



РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КАЛИНИНГРАДСКОГО МОРСКОГО РЫБНОГО ПОРТА

М. Осыка, студент группы 20-ЭЭм,

e-mail: maksim.osykal@gmail.com

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

А.Ю. Никишин, канд. техн. наук, доц.,

e-mail: nikduke@klgtu.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В данной статье выполнен анализ влияния температуры нагрева солнечных модулей на выработку электроэнергии в условиях, приближенных к Калининградскому морскому рыбному порту. Рассмотрены несколько способов расчета мощности солнечных модулей с учетом температуры нагрева, выполнено сравнение результатов расчетов и выбран самый подходящий из них. Исследована возможность использования фотоэлектрических установок в Калининградском морском рыбном порту для обеспечения его потребности в электроэнергии.

Ключевые слова: солнечная энергия, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), солнечные панели, температура нагрева, выработка электричества, потери электроэнергии, эффективность солнечных модулей

ВВЕДЕНИЕ

В последних планах по развитию энергетики в России особое внимание уделяется использованию возобновляемых ресурсов для производства электроэнергии. Постановление Правительства РФ № 1298 предлагает развитие «зеленой энергетики» для обеспечения потребности в электроэнергии промышленных предприятий и удаленных труднодоступных районов. Однако в перспективе следует рассмотреть возможность электроснабжения от ВИЭ и для портов, что приведет к сокращению вредных выбросов и экономии ископаемых ресурсов [1]. В качестве основного возобновляемого источника для энергопитания устьевых портов следует рассматривать солнечную энергию, так как сила ветра вблизи и на территории подобных портов небольшая [1]. Поэтому актуальной задачей для исследования является выбор наиболее подходящего и эффективного оборудования для фотоэлектрических станций, размещенных в портах.

Активное развитие солнечной электроэнергетики в последнее время способствует заметному прогрессу в области технологий проектирования и производства оборудования для солнечных станций. Широкое распространение на рынке фотоэлектрического оборудования получили солнечные модули с монокристаллической структурой, прежде всего, из-за их низкой стоимости. Однако к существенным недостаткам этих панелей, в сравнении с произведенными по более современным технологиям, например, по технологии HJT, можно добавить меньшую эффективность при недостаточном уровне освещенности, а также значительное снижение мощности при нагревании панели свыше ее номинальной температуры [2]. Данные особенности не всегда учитываются при оценке потенциала солнечной энергии, что может приводить к неточности в оценочных расчетах [1].

Это обусловлено тем, что при нагревании панелей увеличивается их внутреннее электрическое сопротивление и рабочее напряжение падает [3]. На рис. 1 представлена зависимость вольт-амперной характеристики солнечного модуля от температуры нагрева.

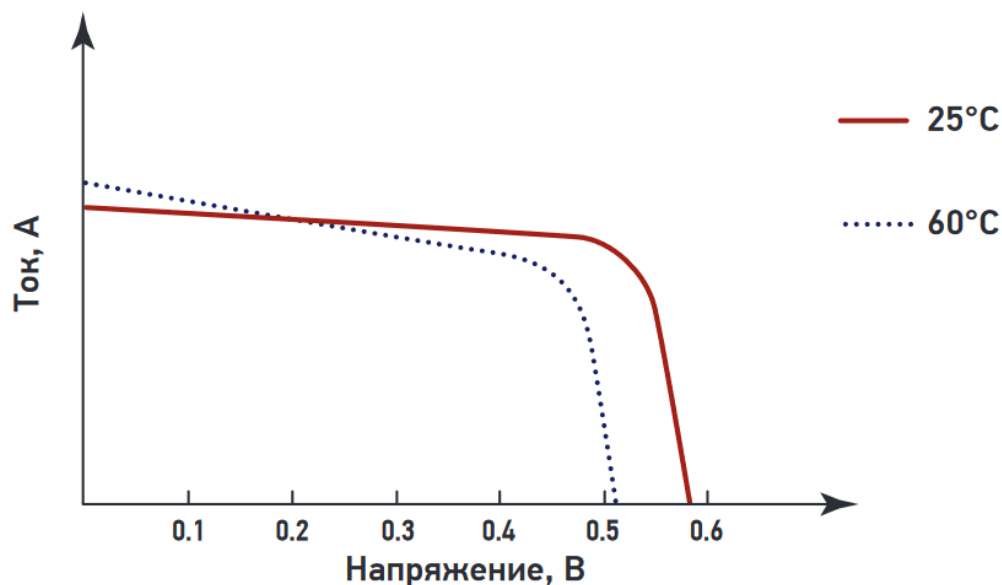


Рисунок 1 – Зависимость вольт-амперной характеристики солнечного модуля от температуры нагрева

