

Новые возможности авиации, связанные с совершенствованием фотоэлектрических солнечных батарей

Беспилотные солнечные самолеты

В 1993-2000 годах в США (NASA) последовательно разрабатывались, изготавливались и испытывались образцы беспилотных солнечных самолетов серии "Pathfinder" (Рис. 1.21). Разработка очередного образца беспилотного солнечного самолета "Helios" началась в США (NASA) в самом конце XX века и завершилась в 2001-2003 годах.

В результате были достигнуты следующие технические характеристики:

Размах крыльев – 75 м.

Ширина крыльев – 4 м.

Скорость полета - 31÷44 км/ч.

Максимальная высота – 29,5 км.

Максимальный вес – 929 кг.

Количество электродвигателей – 14.

Мощность каждого электродвигателя – 1,5 кВт.

Установленная мощность ФСБ – 31 кВт.

На Рис. 1.56, *а* самолет "Helios" (справа) показан рядом со своим предшественником - беспилотным солнечным самолетом "Pathfinder". Очередной полет самолета "Helios" над районом Гавайев показан на Рис. 1.56, *б*.



а



б

Рисунок 1.56 – Солнечный беспилотный самолет "Helios": *а* – справа от своего предшественника из серии "Pathfinder"; *б* – в очередном полете в районе Гавайев

26.06.2003 г. самолет "Helios", попав в турбулентность, утратил конструкционную устойчивость из-за возникшего сверхкритического флаттера крыла, сломался и упал в Тихий океан примерно в 16 км западнее острова Каури. На Рис. 1.57 показаны фазы входа самолета в турбулентность и его последующей гибели.



а

б

в

г

Рисунок 1.57 – Фазы входа солнечного самолета “Helios” в турбулентность (с потерей конструкционной устойчивости из-за сверхкритического флаттера крыла) и последующей гибели

Однако, перспектива использования солнечных беспилотных самолетов для обеспечения многосуточных беспосадочных полетов на больших и малых высотах в целях военной разведки, гражданского мониторинга поверхности планеты и т.п. обусловила дальнейший повышенный интерес разработчиков к аппаратам-роботам подобного типа.

В середине июля 2010 года с одного из военных полигонов США взлетел новый беспилотный самолет «Zephyr» («Зефир» или «Шлейф»), движимый двумя пропеллерами электродвигателей, питающихся энергией от расположенных на крыльях и хвостовом оперении сверхтонких кремниевых ФСБ в светлое время суток либо от литиевых аккумуляторов в отсутствие солнечного света, предварительно заряженных исключительно за счет предшествующей работы ФСБ. Время нахождения «Зефира» в воздухе составило 14 дней 22 минуты и 8 секунд, что было официально зарегистрировано как новый мировой рекорд длительности беспосадочного полета в атмосфере Земли. Вес самолета 53 кг; размах крыльев, покрытых ФСБ, 22,5 м; максимальная высота полета 21 км. На Рис. 1.58 приведены эскиз и некоторые технические данные «Зефира», а также показаны его взлет и пребывание в воздухе. Дальнейший план разработчиков - создание беспилотных солнечных самолетов с высотой полета до 30 километров и продолжительностью полета более трех месяцев.



а



б



в

Рисунок 1.58 - Беспилотный солнечный самолет «Зефир», созданный британской компанией “QinetiQ” под патронажем и при финансировании Министерства обороны Великобритании при партнерстве Департамента обороны США в рамках совместной оборонной программы двух государств: **а** - эскиз и некоторые технические данные; **б** – взлет; **в** - пребывание в воздухе



Рисунок 1.59

В этой связи уже сейчас начаты работы по сооружению беспилотного летательного аппарата на солнечной энергии – “Solar Eagle” («Солнечный орёл» - Рис. 1.59), который станет самым крупным не только в своём классе, но и среди всех самолётов вообще. Контракт на разработку машины стоимостью 89 млн. \$_{США} выиграла компания Boeing. Созданием двигателей займётся Центр

