

УДК. 662.997.05(043)

В.М. ТИГАРЕВ, канд. техн. наук,
В.М. ТОНКОНОГИЙ, д-р. техн. наук,
Е.И. САПОЖКОВ, Одесса, Украина

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В САПР INVENTOR

Пошук джерел енергії для задоволення зростаючого мирового запиту, є основним викликом для суспільства наступних половини століття. Завдання складається у перетворенні сонячного світла у електричество за допомогою фотоелектричних сонячних елементів при цьому значно знизив співвідношення затрат \$/ватт, сонячної енергії яка була одержана. Створена система моделювання та проектування сонячних батарей (трекерів) трьох типів у САПР Inventor.

Поиск источников энергии для удовлетворения, растущего мирового спроса, является основным вызовом для общества следующей половины столетия. Задача состоит в преобразовании солнечного света в электричество с помощью фотоэлектрических солнечных элементов, при этом значительно снизив соотношение затрат \$/ватт, получаемой солнечной электроэнергии. Создана система моделирования и проектирования солнечных батарей (трекеров) трех типов в САПР Inventor.

Finding energy sources to satisfy the worlds growing demand is one of societys foremost challenges for the next half-century. The challenge in converting sunlight to electricity via photovoltaic solar cells is dramatically reducing \$/watt of delivered solar electricity. Created system modeling and design of solar panels (trackers) three types in CAD Inventor.

Вступление. Одной из наиболее важных проблем XXI века, является проблема поиска альтернативных источников энергии, сжигаемые виды топлива, в обозримом будущем будут исчерпаны, и необходимость поиска возобновляемых источников становится актуальной уже сейчас. Над решением такой глобальной проблемы трудятся инженеры и ученые многих ведущих университетов мира, все размышления сводятся к одному – научиться эффективно использовать энергию солнца в качестве

основного источника энергии для нашей планеты. Теоретические расчеты показывают, что если 0,16% земной поверхности покрыть эффективными солнечными батареями (СБ) с высоким КПД, то такие батареи смогли бы выдавать энергию равную 20 ТВт, что примерно в два раза превышает энергию, получаемую при сжигании газа и нефти всех стран мира вместе взятых.

Из возобновляемых источников энергии, солнечная, по масштабам, видится наиболее перспективной, уже с современными технологиями вполне реально качественно перейти на солнечную энергетику. Солнечная энергия не только может стать наиболее эффективным источником энергии на нашей планете, она также является экологически чистым и в масштабе человеческой жизни, безграничным источником энергии.

ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ

Постановка задачи. Какие же главные препятствия стоят перед человечеством, чтобы начать эффективно использовать солнечную энергетику? Одной из главных причин, по которым солнечные батареи не используются как основной источник энергии, является их дороговизна и долгий срок окупаемости. Это связано с тем, что современные технологии пока не способны выдавать необходимый КПД, для эффективного использования солнечной энергии. На отечественном рынке солнечная энергетика – это довольно затратный источник энергии, если посмотреть на западные страны, там дела обстоят намного лучше, это связано с тем, что правительство западных стран, активно поддерживает движение за чистую энергию, в правительствах таких стран присутствуют партии, которые активно выступают за увеличение субсидирования чистой и экологической энергии, в том числе и энергии солнца. Не только компании, желающие оборудовать свои здания и офисы солнечными панелями, получают должную денежную поддержку от государства, но также и обычный житель не останется обделённым, в первую очередь люди использующие чистые источники энергии не облагаются налогами и с должной правительственной помощью могут запросто себе установить СБ, а также обслуживать их.

Вторым главным недостатком СБ является зависимость от погодных условий, уровня осадков, для статичных систем, проблемой так же является и постоянно меняющееся положение солнца, что не позволяет в полной мере использовать энергию света. Для многих стран использование солнечной энергии является затруднительным, т.к. поток световой энергии на разных географических широтах разный.

Решение первой проблемы возможно следующими способами:

- сокращение затрат на производство – создание автоматизированных цехов по сборке СБ, для обслуживания которых, необходимы минимальные трудовые затраты;

- удешевление кремния путем замены монокристалла кремния на поликристалл и мультикристалл кремния;

Для повышения КПД солнечных элементов можно:

- используя тандемные установки, многослойный фотоприемник на гетеропереходах, хотя это увеличивает стоимость;

- применяя, двусторонние фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), что незначительно улучшает эффективность;

- добавив различные концентраторы, которые наряду с увеличением фотоответа, сопровождаются повышением температуры элементов, что негативно влияет на КПД:

- введя систему слежения за Солнцем.

Последний вариант является наиболее приемлемым, так как даже при эффективной стационарной установке СБ проигрыш в вырабатываемой мощности на 50% больше, чем при непрерывном ориентировании на солнце. Следящая система (трекер) обеспечивает более равномерное генерирование электричества с восхода до захода солнца.

Результаты исследования.

Ориентирование на Солнце возможно с применением одноосных и двухосных систем, именуемые также трекерами.

