

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Космических и информационных технологий  
Кафедра Систем автоматизации автоматизированного управления и  
проектирования

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ С.В. Ченцов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

**ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ  
ОРИЕНТАЦИИ ПАНЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В СРЕДЕ  
ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ SIMINTESН**

			доцент, канд. техн. наук
Руководитель	_____	___06. 2020 г.	А.В Чубарь
Выпускник	_____	___06. 2020 г.	Л.А.Михайленко
Нормоконтролер	_____	___06. 2020 г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2020

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Построение системы управления процессом ориентации панелей солнечных батарей в среде динамического моделирования технических систем *SiminTech*» содержит 65 страниц текстового документа, 34 иллюстрации, 21 использованный источник.

### ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ОРИЕНТАЦИЯ ПАНЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ, ПАНЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ, SIMINTECH

Получение электрической энергии на основе возобновляемых источников энергии является перспективной областью развития энергетики в связи с высокой экологичностью, улучшению удельных характеристик солнечных элементов и резким снижением их стоимости. Основным фактором, определяемым энергетическую отдачу гелио-электростанций, является точность их ориентации на солнце, что может быть обеспечено только применением АСУТП.

Цель работы заключается в разработке и реализации в *SiminTech* модели системы управления ориентацией солнечной батареи на Солнце с использованием 3D визуализации результатов управления.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

Разработана и реализована в среде динамического моделирования технических систем *SimInTech* модель функционирования автоматизированной системы процесса ориентации панелей солнечных батарей на Солнце, обеспечивающую:

- 1 Ручное/Автоматическое управление положением Солнца в трехмерном пространстве;
- 2 программная реализация траектории восхода/захода Солнца в трехмерном пространстве по заданного траектории;

3 ручное/Автоматическое управление положения панели солнечной батареи по азимуту и углу места с помощью пульта управления;

4 3D визуализацию текущего взаимного положения солнца и панели солнечной батареи;

5 расчет и индикация величины теоретической и реальной генерируемой мощности гелеоэлектростанции.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы реализована модель панели солнечной батареи, выполнен процесс управления, а также внедрен ПИД-регулятор. На основании проведенной работы сформировано методическое указание «Построение 3D моделей в среде *SimInTech*».

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 Построение системы управления процессом ориентации панелей солнечных батарей.....	9
1.1 Цель и задачи .....	9
1.2 Описание устройства объекта автоматизации .....	10
1.3 Выбор и обоснование среды моделирования .....	12
Выводы по главе 1.....	13
2 Панель солнечной батареи .....	14
2.1 Описание привода солнечной панели .....	14
2.2 Режимы управления панели солнечной батареи .....	16
2.3 Механическая подсистема привода угла азимута панели солнечной батареи.....	19
2.4 Построение и оптимизация ПИД- регулятора .....	24
Выводы по главе 2.....	28
3 Описание модели солнечного объекта.....	29
3.1 История развития солнечной энергетики .....	29
3.2 Траектория движения Солнца в разные периоды года .....	30
3.3 Ориентация и угол наклона панели солнечной батареи .....	32
3.4 Визуализация управления движением солнечного объекта .....	35
3.5 Загрузка данных в базу данных из файла Excel.....	36
3.6 Реализация структурной модели солнечного объекта .....	37
Выводы по главе 3.....	39
4 Модуль 3D визуализации в <i>SiminTech</i> .....	40
4.1 3D-моделирование в промышленной сфере.....	40
4.2 Этапы 3D моделирования для промышленных целей.....	41
4.3 Применение модуля 3D визуализации в <i>SiminTech</i> .....	41
4.4 Расчет мощности получаемой энергии панелью солнечной батареи .....	45
Выводы по главе 4.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	50
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	55

ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	62

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент актуальность использования современных источников электроэнергии возрастает. Это связано со стремительной скоростью истощения классических ресурсов. Дефицит и ограниченность ресурсов постепенно приводят к переходу к альтернативам. Современные источники возобновляемы, а главное экологичны.

Преобразование солнечной энергии является самой перспективной и активно развиваемым направлением. Солнечная энергия широко доступна, практически безгранична и не загрязняет окружающую среду. Важность перехода можно рассматривать по нескольким причинам:

- В первую очередь - экологическая. Уже давно общеизвестно и научно доказано неблагоприятное влияние на окружающую среду традиционных энергодобывающих технологий. Применение их неминуемо ведет к изменению климата.

- Экономическая: Стоимость энергии, производимой альтернативными источниками становится ниже стоимости классических источников. Цены на альтернативную энергию снижаются, а на классическую – постоянно растут.

- Политическая: Со временем запасы классических источников иссякнут и многие государства прибегнут к покупке альтернативной энергии. С этой точки зрения можно сделать предположение, о покупке альтернативной энергии у страны, которая первая в полной мере освоит добычу энергетики. Такая страна будет способна диктовать свои условия и цены на мировом рынке.

Россия на данной стадии развития значительно отставала в этом направлении, но постепенно политика в области возобновляемых источников движется к успеху. За 2014-2016 г введено более 130 МВт новой мощности возобновляемых источников энергии, где преимущественно солнечные электростанции. На 2017 построено еще более 140 Мвт, где 100- солнечные, а 35- ветровые электростанции. Все же Россия ставит установки не только по

освоению передовых технологий, но и компетенций с целью на дальнейший экспорт высокотехнологичной продукции.

Помимо того разработана целая стратегия от производства фотоэлектрических модулей до строительства и эксплуатации станций. В Новочебоксарске 3 июля 2017 года запущено производство (на основе отечественной гетероструктурной технологии) солнечных панелей. Модули входят в мировую тройку по эффективности. В Алтайской республике в сентябре 2017 года введена в эксплуатацию первая солнечная электростанция.

На этом история развития солнечной энергетики в России не останавливается и вновь выходит постановление (от 27.01.2018 №1145) цель которого – повышение инвестиционной привлекательности проектов по строительству объектов на основе возобновляемых источников энергии.

Но все же несколько факторов играют в затруднении развития Солнечной энергетики.

- Отсутствие производства кремния солнечного качества.

Ранее среди российских производителей отмечались:

#### 1 Красноярский Горно-химический комбинат (г. Железногорск)

Производство монокристаллического кремния велось с 2002 года, в 2007 году был произведен первый поликремний солнечного качества. Однако после успешного производства предприятию понадобился инвестор для запуска масштабного плана, им выступил девелоперский холдинг «Конти», но после падения цен на поликремний их сотрудничество разошлось.

#### 2 ООО «Группа НИТОЛ»

С 2007 по 2011 годы компания позиционировала себя как крупномасштабное производство поликристаллического кремния. Планировались поставки продукции на международный рынок, но в 2012 году выдвинулось решение о закрытии производства.

#### 3 ОАО «Подольский химико-металлургический завод»

Спрос на поликристаллический кремний стал снижаться в 1992 года, а в 2000 году было приостановлено, а после закрыто производство.

- Отсутствие стимула развивать отрасль за собственный счет.

Хоть и разработанный план мероприятий по стимулированию развития генерирующих объектов на основе возобновляемых источников с установленной мощностью до 15 кВт был разработан, все же люди неохотно стремятся развивать данную отрасль. Если раньше продавать излишки энергии в общую сеть предполагалось высоко оплачивать («зеленый тариф»), то теперь отказались от этого, но все же предлагают продавать избыток в 2-1,5 раза дешевле той, за которую бы заплатили обычные потребители.

Какие есть выходы для решения проблемы? Это организация производства необходимых компонентов для строительства электростанций. Или же на начальном этапе организовать покупку за границей. Необходимо и введение поправок в законодательство, для стимуляции использования возобновляемых источников. С целью извлечения огромной выгоды следует заинтересовывать науку с целью розыска новейших заключений согласно применению других ресурсов, а также применять средства автоматизации. В частности, использование системы ориентации панелей солнечных батарей. В данной работе стоит именно эта цель.



# 1 Построение системы управления процессом ориентации панелей солнечных батарей

## 1.1 Цель и задачи

**Актуальность:** Получение электрической энергии основе возобновляемых источников энергии является перспективной областью развития энергетики в связи с высокой экологичностью, улучшению удельных характеристик солнечных элементов и резким снижением их стоимости. Основным фактором, определяемым энергетическую отдачу гелио-электростанций, является точность их ориентации на солнце, что может быть обеспечено только применением АСУТП.

**Цель работы:** Разработать и реализовать в - *SimInTech* модель системы управления ориентацией солнечной батареи на Солнце с использованием 3D визуализации результатов управления.

**Постановка задачи:** Разработать и реализовать в среде динамического моделирования технических систем *SimInTech* модель функционирования автоматизированной системы процесса ориентации панелей солнечных батарей на солнце, обеспечивающую:

6 Ручное/Автоматическое управление положением Солнца в трехмерном пространстве;

7 Программная реализация траектории восхода/захода Солнца в трехмерном пространстве по заданного траектории;

8 Ручное/Автоматическое управление положения панели солнечной батареи по азимуту и углу места с помощью пульта управления;

9 3D визуализацию текущего взаимного положения солнца и панели солнечной батареи;

10 Расчет и индикация величины теоретической и реальной генерируемой мощности гелеоэлектростанции.

### **Методы и средства моделирования:**

1 Представление математических моделей и алгоритмов управления как совокупность взаимосвязанных структур;

2 Математическое моделирование процессов на основе типовых функциональных блоков в виде систем дифференциально-алгебраических уравнений;

3 3D- визуализация результатов моделирования и управления.

**Структура проекта:**

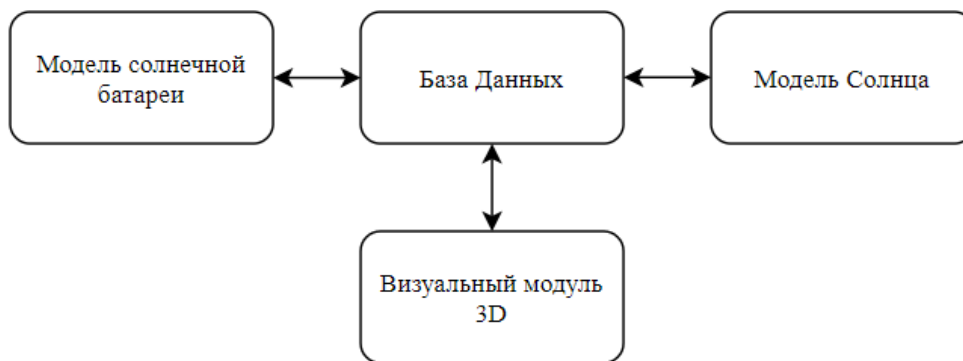


Рисунок 1 – Структура проекта

Структура проекта представляет из себя взаимосвязь друг с другом, которая объединяется в единой базе данных. В свою очередь, работа пакета начинается с проекта «Модель Солнца», который задает движение панели солнечной батареи (проект «Модель солнечной батареи»), там же производится расчет получаемой энергетической мощности. Эти модели объединяются в модуле визуального редактора, где отображается наглядно взаимодействие трехмерных фигур.

## 1.2 Описание устройства объекта автоматизации

Важнейшая часть фотоэлектрической электростанции, являющаяся основным конструктивным элементом и объектом управления – солнечные панели на основе кремния или других полупроводниковых материалов. Общий вид солнечной установки приведен на рисунке 2.

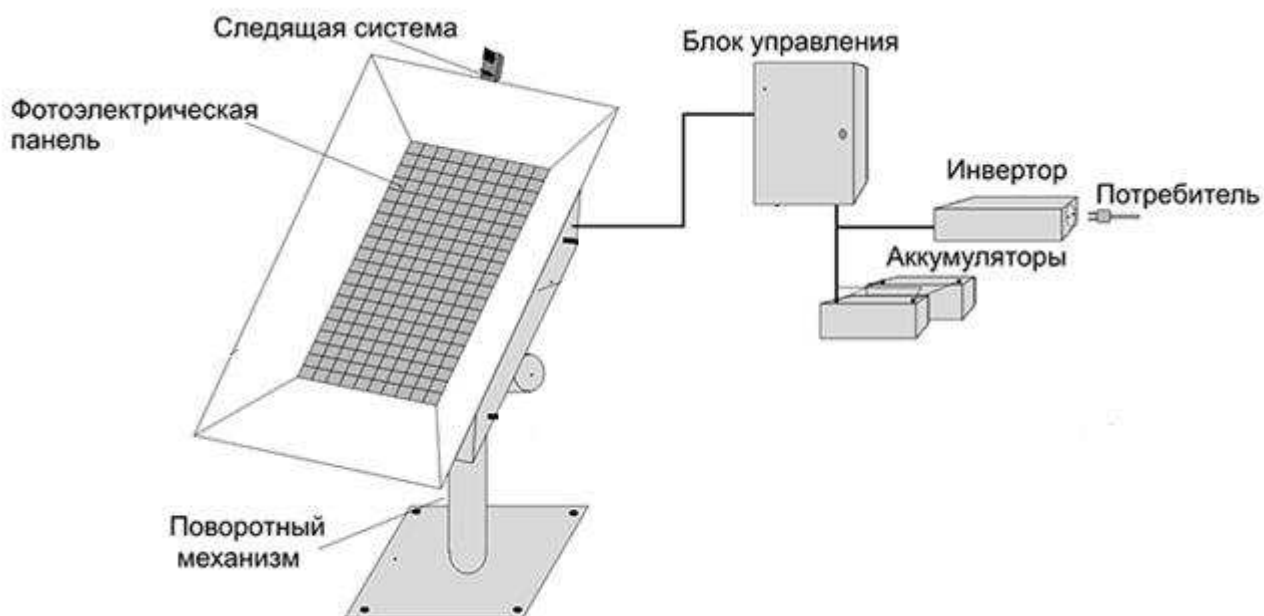


Рисунок 2 – Общий вид солнечной установки

Солнечная установка состоит из:

- Фотоэлектрической панели. Их основой служит моно- или поликристаллический кремний. Важной чертой считается полезная мощность, определяемая выходным током и напряжением. На данные характеристики оказывает большое влияние интенсивность светового потока, улавливаемого батареей;
- инвертора. Преобразует постоянное напряжение аккумуляторной батареи в переменный ток, обеспечивая работу бытовых приборов;
- аккумулятора. Накапливает и распределяет электричество с наступлением темноты или уменьшением солнечного света;
- следящей системы. Применение системы позволяет сохранять первоначальную мощность за счет перемещения солнечной батареи в положение, которое более эффективно для поглощения максимальных солнечных углов;
- поворотного механизма. При помощи которого осуществляется поворот панелей в плоскости поверхности Земли.

Фотоэлектрические панели имеют две степени подвижности: по азимутальной оси в диапазоне значений  $\pm 90^\circ$  относительно направления восток-запад и по оси угла наклона в диапазоне значений  $0-90^\circ$  относительно направления на зенит.