перспективных электроприводов при Университете Ньюкасла (Великобритания). А одним из ключевых подрядчиков последнего станет компания QinetiQ. По условиям соглашения, «Солнечный орёл» будет иметь размах крыльев 122 м; вес - 1 270 кг; сможет брать на борт более 450 кг полезной нагрузки. С помощью энергии, получаемой от ФСБ, он будет способен подниматься на высоту более 18 км и развивать скорость до 100–115 км/ч. Заложенная в проект 5-летняя продолжительность беспосадочного полёта является минимальной, т.к. разработчики намерены увеличить этот срок вдвое.

Пилотируемые солнечные самолеты

Одним из наиболее интересных и перспективных в современной солнечной авиации является проект швейцарского аэронавта Бертрана Пиккарда, направленный на совершение в 2012 году пилотируемого кругосветного путешествия на самолете «Solar Impulse» («Солнечный импульс»), летающем исключительно за счет использования солнечной энергии. Прототип этого летательного аппарата, предназначенного для пропаганды альтернативной энергетики, представлен публике 26 июня 2009 года. Первый пробный полёт совершен 3 декабря 2009 года. Испытания прошли на авиабазе Дюбендорф. Технические данные первой модели «Solar Impulse» приведены в Табл. 1.11, а ее фото – на Рис. 1.60, *а-г*.

Таблица 1.11 – Технические данные испытанного летательного аппарата «Solar Impulse»

Наименование параметра	Количественная характеристика
Высота полета	8700 м
Наибольшая масса	1600 кг
Крейсерская скорость	70 км/ч
Минимальная скорость	35 км/ч
Размах крыла	63,40 м
Площадь крыла	200 м ²

Длина		21,85 м
Высота		6,40 м
Силовая установка	4 электродвигателя	7,35 кВт (каждый)
	4 винта с диаметром	3,5 метра (каждый)
Li-полимерные (Li-Po) аккумуляторы	Масса	400 кг
	Массовая энергоотдача	200 Вт·час/кг
СФЭУ: <i>количество, КПД, материал и геометрия ФЭП</i>	11 628 ФЭП	22,5 %
	Базовый материал ФЭП	Монокристаллический Si
	Толщина ФЭП	150 мкм
	Площадь каждого Si-ФЭП	12,5 см × 12,5 см ≈ 156 см ²

7-8 июля 2010 года «Solar Impulse» совершил первый беспосадочный 26-ти часовый полет. Самолет, пилотируемый Андре Боршергом, поднялся в воздух в 6:51 утра с аэродрома в районе г. Пайерн (Швейцария). Он вернулся на аэродром на следующее утро в 9:00 утра по местному времени.

13 мая 2011 года «Solar Impulse» совершил первый в своей истории 13-ти часовый международный перелет из Швейцарии в Бельгию.

Пилотируемый Андре Боршергом, он взлетел около 08.40 по среднеевропейскому времени с военного аэродрома в районе г. Пайерн (Швейцария) и приземлился в 21.30 по местному времени в Брюсселе (Бельгия). 630-ти километровый полет выполнялся со средней скоростью 50 км/час на высоте 2000 метров.



а

б

в

г

Рисунок 1.60 – Пилотируемый солнечный самолет «Solar Impulse» со СФЭУ на плоскостях крыла и хвоста: *а* - на взлетной полосе; *б-г* – в полете из г. Пайерн (Швейцария) в г. Брюссель (Бельгия); видеосъемку события см. на сайте www.solarimpulse.com/

Завершение постройки второй более совершенной модели «Solar Impulse» массой до двух тонн планировалось на 2011 год. Для трансконтинентальных и трансокеанских перелетов планируется установка более совершенного навигационного оборудования и поддержание постоянного давления в салоне. Размах крыльев будет увеличен до 80 м (больше, чем размах крыльев «Airbus A380», самого большого пассажирского самолета в мире). Оборудование салона, в том числе кислородное, обеспечит полет на высоте 12 000 метров. Кругосветный полет планировался на 2012 год. Предполагалось пять посадок для смены экипажа. Длительность беспосадочного полета — три-четыре дня — ограничена

возможностями человека. Повышение удельной емкости аккумуляторов позволит за счет уменьшения их веса совершить беспосадочный кругосветный полет с экипажем два человека.