Наибольшее развитие получили активные системы. Они применяются как для ориентирования солнечных батарей на земле, так и для ориентации в космических аппаратах.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ПРИХОДЯЩЕЙ МОЩНОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНЫ В РАБОТАХ [1, 2, 3]

Инсоляцией (от латинского *in solo* - выставляю на солнце) называется облучение параллельным пучком лучей, поступающих с направления солнечного диска. Инсоляция значительно изменяется при переходе от одной точки земной поверхности к другой. Инсоляция зависит еще от ряда немаловажных факторов:

- времени года, обуславливающего более малую освещенность и долготу дня зимой;
- времени суток, т.к. солнечные лучи в течении дня не одинаково эффективны, вдобавок лучи, падающие на поверхность солнечной батареи под очень малым углом, малопригодны для использования.

местных погодных условий (облачность, туман, дождь, снег, высокая температура).

Величиной, оказывающей влияние на интенсивность облучения фотоэлектрического модуля (ФМ), является угол падения солнечных лучей на её поверхность. Применение систем слежения позволит изменять угол в зависимости от положения Солнца, что увеличит количество пришедшей мощности на поверхность ФМ.

Для расчета интенсивности потока солнечного излучения, поступающего на наклонную лучепоглощающую поверхность, необходимо знать углы падения солнечных лучей на нее.

При прохождении атмосферы потоком солнечного излучения он теряет свою интенсивность из-за поглощения озоном, углекислым газом и водяным паром, а также рассеянием твердыми частицами. Рассеяние и поглощение увеличиваются с увеличением пути потока солнечных лучей, поэтому вводится поправочный коэффициент для аппроксимации:

$$K = 1,1254 - \frac{0,1366}{\sin\alpha} \quad (1)$$

где α - солнечная высота.

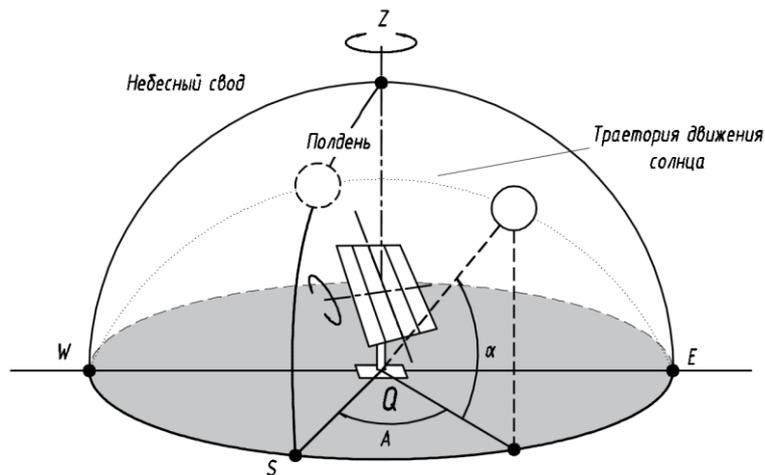


Рисунок 1 – Движение солнца по небосводу

Определим основные солнечные углы и их соотношения для различных способов слежения за солнцем.

ω - часовой угол, измеряется в градусах. Часовой угол увеличивается на 15 градусов каждый час и равен нулю в солнечный полдень.

$$\omega = 15(t_s - 12), \quad (2)$$

где t_s - солнечное время в часах;

δ - склонение, равняется угловому расстоянию на небесной сфере от плоскости небесного экватора до светила и выражается в градусах дуги. Склонение положительно к северу от небесного экватора и отрицательно к югу.

$$\sin \delta = 0.39795[0.98563(N - 173)] \quad (3)$$

где N - номер дня;

a - солнечная высота, определяется как угол между падающими лучами от солнца и горизонтальной плоскостью.

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \varphi) \quad (4)$$

θ_z - зенитный угол, является дополнительным к солнечной высоте.

$$\theta_z = 90^\circ - \alpha$$

A - солнечный азимут. Это угол, измеренный по часовой стрелке в горизонтальной плоскости с севера. Измеряется в градусах.

$$A = \sin^{-1}\left(\frac{-\cos \varphi \sin \omega}{\cos \alpha}\right) \quad (5)$$

Для определения количества излучения, приходящегося на произвольно ориентированную площадку, введем понятия угла отсележивания θ , выражающего угол между направлением солнечных лучей вектор S и нормалью к площадке вектора N .

Косинус угла между падающими солнечными лучами и нормалью есть скалярное произведение этих двух единичных векторов: $\cos\theta_i = S \cdot N$

В системе с двумя осями слежения, ФМ всегда будет нормальна к солнцу. Поэтому эффект косинуса не вступает в силу: $\cos\theta_i = 1$

Приходящая мощность может быть рассчитана по формуле:

$$I_h = K \cdot I_0 \cdot \cos \theta_i, \quad (6)$$

где I_0 - солнечная константа, равная 1367 Вт/м^2 .

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ТРЕКЕРОВ.

Изучив особенности конструкции трекеров, были спроектированы основные виды солнечных систем.

Статическая конструкция представляет собой раму, угол которой рассчитывается на основании среднесезонного положения солнца. Рама состоит из алюминиевых профилей, на которые крепится солнечная панель.

Статическая система имеет ряд преимуществ по сравнению с автоматическими системами слежения. Во-первых, она проста в обслуживании, установка такой батареи происходит единоразово и не требует калибровки датчиков движения. Стоимость такой системы, в сравнении с автоматикой, значительно ниже, что и делает такие батареи более привлекательными для конечно покупателя.

