

УДК 681.522

А.Н. Рыбалев

**СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ**

*В статье описывается система позиционирования солнечной энергетической установки, разработанная и изготовленная на кафедре автоматизации производственных процессов и электротехники Амурского государственного университета.*

*Ключевые слова: солнечная батарея, система позиционирования, программируемый логический контроллер.*

**SOLAR BATTERY POSITIONING SYSTEM**

*The article describes the positioning system of solar power plant, designed and manufactured at the Department of automation of industrial processes and electrical Amur State University.*

*Key words: solar panel positioning system, a programmable logic controller.*

**Введение**

Амурская область является одним из лидеров в России по среднегодовому приходу солнечной радиации: 4–5 кВт·ч на квадратный метр в день (этот показатель соизмерим с югом Германии и севером Испании, где солнечная энергетика достаточно хорошо развита) [1]. Известно, что наиболее эффективное использование солнечных батарей достигается в случае применения систем слежения за Солнцем. По результатам исследований выяснено, что «установка одноосевой системы слежения позволит повысить эффективность фотоэлектрической установки на 20...30% в зависимости от региона, уменьшить срок окупаемости системы на 3-5 лет. Стоимость производимой электроэнергии в этом случае уменьшится с 0.20 \$/Вт до 0.15 \$/Вт. Добавление второй координаты слежения позволит увеличить мощность на 7... 10%, но значительно повысит стоимость системы, стоимость электроэнергии составит 0.12...0.13 \$/Вт» [2].

Во многих системах слежения за солнцем применяются измерительные преобразователи освещенности и достаточно сложные следящие системы автоматического регулирования, построенные на базе микроконтроллеров [3].

Между тем, зная широту и долготу местности, текущие дату и время, можно определить координаты солнца на небе (азимут и высоту), а имея систему измерения положения солнечной батареи и достаточно простую релейную систему позиционирования, – ориентировать батарею на солнце с достаточной степенью точности и при небольших расходах энергии. Так, например, если система измерения азимута батареи способна фиксировать до  $x$  возможных состояний, можно уверенно сказать, что привод поворота по азимуту будет включаться в работу не более чем  $x$  раз в сутки, причем каждый раз на весьма непродолжительное время. Кроме того, потребуется достаточно длительное включение привода для возврата в исходное положение при уходе солнца за горизонт. В случае с высотой максимальное число включений равно удвоенному числу состояний, а возврат привода в исходное положение не требуется.

При таком подходе, естественно, система управления должна 1) быть способна производить достаточно сложные вычисления; 2) иметь «на борту» энергонезависимые часы/календарь реального времени.

Такую систему трудно реализовать на микроконтроллере, но достаточно просто – на программируемом логическом контроллере (ПЛК). Конечно, стоимость ПЛК выше стоимости микроконтроллера, но нужно иметь в виду, что с повышением мощности установки удельная стоимость системы управления снижается на фоне затрат на силовые элементы (приводы и системы их коммутации), а кроме того, ПЛК предоставляют весьма полезный дополнительный функционал.

В статье рассмотрена система позиционирования на базе ПЛК, вычисляющая «текущее» положение солнца на небе. В то же время установка потенциально позволяет реализовать и вариант экстремальной системы автоматической ориентации батареи без применения внешних датчиков освещенности, но с измерением параметров электрической энергии (напряжения и тока).

### Аппаратная часть системы



Рис. 1. Установка в исходном виде.

На рис. 1 показано схематичное изображение установки «в исходном виде», без элементов, которые были разработаны и смонтированы в процессе создания системы управления.

Рабочими органами системы позиционирования солнечной батареи являются электроприводы линейного перемещения постоянного тока напряжения 12 В производства ECO-WORTHY (Китай), обеспечивающие повороты батареи вокруг вертикальной (по азимуту) и горизонтальной (по высоте) осей. Приводы снабжены встроенными концевыми выключателями. Полный ход первого привода обеспечивает изменение азимута от 120 до 240°. Второй привод на полный ход не задействован и выполняет поворот по высоте от 0 до 90°. При этом в положении 0° отключение привода осуществляется встроенным концевым выключателем, а в положении 90° – системой управления, так как дальнейшее движение ограничивается

элементами конструкции и привод начинает работать на упор.

