

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРЫШНОЙ
ФОТОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С УЧЕТОМ КОНСТРУКЦИОННЫХ
ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЛОЩАДКИ**

Ю. В. Даус, кандидат технических наук

Азово-Черноморский инженерный институт

ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, Россия

E-mail: zirochka2505@gmail.com

В. В. Дьяченко, кандидат технических наук, доцент

Запорожский национальный технический университет

E-mail: tratata1964@mail.ru

Аннотация. *Выбор состава и параметров элементов фотоэлектрической станции требует учета многих факторов (потенциала солнечной энергии, пространственной ориентации принимающей площадки, графика потребления электрической энергии). Цель исследования – анализ вариантов компоновки фотоэлектрической станции с учетом конструкционных особенностей крыши производственного здания и графика нагрузки потребителя. Объектом исследования является система внутрицехового освещения двух отделений мельницы хлебопекарного помола. Были определены параметры составляющих солнечной электростанции при её размещении на плоской части крыши мельницы хлебопекарного помола с учетом её размеров, пространственной ориентации и конструкции. Для электроснабжения системы внутрицехового освещения отделений мельницы был проведен расчет количества фотоэлектрических модулей, которые можно расположить на крыше с учетом взаимного затенения от рядов панелей и элементов конструкции крыши. Были рассмотрены 2 варианта компоновки солнечной электростанции фотоэлектрическими панелями: максимальное использование имеющейся площади и размещения модулей с учетом условий затенения; режим генерации без использования накопителей электрической энергии. С точки зрения максимальной реализации имеющегося потенциала солнечной энергии района использование плоской части крыши здания является более предпочтительным, так как позволяет расположить фотоэлектрические модули под оптимальным углом наклона к горизонту, обеспечивающем наибольший годовой поток суммарной солнечной радиации на приемную поверхность. Однако количество устанавливаемых преобразующих устройств ограничено особенностями конструкций крыши, а именно условиями затенения как от элементов крыши, так и взаимного затенения рядов фотоэлектрических модулей*

друг от друга, что существенно снижает уровень реализуемого технического потенциала солнечной энергии.

Ключевые слова: компоновка фотоэлектрической станции, конструкционные особенности крыши производственного здания, график нагрузки

Актуальность. Количество энергии, которое поступает на поверхность Земли от Солнца в течение недели, превышает энергию всех мировых запасов таких углеводородных видов топлива как нефть, газ, уголь, а также урана. Преобразование мощности, поступающей от Солнца позволит удовлетворить практически полностью потребность человечества в энергии на многие годы. При этом солнечная энергетика – «чистая» и не оказывает отрицательного влияния на экологию [1].

Необходимо также отметить, что кремний, используемый в качестве сырья для изготовления фотоэлектрических батарей, является одним из самых часто встречающихся элементов в недрах Земли. Несмотря на это, специалисты считают солнечную энергетiku не совсем экологически безопасной, так как производство чистого кремния для фотоэлектрических батарей является химически высокотехнологичным и энергозатратным производством [2]. Кроме того, обеспечение эффективной работы энергосистемы, содержащей солнечные электростанции, возможно:

- при наличии значительных традиционных резервных мощностей, для работы в пасмурные и ночные периоды времени суток;
- после проведения модернизации электрических сетей.

Анализ последних исследований и публикаций. Одним из основных условий высокой степени эффективной утилизации фотоэлектрическими модулями приходящего солнечного излучения является согласование режимов генерации и потребления электрической энергии [3]. Результатом такого согласования является синтез параметров и основных характеристик проектируемой фотоэлектрической установки. То есть выбор параметров элементов фотоэлектрической установки зависит от потребления электрической энергии в течение суток, периода

эксплуатации фотоэлектрических модулей, интенсивности приходящего солнечного излучения в течение дня, системы пространственной ориентации приемной поверхности модуля и т.д. [4–6]

Всё это во многом определяет тип используемой фотоэлектростанции – автономный или работающий параллельно с сетью. [7]

Автономная фотоэлектрическая установка помимо солнечных модулей может содержать как накопители электрической энергии, заряжаемые при избыточном потоке солнечного излучения, с контроллерами заряда-разряда так и дополнительные традиционные источники электрической энергии. Однако область применения таких установок ограничена в виду серьезных потерь мощности в режимах малых нагрузок (отключение батарей при полной зарядке аккумуляторов) и необходимости частой замены самих аккумуляторных батарей из-за цикличности их функционирования. То есть такая система требует больших капитальных затрат, по сравнению с той, которая работает параллельно с сетью.