В дальнейшем, для модернизации конструкции и повышения коэффициента полезного действия солнечной панели планируется использование солнечного концентратора.

Солнечный концентрат- это устройство сбора солнечной энергии, которое нагревает материал- теплоноситель, тем самым сберегает солнечное тепло. Основная функция устройства – фокусировка солнечных лучей на приемнике, который находится на фронтальной линии коллектора солнечной энергии.

Устройство значительно преобразует панель и дополнительно на установке появятся:

- Отражатель или линза – используются в качестве концентратора лучей;
- тепловоспринимающий элемент- часто применяется солнечный коллектор;
- трубопроводы- для подвода и отвода теплоносителя.

Принцип действия установки перейдет в более модернизированный вид. Таким образом, специалисты отмечают, что солнечные установки теплового вида заметно отличаются эффективностью фотоэлектрических.

### 1.3 Выбор и обоснование среды моделирования

Из всех существующих программных комплексов для разработки системы управления ориентации солнечной батареей выбор был сделан в пользу русского аналога зарубежных моделирующих программ прикладного программного пакета «*SimInTech*». По характеристикам- данный вариант подобный иностранным программам, таким как *Simulink*, *SumSim* и др. Практичный редактор структурных схем, эффективные численные методы, встроенный язык

программирования и широкая библиотека типовых блоков позволяют осуществить модели практически любой степени сложности.

Сама по себе программа *SimInTech* разработана на основе учебного программного комплекса «МВТУ», и обладает всеми преимуществами расчетного ядра с уникальными методами интегрирования

«*SimInTech*» применяют не только в моделировании нестационарных процессов в электротехнике, в физике, в динамике машин и механизмов, в астрономии, но и для решения нестационарных задач (газо-гидродинамика, теплопроводность и др.), так же функционировать в многокомпьютерных моделирующих комплексах, в том числе и в системах удаленного доступа к технологическим и информационным ресурсам.

## **Выводы по главе 1**

На основании изучения объекта автоматизации определены следующие требования к модели системы:

- Ручное/Автоматическое управление положением Солнца в трехмерном пространстве;
- программная реализация траектории восхода/захода Солнца в трехмерном пространстве по заданной траектории;
- ручное/Автоматическое управление положения панели солнечной батареи по азимуту и углу места с помощью пульта управления,
- 3D визуализацию текущего взаимного положения солнца и панели солнечной батареи;
- расчет и индикация величины теоретической и реальной генерируемой мощности гелеоэлектростанции.

Выбрана структура модели, как совокупность проектов «Модель солнечной панели», «Модель солнечного объекта», «Визуальный модуль 3D» взаимосвязанных через общую базу данных в среде *SiminTech*.

## 2 Панель солнечной батареи

### 2.1 Описание привода солнечной панели

Кинематическая схема одной из разновидностей системы управления опорно-поворотным устройством, предоставляющим направление технического оборудования на подвижный объект представлена на рисунке 3.

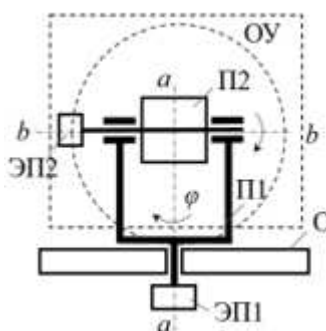


Рисунок 3 –Кинематическая схема устройства

Панель солнечных батарей закреплен на платформе (П2). Электропривод выполнен на основе двигателя постоянного тока, измерение текущего положения и скорость вращения измеряется цифровыми датчиками по осям. Микропроцессор управления время от времени считывает коды положения и скорости объекта управления согласно осям, сопоставляет их с вычисленными, создает код управления и подает его на электропривод надлежащей оси. Электропривод способствует поддержанию положения и скорости вращения объекта управления, соответствующие полученному коду.

Главным недостатком в использовании данной структуры является-двигатель постоянного тока, это сказывается в невысокой надежности, сложности обслуживания и эксплуатации (обусловлены наличием коллекторного узла).

Под постоянным воздействием окружающей среды ( температуры от -40 до +70°C, влажность до 100 %) находится механизм. При работе коллектора происходит искрение, которое приводит к подгоранию контактов, изменению их переходного процесса и в следствии к неустойчивости характеристик двигателя.

Из-за этого требуется систематический уход за коллектором и щетками в процессе эксплуатации.

Оборудование объединяет в себе: платформу (П1), побудимой в передвижение относительно угла азимута (ось а-а) электроприводом ЭП1, платформу (П2), которая зафиксирована на платформе П1 благодаря шарнирному подвесу и приводимой в движение относительно угла наклона (ось b-b) электроприводом ЭП2 и неподвижное основание (О).

На рисунке 4 приведена упрощенная структурная схема контура управления опорно-поворотного устройства по углу азимута и углу наклона солнечной батареи.

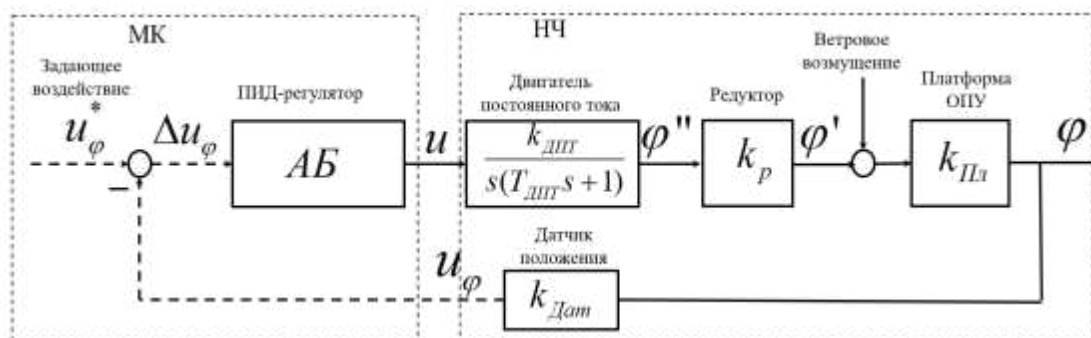


Рисунок 4 – Структурная схема контура управления опорно-поворотного устройства

На схеме обозначено: МК – микроконтроллер, НЧ – непрерывная часть, АБ – алгоритмический блок.

Микроконтроллер позволяет устанавливать период квантования в определенных пределах и устанавливает алгоритм управления, обеспечивающий следующие показатели:

- Статическая ошибка  $\Delta\varphi_{ст} = 0$ ;
- переругулирование  $\sigma \leq 20\%$ .

С целью получения необходимых показателей формируют ПИД-закон управления. Классический аналоговый ПИД-регулятор имеет передаточную функцию

$$C_0(s) = k_{n0} + \frac{k_{u0}}{s} + \frac{k_{d0}s}{T_0s+1},$$

где  $k_{n0}, k_{u0}, k_{d0}$  - коэффициенты пропорционального, интегратора и дифференциального каналов, а  $T_0$  - малая постоянная времени интегрального звена. При дискретизации преобразуется к виду

$$C(z) = k_n + \frac{k_u}{z-1} + \frac{k_d}{z+y},$$

где  $y = \exp(-\frac{1}{T_0})$ .

Т.к платформа связана с опорно-поворотным устройством, то значение  $K_{пл} = 1$ .

## 2.2 Режимы управления панели солнечной батареи

Современные солнечные панели реагируют на изменение положения Солнца крайне быстро. Помимо этого, использование автономной работы, а точнее использование следящей системы, батареи гарантирует наилучший результат:

- Увеличение КПД на 40- 45%;
- значительное увеличение получаемой энергии;
- уменьшение необходимости покупки дополнительных панелей, что в свою очередь снижает стоимость комплектации установки.

Но и гибкое диспетчерское управление (ручное) помогает решить не только проблему вариабельности, но и оказание важных сетевых услуг.

В данной работе рассматривается два способа ручного управления, с использованием диспетчера и автономное, опирающееся на систему слежения.

Ручное управление подразумевает в себе самостоятельное регулирование не только по углу азимута, но и по углу наклона. Это осуществляется:

- 1 Включение / Выключение кнопки поворота панели по углу азимута;
  - 1.1 включение / Выключение кнопки наклона панели по углу наклона;
- 2 выставление угла по азимуту;
  - 2.1 выставление угла наклона.



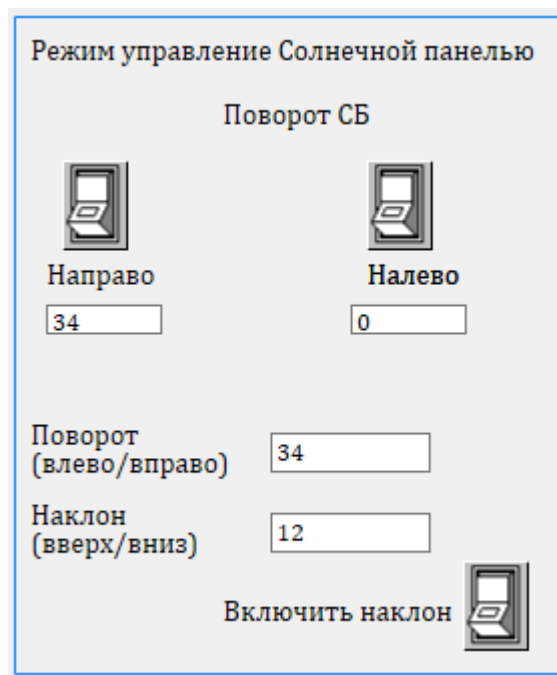


Рисунок 5 – Окно анимации диспетчерского управления

Автономная работа солнечной панели осуществляется благодаря использованию скрипта внутри проекта.

```

Скрипт страницы: Главная страница: D:\Институт\Проект ИТОП\Проект14.04\SolarPanel.prt
Файл Правка Поиск Расчёт Справка
// Скрипт для автоматического поворота и наклона СБ
1 initialization
2 end;
3
4
5
6 begin
7   if ((3D_red > 0) and (3D_red < 0.9))
8   then
9   begin
10    Contrl_FiYminus = -90;
11    end
12  end;
13
14
15
16 begin
17   if ((3D_red > 1) and (3D_red < 5.9))
18   then
19   begin
20    Contrl_FiYminus = -(3D_red * 9);
21    end
22  end;
23
24
25
26 begin
27   if ((3D_red > 6) and (3D_red < 9.9))
28   then
29   begin
30
31  end
32  end;
33
34
35

```

Рисунок 6 – Фрагмент скрипта следящей системы проекта

Скрипт следящей системы также делится на:

- 1 Перемещение панели по углу азимута;

В свою очередь расчет перемещения можно разделить на 5 подгрупп.

- От 0 до 0.9;
- от 1 до 5.9;
- от 6 до 9.3;
- от 10 до 10.1;
- от 10.2 до 20.

Каждая подгруппа имеет разный скрипт расчета.

## 2 Поворот по углу наклона.

- От 0 до 0.9;
- от 1 до 5.

Разделение на группы и подгруппы сделаны для более детальной и точной реализации слежения.

Вдобавок передвижение установки совершается и в то время, когда насыщенность облаков высока и слежение за Солнцем только затрачивает дополнительно выработанную энергию в электроприводах на перемещение.

В целом для следящих электроприводов систем слежения СБ за Солнцем характерны следующие параметры: малая скорость вращения; малая мощность двигателя; большое передаточное число в редукторе; низкая частота свободных колебаний в установке; значительные колебания момента от ветровой нагрузки; люфты в редукторе; нелинейная зависимость момента от углов поворота; изменение момента инерции при повороте рам с СБ; нелинейные нагрузки на двигателях по обеим координатам при изменении температуры, ветра, давления (т.е. окружающей среды в целом). Всё это усложняет режим оптимизации электроприводов.

Для получения высоких характеристик системы слежения необходимо в первую очередь улучшить характеристики электропривода. А это - поддержание заданного положения установки солнечной батареи с условием изменений окружающей среды (температуры, давления и ветровой нагрузки) и минимизации энергопотребления электроприводами при слежении

Скрипт всех подгрупп представлен в приложении А.

### 2.3 Механическая подсистема привода угла азимута панели солнечной батареи

Передаточная функция ПИД- регулятора имеет следующий вид:

$$C_0(s) = k_{n0} + \frac{k_{u0}}{s} + \frac{k_{d0}s}{T_0s+1},$$

где,  $k_{n0}, k_{u0}, k_{d0}$  - коэффициенты пропорционального, интегратора и дифференциального каналов.

Двигатель постоянного тока представлен в виде:

$$L = \frac{k_{дпт}}{s(T_{дпт}+1)},$$

где,  $k_{дпт}, T_{дпт}$  - коэффициент передачи и постоянная времени двигателя постоянного тока. Время реакции контура  $T_{дпт} = 0,24$  с.

Структурная схема механической подсистема привода регулирования поворота и наклона солнечной батареи показана на рисунке 7.

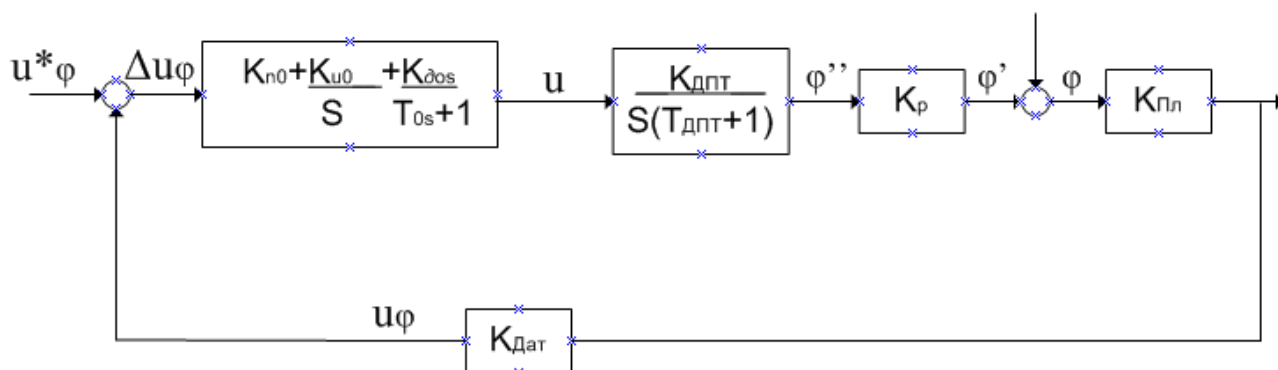


Рисунок 7 – Структурная схема механической подсистемы

На данном рисунке -  $u\phi^*$ ,  $u\phi$ ,  $\Delta u\phi$  - цифровые коды задающего напряжения на якоре двигателя, напряжения на выходе датчика положения и сигнала рассогласования соответственно,  $u$  - напряжение, формируемое АБ по заданному алгоритму управления,  $k_{дпт}$  и  $T_{дпт}$  - коэффициент передачи и постоянная времени двигателя постоянного тока,  $k_p$ ,  $k_{пл}$ ,  $k_{дат}$  - коэффициенты передачи редуктора, платформы и датчика соответственно,  $\phi''$ ,  $\phi'$  и  $\phi$  - углы поворота вала двигателя, вала редуктора и платформы ОПУ.