Одноосевой трекер. Данная система часто применяется в СЭС, т.к. не требует сложной программной аппаратуры, проста в управлении и значительно дешевле аналогов, следящих за солнцем по двум координатам.

Устройство такого механизма состоит из поворотной рамы, вращение которой, возможно благодаря двигателю, работа которого регулируется автоматикой. Автоматика «следит» за местом расположения Солнца на небосводе и по мере его продвижения в западном направлении дает сигнал двигателю осуществлять поворот всех батарей.

Интересным выдается тот факт, что питание для двигателя идет от самих солнечных батарей. Слежение за солнцем делает само солнце, а это тоже экономия средств.

Двухосевой трекер – это электромеханический прибор, цель которого отслеживать перемещение источника света. Основное применение – изменение положения фотоэлектрических модулей (солнечных батарей) с целью получения максимального КПД. Именно при падении солнечного света под прямым углом достигается минимальное значение отражения, а следовательно — максимальное использование энергии лучей солнечной панелью.

Преимущество двухосевого солнечного трекера состоит в том, что размещенные на них солнечные батареи автоматически двигаются за солнцем в течении дня и меняют угол наклона в зависимости от времени года. А это — значительно увеличивает выработку электроэнергии по сравнению с неподвижно закрепленными солнечными панелями.

Перед созданием подсистемы проектирования была создана блок-схема, з детальним описанием программы.

Основний код програми был написан благодаря интегрированному в iLogic, языку програмування Visual Basic. Пользовательский интерфейс программы було розроблено в VB, а також благодаря редактору форм в САПР Inventor.

Программа розбита на три основных исполнительных правила:

- 1) работа со статической системой;
- 2) работа с одноосевой системой;
- 3) работа с двухосевой системой.

Каждое из правил содержит набор функций направленных на редактирование параметрической модели.

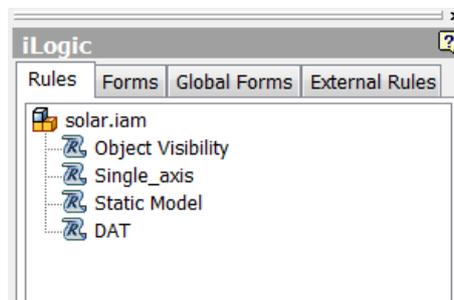


Рисунок 2 – Основні правила програми

Основные правила объединены в правило Object Visibility, которое контролирует видимость модели редактирования. Правила iLogic работают с переменными, которые задает сам пользователь и с переменными, которые система задает автоматически каждому из объектов. Каждое правило в iLogic представляет собой контейнер с переменными, которые связаны между собой условиями.

Блок редактирования статической системы разделен на компоненты редактирования: редактирование опорной конструкции, параметры солнечной батареи и заданием массивов.



Рисунок 3 – Интерфейс редактирования статической системы

Рассмотрим работу с массивами:

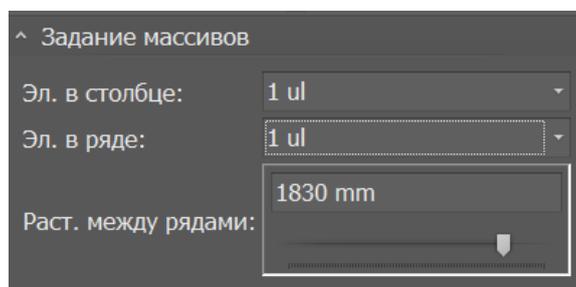


Рисунок 4 – Блок редактирования массивов статической системы

Благодаря использованию массивов, можно увеличить количество объектов в ряд и в столбец, а также изменить расстояние между ними.



Рисунок 5 – Демонстрация работы с массивами

Следующий блок – редактирования опорной конструкции изменяет длину профиля опоры, возможность изменять высоту опоры, а также изменяет положение опорного профиля. Положения профиля влияет на конструкцию модели, так, если конструкция теряет жёсткость, то появляется дополнительный профиль, который помогает избежать потерю жёсткости:

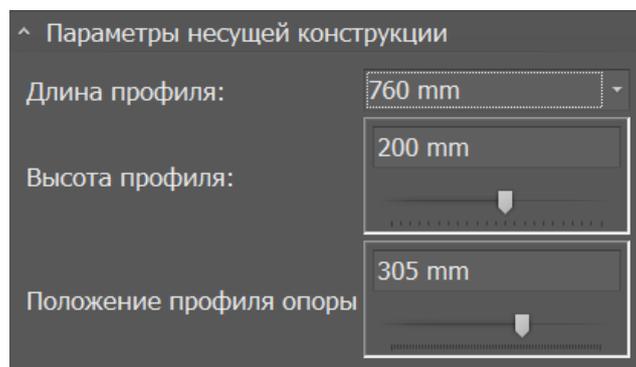


Рисунок 6 – Блок редактирования опорной конструкции

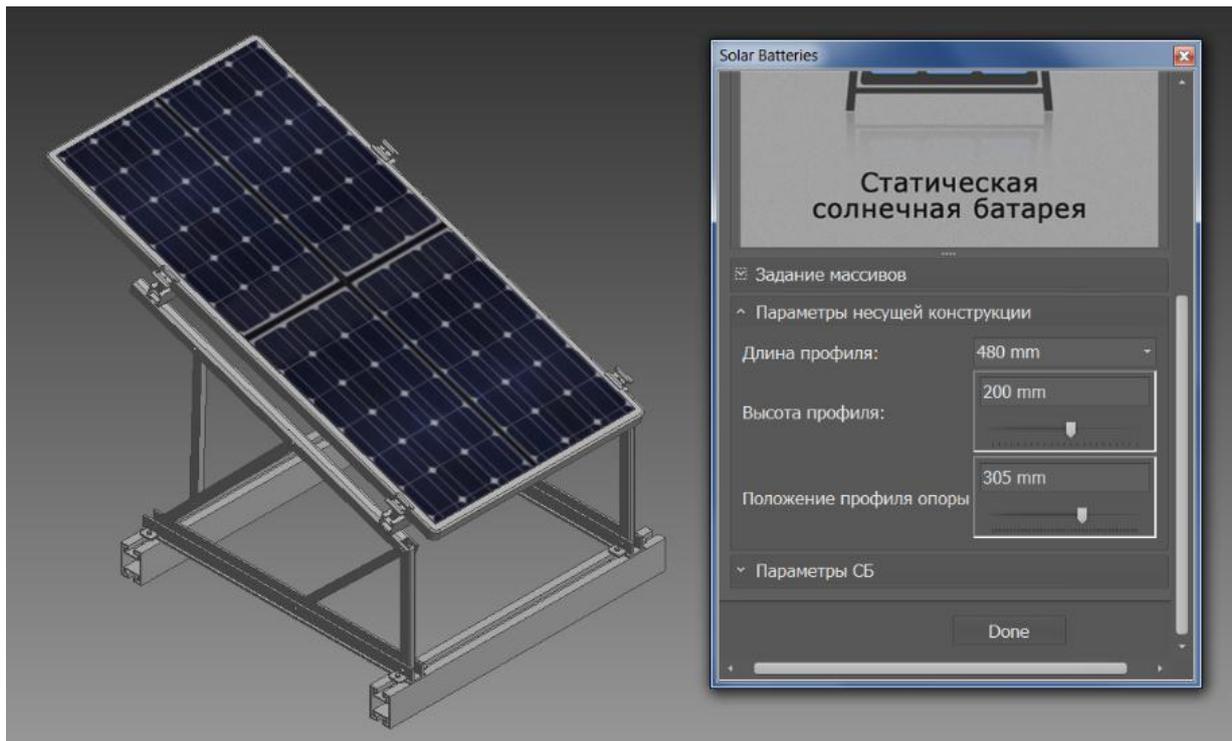


Рисунок 7 – Изменение длины профиля

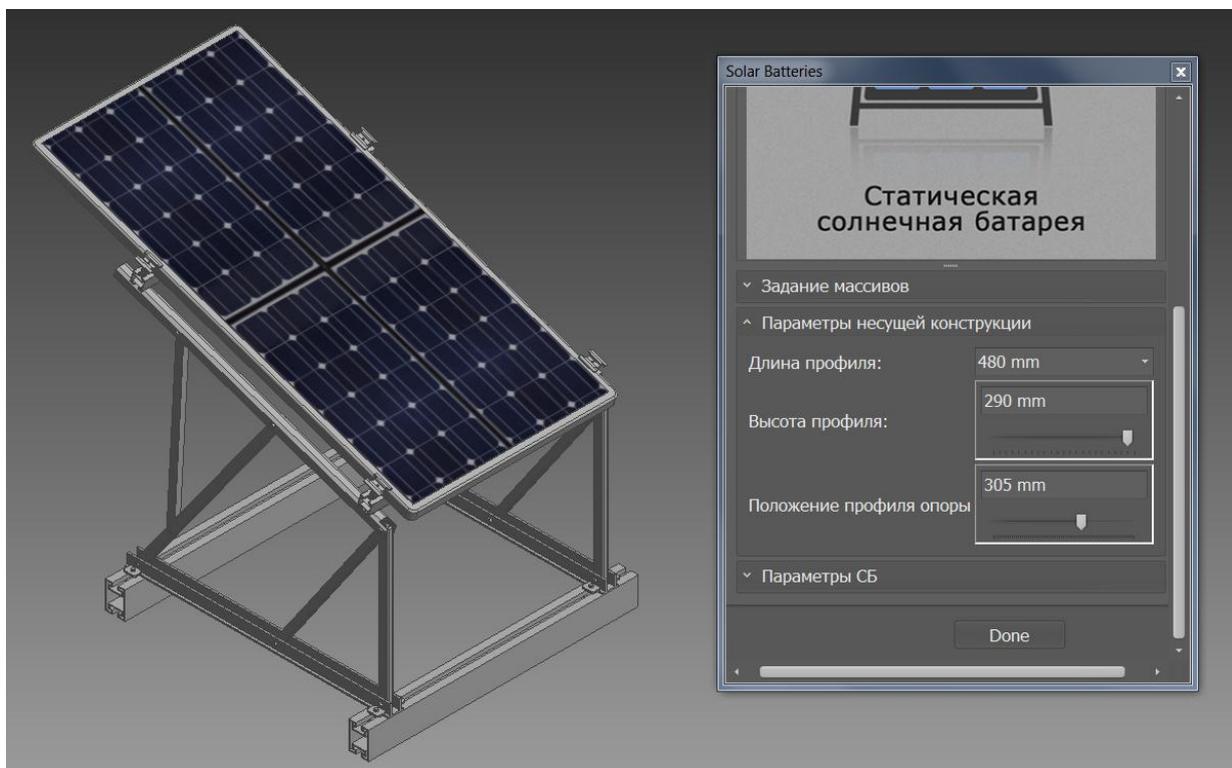


Рисунок 8 – Изменение высоты профиля

Рассмотрим блок изменений параметров солнечной батареи, в нього входят: задание ширины, высоты и угла наклона СБ.

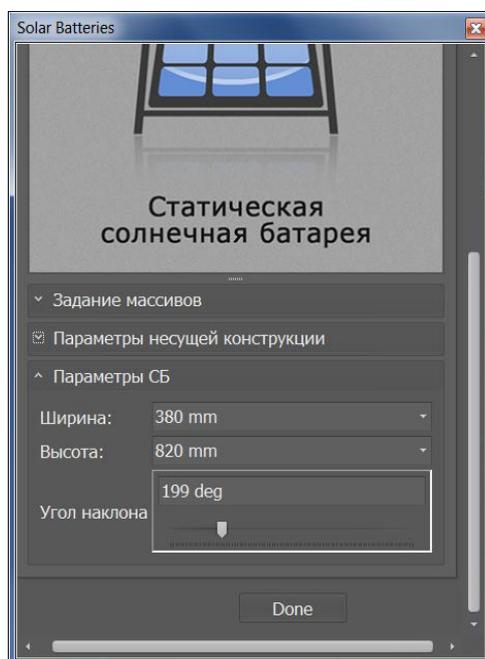


Рисунок 9 – Блок редактирования параметров СБ

Изменение ширины представляет собой ComboBox с данными для СБ по ГОСТ, а также можно изменять угол наклона статичной модели:

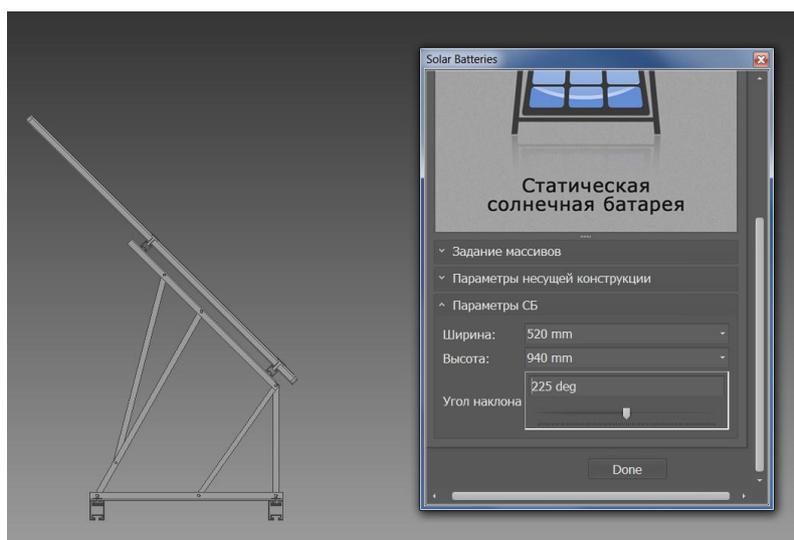