Этот эффект производители панелей стараются минимизировать, однако устранить его окончательно при современном уровне развития технологий невозможно. Главным показателем зависимости эффективности солнечных панелей от температуры нагрева является температурный коэффициент. Температурный коэффициент – это отношение теряемой мощности к температуре нагрева модуля. Средний температурный коэффициент для монокристаллических модулей $0,45 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ (т. е. при повышении температуры панели на каждый градус от номинального значения выработка электричества уменьшается на $0,45 \text{ \%}$), у более современных HJT модулей этот показатель равен приблизительно $0,29 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ [2].

Так как Калининградский морской рыбный порт находится в умеренном климатическом поясе, температура нагрева солнечных модулей, возможно, не будет являться значимым фактором, определяющим эффективность их работы и заметно влияющим на технико-экономическое обоснование выбора соответствующей технологии. Поэтому исследуем перспективы использования как дорогостоящих солнечных панелей с высоким температурным коэффициентом, так и более дешевых – с низким, чтобы оценить влияние технологического фактора на оптимизацию по технико-экономическим показателям и выбрать оптимальный вариант для эксплуатации в условиях, приближенных к Калининградскому морскому рыбному порту.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленной задачи в качестве объекта исследования выбраны солнечные модули, произведенные по разным технологиям, но обязательно со схожими параметрами (номинальная мощность, ток и напряжение), так как это необходимо для корректного сравнения и анализа. Рассмотрен монокристаллический модуль компании SILA SilaSolar 400Вт PERC (5BB), один из самых распространенных модулей на рынке, который активно применяется как в частном секторе, так и для строительства крупных фотоэлектрических станций. Для сравнения выберем гетероструктурный модуль российской компании Хевел HVL-395/HJT, так как этот модуль имеет схожие с SilaSolar 400Вт PERC (5BB) технические характеристики, кроме того, компания Хевел является мировым лидером по производству солнечных модулей данной архитектуры, а ее продукция отвечает самым

высоким стандартам качества. Технические характеристики обоих модулей представлены в табл. 1 [4, 5].

Таблица 1 – Технические характеристики модулей

Наименование параметра	SilaSolar 400Вт PERC (5BB)	HVL-395/HJT
Номинальная мощность (P_n), Вт	400	395
Ток в рабочей точке (I_{mpp}), А	9,60	8,76
Напряжение в рабочей точке (V_{mpp}), В	41,70	44,84
Ток короткого замыкания (I_{sc}), А	10,36	9,21
Напряжение холостого хода (V_{oc}), В	49,80	53,18
Температурный коэффициент I_{sc} , %/°C	0,085	0,055
Гарантийный срок службы, год	25	25
Цена, руб.	13504	18490

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является определение эффективности использования монокристаллических и гетероструктурных фотоэлектрических модулей в условиях территории с низкой инсоляцией, с учетом соответствующих данным технологиям температурных коэффициентов. Для этого рассчитаем выработку электроэнергии каждой панелью в течение года с учетом влияния температуры нагрева и построим их вольт-амперные характеристики, а также сравним их технико-экономические параметры. Решение данных задач позволит оценить возможности установки солнечных панелей разных технологий в условиях, приближенных к Калининградскому морскому рыбному порту.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для данного исследования использовался метод математического моделирования работы солнечных панелей с применением лицензированного программного обеспечения PVsyst [6], разрешенного для использования в исследовательских целях. С помощью подробного контекстного меню справки, в котором объясняются используемые процедуры и модели, PVsyst может импортировать метеоданные, а также личные данные из множества различных источников. Кроме того, программа проста в применении, обладает широкими функциональными возможностями и активно используется для проектирования фотоэлектрических систем во всем мире.