Структура системы управления показана на рис. 2.

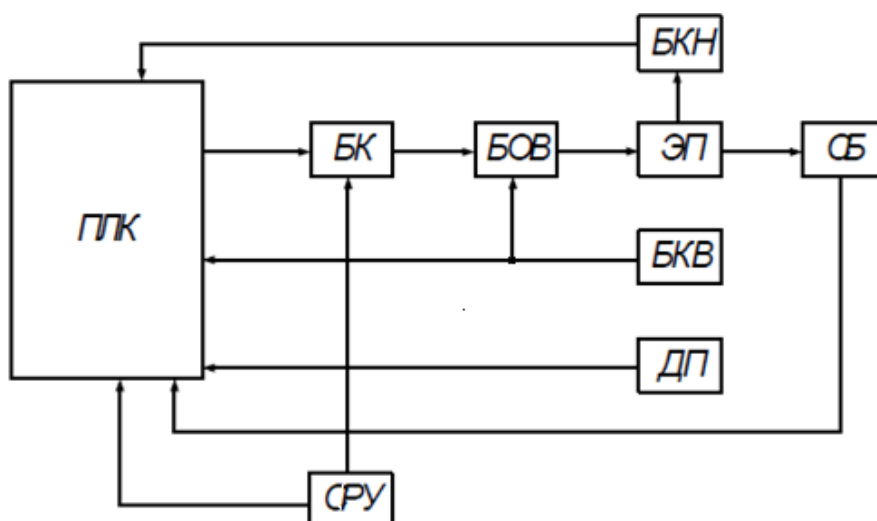


Рис. 2. Структурная схема системы управления.

На схеме присутствуют следующие обозначения: СБ – солнечная батарея; ЭП – электроприводы; БОВ – блок ограничения высоты, автоматически отключает электропривод поворота по высоте при достижении горизонтального положения батареи (высоты, равной  $90^\circ$ ); БК – блок коммутации, осуществляет коммутацию электроприводов в автоматическом и в ручном режимах; СРУ – система ручного управления, представлена переключателем режима ручной/автомат и четырьмя кнопками ручного управления приводами; ПЛК – программируемый логический контроллер, по текущим дате и времени, а также введенным широте и долготе местности определяет и индицирует положение солнца, измеряет и индицирует текущее положение солнечной батареи, в автоматическом режиме управляет процессом позиционирования, измеряет и индицирует напряжение и ток солнечной батареи; БКН – блок контроля направления, определяет и сообщает ПЛК направление движения приводов в ручном режиме для корректной работы программного элемента, ответственного за измерение положения батареи; БКВ – блок конечных выключателей, сигнализирует ПЛК о достижении электроприводами конечных положений и формирует сигнал запрета движения для блока ограничения высоты; ДП – датчики положения импульсного типа.

На рис. 3 показана принципиальная схема системы управления.

Функцию блока ограничения высоты БОВ выполняют реле  $K7$ , управляемое «внешним» конечным выключателем  $SQ1$ , срабатывающим при высоте, равной  $90^\circ$ , и диод  $VD5$ . Схема позволяет приводу беспрепятственно двигаться в направлении уменьшения высоты, тогда как при движении в обратную сторону и достижении максимальной высоты контакт  $K7.1$  отключает привод.

Блок коммутации БК представлен реле  $K1 - K4$ , управляемыми контроллером в автоматическом режиме или кнопками на лицевой панели шкафа управления в ручном. Реле шунтированы обратными диодами  $VD1 - VD4$  для защиты цепей от перенапряжения при коммутации. Контакты реле с индексами 2,3 используются в мостовых схемах реверсивного включения электродвигателей  $M1$  и  $M2$ , контакты с индексом 1 выполняют функцию защиты от одновременного включения пар реле  $K1, K2$  и  $K3, K4$  и короткого замыкания в цепях двигателей.

В систему ручного управления СРУ входят переключатель  $SA1$  и кнопки  $SB1 - SB4$ . Перекидной контакт  $SA1.2$  переключателя обеспечивает переключение управления реле  $K1 - K4$  от контроллера к кнопкам и обратно, а контакт  $SA1.1$  сообщает контроллеру о режиме работы системы. В связи с нехваткой дискретных входов контроллера пришлось задействовать его аналоговый вход, настроенный на измерение сопротивления.