Фотоэлектрические солнечные батареи сегодня и завтра на океанической поверхности

Экологически чистое бестопливное кругосветное плавание

31 марта 2010 года был спущен на воду крупнейший в мире катамаран на солнечных батареях «Tûranor PlanetSolar» водоизмещением 85 тонн и стоимостью 12,5 миллионов Евро, построенный в г. Киль (Германия). Его длина 35 м, ширина 23 м. Имеет 4 электродвигателя (2 по 60 кВт и 2 по 10 кВт). Энергообеспечение всего электрооборудования осуществляется исключительно за счет фотоэлектрических солнечных батарей с ФЭП из монокристаллического кремния с суммарной площадью фотоприемной поверхности 537 м² и установленной мощностью 93 кВт, работающих совместно с 72-мя Li-ионными аккумуляторами. Команда состоит из 6-ти человек. На борту помещается до 50 пассажиров. Максимальная скорость 26 км/час, круизная – 14 км/час.

27 сентября 2010 года отправился из Монако в кругосветное путешествие, которое завершилось во второй половине 2011 года. Фрагменты связанных с этим событий показаны на Рис. 1.61.



Рисунок 1.61 – Катамаран «Tûranor PlanetSolar»: *а* – внешний вид; *б* - в порту Монако (задняя часть палубы с ФСБ); *в* – после старта в кругосветное плавание; *г* – в порту г. Гамбурга (Германия); *д, е, ж* –

прохождение Панамского канала; **з, и, к** – в районе Галапагосских островов (**к** – галапагосским морским львям пришелся по душе корпус электродвигателя катамарана); **л** – от острова Таити к острову Бора-Бора; **м** – в Индийском океане

Электростанции в прибрежных акваториях

Для этого направления весьма амбициозной и оригинальной выглядит инициатива исследовательской группы «The Why Factory», которую возглавляет датский архитектор Вими Маас (Winy Maas). Вместе со своими коллегами он работает над созданием уникальных архитектурных сооружений, которые одновременно выполняют функции солнечных электростанций. Для тайского города Пхукет архитекторы разработали интересную концепцию красивых и функциональных солнечных лилий — искусственных островов, превращающих солнечную энергию в электрическую с помощью ФСБ, монтируемых на лепестках лилий-островов.

Этот интересный проект был показан во время специализированной выставки в Берлине под названием «Water - Curse or Blessing» («Вода — проклятье или благословение»), которая призвана показать пути для инфраструктурных инноваций в азиатских регионах, граничащих с водой. Представленные лилии от «The Why Factory», по замыслу авторов, должны плавать вокруг г. Пхукета, открывая свои лепестки с ФСБ в начале дня, и закрываясь с приближением ночи. Данные сооружения призваны не только аккумулировать энергию, но и быть магнитом для туристов. На каждый искусственный остров можно будет попасть на лодке. Оттуда будет открываться очаровательный вид. Кроме того, энергия, собранная искусственными цветами, должна питать город. Иллюстративный материал из этого проекта показан на Рис. 1.62, **а, б**.

Еще один проект представляет собой комбинированную электростанцию на гигантской водной платформе (Рис. 1.62, **в**), вырабатывающую электроэнергию как с помощью ФСБ (серые сектора платформы), так и с помощью ветроэлектрических генераторов. Энергия накапливается в аккумуляторных блоках (светлые сооружения в центре каждого сегмента платформы).