Таким образом, возможности этого современного программного обеспечения позволили создать математическую модель для расчета работы фотоэлектрических систем в заданных для исследования условиях.

Занесем паспортные данные выбранных солнечных модулей для расчета в программе PVsyst рис. 2 и 3.

Далее выберем место установки солнечных модулей, занесем координаты расположения Калининградского морского рыбного порта для нахождения метеоданных. Будем использовать математические модели для расчета требуемых величин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В табл. 2 показаны результаты моделирования работы солнечных модулей при постоянной инсоляции в 1000 Вт/м^2 : максимальная, заложенная производителем, мощность, выдаваемая солнечным модулем, которая не зависит от дальнейшего увеличения инсоляции (точка максимальной мощности), и падение эффективности модулей в зависимости от увеличения температуры нагрева.

Анализ результатов моделирования показывает, что при температурах выше номинальной солнечные модули HVL-395/HJT теряют 3,54-6,56 % выработки электроэнергии от номинальной мощности, а солнечные модули SilaSolar 400Вт PERC (5BB) – 5,67-11,4 %.

На графике рис. 4 показаны результаты расчетов средней температуры нагрева солнечных модулей по времени светового дня в течение года, расчеты произведены с учетом средней облачности, прозрачности атмосферы, скорости ветра и температуры воздуха.

