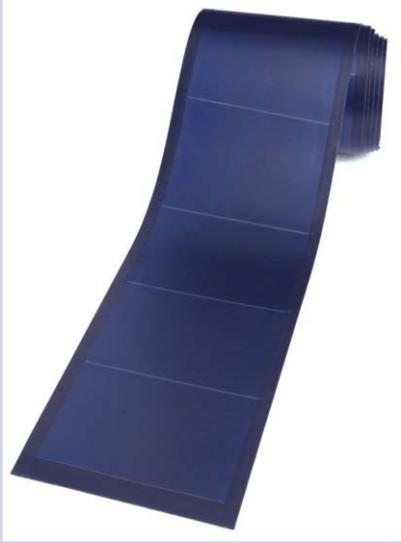


Сверхлегкие гибкие солнечные батареи

А.В. Бобыль
ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Полугибкие		Реально гибкие	
моно, мульти Si	A3B5 каскадные	CIGS (CuInGaSe)	аморфный Si
23 %	30 %	11 %	7 %
 1706x991x2 мм			
Хевел, РФ, DasEnergy, Austria	JAXA (Япония):	Hanergy, China	Uni Solar, USA Lenth 5486 mm, Width: 394 mm

Отчет: Прогноз технологий и рынки гибких солнечных панелей, October 4, 2019

Содержание: Flexible Solar Panels, Market Size, Share, Applications, Emerging Trends, 2019 Growth Projections, Overview, Business Opportunities, Technological Advancements & Forecast 2025. **СТОИМОСТЬ** : 3300 \$

Основные производители *реально* гибких модулей, их параметры:

Фирма	Тип модуля	Мощность, размеры, вес	КПД, %	Удельный вес, kg/m ²
Hanergy> China	CIGS, Модули на черепице	Power 30 W, Length 700 mm, Width 500 mm, Thickness 35 mm, Weight 5.2 kg	8.5	14
Uni-Solar, USA	amor. Si модуль	Power: 144 Wp Length: 5486 mm, Width: 394 mm, Weight: 7.7 kg	6.7	3.6
GlobalSolar, USA	CIGS модуль	3.0 kg/m ² (0.68 lb/ft ²) including adhesive · 110 watts/m ²	11	3.0
SoloPower System, USA	CIGS модуль	Power 220-300 W, Length 2.197 m; Width 1.146 m; Thickness 2.0 mm; Weight 6.1 kg	9-12	2.5
SunHarmon China	CIGS модуль	Efficiency: >10%, Power: 90 W, Weight: < 3 kg/m ²	10	3
Flisom Switzerland	CIGS заготовки	Power 100-120 W, Length [mm] 3105, Width [mm] 411, Thickness of module [mm] 2.2, Weight [Kg] 2.4	8-10	1.9
FWAVE Company, Japan	amor. Si заготовки	Power 23 W, Length [mm] 832, Width [mm] 414, Thickness of module [mm] 0.2, Weight [Kg] 0.07	6.7	0.21
PowerFilm, USA	amor. Si заготовки	Power 60 W, Rolled Dimensions 673.1 x 76.2 mm, Unrolled Dimens., 2,176.8 x 673.1 mm Weight 1.5 kg	4.3	1.1

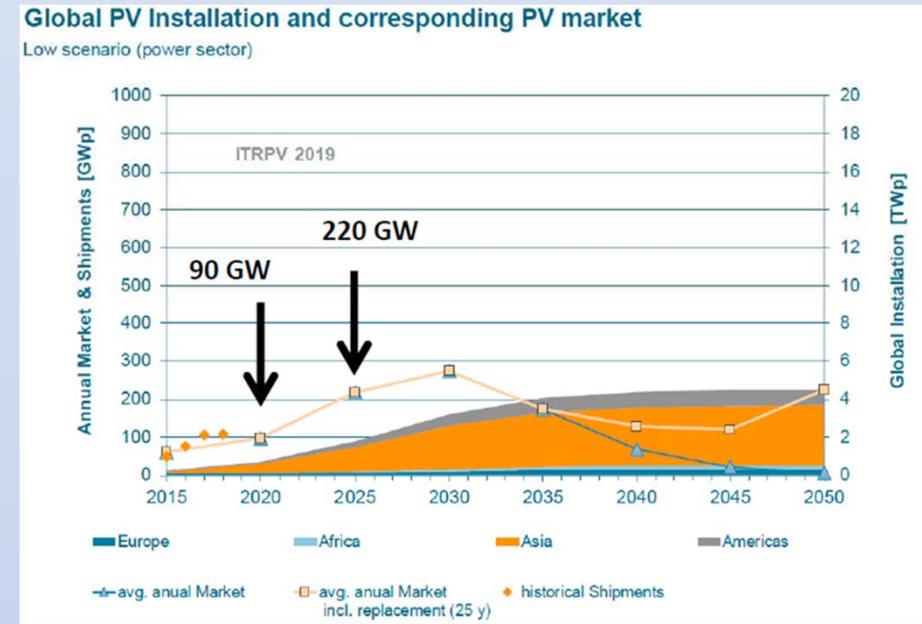
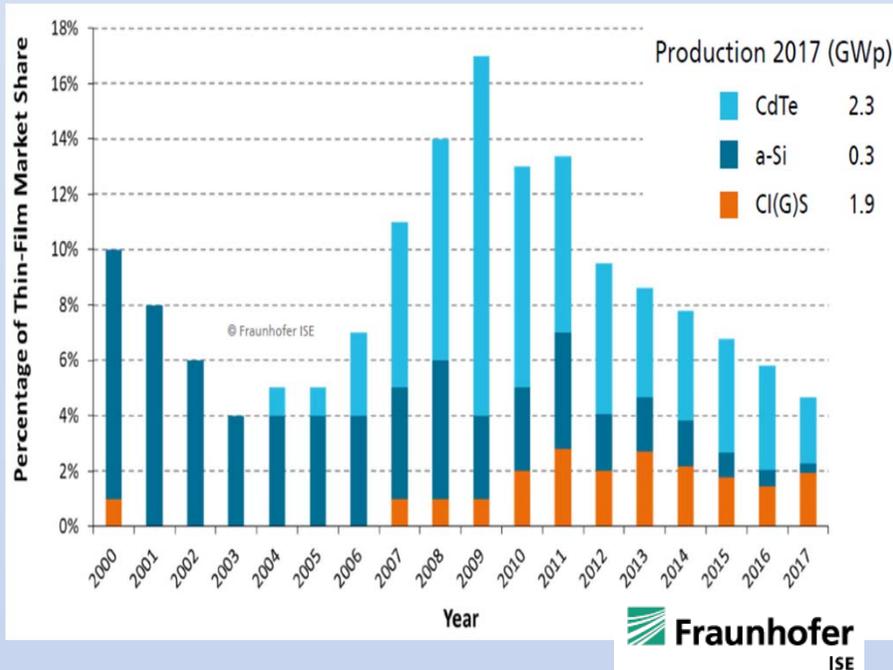
Оценка доли гибких модулей в общем объеме мирового производства солнечных модулей