Нейтрализовать указанные недостатки возможно, используя фотоэлектростанции, работающие параллельно с сетью, так как подключение к сети позволит компенсировать недостатки и утилизировать избытки генерируемой электрической энергии. Однако при строительстве новых или расширении действующих предприятий при заявке на подключение к системе электроснабжения новых мощностей возникают проблемы – большие затраты на выполнение технических условий подключения [5, 6].

Таким образом, выбор состава и параметра элементов фотоэлектрической станции требует учета многих факторов (потенциала солнечной энергии, пространственной ориентации принимающей площадки, графика потребления электрической энергии) [8].

Цель исследования – анализ вариантов компоновки фотоэлектрической станции с учетом конструктивных особенностей крыши производственного здания и графика нагрузки потребителя.

Объектом исследования является система внутрицехового освещения двух отделений мельницы хлебопекарного помола. Данные о характеристиках потребителя: годовой объем потребляемой электрической энергии: 10275,75 кВт·ч/год.

Материалы и методы исследования. Выбор элементов солнечной фотоэлектростанции осуществляется по следующей методике [7].

К выбору параметров солнечной электростанции относится определение номинальной мощности солнечных модулей, их количества, ёмкости аккумуляторных батарей, мощностей инвертора и контроллера заряда-разряда.

Выбор количества фотоэлектрических панелей осуществляем исходя из потребляемой мощности потребителя и геометрических размеров и пространственной ориентации места предполагаемой их установки.

Выбор мощности инвертора осуществляется по пиковой мощности нагрузки в случае наличия потребителей с пусковыми токами и по номинальной мощности в остальных случаях.

Выбор аккумуляторных батарей сводится к выбору таких её эксплуатационных параметров, как емкость, плотность энергии, саморазряд, температурные и атмосферные режимы, тип. Емкость аккумулятора определяется величиной заряда, который замеряется при отдаче энергии потребителям от полного заряженного состояния до минимально допустимой величины выходного напряжения и количеством избыточной выработки электрической энергии.

Результаты исследований и их обсуждение. Определим параметры составляющих солнечной электростанции при её размещении на плоской части крыши мельницы хлебопекарного помола, имеющей небольшой угол склонения, часть крыши размером 13 м x 39 м, ориентированная узкой стороной строго на юг и высотой кромки 0,5 м.

Для организации электроснабжения системы внутрицехового освещения отделений мельницы необходимо провести расчет количества фотоэлектрических модулей, которые можно расположить на крыше с учетом взаимного затенения от

рядов панелей и элементов конструкции крыши. Расчет проводился на примере фотоэлектрических монокристаллических батареи марки Solarland SLP180-24 Silver Poly Solar Panel.

Количество фотоэлектрических панелей, которое можно расположить на крыше здания, ограничено её конструктивными особенностями. Прежде всего, тем, что крыша сориентирована узкой частью на юг, то есть ряды батарей будут устанавливаться параллельно этой линии. Исходя из размеров Solarland SLP180-24, вертикально в один ряд расположить можно не более 13 шт.

Расстояние между рядами и от кромки крыши до первого ряда, при котором бы поверхность солнечного модуля не затенялась бы по формуле согласно рис. 1:

$$\left\{ \begin{array}{l} kw = \left(\cos \beta + \frac{\sin \beta}{\operatorname{tg}(90 - \theta)} \right) \cdot w \\ w_3 = 0 \end{array} \right\},$$

где θ – угол падения солнечных лучей на приемную площадку, расположенную горизонтально к поверхности Земли; w - высота фотоэлектрической панели, м.