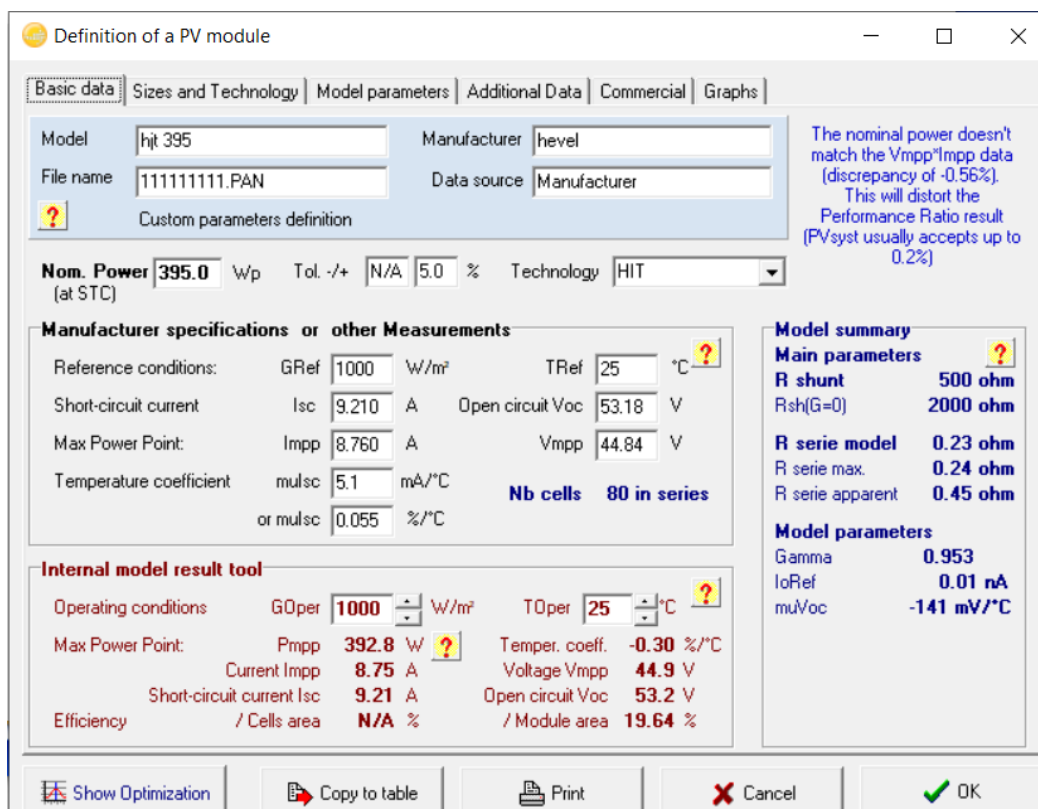


Рисунок 2– Паспортные данные солнечного модуля HVL-395/HJT

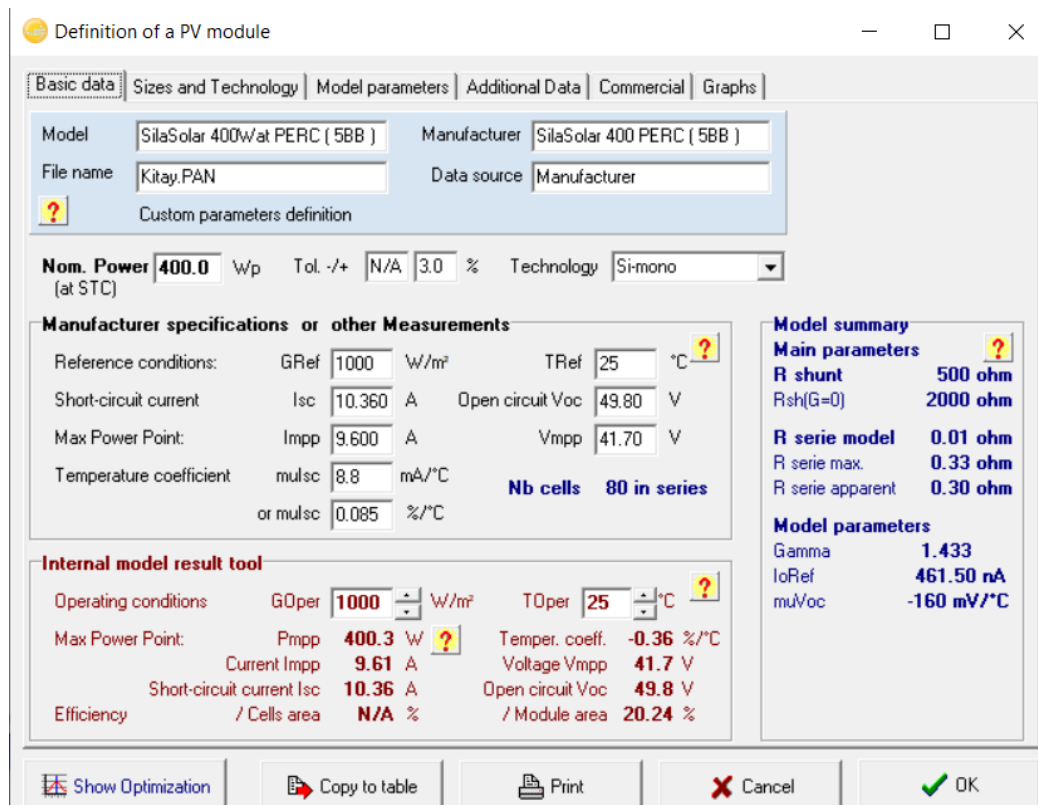


Рисунок 3– Паспортные данные солнечного модуля SilaSolar 400Вт PERC (5BB)

Таблица 2 – Выработка электроэнергии при инсоляции 1000 Вт/м²

Температура нагрева, °С	10	25	40	55
Солнечная панель HVL-395/НТ				
Точка максимальной мощности, Вт	404,5	392,9	381,2	369,1
Солнечная панель SilaSolar 400Вт PERC (5ВВ)				
Точка максимальной мощности, Вт	421,7	400,3	378,4	356



Рисунок 4 – Средняя температура нагрева солнечных модулей по времени светового дня

Суммировав часы с соответствующим нагревом модулей поданным графика рис. 4, получено, что солнечный модуль в условиях, приближенных к Калининградскому морскому рыбному порту, работает 2286 ч в году, не превышая номинальной температуры в 25 °С, и 1549 ч – выше номинальной температуры, т.е. с потерями выработки на нагрев.

На рис. 5 показана выработка электроэнергии солнечными панелями SilaSolar 400Вт PERC (5ВВ) и HVL-395/НТ в течение года с учетом потерь.