Рисунок 10 – Угол наклона СБ 45 градусов

Блок редактирования одноосевой системы, включает в себя: изменение угла наклона, изменение параметров опоры и рамы крепления.

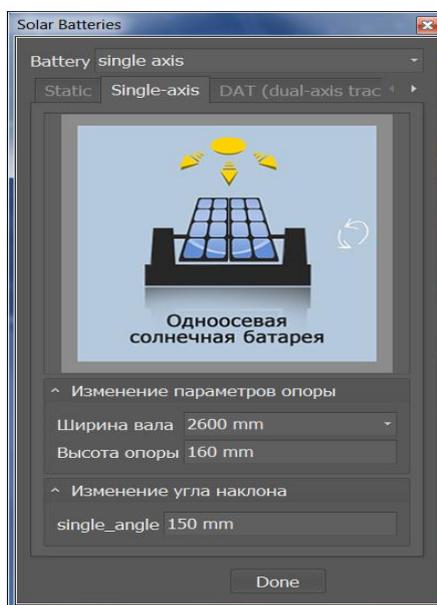


Рисунок 11 – Блок редактирования одноосевой системы СБ

Одноосевые системы – это простейшие из выше представленных типов солнечных батарей. Конструкция таких систем состоит из вала, двигателя, который вращает раму и солнечных батарей. Для этой модели используем три параметра, которые изменяют параметрическую модель. Одним из важнейших параметров – это параметр изменения угла наклона для слежения системы за солнцем.

