

Использование фотоэлектрического питания аппарата ИВЛ «Фаза-21» на основе ФЭП третьего поколения

Рецензия эксперта на статью получена 27.10.2020 [Expert review on the article received on October 27, 2020].

Введение

Аппараты искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ) находят всё более широкое применение при оказании помощи больным с различными формами лёгочных заболеваний. Для надёжной работы ИВЛ необходимо наличие стационарного или передвижного источника энергии для привода в действие компрессора и электронного блока управления. По ГОСТ Р 50444-92 «Приборы, аппараты и оборудование медицинские» мощность источника энергии должна превышать средний уровень потребляемой мощности на 15–25 %, что связано в первую очередь с необходимостью обеспечения пусковых токов для электроприводных устройств, работающих в нестационарном режиме [1].

Особенностью работы аппарата искусственной вентиляции лёгких является требование надёжной, непрерывной и длительной работы в заданном режиме, что накладывает соответствующие требования к источнику энергии. Особенно остро эта проблема стоит в условиях полевой медицины или на удалённых территориях, не имеющих централизованного энергоснабжения. Для этого большинство аппаратов ИВЛ имеют возможность питания от передвижных энергоустановок, бортовой сети транспортных средств и резервной аккумуляторной батареи (АКБ). Однако длительная бесперебойная работа от указанных источников приводит к значительному расходу топлива, а также ограничивается непосредственно ресурсом энергоустановок.

Особенностью работы аппарата искусственной вентиляции лёгких является требование надёжной, непрерывной и длительной работы в заданном режиме, отсюда соответствующие требования к источнику энергии

Особенности работы аппарата ИВЛ «Фаза-21»

Для рассмотрения возможности длительной (не ограниченной по времени) бесперебойной работы ИВЛ от системы фотоэлектрического питания были выполнены экспериментальные исследования энергопотребления ИВЛ «Фаза-21», разработанного и серийно выпускающегося Уральским приборостроительным заводом (УПЗ, город Екатеринбург) [2]. Аппарат ИВЛ «Фаза-21» предназначен для искусственной вентиляции лёгких в стационарах, транспортных средствах и на дому.

Компактный вентилятор с микропроцессорным управлением и встроенным компрессором низкого давления могут использоваться при низком давлении кислорода и напряжении в электросети 190–250 В переменного тока, 12 и 27 В постоянного тока бортового питания автомобиля, самолёта, вертолёта.

Аппарат обеспечивает широкий диапазон режимов вентиляции, позволяющий изменять объём вентиляции от 0,6 до 30 л/мин. В составе аппарата имеется встроенный аккумулятор, обеспечивающий работу в течение четырёх часов.

УДК 620.92. Научная специальность: 05.14.08.

Об использовании фотоэлектрического питания аппарата ИВЛ «Фаза-21» на основе ФЭП третьего поколения

С. Е. Щеклеин, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» (АСИВИЭ), Уральский энергетический институт (УралЭНИИ) Уральского федерального университета (УрФУ, г. Екатеринбург); **В. Н. Алехин**, к.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования объектов строительства» (САПРОС), Институт строительства и архитектуры (ИСА) УрФУ (г. Екатеринбург); **Е. П. Шароварова**, ассистент кафедры САПРОС, ИСА УрФУ; **М. А. Фадейкина**, магистр, кафедра АСИВИЭ, УралЭНИИ УрФУ; **М. А. Плесников**, магистр, кафедра АСИВИЭ, УралЭНИИ УрФУ; **Н. В. Первозкин**, магистр, кафедра АСИВИЭ, УралЭНИИ УрФУ (г. Екатеринбург)

В статье приведены результаты экспериментального исследования энергетических характеристик системы питания мобильного аппарата искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ) «Фаза-21» от гибких фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) компании Uni-Solar (КНР). Данный эксперимент показал, что для питания мобильных аппаратов ИВЛ возможно использование ФЭП на основе как аморфного, так и монокристаллического кремния. Установлено, что ФЭП третьего поколения, обладающие высокой эффективностью, малым весом, компактностью и более низкой стоимостью, в сравнении с монокристаллическими ФЭП, могут широко применяться для питания мобильных аппаратов ИВЛ. В условиях современной санитарно-эпидемиологической обстановки мобильные решения по энергоснабжению являются особенно актуальными.