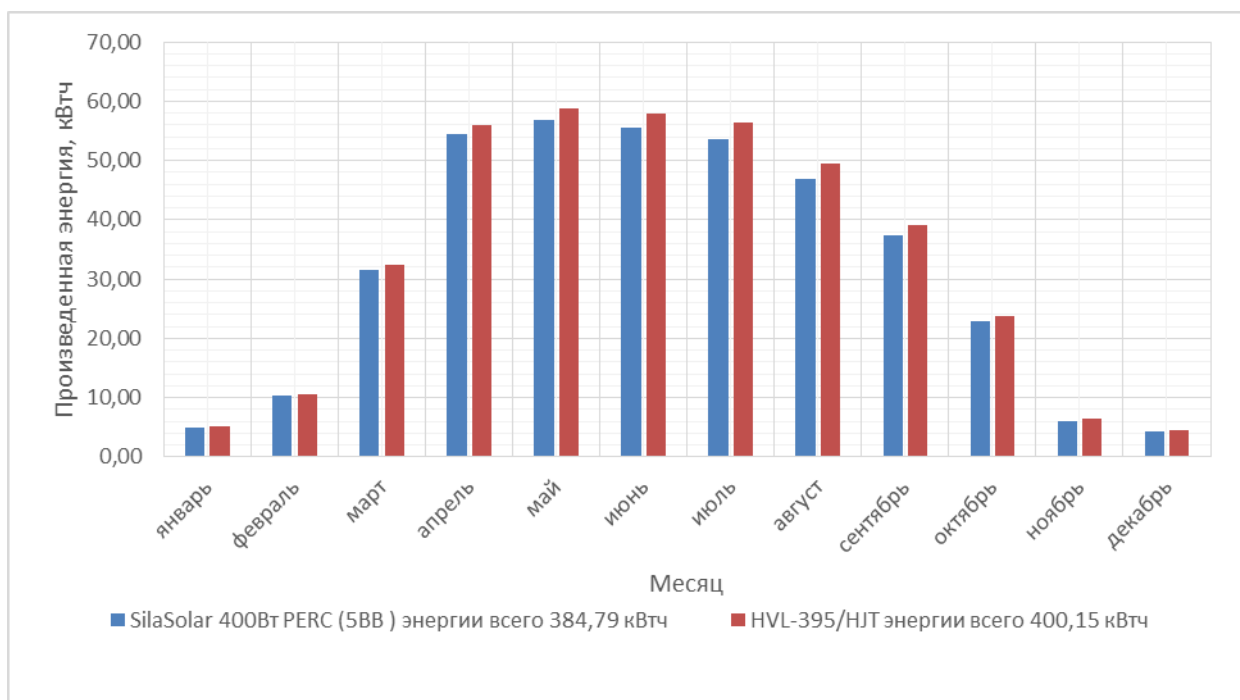


Рисунок 5 – Выработка электроэнергии солнечными панелями по месяцам

Как видно из результатов расчетов, оценочная выработка фотоэлектрического модуля HVL-395/HJT составляет 400 кВтч электроэнергии за год, а модуля SilaSolar 400Вт PERC (5BB) – 386 кВтч при одинаковых условиях. На рис. 6 показаны расчеты эффективности солнечных модулей обоих типов по месяцам.