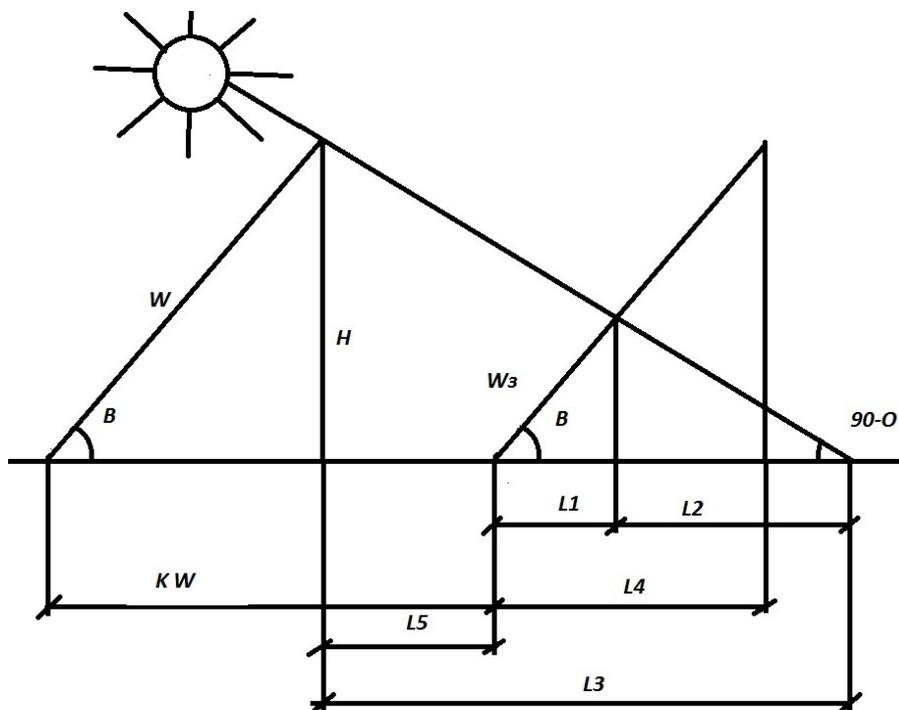


Рис. 1. Геометрическая модель определения длины тени от фотоэлектрического модуля

Минимальное расстояние между нижними точками модулей в соседних рядах для времени $t = 9$ часов 22 декабря (время подъема Солнца над горизонтом для самого короткого дня года) при оптимальном угле наклона приемной площадки составит 21,36 м. А наименьшее расстояние от кромки крыши в этот же момент времени равно 20,83 м. Исходя из геометрических размеров крыши, возможно на ней разместить 2 ряда, параллельных её узкой стороне, из 13 фотоэлектрических панелей типа Solarland SLP180-24.

Рассмотрим 2 варианта компоновки солнечной электростанции фотоэлектрическими панелями: 1 вариант – максимальное использование имеющейся площади и размещения модулей с учетом условий затенения (2 ряда по 13 модулей); 2 вариант – режим генерации без использования накопителей электрической энергии. Результаты расчета и выбора параметров элементов солнечной электростанции по выбранным вариантам представлены в табл. 1.

1. Перечень выбранного оборудования для различных вариантов компоновки фотоэлектрических панелей на солнечной электростанции

компоновка	Нфп, шт.	Тип фотопанели	Нинв, шт.	Тип инвертора
1 вариант	26	Solarland 180 Silver Poly	1	Sunny Boy 5000TL-21 ST
2 вариант	11	Solarland 180 Silver Poly	1	MAP-HYBRID-24 В 2 кВт

Продолжение табл. 1

компоновка	Наб. шт.	Тип аккумуляторной батареи	Нкз. шт.	Тип контроллера заряда
1 вариант	23	HZY12 -230	26	CM2024 12/24В
2 вариант	-	-	0	CM2024 12/24В

На рис. 2 представлен суточный график выработки электрической энергии для первого варианта компоновки фотоэлектрическими модулями солнечной электростанции на примере 1 января, 1 апреля, 1 июля и 1 октября.