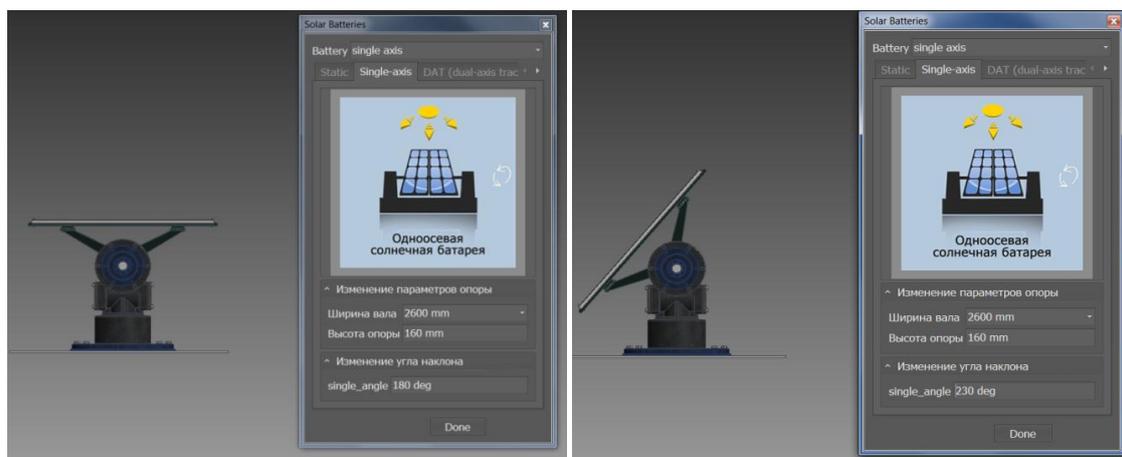


Рисунок 12 – Изменения угла наклона одноосевой системы СБ

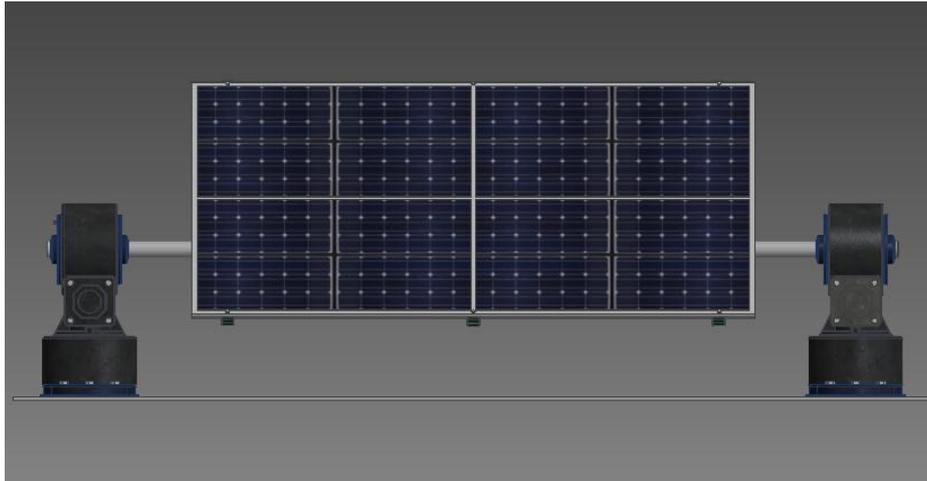


Рисунок 13 – Изменение ширины вала одноосевой системы СБ на 400 мм

Рассмотрим блок подсистемы проектирования двухосевой СБ. Он состоит из четырех основных частей: параметры опоры крепления, параметры опоры, параметры рамы, углы наклона.

Рассмотрим блок с параметрами опоры крепления. Блок включает в параметры редактирования высоты, диаметра основания, количество отверстий для крепления, диаметр отверстий и т.д.