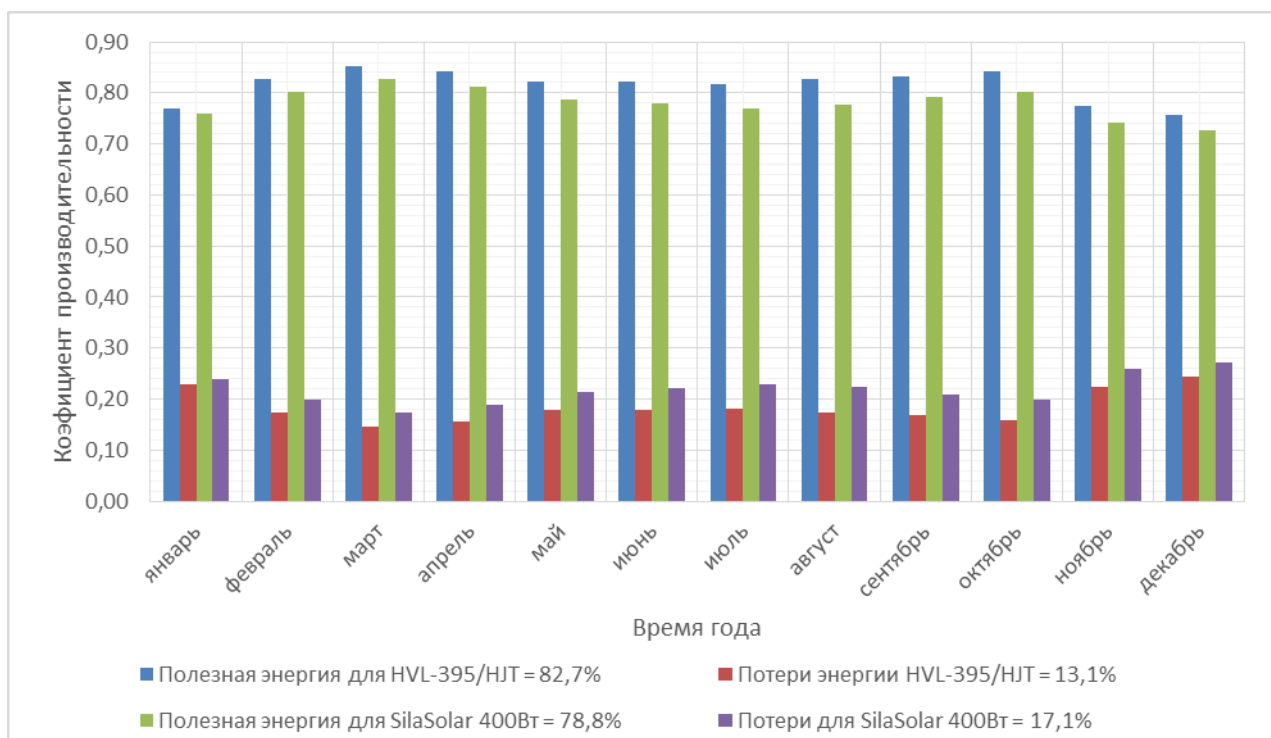
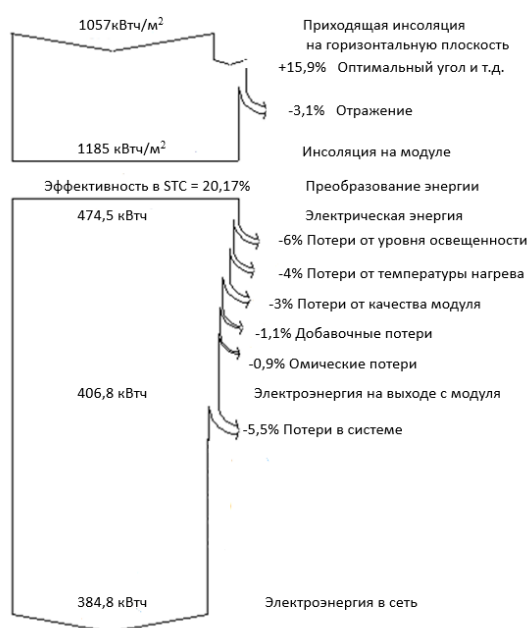


Рисунок 6 – Производительность панелей в течение года

Из результатов расчетов следует, что средняя производительность панели HVL-395/HJT за год 82,7 %, а панели SilaSolar 400Вт PERC (5BB) –78,8 %.

На рис. 7 показана энергетическая диаграмма потерь выработки электричества обеими панелями, рассчитанная в программе PVsyst.