Ключевые слова: фотоэлектрические преобразователи, аморфный и монокристаллический кремний, аппараты ИВЛ, мобильность, энергоснабжение, возобновляемые источники энергии.

УДК 620.92. Number of scientific specialty: 05.14.08.

The use of photovoltaic power supply for the “Phase-21” ALV device based on photoelectric converters of the 3rd generation

S. E. Shcheklein, PhD, Professor, Head of the “Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources” Department (NPP RES), Ural Power Engineering Institute (UralENIN) of Ural Federal University (UrFU, Yekaterinburg city); **V. N. Alekhin**, PhD, Professor, Head of the “Computer-Aided Design of Construction Objects” Department (CAD CO), Institute of Construction and Architecture (ICA) of UrFU (Yekaterinburg city); **E. P. Sharovarova**, assistant of the CAD CO Department, ICA of UrFU; **M. A. Fadeykina**, magister, the NPP RES Department, UralENIN of UrFU; **M. A. Plesnikov**, magister, the NPP RES Department, UralENIN of UrFU; **N. V. Perevozkin**, magister, the NPP RES Department, UralENIN of UrFU

The article presents the results of an experimental study of the energy characteristics of the power supply system of the mobile mechanical lung ventilation device (MLV) “Phase-21” from flexible photovoltaic converters (FPVC) manufactured by Uni-Solar (China). This experiment showed that it is possible to use flexible photovoltaic converters based on both amorphous and single-crystal silicon to power mobile mechanical lung ventilation device. It is established that the third-generation flexible photovoltaic converters, which have high efficiency, low weight, compactness and lower cost, in comparison with single-crystal photovoltaic converters, can be widely used for powering the mobile mechanical lung ventilation device. In the current world sanitary and epidemiological situation, mobile solutions for energy supply are particularly relevant.

Key words: photovoltaic converters, flexible photovoltaic converters, amorphous and monocrystalline silicon, mechanical lung ventilation, medical ventilation, intermittent mandatory ventilation, invasive and non-invasive ventilation, respirator, ventilator, mobility, power supply, renewable energy sources.

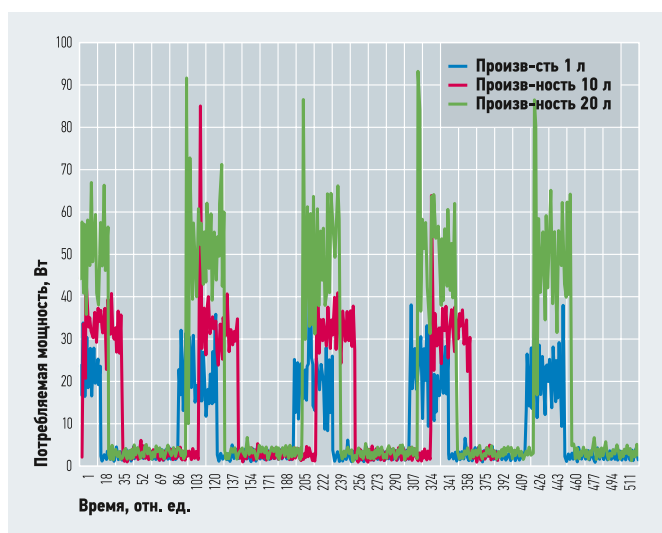


Рис. 1. Изменение потребляемой мощности при работе «Фаза-21»

