

УДК 621.221.21.4 : 621.311.243

Ш. А. Садырбаев, А. Б. Бекбаев

Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, Казахстан

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПИТАНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД МОЙНАКСКОЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ СОЛНЕЧНЫМИ БАТАРЕЯМИ

Анализ показал, что Мойнакская гидроэлектростанция является важной составляющей энергетики Казахстана. Собственные нужды гидроэлектростанции обеспечиваются из общего объема вырабатываемой, электрической энергии. Показано, что перевод обеспечения собственных нужд Мойнакской гидроэлектростанции на альтернативные источники энергии позволит сократить расход денежных средств, необходимых для обслуживания работы гидроэлектростанции. В результате анализа различных альтернативных источников энергии как наиболее перспективные определены солнечные батареи. Определена необходимая мощность трансформаторов собственных нужд Мойнакской гидроэлектростанции. На базе электрических схем замещения идеального и реального фотопреобразователя получены уравнения для определения тока короткого замыкания и напряжения холостого хода реального кремниевого фотопреобразователя. В качестве базового фотопреобразователя выбран Astana-60P, производства Астана Solar, Казахстан. При использовании его вольт-амперной характеристики рассчитана мощность элементарного фотопреобразователя. Вычислена необходимая площадь размещения солнечных батарей для обеспечения питания трансформатора собственных нужд Мойнакской гидроэлектростанции.

Ключевые слова: энергосбережение, зеленая энергетика, кремниевые солнечные батареи, Астана Solar.

Ш. А. Садирбаев, А. Б. Бекбаев

Казахський національний технічний університет імені К. І. Сатпаєва, Казахстан

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВЛЕННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ МОЙНАКСЬКОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ СОНЯЧНИМИ БАТАРЕЯМИ

Аналіз показав, що Мойнакська гідроелектростанція є важливою складовою енергетики Казахстану. Власні потреби гідроелектростанції забезпечуються із загального обсягу виробленої електричної енергії. Показано, що переведення забезпечення власних потреб Мойнакської гідроелектростанції на альтернативні джерела енергії дозволить скоротити витрату коштів, необхідних для обслуговування роботи гідроелектростанції. У результаті аналізу різних альтернативних джерел енергії, як найбільш перспективні, визначені сонячні батареї. Визначено необхідну потужність трансформаторів власних потреб Мойнакської гідроелектростанції. На базі електричних схем заміщення ідеального й реального фотоперетворювача отримані рівняння для визначення струму короткого замикання й напруги холостого ходу реального кремнієвого фотоперетворювача. Як базовий фотоперетворювач обраний Astana-60P, виробництва Астана Solar, Казахстан. При використанні його вольт-амперної характеристики розрахована потужність елементарного фотоперетворювача. Обчислено необхідну площу розміщення сонячних батарей для забезпечення живлення трансформатора власних потреб Мойнакської гідроелектростанції.

Ключові слова: енергозбереження, зелена енергетика, кремнієві сонячні батареї, Астана Solar.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Согласно [1] Казахстан является крупной энергетической державой, так как обладает большими разведанными месторождениями нефти, газа, угля, урана, а также экспортирует электроэнергию в Россию. Суммарная установленная мощность

всех электростанций Казахстана 18992,7 МВт. На сегодняшний день большая часть электроэнергии вырабатывается из угля (70 %). Государство ведет активную политику экономии электроэнергии, развития зеленой энергетики и перехода на альтернативные источники.

Наиболее доступным путем развития зеленой энергетики является внедрение гидроэлектростанций (ГЭС), поскольку теоретическая мощность гидроресурсов страны составляет 170 млрд. кВт·ч.

В декабре 2011 года была запущена Мойнакская ГЭС. Она предназначена для покрытия дефицита мощности Южного региона Казахстана и покрытия пиковых нагрузок. Установленная мощность ГЭС – 300 МВт (2 гидроагрегата мощностью по 150 МВт), среднегодовая выработка – 1027 млн. кВт·ч. Планируемый расход на собственные нужды ГЭС составляет 3,31 млн. кВт·ч [2].