Солнечная панель SilaSolar 400Вт PERC (5BB)



Солнечная панель HVL-395/HJT

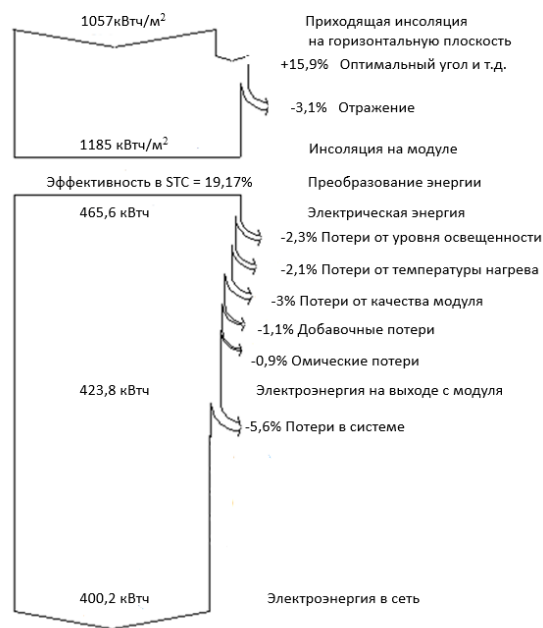


Рисунок 7– Энергетическая диаграмма солнечных панелей

Как видно из диаграммы, у представленных панелей различаются потери на нагрев и потери от уровня освещенности. Солнечные модули Хевел превосходят по данным показателям монокристаллические панели. Однако для технико-экономического обоснования выбора панелей следует учитывать также их стоимость.

Результат расчетов технико-экономического обоснования представлен в табл. 3.

Таблица 3 – Технико-экономическое обоснование выбора панелей

Параметры	SilaSolar 400Вт PERC (5BB)	HVL-395/HJT
Цена, руб.	13504	18490
Количество произведенной энергии в год, кВтч	386	400
Расчетная стоимость 1 кВтч в год	34,98	46,225
Окупаемость лет при цене 4,2 Руб за 1 кВтч	8,3	11

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, что в климатических условиях расположения Калининградского морского рыбного порта гетероструктурные солнечные модули работают эффективнее, их производительность выше, а потери в выработке электроэнергии меньше. Однако с учетом стоимости модулей с монокристаллической структурой их эксплуатация оказывается более экономически выгодной, несмотря на технологическое отставание.

Рассчитанные показатели производительности солнечных модулей в условиях, приближенных к Калининградскому морскому рыбному порту, позволяют оценить использование фотоэлектрических установок в порту для обеспечения его потребности в электроэнергии как достаточно эффективное, так как коэффициент производительности исследованных модулей находится в пределах от 78 до 82 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никишин, А.Ю. Проблемы интеграции возобновляемых источников энергии в системы электроснабжения морских устьевых портов / А.Ю. Никишин, И.Е. Кажекин, М.С. Харитонов // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – №4-2(50). – С. 32-38.
2. Бессель, В.В. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: учебно-методическое пособие / В.В. Бессель, В.Г. Кучеров, Р.Д. Мингалеева. – Москва: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2016. – 90 с.
3. Возобновляемые источники энергии: справочник модуля / под ред. В.Ф. Белея [и др.]. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 257 с.
4. Солнечные модули SilaSolar 400Вт PERC (5BB) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/mono-panel/solnechnaya-batareya-silasolar-400vt-perc-5bb/> (дата обращения: 07.01.2021).
5. Солнечные модули HVL-395/HJT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hevelsolar.com/kz/catalog/solnechnye-moduli/modul-fotoelektricheskii-hvl-395hjt/> (дата обращения: 07.01.2021).
6. Программа обеспечения PVsyst [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pvsyst.com/> (дата обращения: 08.01.2021).

CALCULATION OF THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS IN THE CONDITIONS OF THE KALINIGRAD SEA FISHING PORT

M. Osyka, student

e-mail: maksim.osyka1@gmail.com

Kaliningrad State Technical University

A.Y. Nikishin, Associate Professor

e-mail: nikduke@klgtu.ru

Kaliningrad State Technical University

This article has analyzed the influence of the heating temperature of solar modules on power generation in conditions close to the Kaliningrad Sea Fishing Port. Several methods of calculating the power of solar modules taking into account the heating temperature were considered, the calculation results were compared and the most suitable one was selected. The possibility of using photovoltaic installations in the Kaliningrad sea fishing port to meet its demand for electricity has been investigated.

Key words: *solar energy, renewable energy sources, solar panels, heating temperature, electricity generation, power losses, solar module efficiency*