Реализуем структурную схему механической подсистемы привода угла места при отсоединенной нагрузке в среде динамического моделирования SimInTech. Для этого в главном меню необходимо выбрать «Файл», далее «Новый проект» – «Модель общего вида». Также во вкладке «Вид» следует установить галочку в пункте «Режим разработчика». Появляется рабочее окно для выполнения структурных схем.

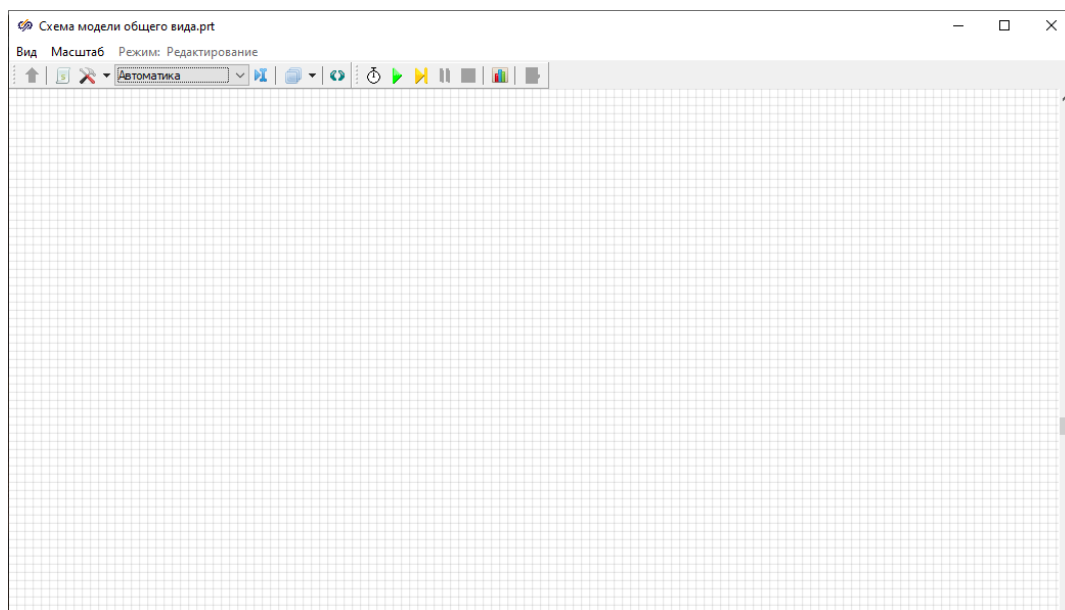


Рисунок 8- Панель для создания модели

В схемное окно надлежит разместить необходимые типовые блоки для работы. «Вход алгоритма(векторный)» и «Запись в список сигналов» из библиотеки «Сигналы», «Сравнивающее устройство», «Сумматор» и «Усилитель» (4 шт.) из библиотеки «Операторы», «Субмодель», «Порт входа/порт выхода» с вкладки «Субструктуры», «Идеальное транспортное запаздывание» и «Инерционно- интегрирующее звено» из библиотеки «Динамические», «Временной график» (2 шт.) из библиотеки «Вывод данных». И «Динамический ПИД-регулятор» с вкладки «Дискретные».

Используя манипулятор типа "мышь", происходит соединение блоков линиями связи.

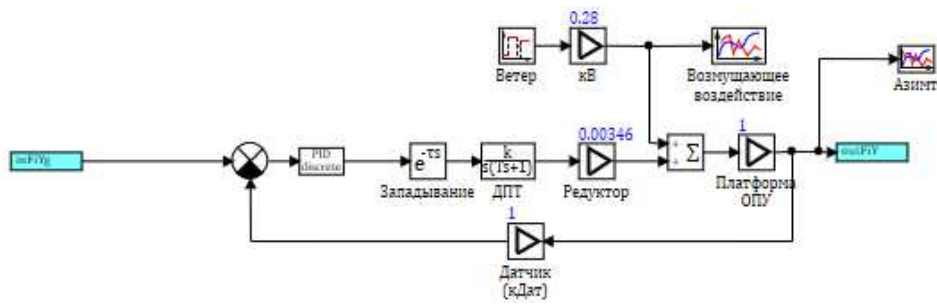


Рисунок 9- Структурная схема механической подсистемы ориентации

Параметры передаточных функций в блоках «кВ», «ДПТ», «Редуктор» и «Платформа ОПУ» в соответствии с вариантом из таблицы (Таблица 1), в блоке «Запаздывание» свойство «Время запаздывания» равным «Т/2».

Для определения времени запаздывания, определим ограничение на период квантования в виде неравенств:

$$\tau_0 \leq T \leq T^*$$

где,  $\tau_0$  – минимальное значение периода квантования, обеспечиваемое контроллером (техническая характеристика контроллера),  $T^*$  - верхняя граница, удовлетворяющая условию теоремы Котельникова,  $T^* = \frac{\pi}{\omega_m}$ ,  $\omega_m$ - максимальная частота в спектре входного сигнала системы управления.

На практике вместо  $\omega_m$  используют  $\omega_n$ - верхнюю границу периода квантования на порядок меньше минимальной постоянной времени объектов регулирования, в тоже время обслуживаемых контроллером:

$$T^* = 0.1T_{0min}$$

В данной работе вместо  $T_{0min} = T_{дпт}$  и  $T \approx 0.5T^*$

Таким образом Время запаздывания = 0,006

Установим возмущающее воздействие в блоке «Ветер» последовательность порывов ветра величиной равное «1», «5», «3» и «1.2» м/с в течение «15», «10», «30» и «20» с соответственно, начинающуюся через 20 с после начала моделирования.

Ветровая нагрузка значительно воздействует на нагрузочный момент, прикладывая к валу электромеханического исполнительного механизма. Сильные ветровые нагрузки могут поспособствовать отказу слежения устройства за Солнцем.

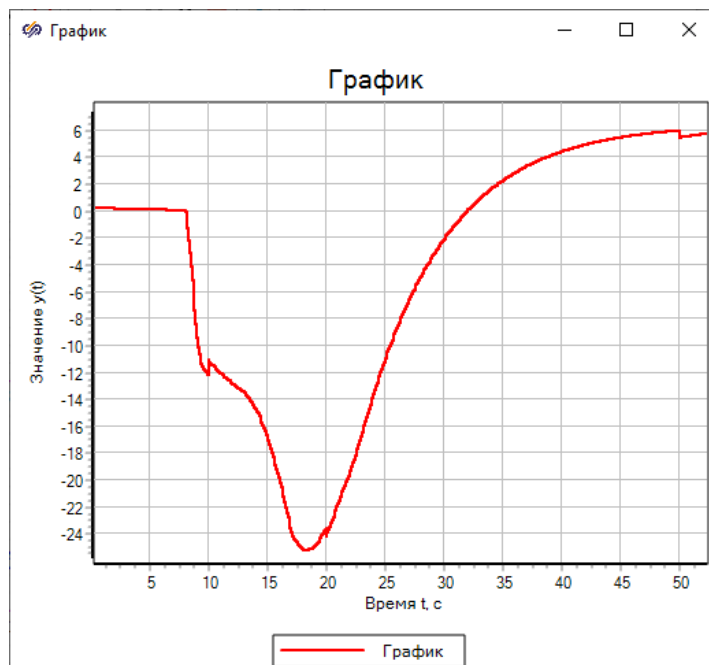


Рисунок 10- Влияние порывов ветра на работу панели солнечной батареи

Таблица 1 – Параметры структурной схемы модели

к <sub>дпт</sub> , град/с/в	Т <sub>дпт</sub> , с	к <sub>р</sub>	к <sub>в</sub>	к <sub>дат</sub> , в/град
185	0.24	0.00346	0.28	0.5

Данная система является частью целой опорно-поворотной системы. Для удобства реализации и понимания, каждую подсистему заключают в «Субмодель». Полный вид системы выглядит следующим образом.

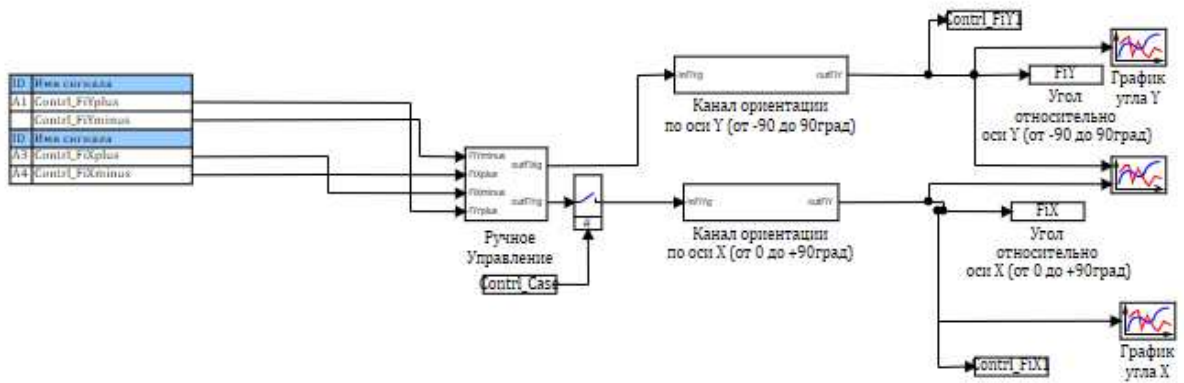


Рисунок 11- Структурная схема механической системы привода угла азимута/наклона

Субмодель «Ручное управление» подразумевает получение выходного сигнала из суммирования положительного и отрицательного сигнала, которые проходят блок «Ограничитель», благодаря свойству устанавливается пороговый минимум и максимум сигнала.

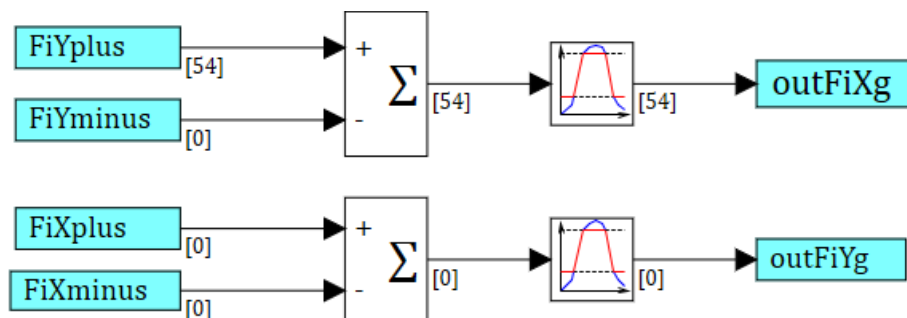


Рисунок 12- Структурная схема механической подсистемы ручного регулирования

Внутренние параметры блоков зададим с помощью опции «База данных», это позволит оперативно управлять этими параметрами, изменять их значения, не заходя отдельно в каждый блок схемы. На панели главного меню во вкладке «Инструменты» щелкаем ЛКМ на пункт «База данных». В столбике «Категории» нажимаем на зеленый плюсик – «Добавить категорию», снизу справа щелкаем «Настроить категорию». Вводим в строчку «Имя категории», в нашем случае их несколько. Чтобы было проще ориентироваться сигналы

можно разделить на группы. Либо создать только одну группу сигналов. В каждой группе создаем сигналы, посредством нажатия «+». В столбике Значения - задаем данные, в столбике Имя – прописываем название.

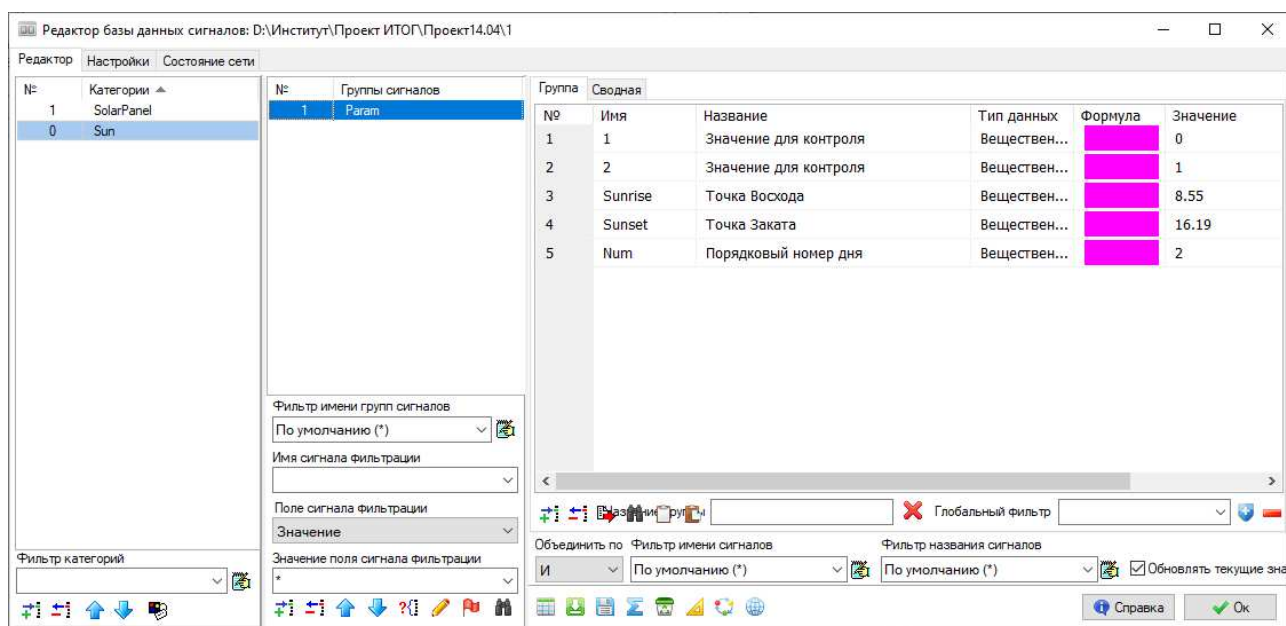


Рисунок 13- Создание базы данных

Для того чтобы использовать Базу данных ее необходимо сохранить. Для этого нужно выбирать пункт «Сохранить как...», ввести имя файла, например «Basa», сохранить обязательно в формате .db. Далее следует подключить Базу данных.