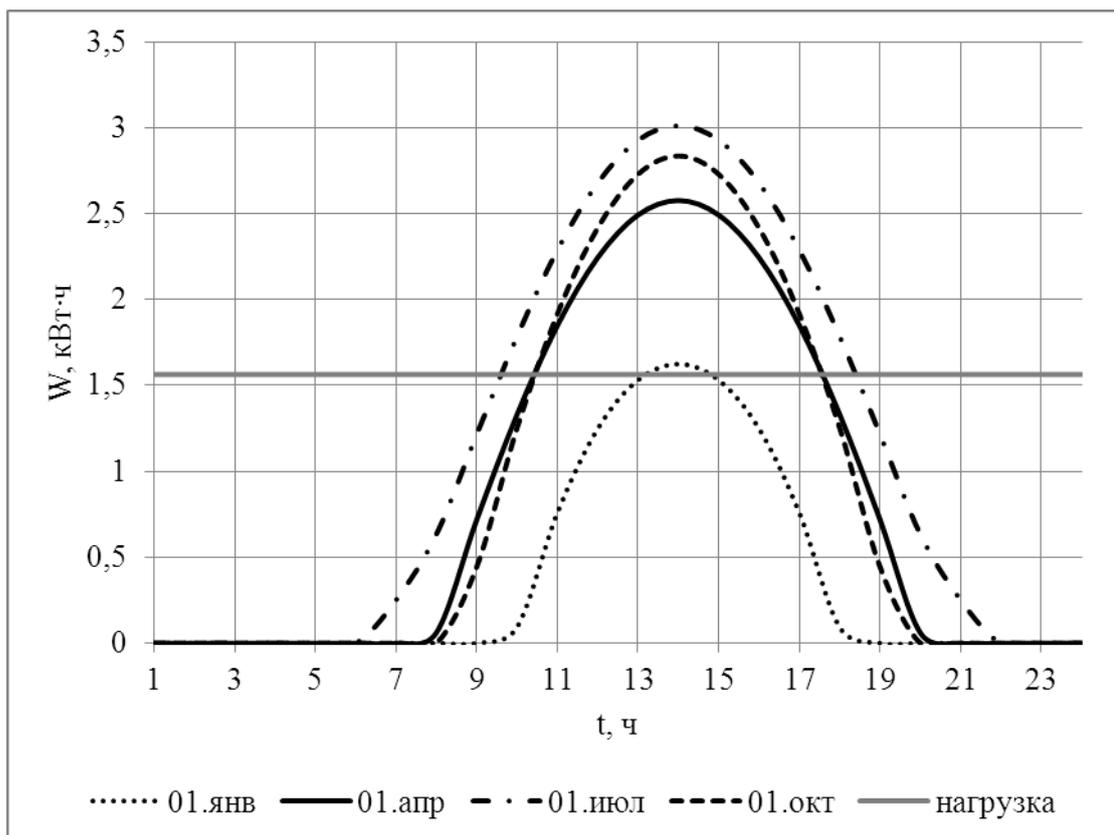


Рис. 2. Суточный график выработки и потребления электрической энергии для 1 варианта её компоновки фотоэлектрическими модулями

Солнечная станция с компоновкой из 26 фотоэлектрических модулей, расположенных в 2 ряда под углом 38° к горизонту и ориентированных на юг, наибольшую выработку обеспечивает в период максимума солнечной активности – в 1400 – летом 3,01 кВт·ч, весной и осенью 2,57 – 2,83 кВт·ч, зимой 1,02 кВт·ч. При этом потребление электрической энергии полностью обеспечивается от станции летом в период с 1000 до 1800, в полдень выработки превышает нагрузку в 2 раза. В осенне-весенний период система освещения получает питание только от солнечной электростанции с 1100 до 1700, при этом регенерация составляет от 59 до 81 %. Зимой же только 2 часа в день электропитание от модулей достаточно для снабжения нагрузки с 1300 до 1500 (98–100 %). То есть такой подход требуется практически весь год кроме зимних месяцев использования дополнительного аккумуляторного оборудования либо подключения дополнительных потребителей для утилизации избытка генерируемой электрической энергии.