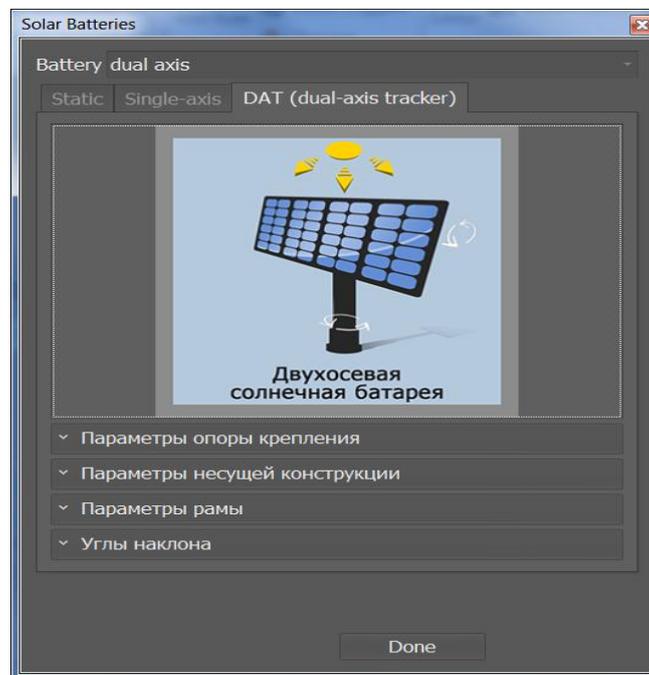


Рисунок 14 – Интерфейс редактирования двухосевой системы

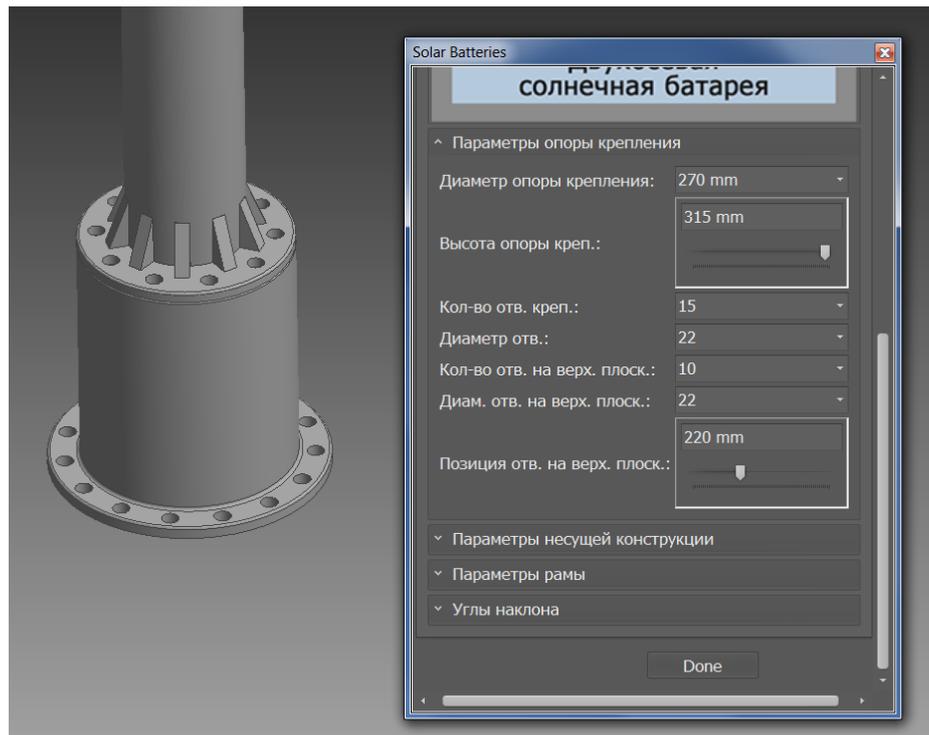


Рисунок 15 – Редактирование параметров опоры крепления

Следующий блок позволяет редактировать параметры основной опоры, на которой закрепляются рама вращения.

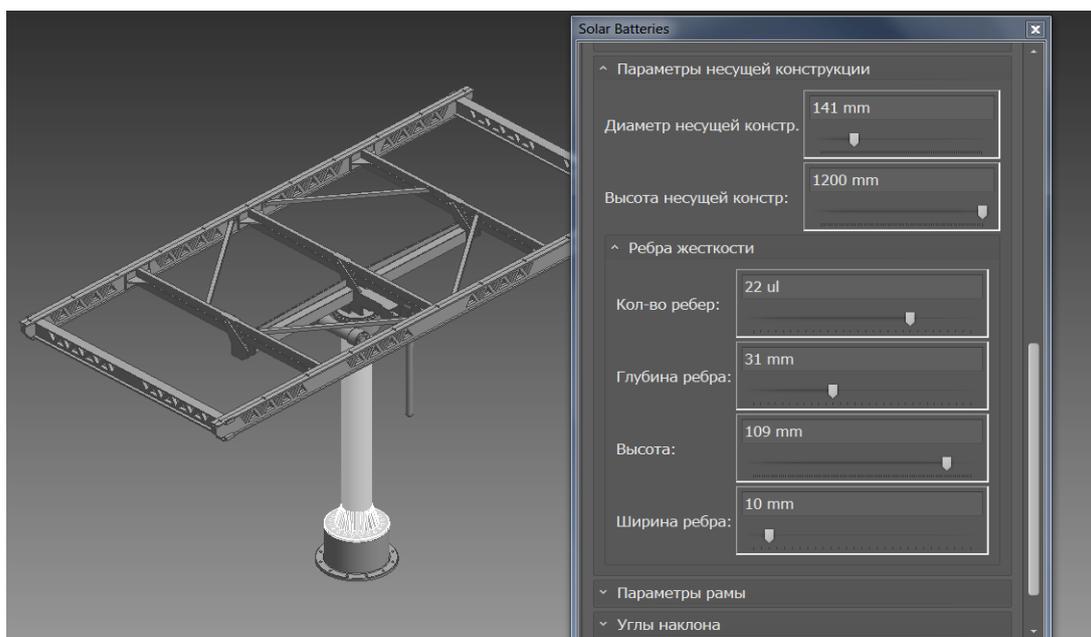


Рисунок 16 – Редактирование параметров основной опоры

Блок редактирования основной опоры включает в себя дополнительные параметры редактирования, так можно редактировать ребра жесткости, увеличивать их количество, высоту, размер в глубину и ширину.