В схемном окне необходимо выбрать «Параметры расчета» - «Настройки», в строчке «Модуль базы данных проекта» должно быть «\$(Root)\sdb.dll». В «Имя файла базы данных проекта» вводим название (имя под которым сохранена база данных, без расширения).

## 2.4 Построение и оптимизация ПИД- регулятора

Для получения необходимой точности и качества изменения положения объекта поставим на вход системы дискретный ПИД-регулятор. Регулятор устанавливается в системах с автоматическим управлением и поддерживает на определенном уровне значения определенных параметров. Цель использования



регулятора - получение точного управляющего сигнала, способного контролировать большие производства.

В соответствии с методом Циглера-Никольсона высчитываем параметры для выставления ручных свойств регулирования.

Высчитываются параметры следующим способом:

- Обнуляются  $K_i, K_d$ ;
- поэтапно увеличиваем  $K_p$  до критического колебания  $K_c$ , при котором возникнут автоколебания;
- измеряются период автоколебаний;
- последний этап заключается в вычислении значений по формуле:

$$K_p = 0.6 \cdot K_c, K_i = 2 \cdot \frac{K_p}{T}, K_d = K_p \cdot \frac{T}{8}$$

После расчета параметров необходимо заполнить свойства регулятора и проверить качество работы системы.

Элемент «дискретный ПИД-регулятор» является субмоделью, в котором используется стандартный блок «Дискретный ПИД-регулятор». Период квантования задан равным 1.

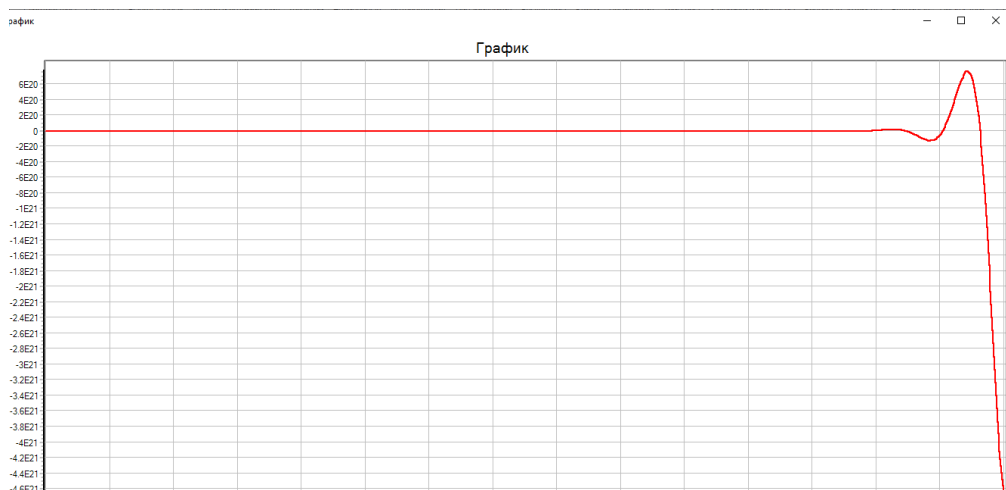


Рисунок 14- График переходного процесса привода без оптимизации параметров ПИД- регулятора

По получившемуся графику можно сделать вывод о том, что переходной процесс расходящийся, поэтому произведем оптимизацию параметров ПИД-

регулятора. Выберем в палитре компонентов раздел *Анализ и оптимизация* и возьмем блок *Оптимизатор*.

Установим необходимые параметры:

- Время расчета = 100;
- допустимое переругулирование = 11%.

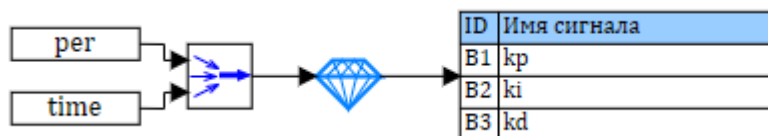


Рисунок 15- Схема оптимизации параметров

Пропорциональная составляющая вырабатывает выходной сигнал, противодействующий отклонению регулируемой величины от заданного значения, наблюдаемому в данный момент времени. Он тем больше, чем больше это отклонение. Если входной сигнал равен заданному значению, то выходной равен нулю. Однако при использовании только пропорционального регулятора значение регулируемой величины никогда не стабилизируется на заданном значении. Существует так называемая статическая ошибка, которая равна такому отклонению регулируемой величины, которое обеспечивает выходной сигнал, стабилизирующий выходную величину именно на этом значении.

Чем больше коэффициент пропорциональности между входным и выходным сигналом (коэффициент усиления), тем меньше статическая ошибка, однако при слишком большом коэффициенте усиления, при наличии задержек в системе, могут начаться автоколебания, а при дальнейшем увеличении коэффициента система может потерять устойчивость.

Интегральная составляющая пропорциональна интегралу от отклонения регулируемой величины. Её используют для устранения статической ошибки. Она позволяет регулятору со временем учесть статическую ошибку.

Если система не испытывает внешних возмущений, то через некоторое время регулируемая величина стабилизируется на заданном значении, сигнал пропорциональной составляющей будет равен нулю, а выходной сигнал будет

полностью обеспечивать интегральная составляющая. Тем не менее, интегральная составляющая также может приводить к автоколебаниям.

Дифференциальная составляющая пропорциональна темпу изменения отклонения регулируемой величины и предназначена для противодействия отклонениям от целевого значения, которые прогнозируются в будущем. Отклонения могут быть вызваны внешними возмущениями или запаздыванием воздействия регулятора на систему.

Для настройки регулятора используется блок *Оптимизация*. В качестве метода оптимизации применяется симплекс-метод.

Это позволяет изменять параметры во время моделирования, и настраивать регулятор.

В результате оптимизации вектор из трех коэффициентов (составляющих) направляется в блок *Запись в список сигналов*, откуда вычисленные значения перенаправляются в дискретный ПИД-регулятор, изменяя его параметры. В блоке *Оптимизация* заданы следующие свойства: абсолютная точность подбора значений выходов - 0.001, начальное приближение выходов блока - 0, минимальное значение выходов блока-0.

В результате использования ПИД-регулятора и настройки его коэффициентов ( $K_p = 0.2$ ,  $K_i = 1.1243072E - 289$ ,  $K_d = 2.1219958E - 314$ ) переходный процесс (рисунок 16) САУ приобрёл следующие характеристики: перерегулирование-0%, ошибка-0%, время переходного процесса- 20 с., колебательность отсутствует.

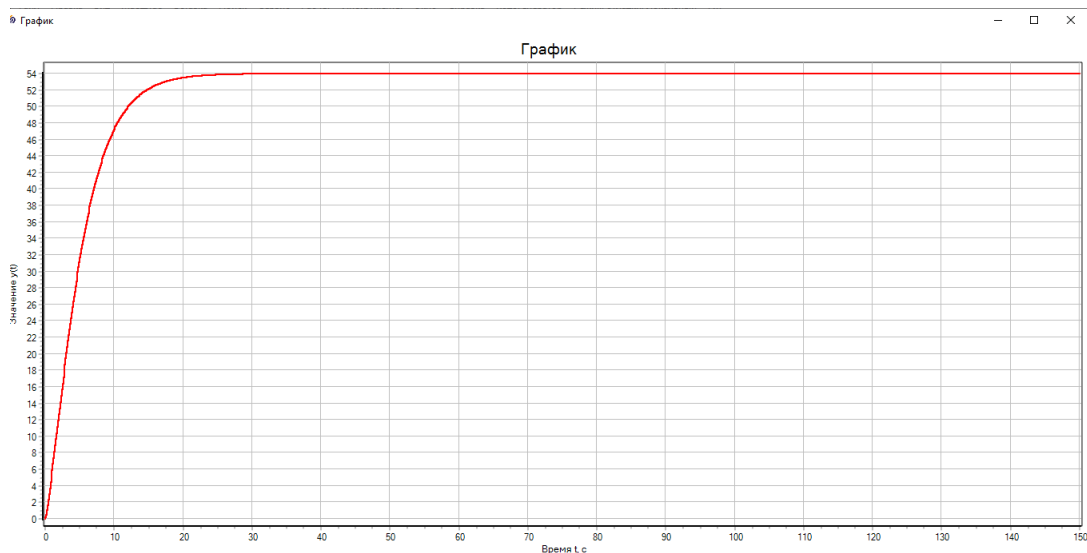


Рисунок 16 - График переходного процесса привода с настроенными коэффициентами ПИД- регулятора

## Выводы по главе 2

Построена модель механической подсистемы привода поворота и наклона панели солнечной батареи.

Рассчитаны параметры ПИД регуляторов для плавности поворота в среде *SiminTech* ( $K_p = 0.2$ ,  $K_i = 1.1243072E - 289$ ,  $K_d = 2.1219958E - 314$ ).

Модель, позволяет в ручном/автоматическом режиме определить необходимый угол азимута/наклона для получения максимальной энергии.

### **3 Описание модели солнечного объекта**

#### **3.1 История развития солнечной энергетики**

Для большинства людей промышленность производства солнечной энергии все еще смотрится, как некоторый прорыв, безупречный в последние полтора десятилетия. Впрочем, сама мысль и начало употребления солнечной энергетики уходит в глубь ситуации практически на двести лет.

С давних времен люди стали размышлять об способности использования солнечной энергии. Согласно мифу, величайший греческий деятель палил вражеский флот, взявший в осаду его родной город Сиракузы, благодаря системе зажигательных зеркал. Также известно, что султанский дворец в Турции отапливали водой, стаявшей под лучами Солнца.

Первые осознанные опыты по добыче солнечной электроэнергии были проведены во Франции. Ж.Бюффон был создателем первого солнечного нагревателя, его устройство напоминало вогнутое зеркало. Солнечные лучи, сфокусированные в одной точке, благодаря отражению, были способны воспламенить сухое дерево на далекое расстояние.

Вскоре после изобрели водонагреватель, который представлял из себя деревянный ящик со стеклянной крышкой. Такое изобретение помогло шведскому ученому Н.Соссюр нагревать воду до 88°C.

Применение линз для концентрации тепловой энергии Солнца пришло на ум в 1774 году французскому ученому А. Лавуазье. Согласно его задумке, в Англии отшлифовали большое двояковыпуклое стекло для расплавления чугуна и гранита. Такая технология позволяла расплавлять за три секунды чугун и за минуту- гранит.

Но именно солнечные батареи, способные перерабатывать солнечную энергию в механическую изобрели только в конце XIX века. Изобретение француза О.Муша способствовало печати газет тиражом 500 оттисков в час. Изобретатель использовал аппарат, который при помощи зеркала собирал лучи на паровом котле, а котел в свою очередь приводил в действие печатную машину.

Спустя годы принцип: Солнце-вода-пар оставался прежним, но инсоляторы использующие солнечную энергию совершенствовались. В 1953 г ученые Соединенных Штатов Америки создали устройство, преобразующее энергию Солнца в электричество – солнечную батарею.

Фотоэлектрический эффект- явление, освобождающее электроны твердого тела или жидкости под действием электромагнитного излучение, открытый в 70-х годах XIX века. Но уже в 30-х годах академик А.Ф Иоффе высказался об использовании фотоэлементов в солнечной энергетике. Согласно данным материалы для использования батарей были слишком плохи, поэтому коэффициент полезного действия не превышал 1 процента. После многих лет испытаний получилось создать фотоэлементы с коэффициентом 10-15 процентов.

После таких опытов американские ученые построили солнечные батареи современного типа и установили их в 1959 году на один из первых искусственных спутников. С тех пор при оснащении спутников используются панели солнечных батарей.

Как известно, чем выше коэффициент полезного действия, тем дороже материал, поэтому использование солнечной энергии на сегодняшний день невелика.

### 3.2 Траектория движения Солнца в разные периоды года

Движение нашей планеты происходит вокруг источника света по замкнутой орбите. Траекторию движения визуально напоминает вытянутый эллипс, в стороне которого находится Солнце.

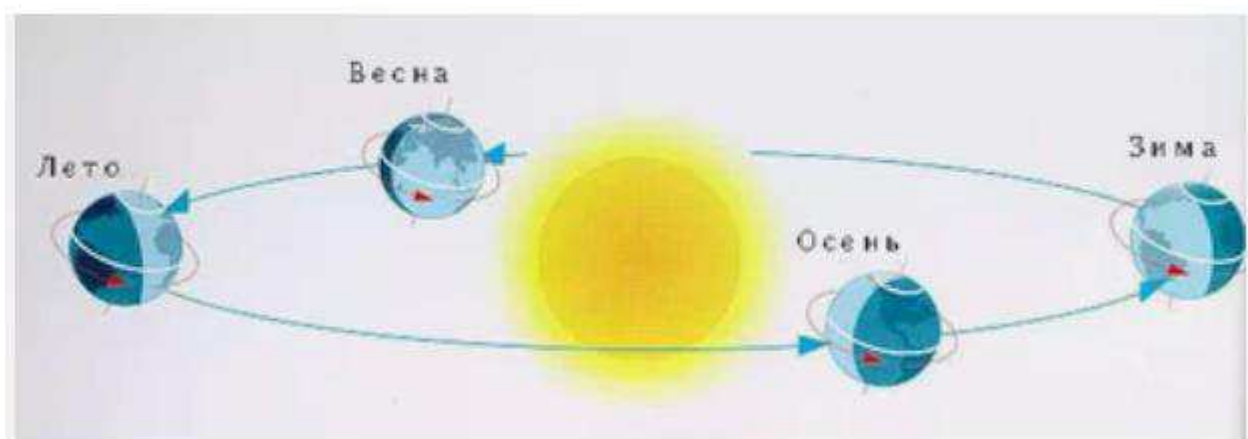


Рисунок 17- Траектория движения Земли

Полный оборот по орбите Земля совершает за 365-366 дней (в зависимости от високосного года), то приближаясь, то удаляясь от Солнца. Самое близкое расстояние Земли к Солнцу проявляется в Январе, оно сокращается до 147 миллионов километров. Как правило, когда Земля максимально приближается к Солнцу, то в южных странах начинается лето, ведь большое освещение приходится на Южное полушарие.

А в июле, когда максимально наша планета отдаляется от главной звезды примерно на 152 миллионов километра, то в странах северного полушария наступает лето, в то время как в южных господствует зима. Чем больше расстояние от Солнца до Земли, тем больше света и тепла получают страны северного полушария.

Освещение Земли в различные периоды непосредственно находится в зависимости с удаленностью нашей планеты в определенный период и от степени поворота Земли.

Земная ось является важнейшим фактором на смену времен года. Помимо вращения вокруг Солнца, Земля успевает поворачиваться и во круг собственной невидимой оси. Отклонение оси приблизительно составляет 23,5 градуса в сторону главной звезды, оборот же вокруг оси составляет 24 часа и обеспечивает смену дня и ночи. Отсутствие отклонения не позволило бы сменить времена года и оставалось бы постоянным.

