserkva National Agrarian University has developed and manufactured tracker systems of the mast type, designed for territory near buildings, which does not require special places.

In addition, the development of new types of energy-efficient systems for orienting the photovoltaic panels outdoors can significantly increase the total electricity generation during daylight compared to fixed photovoltaic panels on the southern slopes of the roofs [4].



Fig. 1. Photovoltaic panels on a two-axis tracker

Figure 1 shows a block of photovoltaic panels on a rotary support with a mechanism for changing the angle of the light-receiving surface.

The block of photovoltaic panels is connected to the inverter of hybrid type installed in an electrical cabinet, shown in Fig.2.



Fig. 2. Axioma inverter with connected block of photovoltaic panels, grid and rechargeable batteries.

This type of inverter gives opportunity to connect a personal computer for programmable operation of the process of generating electricity and its accumulation during hours of maximum power from solar flow [5].

The common interface displays the main power parameters of SES: current electricity generation, generation per day, month, year, current voltage, grid power and frequency, panel voltage and power, discharge current - battery charge and other parameters (Fig. 3).

The inverter software allows you remotely control the parameters of electricity generation: set the current and charging voltage - battery discharge, the voltage of the cessation of electricity from the battery (charging start), the priority of electricity use (Fig. 4) (input - from the solar panel) and output: solar - from the network - from the battery) [6].

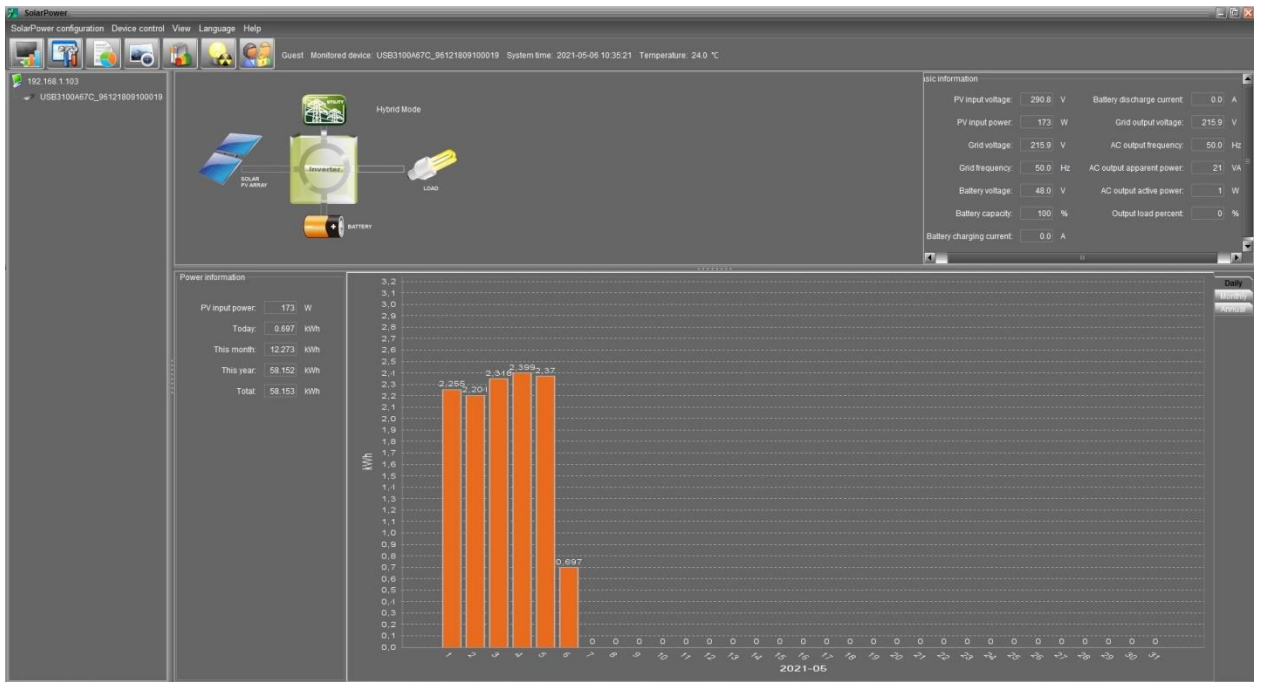


Fig. 3. General interface of the hybrid inverter control program from a personal computer