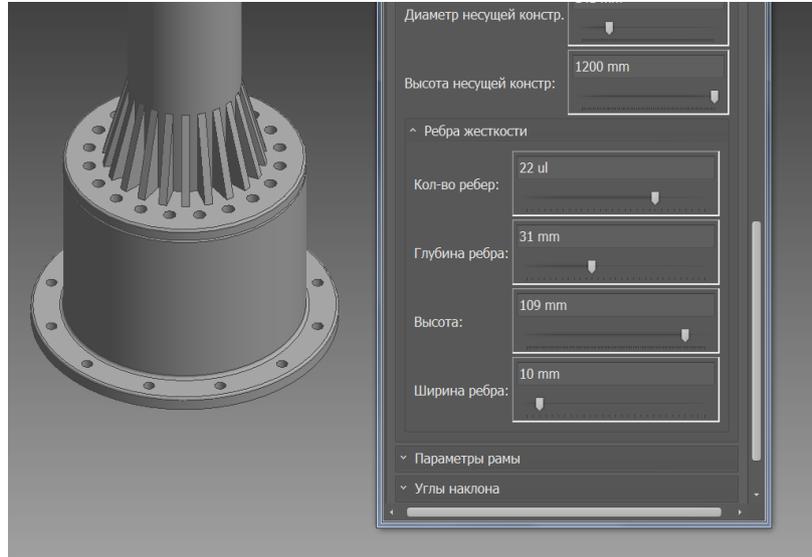


Рисунок 17 – Редактирование параметров ребер жёсткости

Наиболее важный блок, это изменение положения углов поворота двухосевого трекера. Он позволяет оптимально повернуть раму, на которой крепятся солнечные батареи, на необходимый угол.

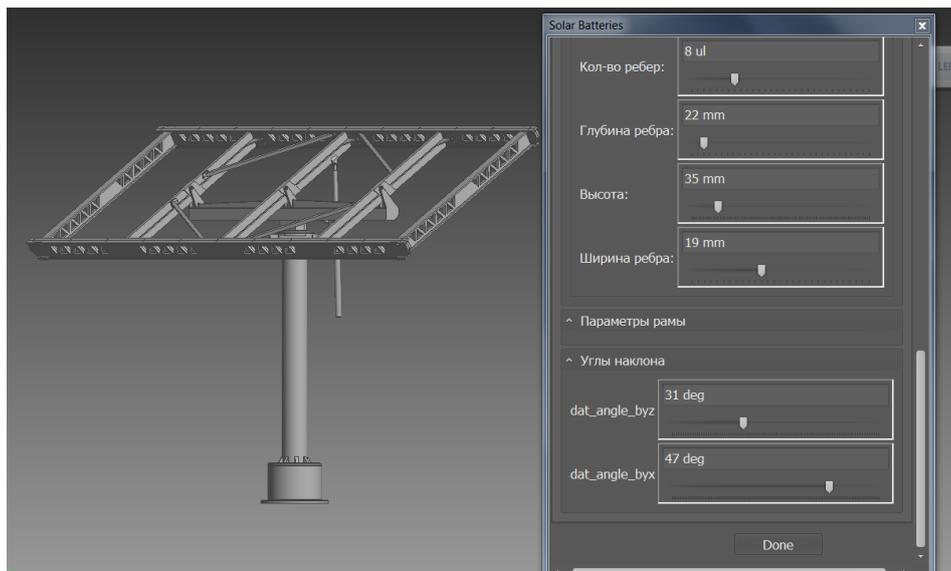


Рисунок 18 – Изменение угла вращения на 47 градусов по горизонталі и угла вращения на 31 градус по вертикали

ВЫВОДЫ:

В статье рассмотрены возможные варианты увеличения КПД солнечных панелей. Подробно были рассмотрены системы ФМ и способы их слежения за солнцем. Было определено, что наиболее эффективным являются активные системы наводки, обеспечивающие наибольший КПД. На основании изучения конструкций солнечных систем, была создана система моделирования и проектирования основных конструкций механизмов слежения за солнцем (трекеров). Развитие работы направлено на совершенствование системы для возможности проведения анализа механических нагрузок и создания системы оптимального управления движения трекерами.

Список использованных источников: 1. *М.В. Китаева, А.В. Охорзина и др. Оптимизация двухосевой системы слежения за солнцем/ Информационно-измерительная техника и технологии: материалы III Научно-практической конференции/–Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 114-124с.* 2. *Hossein Mousazadeh, Alireza Keyhani and other A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output/ Renewable and Sustainable Energy Reviews v.13 (2009) – pp.1800-1818.* 3. *Deepthi.S, Ponni.A and other Comparison of Efficiencies of Single - Axis Tracking System and Dual - Axis Tracking System with Fixed Mount / International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT) Volume 2, Issue 2, March 2013 – pp.425-430.*

Bibliography (transliterated): 1.M.V. Kitaeva, A.V. Ohorzina i dr. Optimizacija dvuhosevoj sistemy slezhenija za solncem/ Informacionno-izmeritel'naja tehnika i tehnologii: materialy III Nauchno-prakticheskoy konferencii/–Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2012. – 114-124s. 2. Hossein Mousazadeh, Alireza Keyhani and other A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output/ Renewable and Sustainable Energy Reviews v.13 (2009) – pp.1800–1818. 3. Deepthi.S, Ponni.A and other Comparison of Efficiencies of Single - Axis Tracking System and Dual - Axis Tracking System with Fixed Mount / International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT) Volume 2, Issue 2, March 2013 – pp.425 -430.