Под прямыми лучами оказывается экватор в дни равноденствия, в тоже время как в дни солнцестояния Солнце в зените будет на широтах 23,5 градусов, медленно приближаясь в остальной промежуток время года к нулевой широте. Жители стран, находящиеся на экваторе, не знают холода из-за солнечных лучей, которые падают отвесно и не рассеиваются в атмосфере.

Из-за попеременных полюсов, которые указываются в лучах Солнца, происходит длительные ночь и день в период в полгода, но когда освещенным оказывается Северный полюс, то в северном полушарии приходит весна.

Но следующие полгода к Солнцу оказывается повернут Южный полюсы тогда начинается лето, а в северных странах зима.

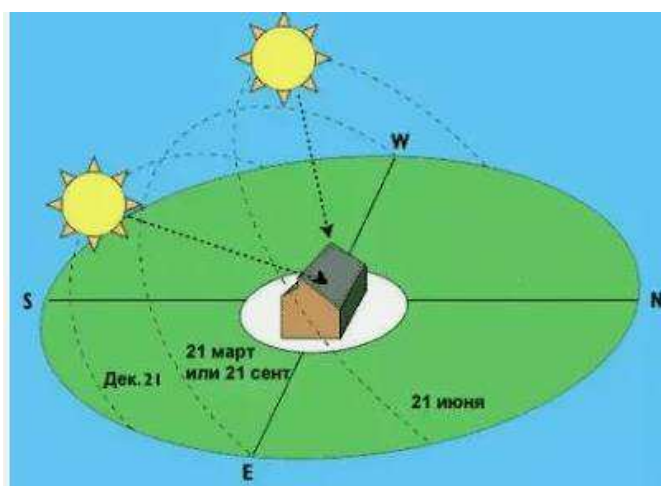


Рисунок 18- Положение солнца в дни равноденствия и в обычные

Бывает, что Земля оказывается в таком положении, когда лучи равномерно освещают ее поверхность. Такими днями являются- дни равноденствия. Весной – 21 марта и осенью – 23 сентября.

Также бывают дни, солнцестояния- Солнце находится максимально высоко или низко над горизонтом.

### 3.3 Ориентация и угол наклона панели солнечной батареи

Для максимальной производительности панели солнечной установки очень важен угол азимута и наклон установки. Для поглощения максимальных



солнечных лучей панель батареи рекомендуют располагать перпендикулярно лучам. Но из-за смены суток и периода года Солнце под разным углом освещает Землю. Поэтому для получения наилучшей производительности необходимо изучить траекторию движения Солнца.

Для оценивания наилучшего положения ориентации панели учитывается изменение расстояния от Солнца, а также вращение вокруг Солнца и вокруг собственной оси. Для этого необходимо учитывать параметры:

- Часовой угол ( $\omega$ )- Перевод местного времени в градусы. Часовой угол в полдень равен нулю, поворот Земли за час составляет 15 градусов;
- широта места установки ( $\varphi$ )– Определитель показывает положение , насколько место расположено севернее или южнее от экватора и насчитывает угол от 0 до 90 градусов, отчитываемый от экватора до одного из полюсов;
- наклон к горизонту ( $\beta$ )- угол между панелью солнечной батареи и горизонтальной поверхностью;

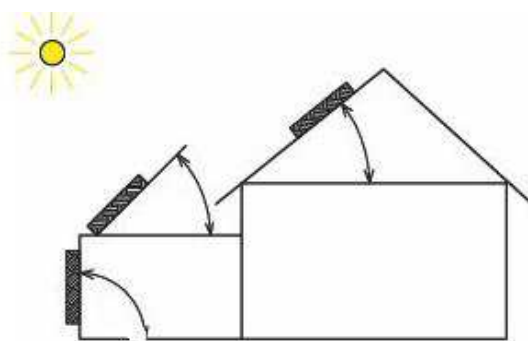
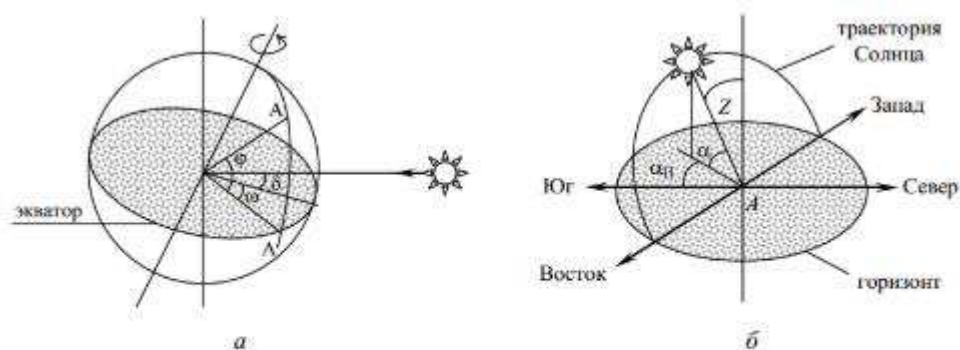


Рисунок 19- Демонстрация угла наклона

- угол склонения Солнца ( $\delta$ )- зависит от вращения Земли вокруг Солнца. Из-за наличия собственной оси и орбиты вращения формы эллипса, то изменение угла происходит от 23.45 градусов до -23.45. Два раза в год угол склонения равен нулю в дни равноденствия для конкретного для угла склонения определяется по формуле:

$$\delta = \pm 23.45 \cdot \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right),$$

где  $n$ -порядковый номер (расчет ведется от 1-го января), склонение Солнца плавно меняется от  $+ 23,5^\circ$  в период летнего солнцестояния до  $- 23,5^\circ$  в период зимнего солнцестояния.



Основные и дополнительные углы движения Солнца: а — схема кажущегося движения солнца по небосводу; б — углы, определяющие положение точки А на земной поверхности относительно солнечных лучей

Рисунок 20- Основные и дополнительные углы движения Солнца

- азимут ( $\alpha$ )- угол, указывающий на отклонение панели от южного направления.

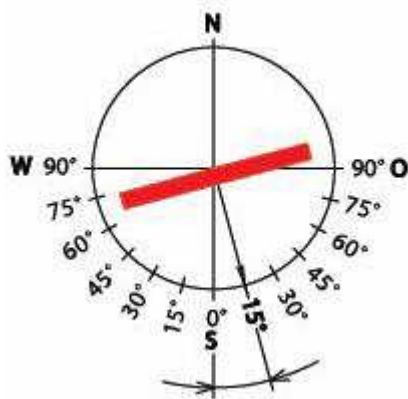


Рисунок 21- Положение угла азимута

Для наилучшего попадания на панель солнечной батареи количества солнечной энергии, панель наклоняется к оптимальному углу горизонта  $\beta$ , угол высчитывается по формуле:

$$U = tg \frac{|90 - \beta|}{\sin|90 - \beta|}$$

Очень часто местоположение будущей установки играет огромную роль, поэтому важно на стадии проектирования рассмотреть все возможные варианты установки.

### 3.4 Визуализация управления движением солнечного объекта

Оператор, для управления имитацией движения Солнца, использует систему непосредственно с пользовательского интерфейса, в качестве которого выступает панель в промышленном исполнении. Благодаря панели принимаются решения по управлению объектом, отображаются данные о широте положении и количественном дне, благодаря которому возможно узнать точку восхода и захода Солнца.

В среде динамического моделирования процесс создания визуального окна анимации предоставляет возможность решения несколько задач:

- Разработка экранных форм интерфейса;
- разработка логики обработки данных в скрипте проекта;
- связывание экранных форм и алгоритмов через общую базу данных пакета.

Такой подход создания панели управления позволяет удобно использовать работоспособность всей системы в целом. При построении интерфейса использовались такие примитивы как: кнопки, сенсоры, статические фигуры, текстовые редакторы.

Предназначение кнопок- генерация сигналов, возникающих при нажатии на кнопку используется световой сигнал, который предупреждает пользователя об использовании режима. Элемент имеет свойство фиксации, что означает автоматическое управление над объектом.

Сенсор- элемент для ручного использования имитацией движения солнечного объекта. Перемещение объекта происходит только при удержании пользователем сенсорной кнопки, тем самым более точно контролируя необходимое положение Солнца.

Для отображения необходимой информации на визуальном окне используются текстовые редакторы, которые имеют роль цифрового индикатора, отображающего конкретные данные вносимые в базу данных или наоборот, данные необходимые для контроля из базы данных.

Экранная форма визуального окна анимации представлена на рисунке 22.

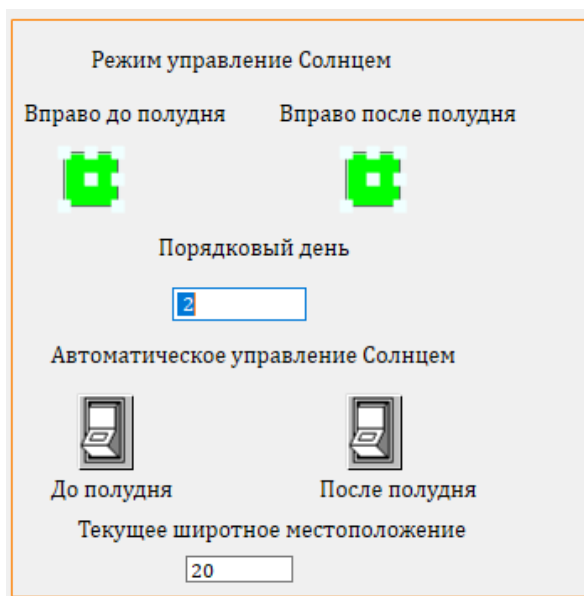


Рисунок 22- Визуальное окно анимации управления траекторией движения Солнца

При запуске проекта на расчет могут имитироваться действия оператора по управлению системой. Сформированные сигналы должны приводиться в действия на схеме общего вида.

### 3.5 Загрузка данных в базу данных из файла Excel

Для облегчения читабельности и объема ненужной в базе данных информации используют посторонний файл, в который приходит любая информация путем использования дополнительной функции чтение из файла.

Загрузка данных в файл может происходить и непосредственно прямым путем записи т.е. без использования программного блока.

Формат файла не влияет на работу с программой, но для удобства в случае ручного редактирования, лучше использовать всем известные типы файлов.

Файл служит не только для хранения объемной повторяющейся информации, но и для записи новых, чтения, а также удаления данных.

В данной работе в качестве стороннего файла использовался файл *Excel*, это программа предназначена для работы с таблицами, что отлично позволяет работать со строками и столбцами данных.

Данные файла были внесены вручную из расчета точки восхода и захода по определенным формулам из теории, приведенной выше.

Написанная программа в скрипте (рисунок 23) позволяет читать и загружать в базу данных необходимые сведения (порядковый день) из указанной строки и столбца таблицы

```
initialization
id = excelcreateobject;
filename = expandfilename( "data.xlsx" );
excelopendocument(id, filename);
row_count = excelgetrowcount(id, 1);
col_count = excelgetcolcount(id, 1);
Param_Sunrise = excelgettext(id, 1, Param_Num, 1);
Param_Sunset= excelgettext(id, 1, Param_Num, 2);
excelquit(id, True);
end;
```

Рисунок 23- Программный код скрипта проекта

Важно отметить, что данные загружаются в две переменные (точка восхода, точка захода), последующая загрузка приводит к перезаписи данных в переменной.

Данные таблицы приведены в приложении Б.

### 3.6 Реализация структурной модели солнечного объекта

Структурная схема отображает принцип перемещения объекта по заданной траектории. Схема определяет основные функциональные части изделия, их назначения и взаимосвязи между ними.

Схема состоит из модулей:

- 1 Список сигналов, подаваемых на вход;
- 2 имитатор движения Солнца;
- 3 текущее положение Солнца.

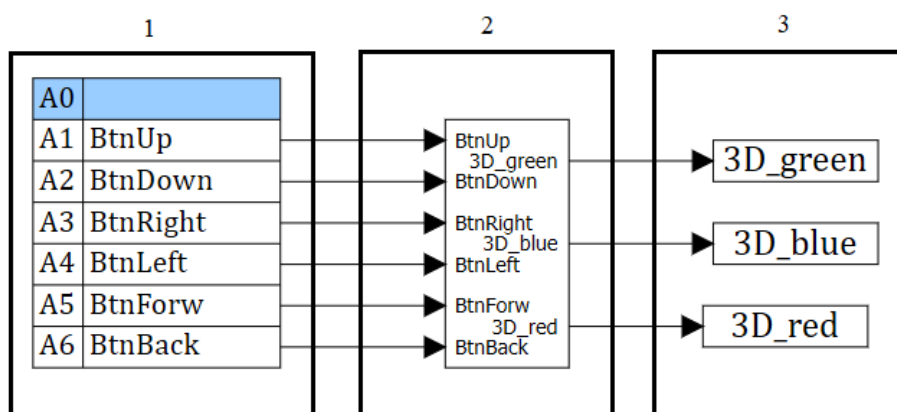


Рисунок 24- Структурная модель имитации движения Солнца

Субмодель «Имитация движения Солнца» содержит в себе схему управления приводом движения.

Схема содержит в себе элементы: «порт входа/выхода» из вкладки «Субструктуры», «Константа» (6 шт.) из библиотеки «Источники», «Сумматор» и «Усилитель» (6 шт.) из библиотеки «Операторы», «Чтение из списка сигналов» с вкладки «Сигналы», «Оператор ИЛИ» из библиотеки «Логические» и «Кнопка», «Ключ управляемый нормально разомкнутый тип 1», «Ключ управляемый нормально разомкнутый тип 2» из библиотеки «Ключи».