Согласно [2] за 2012 год было выработано 503,98 млн. кВт·ч электрической энергии, при этом фактический расход на собственные нужды составил 2,59 млн. кВт·ч, что составляет 0,51 % от выработки. В 2014 году среднеотпускной тариф на реализацию электрической энергии составляет 13,64 тенге/кВт·ч (без учета НДС) [3]. Соответственно расходы на собственные нужды составили бы 35,33–45,15 млн. тенге в год (приблизительно 192–246 тыс. долларов).

Поэтому актуальной является задача обеспечения собственных нужд ГЭС с помощью альтернативных источников энергии.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Несмотря на то, что Казахстан расположен на широтах между 42 и 55 градусами к северу, потенциал солнечной радиации на территории республики достаточно значителен и составляет 1300–1800 кВт·ч/м² в год, количество солнечных часов в году составляет 2200–3000. Наличие такого значительного потенциала делает солнечную энергетику наиболее перспективным альтернативным источником энергии [4].

В Казахстане есть все условия для развития солнечной энергетики как основного вида альтернативной энергетики. Только запасы кварцевого сырья составляют 267 млн. тонн. Есть промышленные месторождения и других минералов, в том числе редкоземельных, необходимых для производства фотоэлементов: галлия, мышьяка, кадмия, германия. На этой базе уже в течение более чем 20 лет развиваются фототехнологии. Казахстанские арсенид-галиевые солнечные антенны использовались на советских космических спутниках. Их коэффициент полезного действия (КПД) составляет 24 %, что делает их одними из лучших в мире. Ранее все эти передовые разработки использовались в военно-промышленном комплексе и оставались закрытыми для остальной науки; при этом уже открытые разработки не были связаны между собой, что тормозило их внедрение на практике [4].

К тому же солнечная энергетика признана одним из наиболее перспективных видов альтернативной энергетики в мире. В 2003 году в мире солнечными батареями было произведено в сумме 561 МВт электроэнергии. По сравнению с 2002 годом рост составил 44 % [4].

Поэтому была поставлена задача обеспечения собственных нужд Мойнакской ГЭС с помощью солнечных фотопреобразователей.

Мойнакская ГЭС располагает двумя трансформаторами собственных нужд (ТСН), каждый из которых в свою очередь состоит из 3-х однофазных трансформаторов параметрами 15,75/10 кВ, мощностью 630 кВ·А каждый.

Мощность вторичной обмотки трансформатора:

$$P_2 = \frac{P_{TP}}{1,25} = \frac{630}{1,25} = 504 \text{ кВт}, \quad (1)$$

где P_{TP} – мощность трансформатора.

Тогда ток на вторичной обмотке трансформатора:

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{504 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 50,4 \text{ А}, \quad (2)$$

где U_2 – напряжение на вторичной обмотке трансформатора, 10 кВ.

Согласно (2) к одному трансформатору можно подключить максимальную нагрузку на 50,4 А, рассчитаем суммарный ток для питания собственных нужд станции:

$$I_{\Sigma} = m_T n_{tr} I_2 = 2 \cdot 3 \cdot 50,4 = 302,4 \text{ А}, \quad (3)$$

где m_T – количество ТСН, $m_T = 2$; n_{tr} – количество базовых трансформаторов, $n_{tr} = 3$.

Для расчета мощности солнечного фотопреобразователя необходимо знать его вольт-амперную характеристику (ВАХ).

Согласно [5] вольт-амперные характеристики нелинейных элементов электрической цепи (электроввакуумные, газоразрядные и твердотельные приборы) имеют нелинейные участки и разнообразную форму (N-образные, S-образные и т. п.).

Максимальная мощность преобразователя будет тем больше, чем выше ток короткого замыкания $I_{кз}$ и напряжение холостого хода $U_{хх}$, а также чем ближе форма нагрузочной кривой приближается к прямоугольной [6].