В отчете утверждается, что

Рынок гибких солнечных панелей растет на уровне + 8% CAGR в течение прогнозируемого периода 2019-2025 гг.

Ежегодное производство гибких модулей, проценты от общего мирового производства

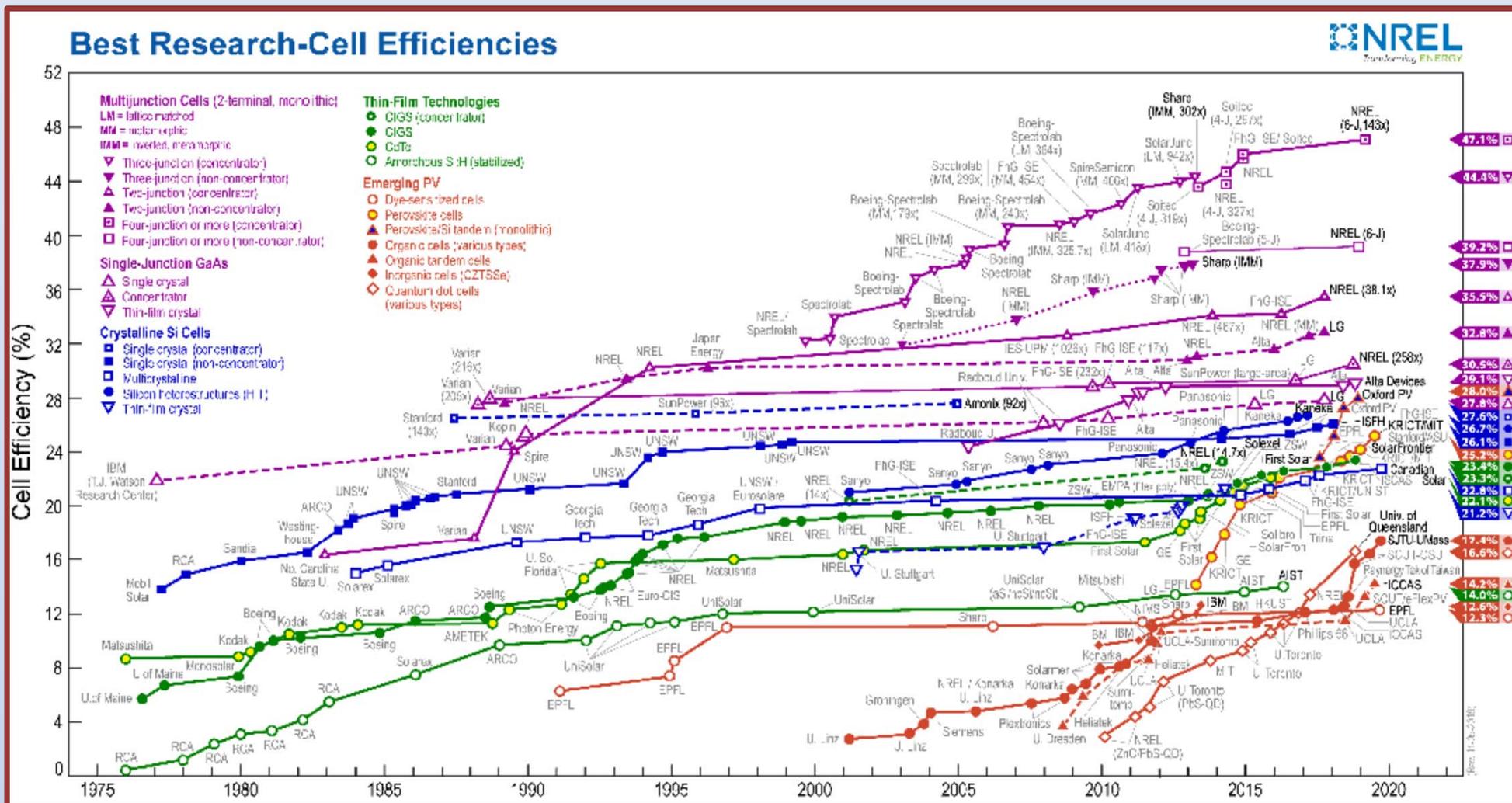
Ежегодно производство солнечных модулей и их суммарный объем в эксплуатации