На рис. 3 представлен суточный график выработки электрической энергии по различным вариантам компоновки фотоэлектрическими модулями солнечной электростанции на примере 1 июля.

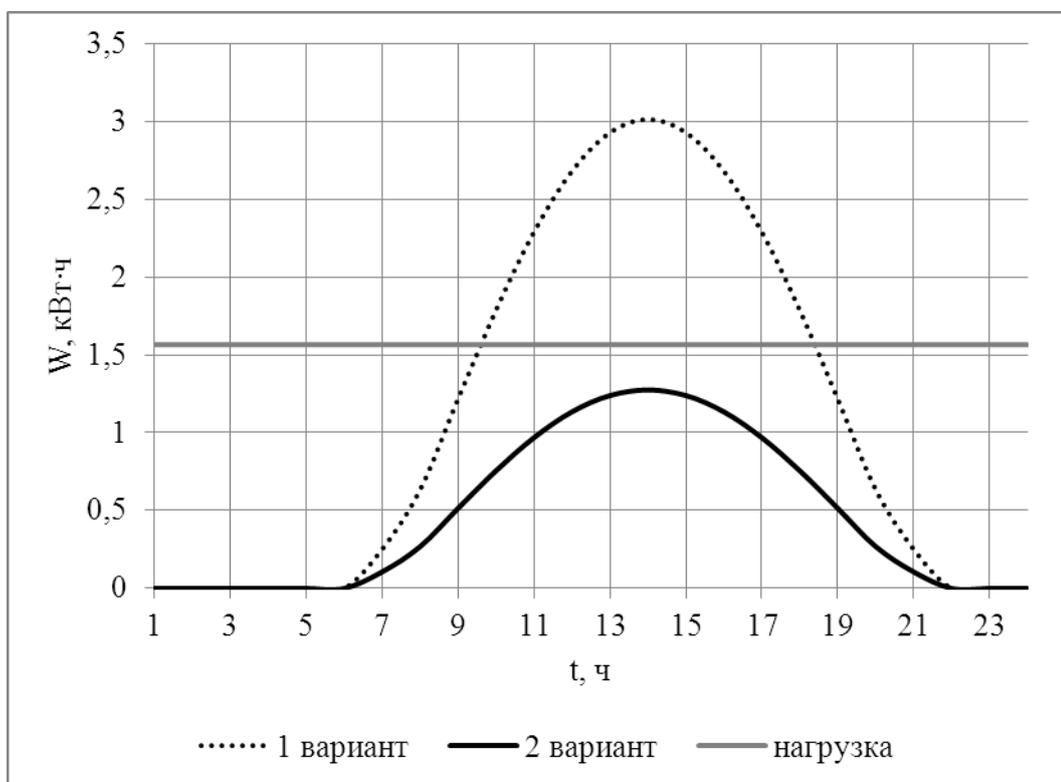


Рис. 3. Суточный график выработки и потребления электрической энергии по различным вариантам её компоновки фотоэлектрическими модулями на примере 1 июля

Минимальный режим генерации электрической энергии обеспечивается при втором варианте компоновки. Он не требует использования аккумуляторных батарей.

Выводы и перспективы. С точки зрения максимальной реализации имеющегося потенциала солнечной энергии района использование плоской части крыши здания является более предпочтительным, так как позволяет расположить фотоэлектрические модули под оптимальным углом наклона к горизонту, обеспечивающем наибольший годовой поток суммарной солнечной радиации на приемную поверхность. Однако количество устанавливаемых преобразующих

устройств ограничено особенностями конструкций крыши, а именно условиями затенения как от элементов крыши, так и взаимного затенения рядов фотоэлектрических модулей друг от друга, что существенно снижает уровень реализуемого технического потенциала солнечной энергии.