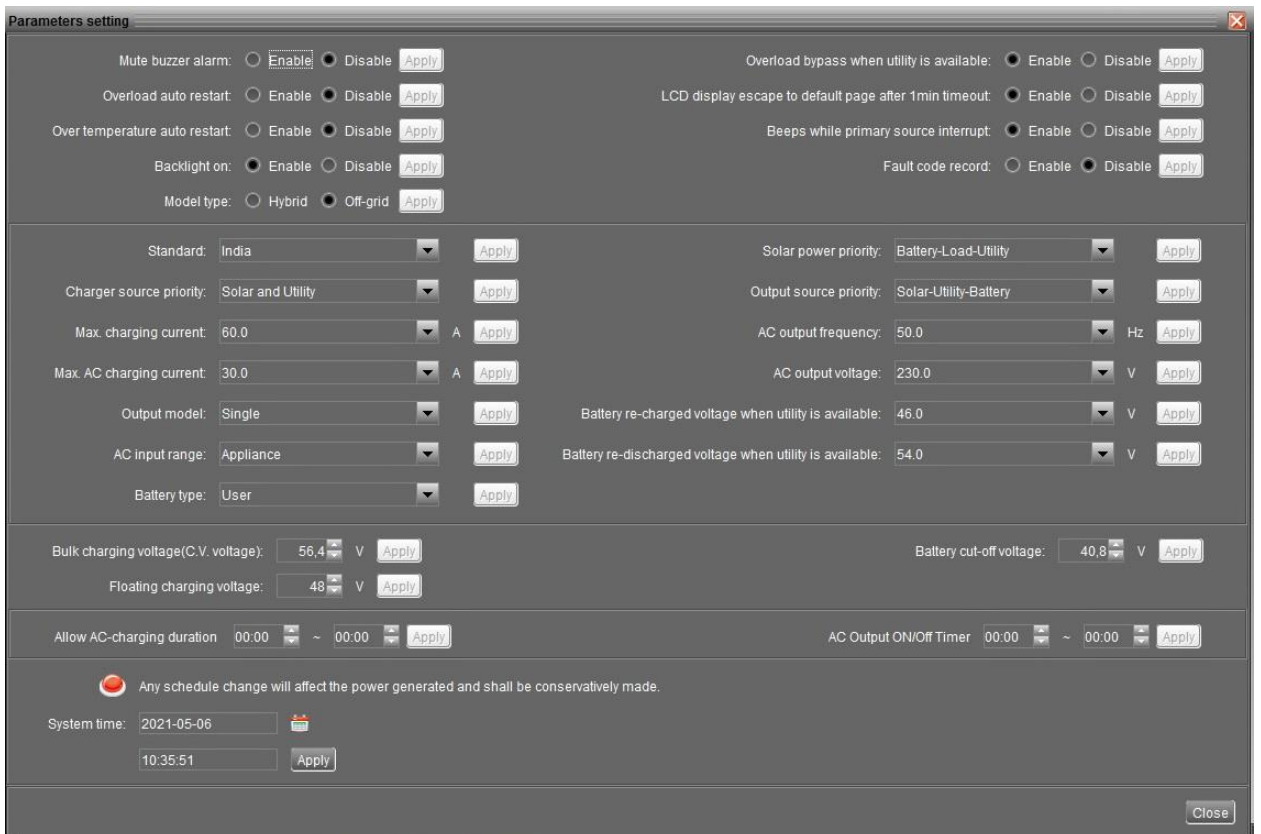


Fig. 4. The program window to set parameters of the generation and accumulation system.

## 6. Conclusions.

1. For better uniformity of transmission of the generated electricity from solar power system it is necessary to install accumulating systems with electric accumulators, and for certain needs with electrolyzers for production of hydrogen.
2. To increase electricity generation, photovoltaic panel units should be rationally installed on trackers with a round-the-clock orientation of the light-receiving plane to solar radiation.
3. Highly efficient operation of the power complex with a solar power plant and a battery pack is achieved by a hybrid inverter connected to a computer, which provides remote programmable control and recording of parameters.

## References

1. Кислова О.В. Основи електрохімії: навч. Посібник/О.В. Кислова, Ш.С. Макеєва.-К.: КНУДТ, 2017.-128 с.
2. Байрачний Б.І. Гідроелектрохімія/ Б.І. Байрачний, Л.В. Ляшик.-Харків: НТУ «ХП», 2012.-496с.
3. Байрачний Б.І. :підручник в 5ч. ч.4: Сучасні хімічні джерела струму, електроліз розплавів, електросинтез хімічних речовин./ Б.І. Байрачний, Г.Г. Тульский, І.А. Токарева.-Харків: НТУ «ХП», 2016.-2723 с.
4. Встановлення сонячних батарей. Варіанти конструкцій під монтаж сонячних батарей [Електронний ресурс]:-2018р. Режим доступу до ресурсу: <http://mysolarenergyua.blogspot.com/2017/03/blog-post30>
5. <https://alfa.solar/uk/>