Вывод: их доля в мировом производстве уменьшится с 4 до 2 %

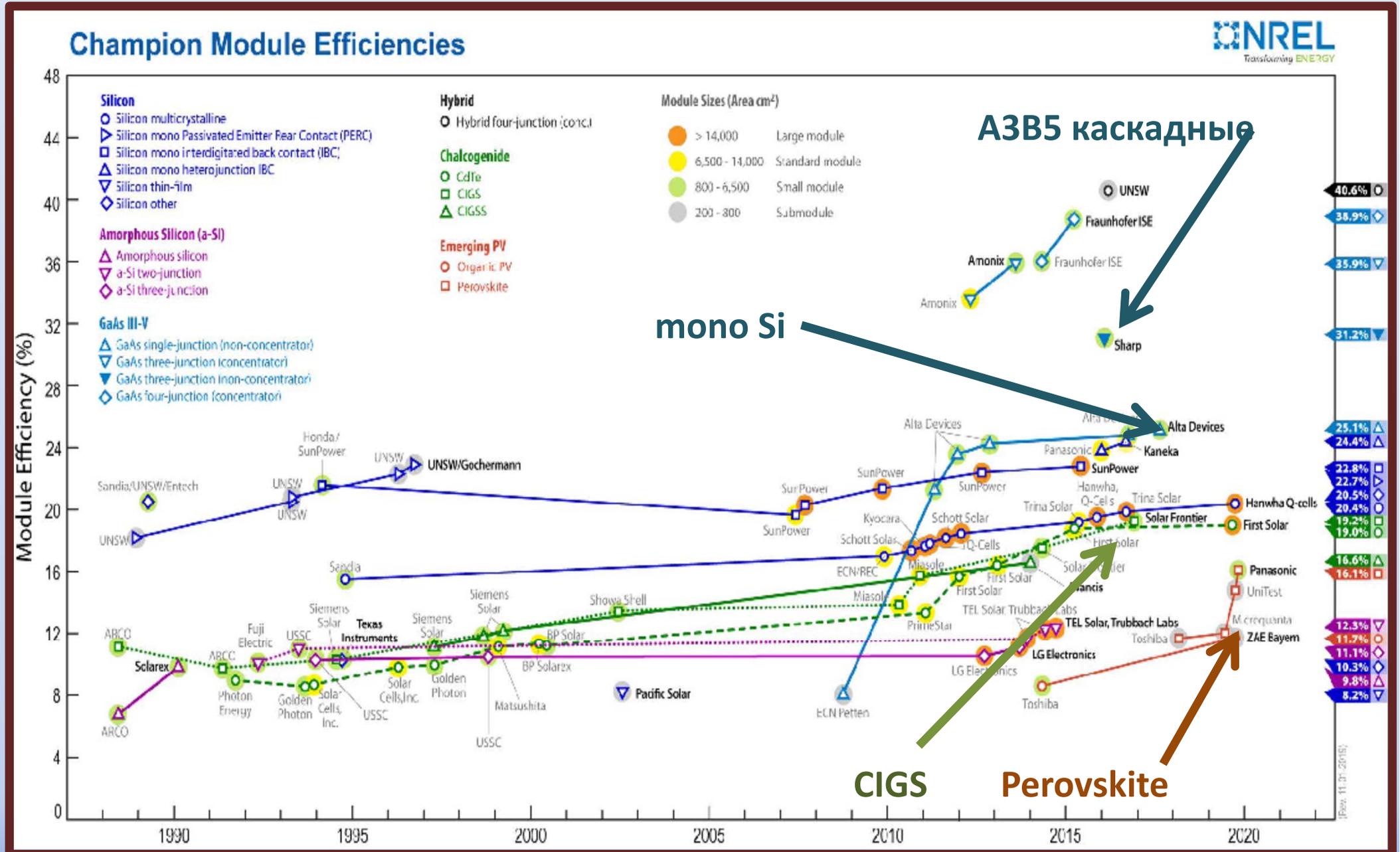
Вероятность появления принципиально новых технологий

КПД ячеек (лабораторных образцов) и промышленных модулей



Вероятность появления принципиально новых технологий

КПД ячеек (лабораторных образцов) и промышленных модулей



1 часть. Производители элементов и модулей в России.

Производители	Особенности
<h2>Полугибких элементов и модули</h2>	
В кооперации ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ПАО Сатурн, НПП Квант, РКК Энергия, ИСС им М.Ф. Решетнева, ВНИИ Ядерной физики МГУ	АЗВ5 каскадные элементы, модули, станции
ГК Хевел	На моно Si элементы, модули, станции. Подложки из Китая
Солар Системс	Моно, мульти Si подложки, станции. Элементы, модули в Китае.
<h2>Гибких элементов и модули</h2>	
В России отсутствуют	

A3B5 каскадные фотоэлектрические преобразователи для космических солнечных батарей и наземных концентраторных фотоэнергоустановок