В качестве дальнейшего направления исследований рассматривается анализ вариантов компоновки фотоэлектрической станции на наклонных конструкциях крыши производственного здания и технико-экономических показателей их функционирования.

Список литературы

1. Мельникова А. А. Методика оценки условий внедрения объектов солнечной энергетики / А. А. Мельникова, Ю. Ю. Рафикова // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 15-18. – С. 12-23.

2. Елистратов В.В. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения: учебное пособие / В. В. Елистратов, В. А. Грилихес, Е. С.Аронова; под ред. В. В. Елистратова. – Санкт–Петербург: Изд–во Политехн. ун–та, 2008. – 100 с.

3. Юдаев И. В. Опыт использования ВИЭ на сельских территориях и в рекреационных зонах в регионах ЮФО / И. В. Юдаев // Вестник аграрной науки Дона. – 2015. – № 1. – с. 82 – 92.

4. Daus Yu.V. Solar Radiation Intensity Data as Basis for Predicting Functioning Modes of Solar Power Plants) / Yu.V. Daus, V.V. Kharchenko, I.V. Yudaev // Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development / ed. by V. Kharchenko and Pandian Vasant. – Hershey PA: IGI Global, 2018. – P. 283–310.

5. Крышная фотоэлектростанция для электроснабжения системы круглосуточного внутрицехового освещения мельницы / Ю. В. Даус, В. В. Головинов // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 2 (23). – С. 265 – 270.

6. Daus Yu.V. Reducing the costs of paying for consumed electric energy by utilizing solar energy / Yu. V. Daus, I.V. Yudaev, G.V. Stepanchuk // Applied Solar Energy. – 2018. – Vol. 54, No. 2. – pp. 137–141.

7. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / В. И. Виссарионов [и др.]; Под ред. В. И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 317 с.

8. Водяников, В. Т. Основные направления энергосбережения в аграрном секторе экономики страны / В. Т. Водяников // Экономика сельского хозяйства России. – 2015. – № 12. – С. 64–69.

References

1. Mel'nikova, A. A., Rafikova, Yu. Yu. (2016). Metodika otsenki usloviy vnedreniya ob"yektov solnechnoy energetiki [Methodology for assessing the conditions for

introducing solar energy facilities]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal Al'ternativnaya energetika i ekologiya*, 15-18, 12-23.

2. Elistratov, V. V. et al. (2010). *Klimaticheskie faktory vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии* [Climatic factors of renewable energy sources]. Saint-Petersburg: Nauka, 100.

3. Yudaev, I. V. (2015). *Opyt ispol'zovaniya VIE na sel'skikh territoriyakh i v rekreatsionnykh zonakh v regionakh YuFO* [Experience of using renewable energy sources in rural areas and in recreational zones in the regions of the Southern Federal District]. *Bulletin of Agrarian Science of the Don*, 1, 82 - 92.

4. Daus, Yu. V., Kharchenko, V. V., Yudaev, I. V. (2018). *Solar Radiation Intensity Data as Basis for Predicting Functioning Modes of Solar Power Plants*. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. Hershey PA: IGI Global, 283 - 310.

5. Daus, Yu. V., Golovinov, V. V. (2017). *Kryshnaya fotoelektrostantsiya dlya elektrosnabzheniya sistemy kruglosutochnogo vnutritsekhovogo osveshcheniya mel'nitsy* [Roof photovoltaic power station for power supply of the system of round-the-clock intrashop lighting of the mill]. *Innovations in agriculture*, 2 (23), 265 - 270.

6. Daus, Yu. V., Yudaev, I. V., Stepanchuk, G. V. (2018). *Reducing the costs of paying for consumed electric energy by utilizing solar energy*. *Applied Solar Energy*, 54, 2, 137–141.

7. Vissarionov, V.I. et al. (2008). *Solnechnaja jenergetika: Uchebnoe posobie dlja vuzov* [Solar energy: A textbook for high schools]. Moscow: Izdatel'skij dom MJeI, 317.