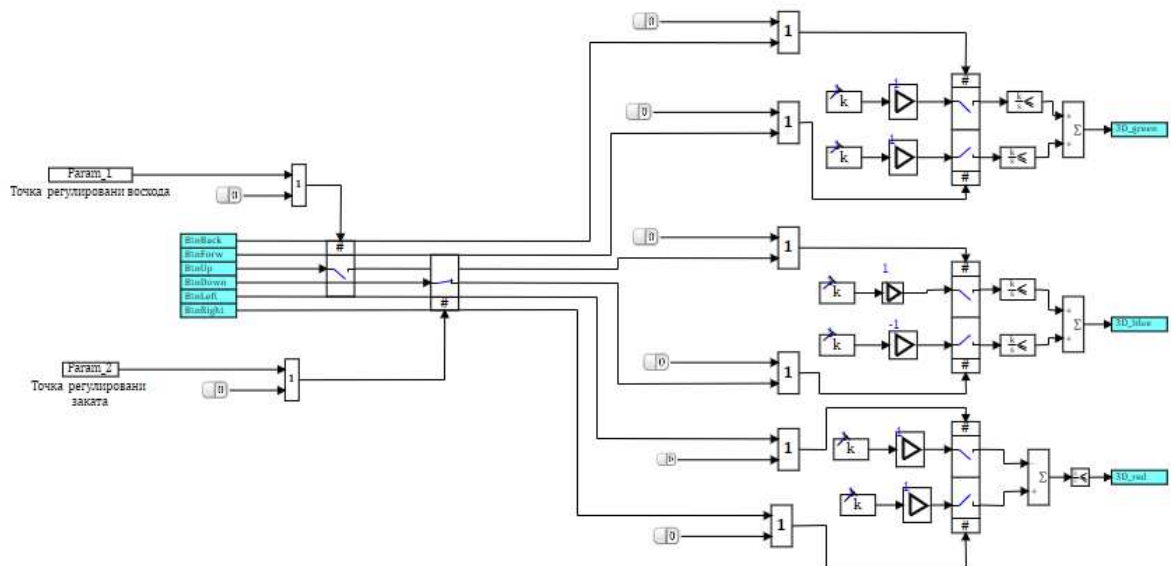


Рисунок 25- Структурная схема привода движения Солнца

Управление скоростью перемещения по определенным сигналам возможно настраивать в свойствах объекта «Усилитель».

При запуске проекта осуществляется загрузка данных точке восхода и захода Солнца. После этого заполняются данные регулирования ключей подъема и спуска объекта. Завершающим шагом работы схемы является передача данных на 3D-модуль визуального проектирования.

### Выводы по главе 3

Разработана модель солнечного объекта, определяющая текущее положение координат с возможностью ручного/автоматического регулирования положения солнца в зависимости от текущего времени года.

С использованием внешних файлов, написана программа обеспечивающая время восхода/захода объекта для более точной визуализации работы системы.

## 4 Модуль 3D визуализации в *SiminTech*

### 4.1 3D-моделирование в промышленной сфере

С формированием новейших электронных технологий возникло наиболее развитое программное представление в сфере телекоммуникаций и систем обработки информации, формирование проектов, схем, графиков возможно совершать и на электронных устройствах, что предоставляет возможность проектировщикам, инженерам или другим деятелям экономить время в создании того или иного проекта или же объекта- модели.

3D- моделирование – процедура создания виртуальных трехмерных моделей, которые позволяют с максимальной точностью показать размер, форму даже текстуру объекта. Моделирование представляет огромную возможность продемонстрировать свое мастерство не только дизайнерам, ювелирам, но и инженером в промышленной сфере.

Преимущества у трехмерного моделирования перед другими вариантами транслирования виртуального моделирования очень много.

- Развитие технологий с каждым днем, что позволяет совершенствоваться в прорисовке деталей текстуры;
- более точная модель, в сравнении с 2D, максимально приближенная к реальности;
- более удобное внесение поправок (Удаление некоторых деталей или добавление);
- наглядное представление объекта;
- возможность интеграции с любыми программами, для более детального расчета или тестирования модели.

Таким образом, перед тем как создавать модели или конструкцию в производство, новые технологии позволяют сконструировать объект в визуальном редакторе, посмотреть, протестировать и оценить все положительные и отрицательные стороны, ознакомиться с нюансами, а также до воплощения в эксплуатацию, до корректировать или же изменить полностью всю модель установки.



Такой компьютерный подход помогает не только подойти с экономической точки зрения, но и временной.

#### 4.2 Этапы 3D моделирования для промышленных целей

Выполнение моделирования 3D в технической сфере всегда подразумевает наличие технического задания, которое выдается непосредственно заказчиком. В том числе и раздел трехмерного моделирования, клиент указывает уровень детализации и варианты с разными текстурами.

Перед началом разработки выполняются детальные чертежи 2D, этот этап очень важен в промышленности. Задание изначально проектируется в формате двухмерных чертежей, которые содержат в себе необходимые разлиновки детали и размеры. Следующий этап - импорт данных и создание модели уже в трехмерном модуле. Такой порядок подготовки создания объекта позволяет избежать ошибок и неточностей, а также исправить недостатки.

Проектируя объект, конструктор предоставляет понимание как об отдельных модификациях элементов, так и позиционировании, и функционировании их в составе комплекса-изделия.

Проектированием технических концепций в программах 3D моделирования принимается задача автоматизации сложных процессов, к примеру, создание рабочих чертежей линейно вытянутых объектов.

Элементами 3D моделирования выполняется проектирование и испытание деталей различных устройств, механизмов. Распечатав их на принтере в масштабную величину и оттестировав, конструкторы приступают к заводскому производству.

#### 4.3 Применение модуля 3D визуализации в *SiminTech*

Модуль 3D визуализации в *SiminTech* дает возможность связывать *SiminTech* – модели и модули программирования (скрипт) с трехмерными

графическими объектами. Сами объекты, как и действия над ними описаны языком программирования СИ. Благодаря вшитым функциям предоставляется возможность: как задавать начальную, так и изменять положение объекта, вращать вокруг осей  $X, Y, Z$ , изменять масштаб объекта до симуляции, а так же и во время. Кроме того, имеется возможность связывания переменных трехмерного объекта с переменными из базы данных.

Аналогично со многими программами, *SiminTech* позволяет создавать не только собственные примитивные фигуры, но и использовать сторонние готовые трехмерные объекты и полноценно использовать их в программе. Пользование и управление моделями в модуле *3D* возможно и при подключении джойстика и иных устройств.

- Построение *3D- SiminTech* предоставляет возможность наложения трехмерных объектов друг на друга, т.е. создание единой модели из созданных ранее мелких;

- импорт – Возможность создавать модели с помощью сторонних программ, переводить их в определенный формат и экспортировать в среду *SiminTech* ;

- *NordWind* – Содержит исполнительную среду реального времени, позволяющая запускать контроллер в режиме реального времени;

- решение сложных задач- *SiminTech* в взаимодействии с модулем *3D*, имеет возможность решать сложные задачи.

При создании модуля визуализации для взаимодействия с проектом для работы был разработан программный скрипт, который подразумевает сначала создание и настройку программного окна (рисунок 26), а затем объявление переменных параметров, создание объектов, а после и работа с ними.

```
Viewer3DSetWindowSize(WinID, 1000, 600);  
Viewer3DSetWindowPosition(WinID, 600, 130);
```

Рисунок 26- Настройка скриптом параметров окна

Функции настройки окна позволяют сделать более приятные условия для работы с окном модуля. Процедура *Viewer3DSetWindowSize* - позволяет задавать размер окна, а *Viewer3DSetWindowPosition* – установку положения окна.

Для создания примитивных фигур были использованы функции:

- *viewer3dplotparallelepiped* - позволяет создать параллелепипед, который будет служить основой панели солнечной батареи

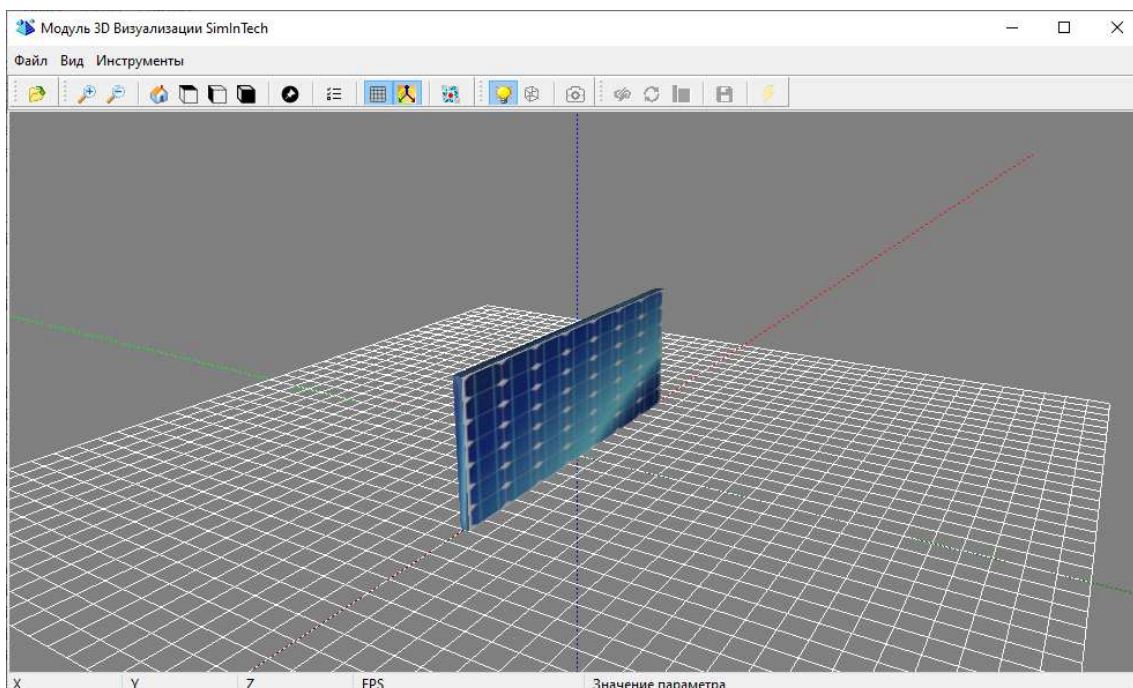


Рисунок 27- Создание панели солнечной батареи

Для контраста и более эффектной передачи реального облика панели, необходимо использовать функцию для наложения текстуры (*Viewer3DSetTexture*), предварительно скачав ее и указав путь местонахождения.

За поворот по азимуту и наклоном панели отвечает функции *Viewer3dsetpitch* и *Viewer3dsetturn*.

Переменные, которые используются для задания начальных координат задаются в начале скрипта, обернутые в функцию *initialization*, *end*.

```

Xsol = 1;
Ysol = 1;
Zsol = 1;
Rsol=0.5

Xpos=10;
Ypos=0;
Zpos=0;
Xpos1 = 0;
Ypos1 = 1.5;
Zpos1 = 0;
wid = 0.2;
len = 8;
hei = 3;

```

Рисунок 28- Фрагмент задачи начальных координат

- *viewer3dplotsphere* – процедура создания сферы, для создания дополнительного объекта Солнца.

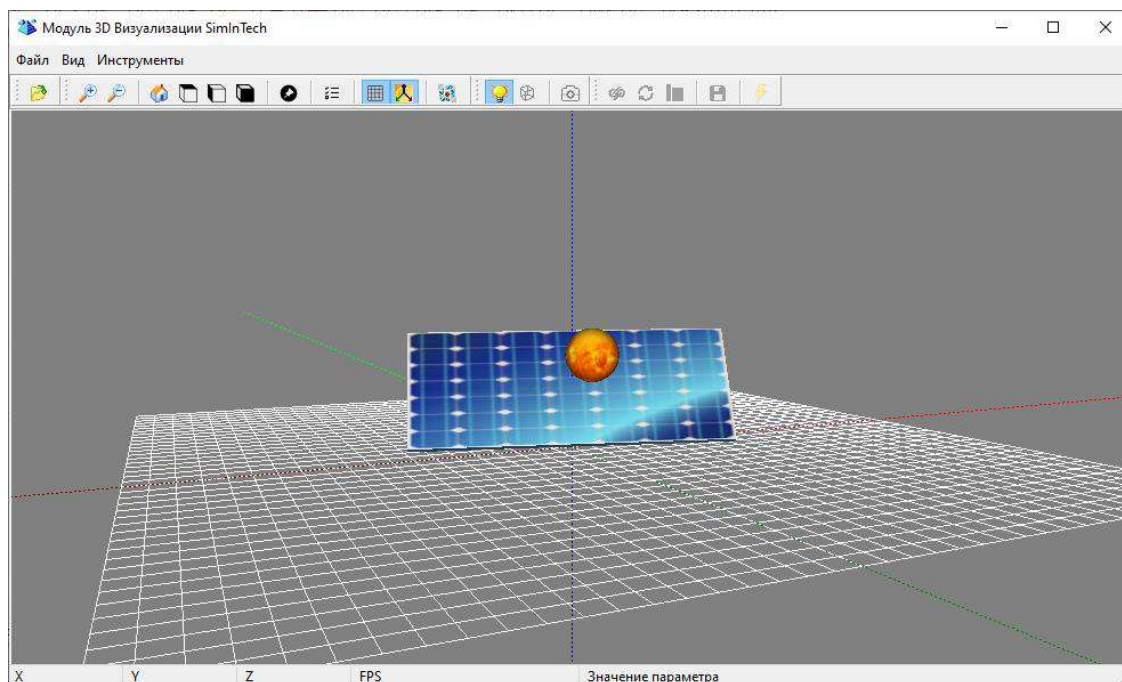


Рисунок 29- Создание объекта Солнце

Для реализации движения солнечного объекта использовалась функция *viewer3dsetposition*, которая позволяет перемещать объект от заданных начальных координат до измененных. Для наложения текстур используются аналогичные функции, что и у панели.

Таким образом, функции, которые предоставляет *SiminTech* полностью позволяет реализовывать любые задачи по работе с объектом

#### 4.4 Расчет мощности получаемой энергии панелью солнечной батареи

Для рассмотрения примера работы панели солнечной батареи в среде *Simintech* необходимо проделать ряд операций.

- 1 Выбор порядкового дня для расчета получаемой мощности панели.

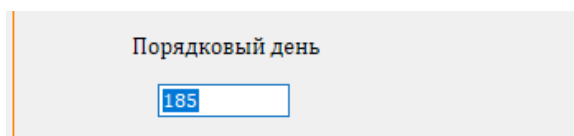


Рисунок 30- Выбор порядкового дня

Порядковый день 185 – это 3 июля, летний период времени. Т.е. получаемая мощность превосходит остальные периоды года.