A3B5 фотоэлектрические преобразователи солнечного и лазерного излучений

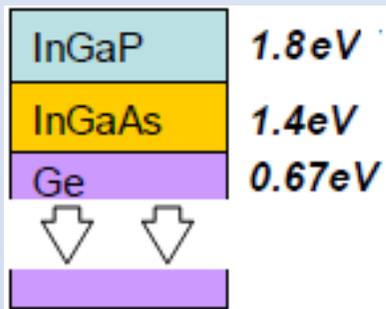
ФТИ им. А.Ф. Иоффе

В.М. Андреев, М.З. Шварц shvarts@scell.ioffe.ru

В кооперации с

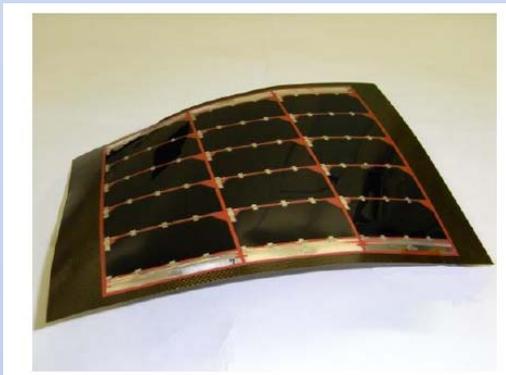
ПАО Сатурн, НПП Квант, РКК Энергия, ИСС им М.Ф. Решетнева,
ВНИИ Ядерной физики МГУ

Утоненные ФЭП: частичное удаление Ge подложки или перенос структуры на гибкий носитель

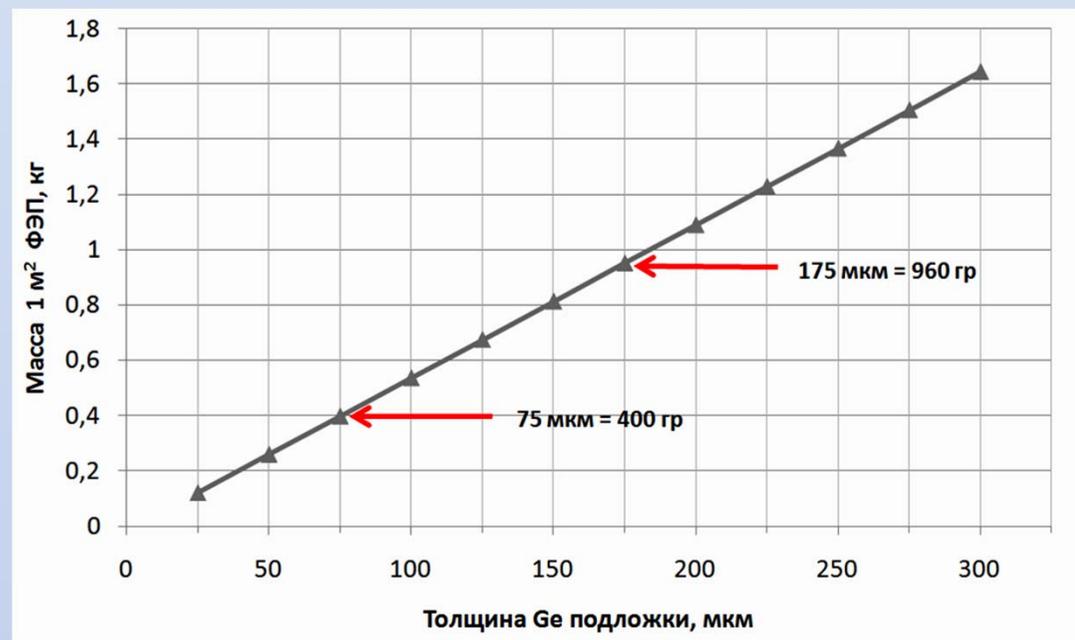


Сохранение КПД на уровне 28 – 30 %

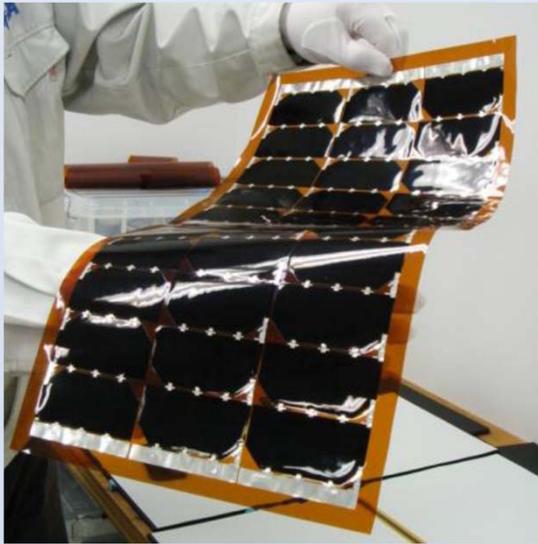
Удельная мощность до 400 Вт/кг



Зависимость массы 1 м² трехпереходных ФЭП от толщины подложки Ge



Солнечные батареи с «гибкими» многопереходными ФЭП

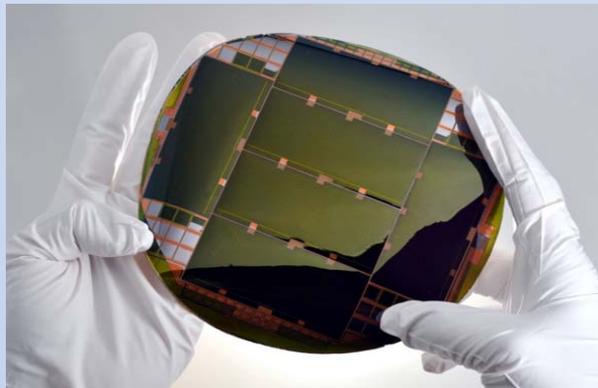


	Тип ФЭП	КПД, %	Плотность мощности, Вт/м2	Удельная мощность, Вт/кг
SpectroLab (США) Thin cells	ITJ	26.5	339	948
	UTJ	28.3	357	1013
	XTJ	30	378	1074
	NJ	33	420	1181
MicroLink Devices Inc	ELO-IMM	32.5	--	3000