а



б



в

Рисунок 1.62 – Проекты солнечных и комбинированных электростанций в прибрежных акваториях: **а, б** – функциональные солнечные лилии — искусственные острова вблизи тайского города Пхукет,

превращающие солнечную энергию в электрическую с помощью ФСБ, монтируемых на лепестках; **в** - комбинированная электростанция на гигантской водной платформе, вырабатывающую электроэнергию как с помощью ФСБ (серые сектора платформы), так и с помощью ветроэлектрических генераторов

Фотоэлектрические солнечные батареи для автономного энергообеспечения на суше

В декабре 2001 года было закончено продолжавшееся ровно 2 года строительство самой большой в мире фотоэлектростанции, предназначенной для автономного обеспечения солнечной электроэнергией объединенного вместе с ней современного научно-образовательного центра в городе Гифу (Япония). Эта система, построенная компанией “Sanyo” вблизи ее завода по производству полупроводниковых устройств, получила название «Солнечный ковчег» (“Solar Ark”). Пиковая мощность системы, составляющая 630 кВт, обеспечивается работой 5046 фотоэлектрических солнечных модулей из гибридных ФЭП на основе кристаллического и пленочного аморфного кремния с КПД около 14-15 %.

Показанная на **Рис. 1.63** конструкция этой системы в форме традиционного самурайского меча на двух парах опор (расстояние между парами — 126,6 м) имеет длину 315 метров; высоту 31,6 метра в центре и 37,1 метра по краям; ширину 13,7 метра внизу и 4,6 метра вверху; вес – 3000 тонн. Ее стоимость составляет около 30 млн. \$_{США}. С 3 апреля 2002 года «Солнечный ковчег» начал полноценное функционирование. При этом система ежегодно вырабатывает 530 000 кВт-часов электроэнергии, для чего на обычной ТЭС потребовалось бы сжечь 128 610 литров минерального топлива.

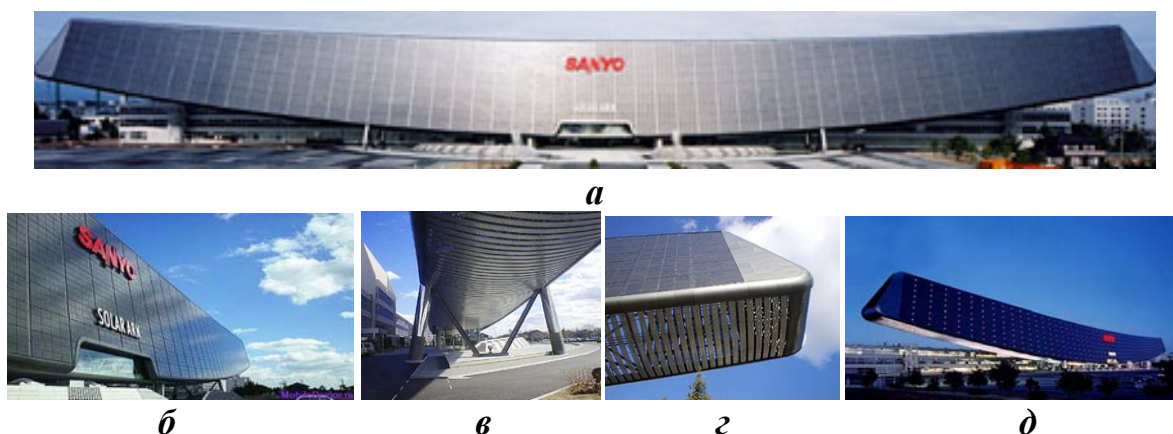


Рисунок 1.63 - Самая большая в мире фотоэлектростанция с пиковой мощностью 630 кВт, предназначенная для автономного обеспечения солнечной электроэнергией объединенного вместе с ней современного научно-образовательного центра в городе Гифу (Япония): а – полный фасад с панелями из гибридных ФЭП на основе тонкого кристаллического и пленочного аморфного кремния;

б - центральная часть; **в** – опоры системы; **г** – правый край системы; **д** - «Солнечный ковчег» с вечерней иллюминацией, осуществляемой 77 200 красными, синими и зелеными светодиодами, которая управляется компьютером.