Исходя из ВАХ идеального фотопреобразователя, можно получить обратный ток насыщения I_{HT} , напряжение холостого хода $U_{хх}$ и ток короткого замыкания $I_{кз}$. Эти параметры являются базовыми для дальнейших расчетов.

Согласно электрической схеме замещения (рис. 1) при отключенном внешнем сопротивлении для идеального фотопреобразователя:

$$I_{CB} - I_{HT} \left(e^{\frac{qU_{хх}}{kT}} - 1 \right) = 0, \quad (4)$$

где I_{CB} – ток, генерируемый фотопреобразователем; q – заряд электрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл); k – постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг·К⁻¹); T – абсолютная температура, К.

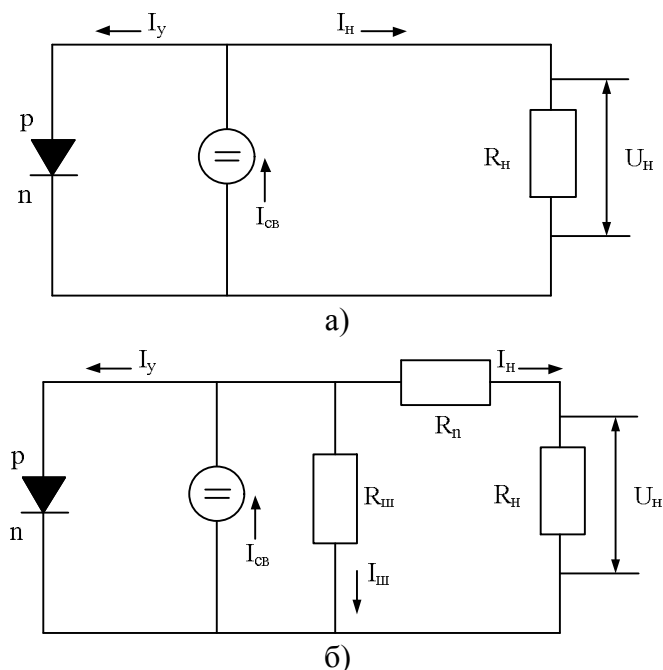


Рисунок 1 – Эквивалентные схемы замещения фотопреобразователей: а – идеальный фотопреобразователь, б – реальный фотопреобразователь

Напряжение холостого хода фотопреобразователя определяется как:

$$U_{XX} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{CB}}{I_{HT}} + 1 \right). \quad (5)$$

Если фотоэлектрический преобразователь замкнут на внешнее сопротивление R_H , в установившемся режиме:

$$I_{CB} - I_{HT} \left(e^{\frac{qU_{XX}}{kT}} - 1 \right) = I_H \quad (6)$$

или

$$I_{CB} - I_y = I_H. \quad (7)$$

Тогда напряжение на нагрузке:

$$U_H = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{CB} - I_H}{I_{HT}} + 1 \right). \quad (8)$$

Выражения (6) и (8) являются общими уравнениями нагрузочной характеристики фотопреобразователей. Коэффициент $\frac{kT}{q}$ для температуры, близкой к комнатной, т. е. 20–30 °С, равен 0,025–0,026. Исходя из этого, после преобразований можно записать следующие выражения:

$$U_H \approx 0,26 \ln \left(\frac{I_{CB} - I_H}{I_{HT}} \right) \approx 0,059 \lg \left(\frac{I_{CB} - I_H}{I_{HT}} \right), \quad (9)$$

$$I_{CB} - I_{HT} (e^{39U_H} - 1) = I_H. \quad (10)$$

Для вывода аналитического выражения вольт-амперной характеристики реального фотопреобразователя воспользуемся схемой на рис. 1, б. Тогда:

$$I_{CB} = I_y + I_{ш} + I_H. \quad (11)$$

Ток утечки I_y можно определить из формулы вольт-амперной характеристики p - n перехода:

$$I_y = I_{HT} \left(e^{\frac{qU_H}{kT}} - 1 \right). \quad (12)$$

Из эквивалентной схемы на рис. 2, б можно найти:

$$I_{ш} = \frac{U_{ш}}{R_{ш}} = \frac{U_H + R_{п} I_{п}}{R_{ш}}, \quad (13)$$

$$I_H = I_{CB} - I_{HT} \left(e^{\frac{qU_H}{kT}} \right) - \frac{U_H + R_{п} I_{п}}{R_{ш}}. \quad (14)$$