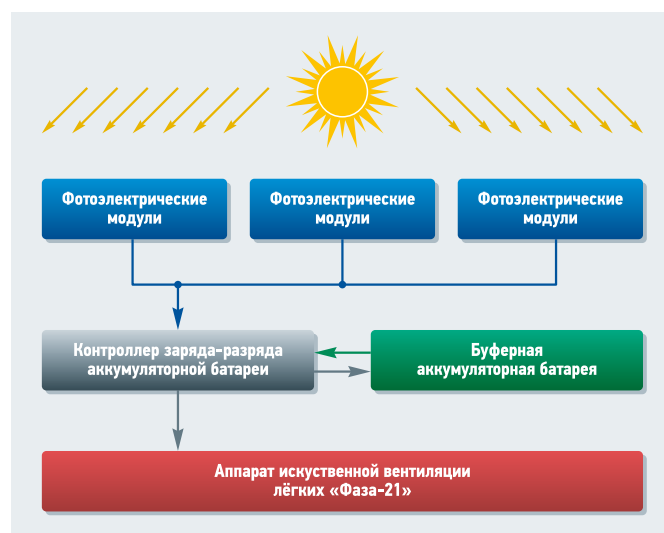


Рис. 2. Блок-схема системы ФВ-питания аппарата ИВЛ

Общий вид аппарата ИВЛ «Фаза-21» и его технические характеристики приведены на фото 1 и в табл. 1. Результаты экспериментальных исследований энергопотребления данного аппарата для разных режимов работы при питании от стационарного источника постоянного тока на протяжении 12 В приведены на рис. 1.

Очевидно, что энергопотребление характеризуется периодически изменяющейся величиной, задаваемой объёмом и ритмом дыхания. При выбранном типе питания значения тока изменялись в диапазоне от 0,1 до 8 А. Отметим, что данные, приведённые на рис. 1, не учитывают особенности электропитания, связанные с нестационарностью работы аппарата, и характеризуют лишь среднее потребление электроэнергии, влияющее на выбор источника подпитки буферной АКБ. С учётом особенностей энергопотребления аппарата предложена схема (рис. 2), включающая буферный накопитель энергии (АКБ) и позволяющая при ограниченной мощности системы фотоэлектрической подпитки обеспечить устойчивую работу аппарата в широком диапазоне изменения потребляемого тока.

Описание эксперимента

В летний период 2020 года были проведены экспериментальные исследования энергетических характеристик системы

фотоэлектрического питания аппарата искусственной вентиляции лёгких на базе высокоэффективных гибких фотоэлектрических преобразователей компании Uni-Solar (Китай).

Моделирование электрических нагрузок на постоянном токе, в диапазоне

мощностей требуемых для работы аппарата ИВЛ производилось нагружением ФЭС электролампами (имитаторами нагрузки ИВЛ) в диапазоне от 5 до 100 Вт. Исследование фотоэлектрических преобразователей производилось на территории Свердловской области в 20 км от города Екатеринбурга. Территория, где проводилось тестирование, расположена 56°44'22" N, 61°3'33" E.

Экспериментальная установка представляет собой подложку из ОСП на усиленной деревянной раме, на которую наклеена гибкая солнечная панель на специальной клеевой подложке (фото 2).



Фото 1. Аппарат ИВЛ «Фаза-21»



Фото 2. Экспериментальная установка

Основные технические характеристики аппарата ИВЛ «Фаза-21» (ОАО «УПЗ»)

табл. 1

Параметр	Величина
Диапазон минутной вентиляции, л/мин.	от 0,6 до 30
Диапазон частоты вентиляции, мин ⁻¹	от 2 до 300
Давление вентиляции, см вод. ст.	от 70
Чувствительность триггера, см вод. ст.	1–10
Габаритные размеры (в×ш×г), мм	280×300×300
Масса, кг	не более 11

Дополнительно панель зафиксирована по периметру металлическими зажимами с шагом 60 см. ФЭП производства Uni-Solar изготовлена из аморфного кремния. Размеры панели — 5000×390 мм (20 ячеек с размерами 356×239 мм), номинальная мощность панели — 144 Вт, номинальное выходное напряжение — 24 В, паспортный КПД составляет 14 %. Солнечная панель стационарно ориентирована на юг под углом наклона 60°.