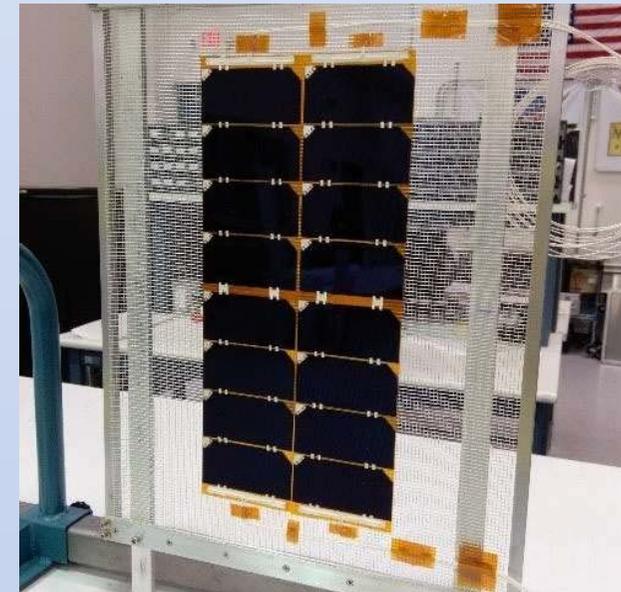
JAHA (Япония):

~ 290 Вт/кг

- радиус изгиба до 4 см



ELO-IMM ФЭП от
MicroLink Devices Inc.



Две сборки из 8 ELO-IMM
ФЭП на смонтированных на сетке
SolAero Technologies Corp (США)

Основные результаты каскадных ФЭП космического назначения

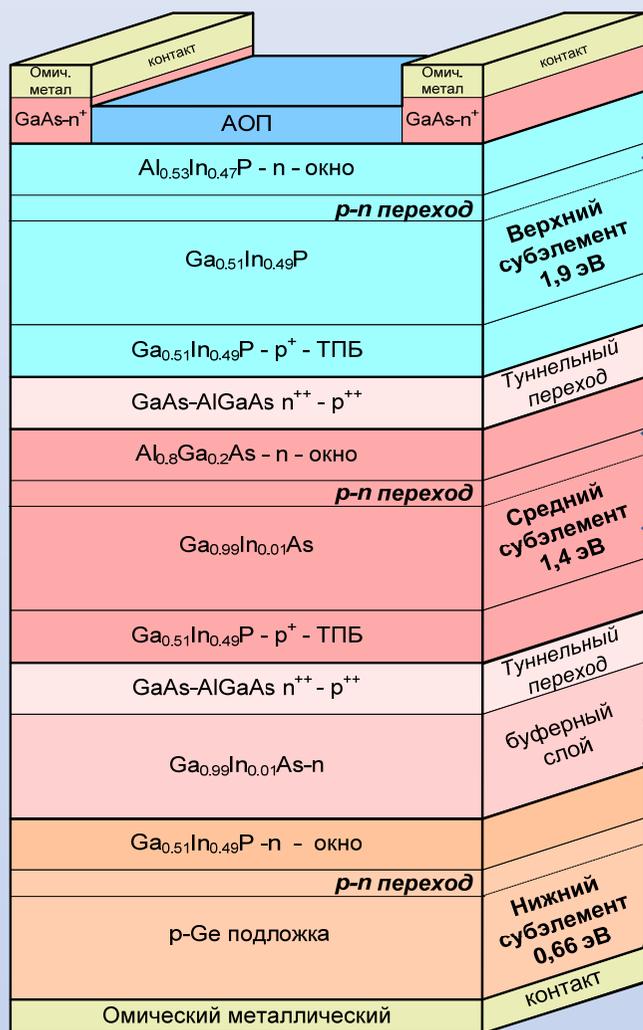
Год	КПД (%)	Производитель	Тип ФЭП	
2006	30.5	Spectrolab Inc.	3J GaInP/GaAs/Ge (МОС-гидридная технология, «прямой» рост)	
с 2012	27-29	Spectrolab Inc. SolAero Technologies Corp. AZUR Space Solar Power GmbH ПАО «Сатурн»	3J GaInP/GaAs/Ge (МОС-гидридная технология, «прямой» рост) Коммерчески доступные в настоящее время	
2012	31	Solar Junction	3J GaInP/GaAs/GaInNAs (МЛЭ)	[1]
2018	32	Spectrolab Inc.	3J XTE-SF (МОС-гидридная технология)	[2]
2017	33	Solar Junction	4J AlInGaP/InAlGaAs/GaInNAsSb/Ge (гибридный МЛЭ + МОС процесс)	[3]
2018	32	AZUR Space Solar Power GmbH	4J (4G32-Advanced) AlInGaP/AlInGaAs/InGaAs/DBR/Ge (МОС-гидридная технология, «прямой» рост)	[4]
2018	32	SolAero Technologies Corp.	4J IMM (МОС-гидридная технология, «обратный» рост)	[5]

Selected efficiencies of the space solar cells based on III-V compounds (AM0, 1 sun)

- http://www.sj-solar.com/about_us/space.php
- http://www.spectrolab.com/photovoltaics/XTE_32_Percent.pdf
- Suarez F., Liu T., Sukiasyan A. et al. Advances in Dilute Nitride Multi-Junction Solar Cells for Space Power Applications // in Proc. of 11th ESPC, E3S Web of Conf. 16, 2017, 03006.
- <http://www.spacetecheexpo.eu/resources/news-and-editorial/news-container/2019/06/10/azur-space%E2%80%99s-newest-product,-4g32-advanced/>
- <https://solaerotech.com/wp-content/uploads/2018/04/IMM-alpha-Preliminary-Datasheet-April-2018-v.1.pdf>
- P. T. Chiu, D. C. Law, S. B. Singer, D. Bhusari, A. Zakaria, X. Q. Liu, S. Mesropian, and N. H. Karam, "High performance 5J and 6J direct bonded (SBT) space solar cells," 42nd IEEE Photovoltaic Specialist Conference, p. 1, 2015..