Логарифмируя это выражение, находим:

$$U_H = \frac{kT}{q} \left[\ln \left(\frac{I_{CB} - I_H}{I_{HT}} - \frac{U_H + R_{п} I_{п}}{R_{ш}} + 1 \right) \right] - R_H I_H. \quad (15)$$

Обычно величина шунтирующего сопротивления $R_{ш}$ кремниевого преобразователя довольно велика, поэтому токовыми потерями в нем можно пренебречь. При этом I_H и U_H примут следующий вид:

$$I_H \approx I_{CB} - I_{HT} \left(e^{\frac{kT}{q} U_H + R_H I_H} - 1 \right), \quad (16)$$

$$U_H \approx \frac{kT}{q} \left[\ln \left(\frac{I_{CB} - I_H}{I_{HT}} + 1 \right) \right] - R_{II} I_H. \quad (17)$$

Мощность реального кремниевого преобразователя, которую можно получить на нагрузке, будет равна:

$$P = U_H I_H \approx I_H \left[\frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{CB} - I_H}{I_{HT}} + 1 \right) \right] - R_{II} I_H^2 \quad (18)$$

или

$$P_{\max} = \xi U_{xx} I_{k3}, \quad (19)$$

где ξ – величина, которую можно назвать коэффициентом заполнения (этот коэффициент показывает, какую часть мощности, равной произведению величины U_{xx} и I_{k3} , составляет мощность, снимаемая с фотопреобразователя; у хороших элементов величина ξ может достигать 0,8 [6, 7]).

Рассчитаем вольт-амперную характеристику реального фотопреобразователя в реальном режиме при интенсивности $E=1000 \text{ Вт/м}^2$ и температуре $30 \text{ }^\circ\text{C}$ согласно уравнения (8). Выбираем фотопреобразователь типа ASTANA-60P, производство Астана Solar, Казахстан. На рис. 2, приведена кривая, соответствующая этому уравнению, для кремниевого мультикристаллического преобразователя со следующими параметрами: $I_{HT} = 22,586 \text{ А}$, $I_{k3} = 8,31 \text{ А}$ и $U_{xx} = 36,31 \text{ В}$.

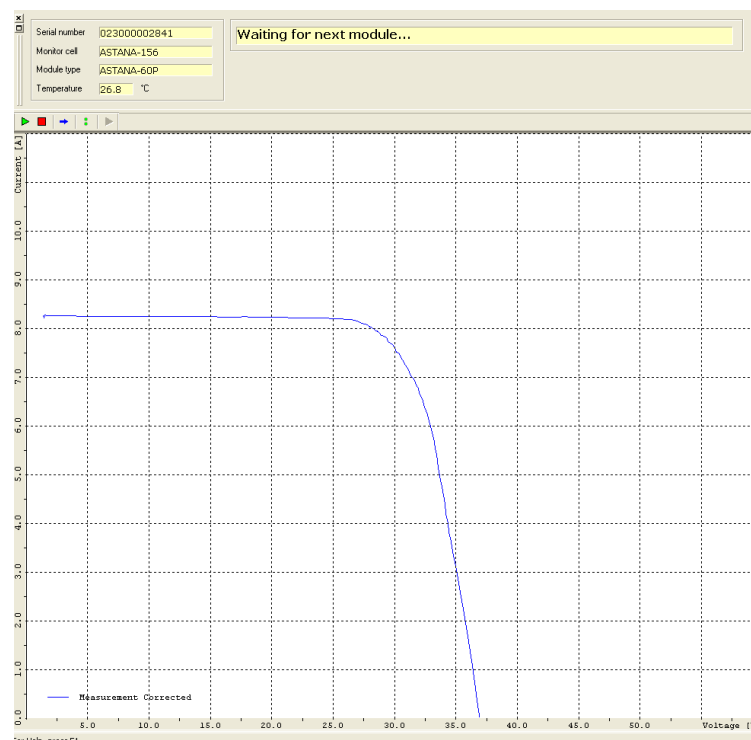


Рисунок 2 – График нагрузочной кривой рассматриваемого фотопреобразователя типа ASTANA-60P