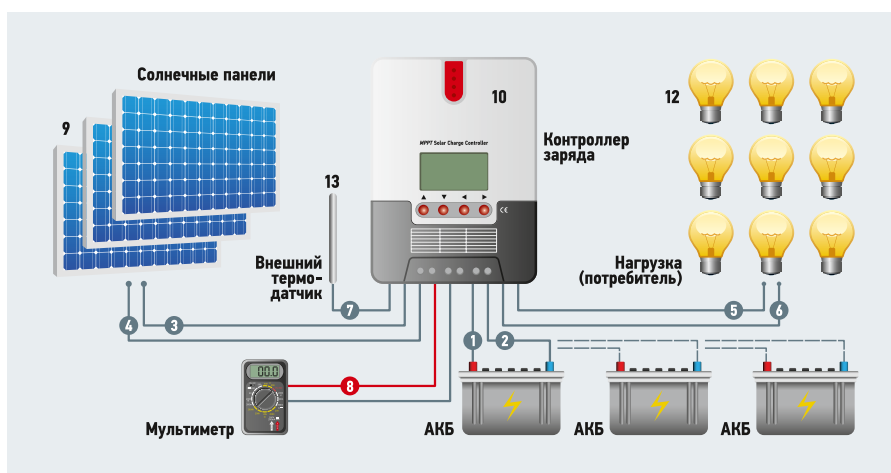


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментальной установки

Производитель отмечает такие преимущества панели, как небольшой вес, гибкость конструкции, возможность установки на кровле, не нарушая гидроизоляционный слой, высокая производительность при частичном затенении и высоких температурах.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.

Контроллер заряда (поз. 10 на рис. 3) Delta SolarSeries серии MPPT2420 (Maximum Power Point Tracking — слежение за точкой максимальной мощности) может следить за мощностью генерации солнечного модуля и отслеживать максимальные напряжения и ток в режиме реального времени, что позволяет системе заряжать аккумулятор с максимальной мощностью. Благодаря технологии двухпикового или многопикового слежения контроллер отслеживает максимальную точку мощности, что позволяет повысить эффективность использования энергии фотоэлектрических систем [3].

К разъёмам 3 и 4 подключена солнечная панель (поз. 9) и мультиметр (поз. 8), к разъёмам 1 и 2 аккумулятор (поз. 11, 14 В), а к разъёмам 5 и 6 — нагрузка (поз. 12). К разъёму 7 подключён внешний термодатчик (поз. 13) — рис. 3.

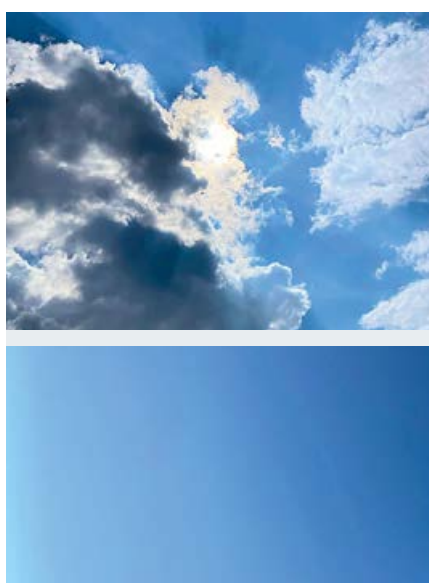


Фото 3. Два состояния неба, при которых производились измерения

Были произведены измерения напряжения и тока для следующих случаев:

- без нагрузки (холостой ход);
- с лампой мощностью 5 Вт (12 В);
- с лампой мощностью 10 Вт (12 В);
- с лампой мощностью 20 Вт (12 В);
- с лампой мощностью 40 Вт (36 В);
- с лампой мощностью 100 Вт (12 В).



Измерения производились 26 июля при переменной облачности и 7 августа при ясном небе (фото 3). При подключении к фотоэлектрическому преобразователю нагрузки мощностью 100 Вт 26 июля наблюдалось снижение заряда АКБ спустя две-три минуты после включения лампы. Суммарная солнечная радиация в период измерений с 12:00 до 13:00 составила 117,66 Вт/м².

При такой же нагрузке в 100 Вт 7 августа заряд АКБ по истечении десяти минут измерений тока и напряжения остался равным 100%, но при этом в течение двух минут заряд АКБ опустился до 90–95%. Суммарная солнечная радиация в период измерений с 11:00 до 12:00 составила 644,57 Вт/м².