Базовая гетероструктура трехпереходного ФЭП и план ее развития для достижений КПД > 30%.

Планируемые разработки



А. Широкозонный AlGaInP/GaInP элемент с увеличенным напряжением.

В. Гетероструктуры с квантоворазмерными объектами In(Ga)As для расширения спектральной чувствительности «среднего» GaAs субэлемента и повышенной радиационной стойкости ФЭП

С. Метаморфный GaInAs субэлемент для увеличения КПД трехпереходного ФЭП

Д. Технология Бреговского отражателя (БО), для ФЭП с улучшенной радиационной стойкостью

Предполагаемые результаты работ:

- Трехпереходные КФЭП с КПД = 29-30% (АМО);
- Четырехпереходные КФЭП с КПД = 30-32% и с удельной массой до 0,4 кг/м² на утоненных подложках;

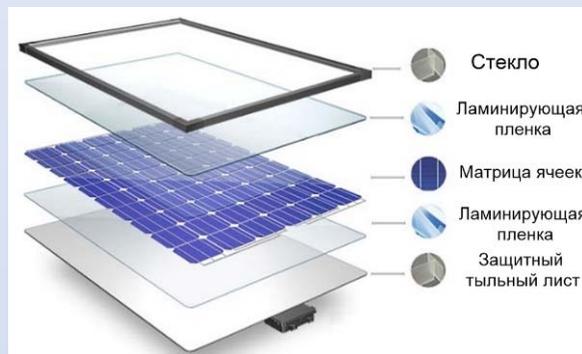
- Радиационная деградация КФЭП с бреговским отражателем не более 15% к концу срока активной эксплуатации на геостационарной орбите;
- Повысить срок эксплуатации с 15 до 25 лет на геостационарной орбите

Механическая прочность полугибких солнечных модулей на основе НТТ ячеек (на подложках моно Si)

С.А. Яковлев, Е.В. Щебет, К.В. Емцев, Д.А. Андроников, А.С. Абрамов,
Е.И. Теруков, Д.Л. Орехов

Полугибкие солнечные модули

Стандартный модуль со стеклом



Уд. вес: ~11,5 кг/м²;

Гарантия: 20-25 лет.

Хорошая устойчивость к климатическим и механическим внешним воздействиям.

Замена фронтального стекла на пластик:

Уд. вес: ~2,5 кг/м²;

Гарантия: 1-3 года.

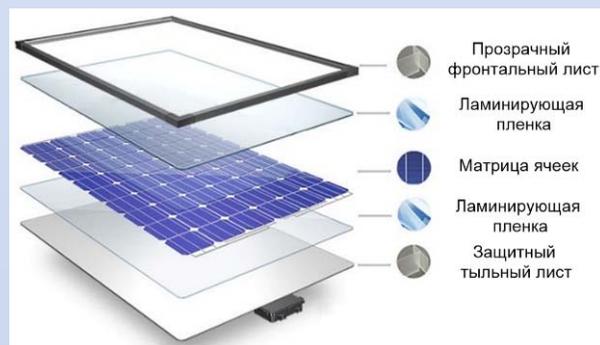
Достоинства: -легкость;

-гибкость (**радиус в месте изгиба – не менее 1.5 м**);

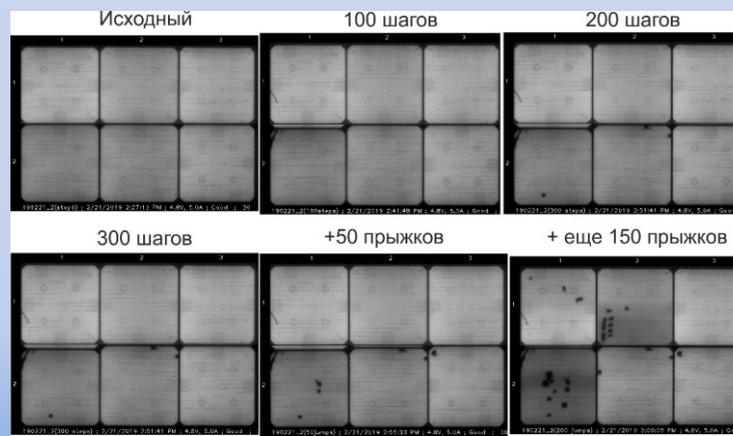
-независимость от размера стекла – большая вариабельность конфигураций модулей.

Недостатки: - не устойчив к климатическим и механическим воздействиям -> небольшой срок службы.

Полугибкий модуль



Дефекты после механических испытаний



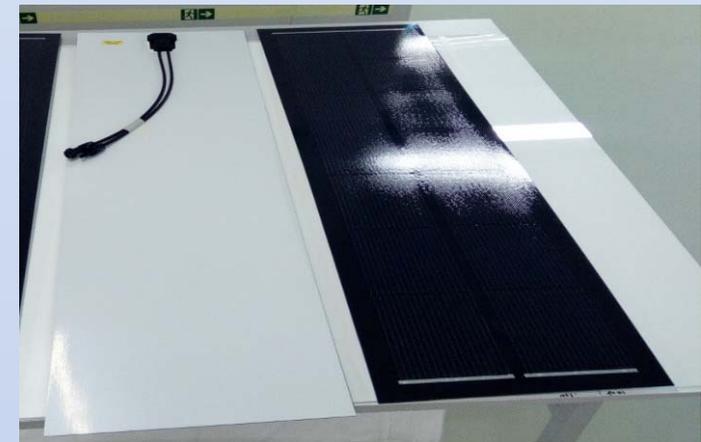
Тенты на солнечных элементах

Тент для палатки: Мощность солнечных элементов – 2 кВт; Вес – 50 кг.