Примем значение коэффициента заполнения равным $\xi = 0,8$, тогда максимальная мощность фотопреобразователя, согласно (19):

$$P_{\max} = 0,8 \cdot 36,31 \cdot 8,31 = 241,39 \text{ Вт}. \quad (20)$$

Таким образом, мощность одного фотопреобразователя достигает 241,39 Вт, при этом расходуемая мощность станции на собственные нужды ТСН-1:

$$P_{мсн1} = 3P_{пр} = 3 \cdot 630 \cdot 10^3 = 1890 \text{ кВт или } 1,89 \text{ МВт.} \quad (21)$$

Рассчитаем количество фотопреобразователей, необходимых для питания ТСН-1 солнечными батареями:

$$n = \frac{P_{мсн1}}{P_{\max}} = \frac{1,89 \cdot 10^6}{241,39} \approx 7830 \text{ шт.} \quad (22)$$

Если учесть габаритные параметры фотопреобразователей, то можно определить площадь поверхности, на которой нужно будет их разместить. Рассматриваемый фотопреобразователь типа ASTANA-60P имеет габаритные параметры 1,55 x 0,93 м² [5], он занимает:

$$S_{\phi} = 1,55 \cdot 0,93 = 1,44 \text{ м}^2. \quad (23)$$

Тогда необходимая площадь:

$$S_{\text{общ}} = S_{\phi} \cdot n = 1,44 \cdot 7830 = 11280 \text{ м}^2 \text{ или } 1,128 \text{ Га.} \quad (24)$$

ВЫВОДЫ. Предложенный проект направлен на развитие энергосбережения и зеленой энергетики Республики Казахстан. Рассчитанные солнечные батареи дают возможность работать ТСН-1 в автономном режиме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайдаров К. А. Теоретические основы электротехники и электроники. Основания электротехники и электроники. Электроэнергетика Казахстана [Электронный ресурс] / К. А. Хайдаров. – Режим доступа: <http://bourabai.kz/toe/kazenergy.htm>
2. Материалы с официального сайта АО «Самрук-Энерго» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://samruk-energy.kz/>
3. Материалы с официального сайта ТОО «АСТАНАЭНЕРГОСБЫТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.astanaenergobyt.kz/tarif>
4. Солнечная энергия в Казахстане // TERRA-Жер-Ана : научно-популярный экологический журнал. – 2004. – № 10. – С. 6–7.
5. Физический энциклопедический словарь ; гл. ред. А. М. Прохоров. – М. : Советская энциклопедия, 1983. – 927 с.
6. Глиберман А. Я. Кремниевые солнечные батареи / А. Я. Глиберман, А. К. Зайцева. – М. : Госэнергоиздат, 1961. – 74 с.
7. Sadyrbayev Sh. A. Design and Research of Dual-Axis Solar Tracking System in Condition of Town Almaty / Sh. A. Sadyrbayev, A. B. Bekbayev, S. Orynbaev, Zh. Kaliyev // Middle East Journal of Scientific Research (MEJSR). – 2013. – №. 17 (12). – PP. 1747–1751.