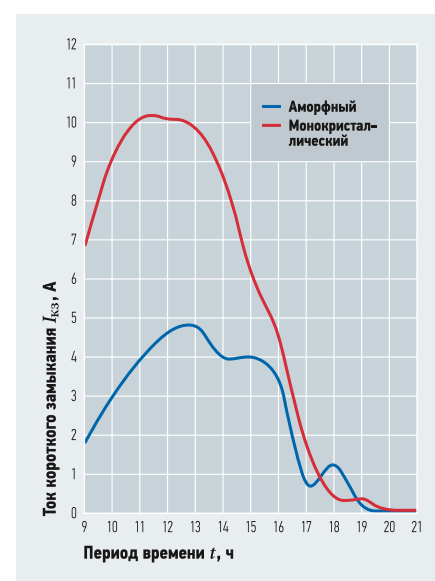


Рис. 4. Ток короткого замыкания ФЭП на основе аморфного/монокристаллического кремния

Рядом с экспериментальной установкой на участке установлена с той же ориентацией и углом наклона к горизонту солнечная панель на основе монокристаллического кремния мощностью 150 Вт, с номинальным выходным напряжением 12 В. Паспортный коэффициент полезного действия — 13% (рис. 4). В течение всего дня в период с 09:00 до 21:00 7 августа производились замеры тока короткого замыкания $I_{кз}$ (рис. 5) и напряжение холостого хода $U_{хх}$ (рис. 6) для двух ФЭП на основе аморфного и монокристаллического кремния.

На рис. 7 показано произведение тока короткого замыкания и напряжения холостого хода для разных панелей.

В ходе эксперимента были получены предельные значения коэффициентов полезного действия для фотоэлектрических преобразователей на основе аморфного и монокристаллического кремния.

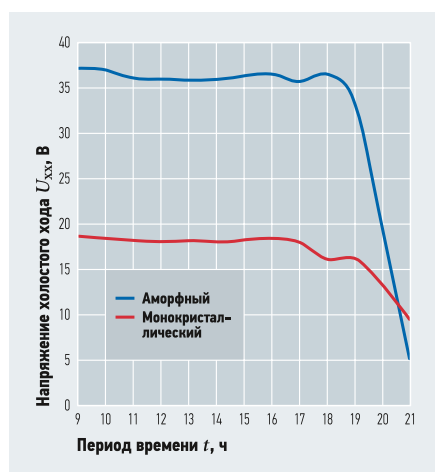


Рис. 5. Напряжение холостого хода фотоэлектрического преобразователя

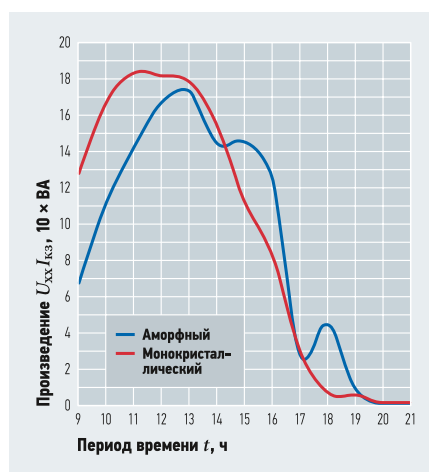


Рис. 6. Произведение напряжения и тока короткого замыкания разных ФЭП

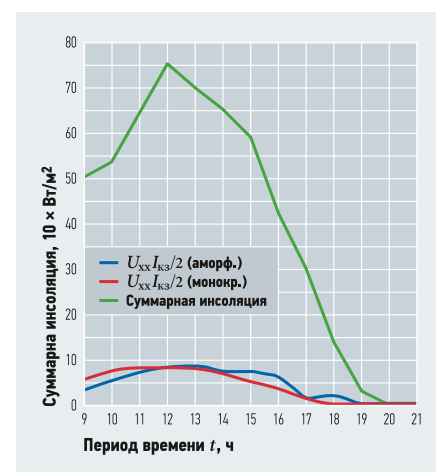


Рис. 7. Выработка энергии ФЭП на основе аморфного и монокристаллического кремния

Коэффициенты полезного действия для разных ФЭП определяются как отношение выработанной энергии к поступившей на их поверхность солнечной радиации (рис. 5):

$$\eta_{\text{аморф}} = \frac{U_{\text{хх}} I_{\text{кз}}}{S_{\text{аморф}} Q} 100\% = \frac{172,679}{1,95 \times 753,447} 100\% = 11,75\%; \quad (1)$$

$$\eta_{\text{монокр}} = \frac{U_{\text{хх}} I_{\text{кз}}}{S_{\text{монокр}} Q} 100\% = \frac{183,073}{2,16 \times 753,447} 100\% = 11,25\%. \quad (2)$$

Кривые изменения коэффициента полезного действия в период с 11:00 до 15:00 для ФЭП на основе аморфного и монокристаллического кремния показаны на рис. 6.