Наряду с обеспечением работы научных симпозиумов и форумов здание научно-образовательного центра используется для пропаганды возобновляемой энергетики: работают Музей солнечной энергии (Solar Energy Museum) и Солнечная лаборатория (Solar Lab). Кроме того, здесь действуют использующие солнечную энергию системы очистки воды (Sanyo Aqua Clean System) и воздуха (перерабатывается 95 тонн углекислого газа в год).

Ниже приведены другие типичные примеры современных наземных объектов, автономное энергообеспечение которых уже осуществляется или планируется в ближайшем будущем за счет использования ФСБ.

Расширяется применение ФСБ для обеспечения электроэнергией гражданских аэродромов и военных авиабаз, стадионов, зданий, городских улиц, предместий и мостов (Рис. 1.64).

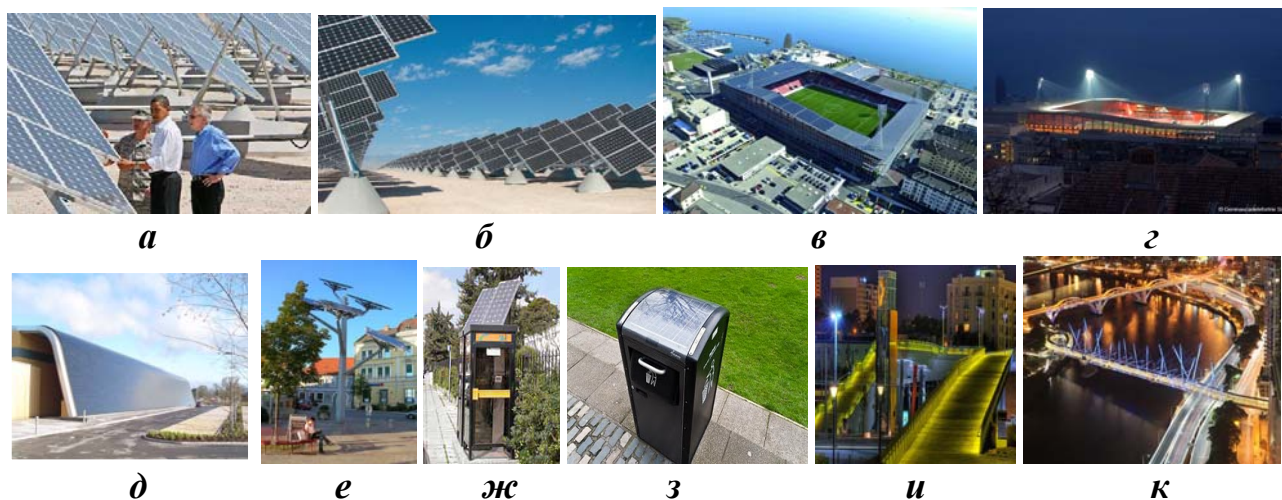


Рисунок 1.64 – **а, б** – трекеры с ФСБ на военной авиабазе США «Неллис» в штате Невада (**а** – президент Барак Обама, лидер большинства в Сенате Гарри Рид и полковник Говард Белот инспектируют в 2009 году состояние ФСБ); **в, г** – ФСБ на крыше построенного в 2007 году стадиона “Stade de la Maladiere” в г. Нёвшатель (Швейцария); **д** – СФЭУ мощностью 84 кВт на основе ФСБ из CIGS в г. Северный Уэльс (Англия); **е** – «дерево» с ФСБ на улице в г. Глайсдорф (Австрия); **ж** – оснащенная ФСБ телефонная кабина в городском предместье; **з** – ФСБ в верхней крышке мусоросборника на улице г. Дублина (Ирландия), спрессовывающего содержимое и сообщающего эвакуаторной службе о его количестве; **и** – проезжая часть улицы одного из европейских городов со светодиодной подсветкой, питающейся запасенной в дневное время солнечной электроэнергией; **к** - самый большой в мире пешеходный мост “Kurilpa” (г. Брисбен, Австралия) длиной 450 м и шириной 6,5 м, освещаемый светодиодными лампами за счет использования