- 2 Произвести движение Солнца на неопределенный интервал

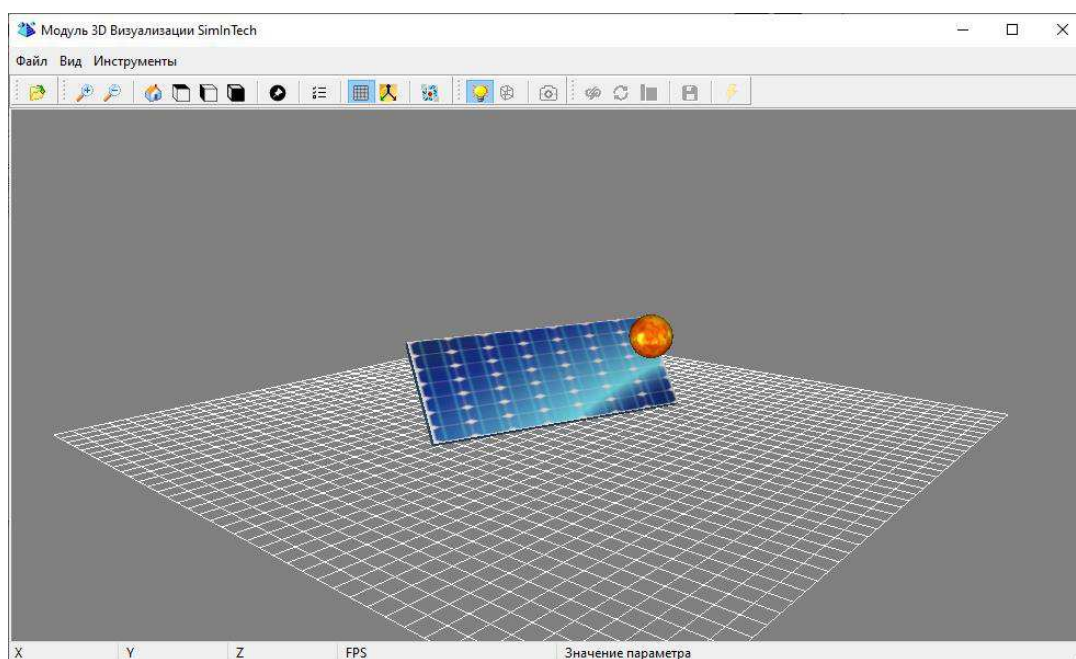


Рисунок 31- Пример работы программы

- 3 После автоматического поворота солнечной панели, осуществляется расчет получаемой мощности.

4 Расчет получаемой энергетической мощности производится благодаря блоку программирования (рисунок 32), где выполнена формула расчета (рисунок 33).

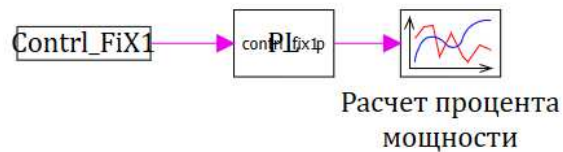


Рисунок 32- Расчет получаемой мощности в блоке программирования

```

input Contrl_FiX1;
output p;
begin
percent=tg((ABS(90- Contrl_FiX1)))/sin((ABS(90- Contrl_FiX1)));
x=ABS(1/percent);
p= x*100;
end;

```

Рисунок 33- Программный код расчета получаемой мощности

5 Результат проведения расчета выводится на график

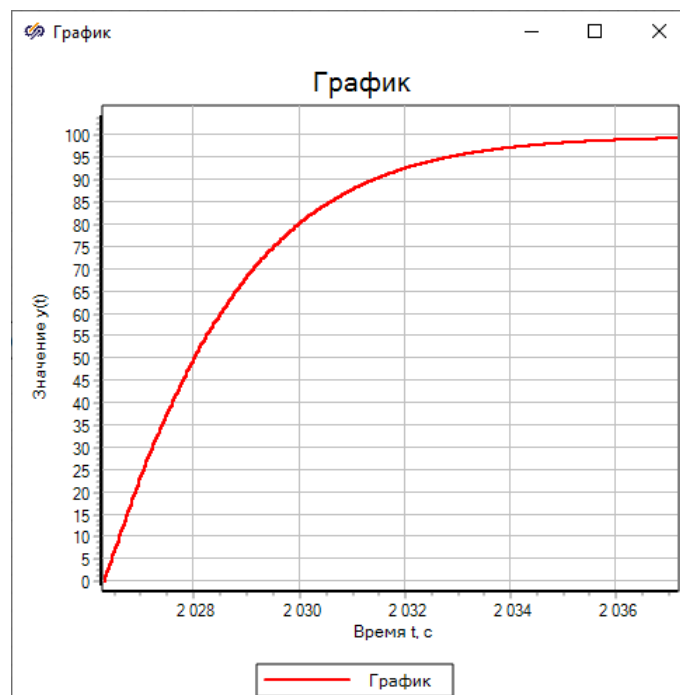


Рисунок 34- График расчета получаемой мощности

Таким образом, автоматический поворот и наклон угла позволяет панели солнечной батареи получать 99 процентов в 8:15 утра.

## **Выводы по главе 4**

Для наглядного изображения результатов управления осуществлена визуализация работы проекта.

С помощью кода созданы трехмерные модели Солнца и солнечной панели, реализованы функции для осуществления поворота, перемещения и наложения текстур на объект.

При изменении значения выходных переменных в модели, данные приводят к изменению положения объектов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был выполнен обзор развития солнечной энергетики и актуальность перехода на возобновляемую энергию. Подробно рассмотрено устройство солнечной батареи, рассмотрено дополнение для улучшения установки, а также принцип работы механического привода для поворота установки для обеспечения получения максимальной солнечной энергии.

Для устранения влияния возмущающем воздействии (ветер) был введен ПИД-регулятор и оптимизированы его характеристики.

При получении максимального процента получаемой мощности солнечной энергии панели солнечной батареи необходимо было изучить траекторию движения Солнца в разные периоды и рассмотрены необходимые термины, которые используются при работе с солнечной панелью.

Для имитации визуальной работы установки был собран механизм солнечной панели и Солнца в виде схемы в программе *SimInTech*, подключен визуальный 3D модуль и создана общая база данных для передачи параметров между проектами. Компьютерная модель схемы предполагает визуальный и аналитический инструмент, который позволит пользователю мгновенное выполнение поставленных задач.

Созданная трехмерная модель панели солнечной батареи и солнечного объекта предоставит возможность изучить поведение системы не только в целом, но и в отдельных нюансах, выяснить детальные моменты системы, дать рекомендации по изменению необходимых параметров при наихудшем проценте получаемой энергии.

В дальнейшем при усовершенствовании установки рассматривается замена двигателя постоянного тока на шаговый двигатель. В шаговом двигателе отсутствует механически трущиеся части или детали. Благодаря такому устройству повышается надежность и большой ресурс.



Автоматизированная работа установки без участия оператора контролирует изменение положения Солнца и следует за ним, тем самым предотвращая потери получаемой энергии.

Разработанная модель может быть использована при построении и реализации алгоритмов управления гелиоэлектростанциями, а также в учебном процессе в качестве лабораторной установки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 А.В. Воронин Теория автоматического управления. Основы построения и анализа систем автоматического регулирования: учебно-методическое пособие// Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. – 51 с.
- 2 Овсянников, Е.М. Электроприводы гелиоустановок наземного и космического базирования. Теория и практика: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.09.03 / Овсянников Евгений Михайлович. – М., 2003. – 40 с.
- 3 Пат. 2286517 РФ, МПК. Солнечная фотоэлектрическая установка / Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, В.М. Зазимко, В.Р. Ларионов, В.Д. Румянцев, А.Е. Чалов // Изобретения. – 2006. – Бюл. № 30.
- 4 Автономные солнечные установки с концентраторами солнечного излучения ГНЦ ГУП «НПО Астрофизика» / Н.П. Икрянников, К.Н. Свиридов, В.И. Шадрин // Интеграл. – 2005. – № 2(22). – С. 11.
- 5 Пат. 2280217 РФ, МПК. Панель солнечной батареи конструкции Буркова Л.Н. / Л.Н. Бурков // Изобретения. – 2006. – Бюл. № 20.
- 6 Назначение, цели и функции АСУ ТП. Часть 1[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.potolok4u.ru/avtpred/ap20>.
- 7 Аржанов, К.В. Двухкоординатная система наведения солнечных батарей на Солнце / К.В. Аржанов // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 4. – С. 139-146.
- 8 Автономная система слежения за солнцем для солнечной энергосистемы / М.В. Китаева, А.В. Юрченко, А.В. Охорзина, А.В. Скороходов // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3/1. – С. 196-199
- 9 Солнечная энергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин; под ред. В.И. Виссарионова. М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.
- 10 Аржанов, К.В. Автоматизированная система непрерывно-дискретного слежения за Солнцем автономных фотоэлектрических

энергоустановок с использование шаговых двигателей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tusur.ru/ru/nauka-i-innovatsii/podgotovka-kadrov-vysshey-nauchnoy-kvalifikatsii/ob-yavleniya-o-zaschitah-dissertatsiy/dissertatsiya-avtomatizirovannaya-sistema-nepreryvno-diskretnogo-slezeniya-za-solntsem-avtonomnyh-fotoelektricheskikh-energoustanovok-s-ispolzovaniem-shagovyh-dvigatelyu>.

11 О плане мероприятий по стимулированию развития генерирующих объектов на основе возобновляемых источников энергии с установленной мощностью до 15 кВт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/news/28559>.

12 Зеленая энергия в России вскоре может стать дешевле традиционной [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2020/05/26/831097-zelenaya-energiya-v-rossii-vskore-mozhet-stat-deshevle-traditsionnoi>.

13 Боязнь «солнечных крыш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.znak.com/2019-12-10/eksperty\\_v\\_rossii\\_prinimaetsya\\_strannyu\\_zakon\\_o\\_domashnih\\_elektrostanciyah](https://www.znak.com/2019-12-10/eksperty_v_rossii_prinimaetsya_strannyu_zakon_o_domashnih_elektrostanciyah).

14 Ратнер, С.В. Стоимостной анализ развития солнечной энергетики в мире и ее перспективы для России / С.В Ратнер // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. -2014. - №3(197). –С. 90-97

15 Справочная система SimInTech [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://help.simintech.ru/#o\\_simintech/o\\_simintech.html](https://help.simintech.ru/#o_simintech/o_simintech.html).

16 Карташов, Б.А. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования: учебное пособие [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/100899>.

17 Хабаров, С. П. Основы моделирования технических систем. Среда Simintech [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://globalf5.com/Knigi/Nauka-brazovanie/Informatika/Administrirovanie/Osnovy-modelirovaniya-tehnicheskikh\\_260178](http://globalf5.com/Knigi/Nauka-brazovanie/Informatika/Administrirovanie/Osnovy-modelirovaniya-tehnicheskikh_260178).

18 Солодков, М.В. Елфимова, Ю.В. Развитие солнечной энергетики как фактор экономической безопасности России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-solnechnoy-energetiki-kak-faktor-ekonomicheskoy-bezopasnosti-rossii/viewer>.

19 Энергетическая стратеги России на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>.

20 ПИД регулировани ПИД регулятор на практических примерах[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trubymaster.ru/pid-regulirovanie-pid-reguljator-na-prakticheskikh>.