Экспериментальные установки позволили проанализировать и сравнить ток короткого замыкания и напряжение холостого хода для разных ФЭП при изменении угла наклона к горизонту.

На рис. 7 показаны кривые зависимости $I_{\text{кз}} U_{\text{хх}}$ от положения панелей.

Из полученных данных можно сделать вывод, что при изменении угла наклона для обоих ФЭП $I_{\text{кз}} U_{\text{хх}}$ меняется практически одинаково:

□ для аморфной панели

$$\frac{(I_{\text{кз}} U_{\text{хх}})_{\min}}{(I_{\text{кз}} U_{\text{хх}})_{\max}} = 0,57;$$

□ для монокристаллической

$$\frac{(I_{\text{кз}} U_{\text{хх}})_{\min}}{(I_{\text{кз}} U_{\text{хх}})_{\max}} = 0,56.$$

Заключение

Экспериментальные исследования показали, что для питания аппаратов искусственной вентиляции лёгких возможно использование фотоэлектрических преобразователей на основе как аморфного, так

и монокристаллического кремния. Однако такие преимущества гибких фотоэлектрических преобразователей третьего поколения, как высокая эффективность, малый вес, компактность установки и более низкая стоимость в сравнении с монокристаллическими ФЭП одинаковой мощности, позволяют осуществить широкое применение ФЭП для питания мобильных аппаратов ИВЛ [4, 5]. В условиях современной санитарно-эпидемиологической обстановки мобильные решения питания особенно актуальны. ●

1. ГОСТ Р 50444–92. Приборы, аппараты и оборудование медицинские. Общие технические условия (принят в качестве межгос. стандарта ГОСТ 20790–93) (с Изм. №1, 2). — М.: Изд-во стандартов, 1993.
2. Аппарат управляемой и вспомогательной искусственной вентиляции лёгких «Фаза-21». Руководство. — Екатеринбург: ОАО «УПЗ», 2007. 42 с.
3. Контроллер заряда для солнечных батарей Delta Solar Series серия MPPT. Руководство пользователя. — Люберцы: Delta Solar, 2018. 20 с.
4. Саврасов Ф.В., Ковалёв И.К. Исследование эффективности работы солнечной батареи в полевых условиях // Известия ТПУ, 2012. №4. С. 165–168.
5. Казанский А.Г. Тонкоплёночные кремниевые солнечные элементы на гибких подложках // РЭНСИТ, 2015. №1. С. 15–24.

References — see page 79.

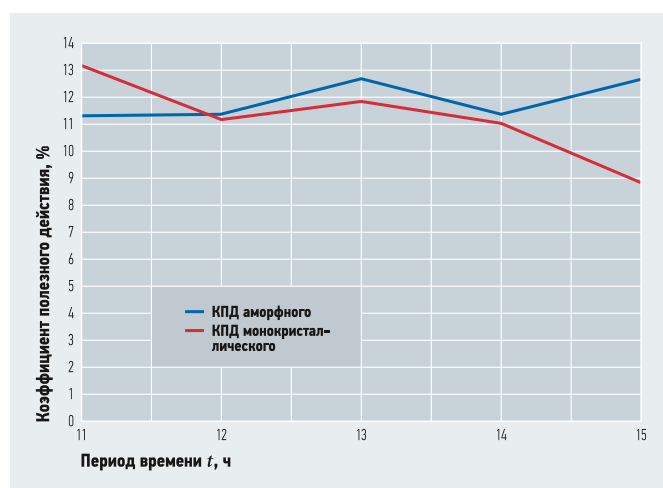


Рис. 8. Коэффициент полезного действия для ФЭП на основе аморфного/монокристаллического кремния в период с 11:00 до 15:00