электроэнергии, 100 кВт-часов которой вырабатывают ежедневно установленные там же 84 панели ФСБ (что предотвращает, в частности, ежегодный выброс углекислого газа, производимого при сжигании 37,8 тонн угля)

Одним из современных прогрессивных направлений по внедрению стационарных СФЭУ в систему автономного энергообеспечения наземных потребителей является использование стационарных комбинированных фото-ветро-электроэнергетических установок (КФВЭУ). Такие проекты уже реализуются в России, США и Китае (Рис. 1.65). Например, департамент американского штата Вермонт предполагает к 2050 году добиться получения 90% всей электроэнергии за счет активной эксплуатации широкой сети КФВЭУ.



Рисунок 1.65 – *а* – российская КФВЭУ для нужд внутренних войск МВД и пограничной службы (центры боевого управления, огни освещения и навигационное обеспечение, посты технического наблюдения, радиоретрансляторы, дежурные помещения, испытательные полигоны); *б* - КФВЭУ в жилом секторе американского штата Вермонт; *в* – китайская КФВЭУ пиковой мощностью 20 МВт; *г* – инновационное решение ученых из ливерпульского университета (Великобритания) - модернизировать традиционный ветроэлектрический генератор путем оснащения его лопастей фотоэлектрическими модулями

Активно внедряется наземное применение мобильных ФСБ для автономного электроснабжения нестационарных потребителей (Рис. 1.66 – «полевые» условия, колесные транспортные средства).