Sh. Sadyrbaev, A. Bekbaiev

Kazakh National Technical University after K.I. Satpaev, Kazakhstan

SUPPORT OF AUXILIARY POWER SUPPLY OF MOINAK HYDRO POWER PLANT BY SOLAR BATTERIES

The analysis showed that the Moinak hydro power plant is important part of power industry of Kazakhstan. Auxiliary of hydro power plant are provided from the total amount of developed electric energy. It is shown that transfer of ensuring auxiliary of Moinak hydro power plant to alternative energy sources will allow to reduce the funds expenditure necessary for service of hydro power plant work. As a result of the analysis of various alternative energy sources solar batteries are defined as the most perspective. Necessary transformers power of auxiliary of Moinak hydro power plant is determined. On the basis of electric equivalent circuits of the ideal and real photo converter

the equations for determining short circuit current of and idling voltage of the real silicon photo converter are received. Astana-60P produced by Astana Solar Kazakhstan is chosen as the basic photo converter. Using its volt-ampere characteristic the power of the elementary photo converter is calculated. The necessary area placement of solar batteries for ensuring power supply of the auxiliary transformer of Moinak hydro power plant is calculated.

Key words: energy saving, green power, silicon solar batteries, Astana Solar.

REFERENCES

1. Khaydarov, K.A. *Teoreticheskie osnovy elektrotehniki i elektroniki. Osnovaniya elektrotehniki i elektroniki. Elektroenergetika Kazakhstana*, available at: <http://bourabai.kz/toe/kazenergy.htm> (accessed May 11, 2014). [in Russian]
2. Data's of official site of AO «Samruk-Energy», available at: <http://samruk-energy.kz/> (accessed May 11, 2014). [in Russian]
3. Data's of official site of TOO «ASTANAENERGOSBYT», available at: <http://www.astanaenergobyt.kz/tarif> (accessed May 11, 2014). [in Russian]
4. (2004), *Solnechnaya energiya v Kazakhstane* [Solar Energy of Kazakhstan], *TERRA-Zher-Ana*, no. 10, pp. 6-7. [in Russian]
5. (1983), *Fizicheskiy entsiklopedicheskiy slovar'* [Physical Encyclopaedia], Sovetskaya entsiklopediya, Moskow. [in Russian]
6. Gliberman, A.Ya. and Zaytseva, A.K. (1961), *Kremnievye solnechnye batarei* [Silicon Solar Batteries], Gosenergoizdat, Moskow, 74 p. [in Russian]
7. Sadyrbayev, Sh.A., Bekbayev, A.B., Orynbaev, S. and Kaliyev, Zh. (2013), Design and Research of Dual-Axis Solar Tracking System in Condition of Town Almaty, *Middle East Journal of Scientific Research (MEJSR)*, no. 17 (12), pp. 1747-1751.

Садырбаев Шынгыс Альмаханович, ассистент кафедры «Электроэнергетика и автоматизация технологических комплексов», Казахский национальный технический университет имени Каныша Имантаевича Сатпаева, ул. Сатпаева, 22 а, г. Алматы, Казахстан, 050000.
Тел. +7 (727)257-70-79,
E-mail: chyngyzkhan@list.ru



Sadyrbaev Shyngys Almakhanovich, Assistant of Electrical Engineering and Automation of Technological Complexes Department, Kazakh National Technical University after K.I. Satpaev, ul. Satpaeva, 22 a, Almaty, Kazakhstan, 050000
Тел. +7 (727)257-70-79,
E-mail: chyngyzkhan@list.ru

Бекбаев Амангельды Бекбаевич, д.техн.н, профессор, заведующий кафедрой «Электроэнергетика и автоматизация технологических комплексов», Казахский национальный технический университет имени Каныша Имантаевича Сатпаева, ул. Сатпаева, 22 а, г. Алматы, Казахстан, 050000.
Тел. +7 (727)257-70-79.
E-mail: bekbaev_a@mail.ru



Bekbaev Amangeldi Bekbaievich, Dc.Sc. (Eng.), Professor, Head of Electrical Engineering and Automation of Technological Complexes Department, Kazakh National Technical University after K.I. Satpaev, ul. Satpaeva, 22 a, Almaty, Kazakhstan, 050000.
Тел. +7 (727)257-70-79.
E-mail: bekbaev_a@mail.ru

Стаття надійшла 05.04.2014