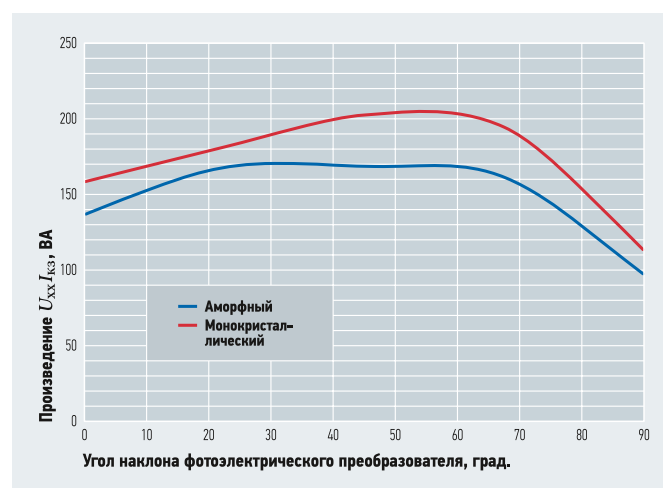


Рис. 9. Зависимость произведения напряжения и тока короткого замыкания разных ФЭП от угла наклона к горизонту

The use of photovoltaic power supply for the “Phase-21” artificial lung ventilation device based on photoelectric converters of the 3rd generation. Pp. 74–77.

Sergey E. Shcheklein, PhD, Professor, Head of the “Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources” Department (NPP RES), Ural Power Engineering Institute (UralENIN) of Ural Federal University (UrFU, Yekaterinburg city); **Vladimir N. Alekhin**, PhD, Professor, Head of the “Computer-Aided Design of Construction Objects” Department (CAD CO), Institute of Construction and Architecture (ICA) of UrFU (Yekaterinburg city); **Ekaterina P. Sharovarova**, assistant of the CAD CO Department, ICA of UrFU; **Maria A. Fadeykina**, magister, the NPP RES Department, UralENIN of UrFU; **Maxim A. Plesnikov**, magister, the NPP RES Department, UralENIN of UrFU; **Nikolay V. Perevozkin**, magister, the NPP RES Department, UralENIN of UrFU

1. GOST R 50444–92 [State Industry Standard of Russia No. 50444–92]. *Pribory, apparaty i oborudovanie medicinskie. Obshhie tehicheskie uslovija (prinjat v kachestve mezghos. standart GOST 20790–93) (s Izm. № 1, 2)* [Medical devices, apparatus and equipment. General technical conditions (adopted as interstate standard GOST 20790–93) (on Amendments No. 1, 2)]. Moscow. *Izd-vo standartov* [Standards Publishing House]. 1993. [In Russian]
2. *Apparat upravljajemoj i vspomogatel'noj iskusstvennoj ventiljacii legkih “Faza-21”*. *Rukovodstvo po jekspluatácii* [Device for controlled and auxiliary artificial ventilation of the lungs “Phase-21”]. Ekaterinburg. OAO “UPZ” [“Ural Instrument Engineering Facility”, OJSC]. 2007. 42 p. [In Russian]
3. *Kontroller zarjada dlja solnechnyh batarej Delta Solar Series serija MPPT. Rukovodstvo pol'zovatelja* [Charge controller for solar panels Delta Solar Series MPPT series. User's manual]. Moscow. *Delta Solar*. 2018. 20 p. [In Russian]
4. F.V. Savrasov, I.K. Kovalev. *Issledovanie jeffektivnosti raboty solnečnoj batarei v polevyh uslovi-jah* [Study of the efficiency of the solar battery in the field]. *Izvestija TPU* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University]. 2012. No. 4. Pp. 165–168. [In Russian]
5. A.G. Kazanskij. *Tonkoplennochnye kremnievye solnechnye jelementy na gibkih podlozhkah* [Thin-film silicon solar cells on flexible substrates]. *RJeNSIT* [“Radio electronics. Nanosystems. Information technology” Magazine (RENSIT)]. 2015. No. 1. Pp. 15–24. [In Russian]