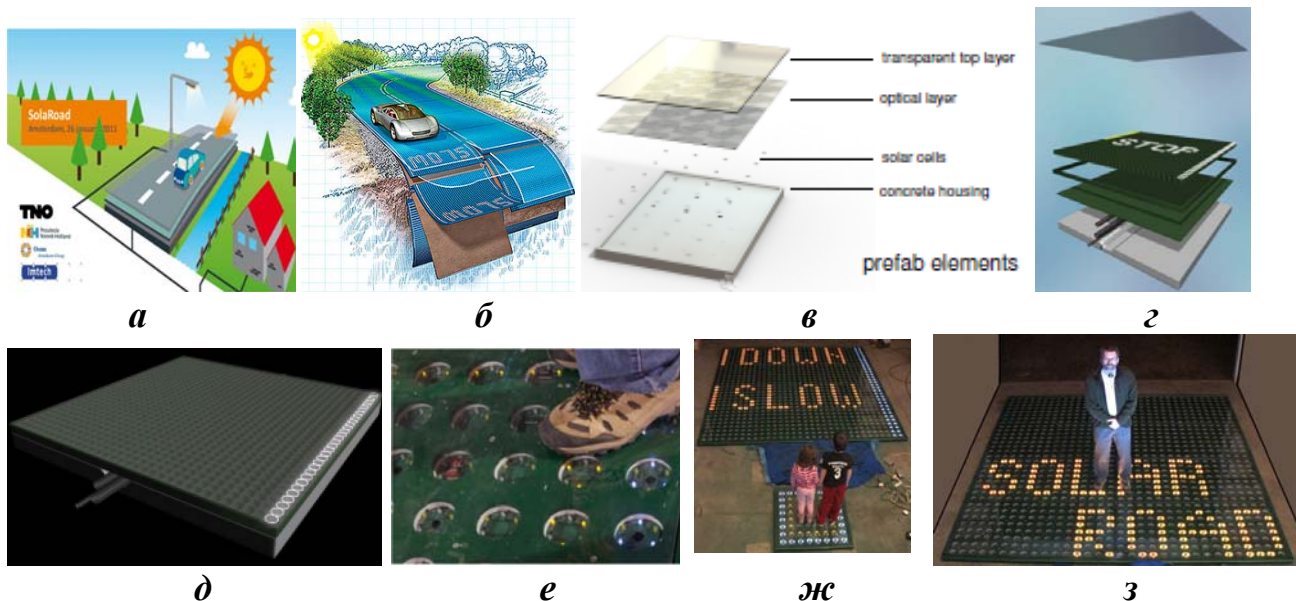


Рисунок 1.66 – *а* – российская мобильная СФЭУ (габариты в рабочем положении – 1480мм × 345мм × 4мм, масса – 12-19 кг, продолжительность подготовки к работе – 30 мин., номинальная мощность – 150-200 Вт);

б, в - легковые автомобили с ФСБ на крыше для электропитания их некоторых систем (**б** - *Toyota Prius, 2008 г.*; **в** – *пятидверный хэтчбек “Blue Car”, представленный в 2009 г. на Женевском автосалоне и уже готовый к ежегодному производству до 60000 единиц, является полностью электрическим с электродвигателем мощностью 50 кВт, который обеспечивает ускорение до 100 км/час за 6 секунд и максимальную скорость 130 км/час; на одной подзарядке литий-полимерных батарей может проехать до 255 км*); **г** – мотоцикл с основой от EVT 4000E обеспечивается электроэнергией от четырех ФСБ американской фирмы “Atlantic Solar” мощностью 30 Вт и размерами 6 x 25", которые открываются во время зарядки и закрываются во время движения (*осуществлен пробег 1200 км*)

Разрабатываются масштабные проекты строительства в ближайшие годы автомобильных дорог из ФСБ – солнечных дорог (Solar Road – **SolaRoad**). Реализацию одного из таких проектов в настоящее время осуществляет американская компания “Solar Roadways”, организованная и возглавляемая его автором - изобретателем Скоттом Брусо, инженером-электриком из штата Айдахо. Соответствующие иллюстрации приведены на Рис. 1.67.

Согласно проекту «дорожный пирог» состоит из четырех слоев – 1) бетонной основы с управляющей электроникой и кабельной разводкой; 2) слоя ФСБ с нагревательными элементами для самоочистки дороги от снега и льда; 3) так называемого оптического слоя со светодиодами для оптической разметки дорожного полотна, а также осуществления визуальных команд водителям автомобилей и пешеходам; 4) защитного верхнего прозрачного, шероховатого и механически прочного покрытия, выдерживающего воздействие многотонных грузовых автомобилей.





и



к



л



м

Рисунок 1.67 – *а, б* – общая характеристика идеи проекта; *в-д* - устройство «дорожного пирога»; *е* – вид реального «дорожного пирога» сверху; *ж, з* - стандартный элементарный блок «дорожного пирога» с планарными размерами 3,6 м × 3,6 м и с примерами его световой разметки, а также визуализируемых светодиодами команд (на фрагменте *з* – в центре блока автор проекта Скотт Брусо); *и-л* – ход реализации проекта; *м* - предполагаемый согласно проекту фрагмент общего вида солнечной дороги

Каждый квадратный метр ФСБ из второго слоя под действием солнечного света ежегодно будет генерировать около 50 кВт-часов электроэнергии, которая предназначена не только для функционирования внутридорожной электроники, но также для энергообеспечения прилегающих к дороге освещающих ее в темное время суток фонарей, аккумуляторозаправочных станций, зданий различного назначения и находящихся возле них автопарковок.

Объем стартового финансирования проекта правительством США составляет 850 тыс. \$_{США} и рассчитан на начало реализации проекта со строительства парковок, обеспечивающих снабжение солнечным электричеством прилегающие супермаркеты и бизнес-центры.