8. Vodyannikov, V. T. (2015). *Osnovnyye napravleniya energosberezheniya v agrarnom sektore ekonomiki strany* [The main directions of energy conservation in the agricultural sector of the country]. *Economics of Agriculture of Russia*, 12, 64–69.

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДАХОВОЇ ФОТОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З УРАХУВАННЯМ КОНСТРУКЦІЙНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЧОГО МАЙДАНЧИКУ

Ю. В. Даус, В. В. Дьяченко

Анотація. Вибір складу і параметрів елементів фотоелектричної станції вимагає врахування багатьох факторів (потенціалу сонячної енергії, просторової орієнтації приймаючої поверхні, графіка споживання електричної енергії). Мета дослідження - аналіз варіантів компонування фотоелектричної станції з урахуванням конструкційних особливостей даху виробничої будівлі і графіка навантаження споживача. Об'єктом дослідження є система внутрішньоцехового освітлення двох відділень млини хлібопекарського помелу. Були визначені параметри складових сонячної електростанції при її розміщенні на плоскій частині даху млина хлібопекарського помелу з урахуванням його розмірів, просторової орієнтації і конструкції. Для електропостачання системи внутрішньоцехового освітлення відділень млину був проведений розрахунок кількості фотоелектричних модулів, які можна розташувати на даху з урахуванням взаємного затінення від рядів панелей і елементів конструкції даху. Були розглянуті 2 варіанти компоновки сонячної

електростанції фотоелектричними модулями: максимальне використання наявної площі та розміщення модулів з урахуванням умов затінення; режим генерації без використання накопичувачів електричної енергії. З точки зору максимальної реалізації наявного потенціалу сонячної енергії району використання плоскої частини даху будівлі є кращим, тому що дозволяє розташувати фотоелектричні модулі під оптимальним кутом нахилу до горизонту, що забезпечує найбільший річний потік сумарної сонячної радіації на приймальню поверхню. Однак кількість встановлюваних перетворюючих пристроїв обмежена особливостями конструкцій даху, а саме умовами затінення як від елементів даху, так і взаємного затінення рядів фотоелектричних модулів один від одного, що істотно знижує рівень реалізованого технічного потенціалу сонячної енергії.

Ключові слова: компоновка фотоелектричної станції, конструкційні особливості даху виробничої будівлі, графік навантаження

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF ROOF-TOP PHOTOVOLTAIC POWER PLANT TAKING INTO ACCOUNT THE CONSTRUCTION PECULIARITIES OF THE PRODUCTION AREA

Yu. Daus, V. Dyachenko

Abstract. *The choice of the composition and parameters of the elements of the photovoltaic power plant requires consideration of many factors (the potential of solar energy, the spatial orientation of the receiving site, the graph of electrical energy consumption). The purpose of the research is to analyze the layout options of the photovoltaic power plant, taking into account the structural features of the roof of the industrial building and the load curve of the consumer. The object of the research is the system of internal lighting of two branches of the baking mill. The parameters of the components of the solar power plant were determined as it was placed on the flat part of the roof of the baking mill, taking into account its size, spatial orientation and design. For the power supply of the inter-shop lighting system of the mill compartments, there was calculated the number of photovoltaic modules, which can be positioned on the roof, taking into account the mutual shading from the rows of panels and roof construction elements. Two options for the layout of the solar power plant with photovoltaic panels were considered: maximum use of the available area and placement of the modules, taking into account the shading conditions; generation mode without the use of electrical energy storage devices. From the point of view of maximizing the available solar energy potential in the region, the use of the flat part of the roof of the building is more preferable, since it allows the photovoltaic modules to be positioned at the optimum inclination angle to the horizon, providing the largest annual flux of total solar radiation to the receiving surface. However, the number of installed conversion devices is limited by the features of the roof structures, namely, the shading conditions both from the roof elements and the mutual shading of the photovoltaic modules rows from each other, which significantly reduces the level of realized technical potential of solar energy.*

Key words: *layout of the photovoltaic power plant, structural features of the roof of the industrial building, load curve*