Проект “Дикий Дом”:

Мощность солнечных элементов – 1,6 кВт; Вес – 30 кг.



Ток короткого замыкания: $I_{sc}=8.58$ А;
Напряжение холостого хода: $V_{oc}=10.19$ В;
Ток в рабочей точке: $I_{mpp}=8.09$ А;
Напряжение в рабочей точке: $V_{mpp}=8.22$ В;
Мощность в рабочей точке: $P_{mpp}=66.5$ Вт;
Коэффициент заполнения: $FF=76.13$ %.

Весельная лодка "АКРОС"

Первый этап кругосветного перехода Федора Конюхова

Путешественник преодолел первый из трех этапов кругосветного маршрута на весельной лодке, который стартовал 6 декабря 2018 года. Протяженность этапа составила примерно 6,4 тыс. морских миль.



154 дня

13 часов 37 минут — с 6 декабря 2018 по 9 мая 2019 года длился первый этап путешествия.

11 500 км

прошел Федор Конюхов на веслах по Тихому океану от Новой Зеландии до Южной Америки.

Весельная лодка "Акрос"



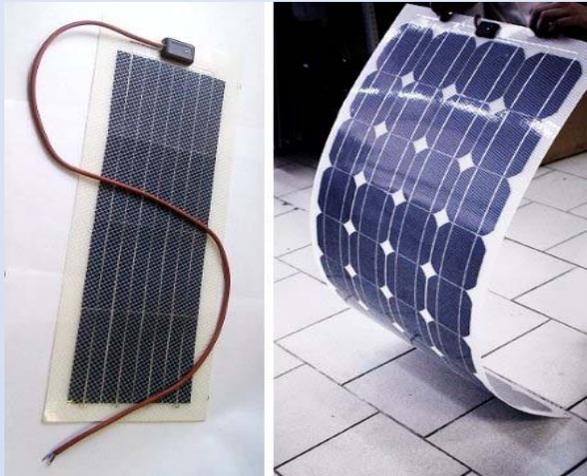
2 часть. Производители устройств, систем в России.



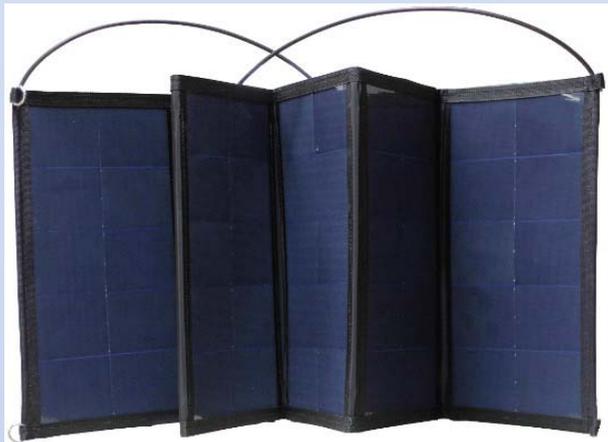
Научно-промышленная группа «Солярис» (НПГ "Солярис") является приемником Научно-производственного предприятия «Квант» в части разработки и производства Солнечных энергетических систем (СЭС) наземного применения.

<http://www.npgsolaris.ru/production/>

ГИБКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ МОДУЛИ



Модель	Мощность Вт	Габариты, мм	Вес, кг	Удельный вес, кг/м2
ТСМ-15F	17	265 × 600 × 1,5	0,33	2.1
ТСМ-30F	34	420 × 590 × 1,5	0,5	1.6
ТСМ-140FM	140	1500 × 700 × 1,5	2,4	2.3
ТСМ-210F	225	830 × 1620 × 2	2,8	2.7



СКЛАДНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ МОДУЛИ

Модель	Мощность Вт	Габариты в сложенном состоянии, мм	Вес, кг
ТСМ-120A-FS	120	470 × 300 × 15	2,3
ТСМ-180B-FS	180	670 × 300 × 15	3

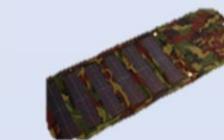
Патенты

1. «Гибкий фотоэлектрический модуль» (А.В.Алексеев, В.С.Белоусов, М.В.Гришин, В.М.Звероловлев, А.В.Заикин, А.В.Старков, Б.Л.Эйдельман). Патент РФ № 2493633 (заявка № 2012114243), приоритет от 12.04.2012г. опубликован 20.09.2013
2. «Гибкий фотоэлектрический модуль» (А.В.Алексеев, В.С.Белоусов, М.В.Гришин, В.М.Звероловлев, С.В.Вильдяева, Н.Ф.Протасова, Б.Л.Эйдельман). Патент РФ № 2495513 (заявка № 2012125212), приоритет от 19.06.2012г.
3. «Гибкий фотоэлектрический модуль» Патент на изобретение №2495513. Зарегистрирован 10.10.2013(Алексеев А.В., Белоусов В.С., Гришин М.В., Звероловлев В.М., Протасова Н.Ф., Вильдяева С.В.)
4. «Фотоэлектрический усиленный гибкий модуль» Патент на полезную модель №178429. Заявка №2017129487 от 21.08.2017. Опубликовано 04.04.2018. Гришин М.В., Белоусов В.С., Эйдельман Б.Л.