21 СТО 4.2 07 2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Взамен СТО 4.2 07 2012 ; дата введ. 09.01.2014. – Красноярск, 2014. – 60с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг алгоритма поворота/наклона панели солнечной батареи

```
initialization
```

```
end;
```

```
begin
```

```
if ((3D_red > 0) and (3D_red < 0.9))
```

```
then
```

```
begin
```

```
    Contrl_FiYminus = -90;
```

```
end
```

```
end;
```

```
begin
```

```
if ((3D_red > 1) and (3D_red < 5.9))
```

```
then
```

```
begin
```

```
    Contrl_FiYminus = -(3D_red * 9);
```

```
end
```

```
end;
```

```
begin
```

```
if ((3D_red > 6) and (3D_red < 9.9))
```

```
then
```

```
begin
```

```
    a = (3D_red * 9);
```

```
    Contrl_FiYminus = -90 + a
```

```
end
```

```
end;
```

```
begin
if ((3D_red> 10) and (3D_red <10.1))
then
begin

Contrl_FiYplus= 0;
end
end;
```

```
begin
if ((3D_red> 10.2) and (3D_red <20))
then
begin
a=(3D_red *9);
Contrl_FiYplus= a-90;
end
end;
```

```
begin
if ((3D_blue> 0) and (3D_blue <0.9))
then
begin
```

```
Contrl_FiXplus= 0;
end
end;
```

```
begin
if ((3D_blue> 1) and (3D_blue <5))
then
begin
```

```
Contrl_FiXplus= 3D_blue*10;
end
end;
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Листинг содержания стороннего файла Excel

8.53	16.2	Декабрь	9.15	16.36	Февраль
8.55	16.19		9.14	16.38	
8.57	16.18		9.13	16.39	
8.58	16.17		9.12	16.41	
9	16.17		9.11	16.43	
9.1	16.16		9.10	16.45	
9.3	16.15		9.09	16.47	
9.4	16.15		9.08	16.49	
9.6	16.14		9.07	16.51	
9.7	16.14		9.05	16.52	
9.8	16.14		9.04	16.54	
9.8	16.14		9.03	16.56	
9.9	16.13		9.01	16.58	
9.10	16.13		9.00	17	
9.11	16.13		8.15	17.03	
9.12	16.13		8.14	17.05	
9.13	16.13		8.13	17.07	
9.14	16.13		8.11	17.09	
9.15	16.13		8.10	17.11	
9.16	16.14		8.08	17.13	
9.17	16.14	8.07	17.15		
9.17	16.14	8.46	17.17		
9.18	16.15	8.44	17.20		
9.18	16.15	8.42	17.22		
9.19	16.16	8.41	17.24		
9.19	16.17	8.38	17.26		
9.19	16.17	8.37	17.28		
9.20	16.18	8.35	17.30		
9.20	16.19	8.33	17.33		
9.20	16.20	8.30	17.35		
9.20	16.21	8.28	17.37		
9.20	16.22	8.26	17.39		
9.20	16.23	8.24	17.41		
9.19	16.23	8.22	17.44		
9.19	16.25	8.20	17.46		
9.19	16.26	8.17	17.48		
9.19	16.27	8.15	17.50		
9.18	16.29	8.13	17.52		
9.18	16.30	8.11	17.55		
9.17	16.32	8.08	17.57		
9.16	16.33				
9.16	16.35				
		Январь			

Продолжение Приложение Б

8.06	17.59		6.08	19.33	
8.04	18.01		6.05	19.35	
8.01	18.03		6.03	19.37	
7.59	18.06		6	19.39	
7.56	18.08		5.57	19.41	
7.54	18.10		5.55	19.43	
7.52	18.12		5.52	19.45	
7.49	18.14		5.50	19.47	
7.47	18.16		5.47	19.49	
7.44	18.18		5.45	19.51	
7.42	18.21	Март	5.42	19.53	
7.39	18.23		5.40	19.55	
7.37	18.25		5.37	19.57	
7.34	18.27		5.35	19.59	
7.32	18.29		5.32	20.02	
7.29	18.31		5.30	20.04	
7.26	18.33		5.27	20.06	
7.24	18.35		5.25	20.08	
7.21	18.37		5.22	20.10	
7.19	18.4		5.20	20.12	
7.16	18.42		5.18	20.14	
7.13	18.44		5.15	20.16	
7.11	18.46		5.13	20.18	
7.08	18.48		5.11	20.20	
7.06	18.5		5.08	20.22	
7.03	18.52		5.06	20.24	
7	18.54		5.04	20.26	Май
6.58	18.56		5.01	20.28	
6.53	18.58		4.59	20.30	
6.50	19		4.57	20.32	
6.47	19.02	4.55	20.34		
6.45	19.04	4.53	20.36		
6.42	19.06	4.51	20.38		
6.39	19.08	4.49	20.4		
6.37	19.11	4.46	20.42		
6.34	19.13	4.44	20.44		
6.31	19.15	4.43	20.46		
6.29	19.17	4.41	20.48		
6.26	19.19	4.39	20.5		
6.24	19.21	4.37	20.51		
6.21	19.23	4.35	20.54		
6.18	19.25	4.33	20.55	Апрель	
6.16	19.27	4.31	20.57		
6.13	19.29	4.29	20.59		
6.10	19.31	4.28	21.01		



Продолжение Приложение Б

4.26	21.03		4.09	21.36	
4.25	21.04		4.10	21.35	
4.23	21.06		4.11	21.35	
4.21	21.08		4.12	21.34	
4.2	21.11		4.14	21.33	
4.18	21.13		4.15	21.32	
4.17	21.13		4.16	21.31	
4.16	21.14		4.17	21.3	
4.14	21.16		4.19	21.29	
4.13	21.17		4.2	21.28	
4.12	21.19		4.22	21.27	
4.11	21.2		4.23	21.26	
4.10	21.21	Июнь	4.25	21.24	
4.09	21.23		4.26	21.23	
4.08	21.24		4.28	21.21	
4.07	21.26		4.29	21.2	
4.06	21.27		4.31	21.19	
4.05	21.28		4.32	21.17	
4.04	21.29		4.34	21.15	
4.04	21.3		4.36	21.14	
4.03	21.31		4.38	21.12	
4.03	21.32		4.39	21.11	
4.02	21.33		4.41	21.09	
4.02	21.34		4.43	21.07	
4.01	21.35		4.45	21.05	
4.01	21.35		4.46	21.03	
4.01	21.36		4.48	21.01	
4.01	21.36		4.5	20.59	Август
4.01	21.37	4.52	20.58		
4.01	21.37	4.54	20.56		
4.01	21.38	4.56	20.54		
4.01	21.39	4.58	20.51		
4.01	21.39	5	20.49		
4.01	21.39	5.02	20.47		
4.02	21.39	5.03	20.45		
4.02	21.39	5.05	20.43		
4.02	21.39	5.07	20.41		
4.03	21.39	5.09	20.39		
4.03	21.39	5.11	20.36		
4.03	21.39	5.13	20.34		
4.36	21.39	5.15	20.32		
4.05	21.38	5.17	20.29		
4.07	21.37	5.19	20.27		
4.07	21.37	5.21	20.25		
4.08	21.36	5.23	20.22		

Продолжение Приложение Б

5.25	20.20		6.53	18.23	
5.27	20.17		7	18.21	
5.29	20.15		6.55	18.18	
5.31	20.13		6.57	18.15	
5.33	21.1		6.59	18.13	
5.35	21.08		7.01	18.10	
5.37	21.05		7.03	18.07	
5.39	21.03		7.05	18.05	
5.41	20		7.07	18.02	
5.43	19.58		7.09	18	
5.45	19.55		7.06	17.57	
5.47	19.53		7.13	17.55	
5.49	19.5		7.15	17.52	
5.5	19.47		7.17	17.5	
5.52	19.45	Сентябрь	7.20	17.47	
5.54	19.42		7.22	17.45	
5.56	19.4		7.24	17.42	
5.58	19.37		7.26	17.4	
6	19.34		7.28	17.37	
6.02	19.32		7.30	17.35	
6.04	19.29		7.32	17.33	
6.06	19.27		7.34	17.3	
6.08	19.24		7.36	17.28	
6.10	19.21		7.38	17.25	
6.12	19.19		7.4	17.23	
6.14	19.16		7.42	17.21	
6.16	19.13		7.45	17.18	
6.18	19.11		7.47	17.16	
6.2	19.08		7.49	17.14	
6.22	19.05		7.51	17.12	
6.24	19.03		7.53	17.09	Ноябрь
6.26	19		7.55	17.07	
6.28	18.58		7.57	17.05	
6.3	18.55		8	17.03	
6.31	18.52		8.02	17.01	
6.33	18.5		8.04	16.59	
6.35	18.47		8.06	16.57	
6.37	18.44		8.08	16.55	
6.39	18.42		8.10	16.53	
6.41	18.39		8.12	16.51	
6.43	18.36		8.14	16.49	
6.45	18.34		8.17	16.47	
6.47	18.31		8.19	16.45	
6.49	18.28		8.21	16.43	
6.51	18.26	Октябрь	8.23	16.42	

Окончание Приложение Б

8.25	16.4
8.27	16.38
8.29	16.37
8.31	16.35
8.33	16.34
8.35	16.32
8.37	16.31
8.39	16.29

8.41	16.28
8.43	16.26
8.45	16.25
8.46	16.24
8.48	16.23
8.5	16.22
8.51	16.21

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Листинг алгоритма создания и реализации объектов в 3D модуле визуализации

initialization

```
WinID = viewer3dcreate;
```

```
Xsol =1;
```

```
Ysol = 1;
```

```
Zsol = 1;
```

```
Rsol=0.5
```

```
Xpos=10;
```

```
Ypos=0;
```

```
Zpos=0;
```

```
Xpos1 = 0;
```

```
Ypos1 = 1.5;
```

```
Zpos1 = 0;
```

```
wid = 0.2;
```

```
len = 8;
```

```
hei = 3;
```

```
Obj2 = viewer3dplotsphere(WinID, Rsol, Xsol, Ysol, Zsol);
```

```
Viewer3DSetTexture(WinID, Obj2, "VKR/1.jpg");
```

```
Viewer3DSetWindowSize(WinID, 1000, 600);
```

```
Viewer3DSetWindowPosition(WinID, 600, 130);
```

```
Viewer3DSetCameraTarget(WinID, Obj2);
```

```
Viewer3dsetcameraposition(WinID, -5, 5, 5);
```

```
Viewer3dsetcolor(WinID, Obj2, 65535);
```

```
Obj1 = viewer3dplotparallelepiped(WinID, len, hei, wid, Xpos, Ypos, Zpos);
```

```
Viewer3DSetTexture(WinID, Obj1, "VKR/2.jpg");
```

```
Viewer3DSetCameraTarget(WinID, Obj1);
```

```
Viewer3dsetcolor(WinID, Obj1, 12632256);
```

```
end;
```

```
Viewer3dsetposition(WinID,Obj1, Xpos1, Ypos1, Zpos1);
```

```
Viewer3dsetturn(WinID, Obj1, Contrl_FiY1);
```

```
Viewer3dsetroll(WinID, Obj1, Contrl_FiZ1);
```

```
Viewer3dsetpitch(WinID, Obj1, Contrl_FiX1);  
Viewer3dsetposition(WinID, Obj2, -Xpos+3D_red, 3D_blue, 3D_green);  
Viewer3DSetEulerAngles(WinID, Obj2, 0, 0, time*10);
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Лабораторная работа №1. Определение и проведение сравнительного анализа вырабатываемой панелью солнечной батареи электрической энергии.

Цель - изучение и применение на практике принцип получения максимальной энергии панелью солнечной батареи в разные периоды года.

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для максимальной производительности панели солнечной установки очень важен угол азимута и наклон установки. Для поглощения максимальных солнечных лучей панель батареи рекомендуют располагать перпендикулярно лучам. Но из-за смены суток и периода года Солнце под разным углом освещает Землю. Поэтому для получения наилучшей производительности необходимо изучить траекторию движения Солнца.

Для оценивания наилучшего положения ориентации панели учитывается изменение расстояния от Солнца, а также вращение вокруг Солнца и вокруг собственной оси. Для этого необходимо учитывать параметры:

- Часовой угол ( $\omega$ )- Перевод местного времени в градусы. Часовой угол в полдень равен нулю, поворот Земли за час составляет 15 градусов;
- широта места установки ( $\varphi$ )– Определитель показывает положение, насколько место расположено севернее или южнее от экватора и насчитывает угол от 0 до 90 градусов, отчитываемый от экватора до одного из полюсов;
- наклон к горизонту ( $\beta$ )- угол между панелью солнечной батареи и горизонтальной поверхностью;

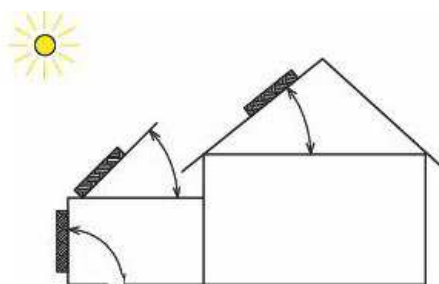


Рисунок 1- Демонстрация угла наклона

- угол склонения Солнца ( $\delta$ )- зависит от вращения Земли вокруг Солнца. Из-за наличия собственной оси и орбиты вращения формы эллипса, то изменение угла происходит от 23.45 градусов до -23.45. Два раза в год угол склонения равен нулю в дни равноденствия для конкретного угла склонения определяется по формуле:

$$\delta = \pm 23.45 \cdot \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right),$$

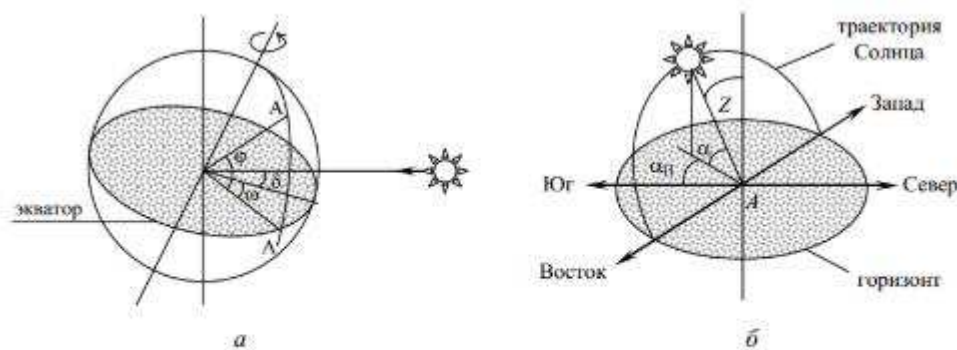
где n-порядковый номер (расчет ведется от 1-го января), склонение Солнца плавно меняется от + 23,5° в период летнего солнцестояния до - 23,5° в период зимнего солнцестояния.

Вследствие суточного вращения Земли часовой угол  $\tau$  изменяется в течение суток от 0 до 360° или  $2\pi$  рад (радиан), за 24 часа, таким образом, Земля, двигаясь по Орбите, вращается вокруг своей оси с угловой скоростью:

$$\omega = \frac{2\pi}{24} = 15^\circ / \text{час}$$

Если принять солнечное время  $t$  от истинного полудня, соответствующего моменту прохождения Солнца через плоскости местного меридиана, то можно записать:

$$\tau = \omega \cdot t, \text{ град}$$



Основные и дополнительные углы движения Солнца: а — схема кажущегося движения солнца по небосводу; б — углы, определяющие положение точки А на земной поверхности относительно солнечных лучей

Рисунок 2- Основные и дополнительные углы движения Солнца

Рассчитаем положение Солнца, которое определяется высотой  $h$  в любой точке на широте  $\varphi$  в любое время суток в соответствии с углом  $\tau$  и в любое время года в соответствии с углом склонения  $\delta$ .

Высоту  $h$  определим в упрощённом виде по формуле:

$$\sin H = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau + \sin \varphi \cdot \sin \delta$$

- азимут ( $\alpha$ )- угол, указывающий на отклонение панели от южного направления.

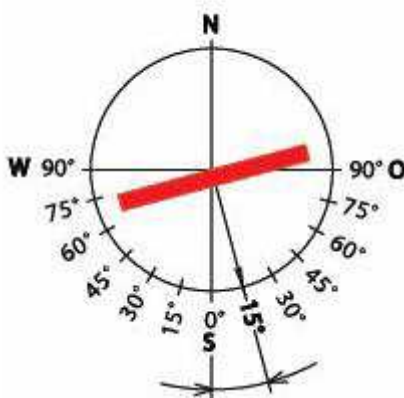


Рисунок 3- Положение угла азимута

Для наилучшего попадания на панель солнечной батареи количества солнечной энергии, панель наклоняется к оптимальному углу горизонта  $\beta$ , угол высчитывается по формуле:

$$U = \operatorname{tg} \frac{|90 - \beta|}{\sin |90 - \beta|}$$

Очень часто местоположение будущей установки играет огромную роль, поэтому важно на стадии проектирования рассмотреть все возможные варианты установки.

Бывает, что Земля оказывается в таком положении, когда лучи равномерно освещают ее поверхность. Такими днями являются- дни равноденствия. Весной – 21 марта и осенью – 23 сентября.

Также бывают дни, солнцестояния- Солнце находится максимально высоко или низко над горизонтом.



## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 В соответствии с датой рождения студента рассчитать максимальную высоту Солнца, теоретический угол для получения максимальной энергии панелью солнечной батареи в этот день;
- 2 реализовать функцию расчета процента получаемой энергии панелью солнечной батареи;
- 3 в соответствии с теоретическими расчетами сравнить результат в ПО *SimInTech*;
- 4 Повторить пункты 1-3 в другие периоды той же даты;
- 5 Сравнить полученные результаты, сделать выводы.

Дополнительные задания:

- 1 Разместить панель солнечной батареи на наклонной плоскости(крыша);
- 2 произвести расчет с учетом изменений (с помощью следящей системы) в проведенные дни ранее;
- 3 рассчитать теоретические углы (в рассчитанные дни) для получения максимальной энергии панелью солнечной батареи;
- 4 сравнить полученные результаты;
- 5 оптимизировать следящую систему.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1 Исходные данные, все промежуточные аналитические выводы, схемы моделей, значения параметров и графики, в которых должны быть отражены все исследования, проведенные в работе согласно заданию;
- 2 выводы по каждому пункту задания, где предполагается проведение исследований;
- 3 общие выводы по всей работе.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Космических и информационных технологий  
Кафедра Систем автоматизации автоматизированного управления и  
проектирования

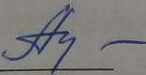
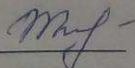

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
С.В. Ченцов

« 26 » 06 . 2020 г.

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

### ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОРИЕНТАЦИИ ПАНЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В СРЕДЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ SIMINTESN

Руководитель		26.06.2020 г.	доцент, канд. техн. наук А.В Чубарь
Выпускник		26.06.2020 г.	Л.А.Михайленко
Нормоконтролер		26.06.2020 г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2020