Солнечные энергетические установки , входящие в состав изделий, разработанные в интересах МО РФ

№ п/п	Наименование ИЭЭ	Наименование изделий	Производитель Изделий	Год включения в состав изделия	Поставки 2014 г.	Поставки 2015 г.
1	Раскладная солнечная батарея БСА-6/2ВГ- 8	Лазерный прибор разведчика ЛПР-3	АО «КОМЗ» г. Казань	2012г.	650 шт.	450 шт.
2	Переносная солнечная электростанция ЭПС-120П	Изделие83т888-1.7 (Комплекс средств автоматизации артиллерийской миномётной батареи)	АО «Радиозавод» г. Пенза	2014г.	10 шт.	6 шт.
3	Солнечное зарядное устройство СЗУ2-БСА-30ПМ	Для заряда акб	АО «ПНИЭИ» г. Пенза	2014г.	6 шт.	80 шт.
4	Переносная солнечная электростанция ЭПС-100-2ПМ	БПЛА «Орлан-10»	ООО «СТЦ» г. Санкт-Петербург	2013г.	78 шт.	80 шт.
5	Электростанция мобильная солнечная - полевой пункт заряда аккумуляторов ЭМС-ППЗА-300М	В рамках модернизации Изделие83т888-1.7 (Комплекс средств автоматизации артиллерийской миномётной батареи)	АО «Радиозавод» г. Пенза	Два изделия, в рамках действующего ОКР		
6	Автономный источник дежурного режима АИПДР «ФЭС-Точка»	ОКР Шифр «Гарпун»	АО «КБП им. Академика АГ Шипунова» г. Тула	Девять изделий, в рамках действующего ОКР		
7	Электростанция мобильная Солнечная ЭМС-200П-01	ОКР Шифр «Весточка»	АО «КБП им. Академика АГ Шипунова» г. Тула	Два изделия, в рамках выполненного ОКР		



Параметры ряда испытаний из MIL-STD-810 ^[4]

Применение стандарта в коммерции («антивандальная» техника). MIL-STD-810 — ряд стандартных параметров для лабораторных испытаний военного стандарта США

Испытани	Суть метода	Требования	Примечание
516.6	Механический Удар	Включенное состояние 20 G, 11 мс, полу-синусоида; Выключенное состояние: 40 G, 11 мс, полу-синусоида	Испытание проводится, когда изделие находится в рабочем состоянии. Потеря работоспособности изделия не обнаружена.
516.6	«Встряска»	75 G, 11 мс, полу-синусоида	Испытание проводится, когда изделие находится в рабочем состоянии в креплении транспортного средства. Потеря работоспособности изделия не обнаружена.
514.6	Вибрация (вне транспорта)	Постоянная вибрация 0.04g ² /Hz, 20 Hz-1000 Hz-6 dB / актив. 1000 Hz — 2000 Hz	Испытание проводится, когда изделие находится в рабочем состоянии. Потеря работоспособности изделия не обнаружена.
514.6	Вибрация (в транспорте)	Имитация внедорожного транспортного средства	Испытание проводится, когда изделие находится в рабочем состоянии. Приемлемая временная потеря функции, с последующим восстановлением в автоматическом режиме, без вмешательства пользователя.
507.5	Относительная влажность	От 0 % до 95 % (+3/-5 %) влажности, 23 °C к 60 °C, 10 циклов 48 Часов	Испытание проводится, когда изделие находится в рабочем состоянии. Попадание влаги внутрь корпуса не обнаружено.
505.5	Солнечное излучение	1120 В/м ² (355 ?tu/фт ² /ч) UVB@ 50 °C, 7 циклов по 24 часа	Испытание проводится, когда изделие находится в нерабочем состоянии. Выцветание или деформация устройства не обнаружены
506.5	Дождь	Ветер с дождем 10л.куб./час 4 цикла (Процедура I) и Крупные капли 7 гал/фт ² /ч (Процедура III)	Испытание проводится, когда изделие находится в рабочем состоянии. Проникновение влаги не обнаружено.
510.5	Песок и пыль (Пыльная буря)	Размер частицы <149 мк, 10 ± 7 г/м ³ плотность частицы 1.5 м\с к Скорости Ветра 8.9 м\с (Процедура I)и	Испытание проводится, когда изделие находится в рабочем состоянии. Проникновение песка или пыли не обнаружено.
509.5	Туман, соль	5%-ый солончак до 48 часов (12 влажных часов, 12 сухих часов, по 2 цикла)	Испытание проводится, когда изделие находится в рабочем состоянии. Деформация устройства не обнаружена. Проникновение влаги не обнаружено
501.5, 502.5	Рабочая температура (/Температура хранения)	-20 °C + 60 °C (/ -51 °C + 75 °C)	Испытание проводится, когда изделие находится в нерабочем состоянии. Потеря данных не обнаружена.
503.5	Тепловой удар	За минуту от -51° C до + 70° C, три цикла	Испытание проводится, когда изделие находится в нерабочем состоянии. Потеря данных не обнаружена.
524	Замораживание	3 цикла, быстрое изменение температуры	Испытание проводится, когда изделие находится в нерабочем состоянии. Проникновение влаги не обнаружено.
500.5	Давление	Высота 4500 м. (57,2 кПа) с изменением высоты 0,61 м в минуту	Испытание проводится, когда изделие находится в рабочем состоянии. Временная, неустойчивость в работоспособности или потеря данных не обнаружены.
500.5	Давление	Высота 12200 м. (18,8 кПа) с изменением высоты 0,61 м в минуту	Испытание проводится, когда изделие находится в нерабочем состоянии. Потеря данных не обнаружена.

Спасибо за внимание