В качестве контроллера использован ПЛК 73 фирмы «ОВЕН». Выбор был обоснован тем, что, во-первых, данный контроллер имелся в распоряжении и был накоплен большой опыт работы с ним, а во-вторых, функциональные возможности ПЛК 73 хорошо подходят для решения поставленной задачи. В частности, контроллер снабжен дисплеем и клавиатурой, которые позволяют вводить необходимые параметры и непосредственно наблюдать результаты работы системы без подключения к ПК. Единственным недостатком выбора является малое количество дискретных входов (8 при необходимых 9), в связи с чем пришлось использовать дополнительно аналоговый вход. В контроллере задействованы:

8 дискретных входов (2 – для подключения индуктивных датчиков положения солнечной батареи, 2 – для определения направления движения приводов в ручном режиме и 4 – для сигналов конечных выключателей);

4 дискретных выхода для управления реверсивными электроприводами;

3 аналоговых входа для определения режима управления, измерения напряжения и тока солнечной батареи. Напряжение измеряется на первом входе с помощью делителя напряжения на сопротивлениях  $R3 - R5$ , ток – на втором входе с помощью шунта  $R2$ . Первый и второй входы конфигурируются на измерение напряжения от 0 до 1 В.

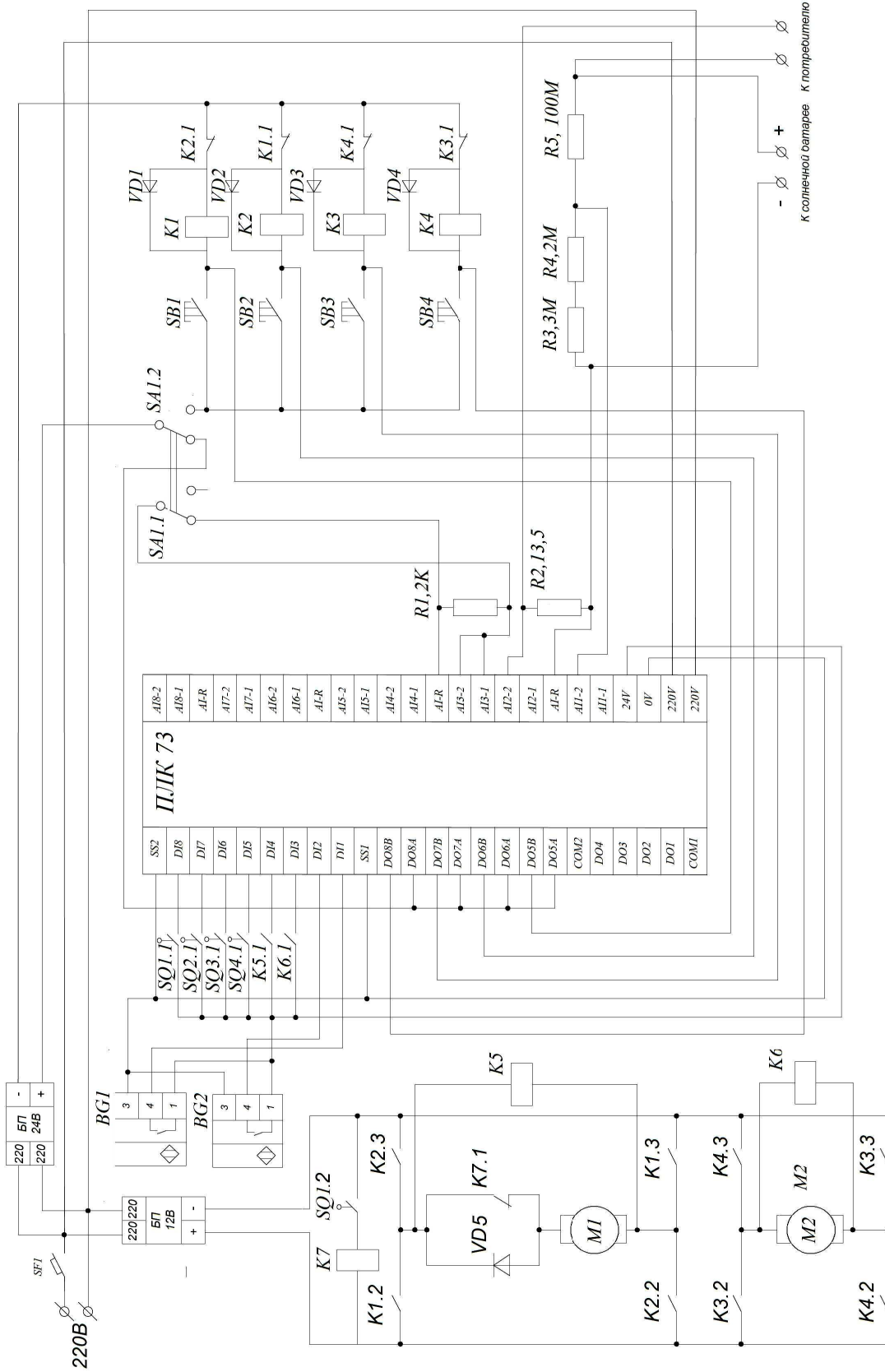


Рис. 3.. Принципиальная схема системы.

Блок контроля направления представлен поляризованными реле *K5* и *K6*, срабатывающими при подаче на двигатели напряжения определенной полярности. Контакты реле подают сигналы на дискретные входы контроллера.

Блок концевых выключателей включает «внешние» (не встроенные в приводы) концевые выключатели *SQ1* – *SQ4*, «сообщающие» контроллеру о достижении приводами конечных положений. Помимо этого второй контакт выключателя *SQ1* задействован в работе БОВ. Концевые выключатели построены на базе герконов.

Для измерения положения батареи по высоте и азимуту применены бесконтактные индуктивные датчики LA12M – 5P1. Они формируют импульсы, количество которых пропорционально значениям соответствующих углов. Датчики положения и концевые выключатели реализованы в конструкции, показанной на рис. 4.

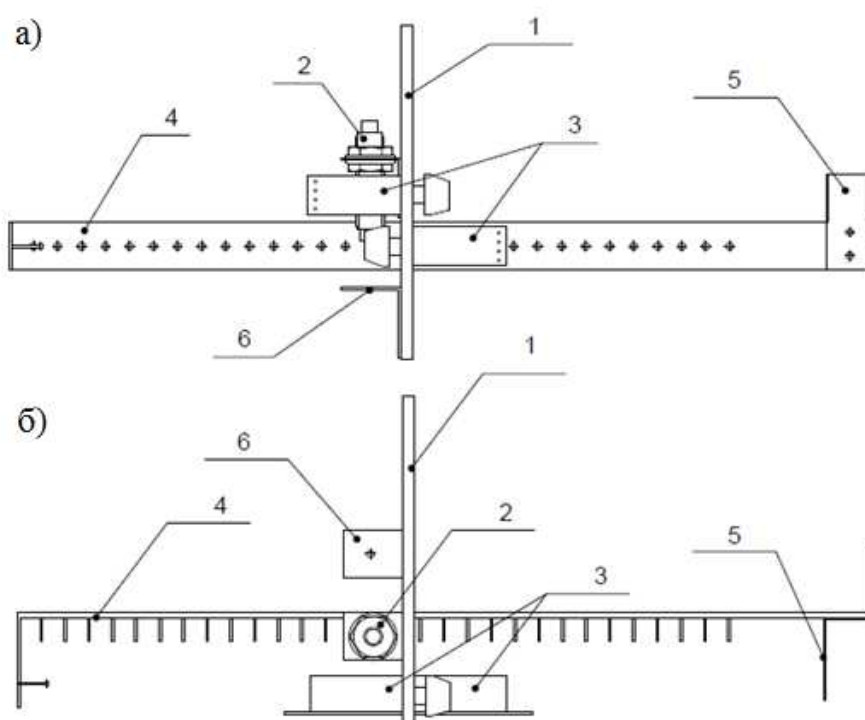


Рис. 4. Конструкция датчика положения и концевых выключателей:  
а) вид сбоку; б) вид сверху.

Через фигурное отверстие в алюминиевой пластине 1 движется алюминиевая рейка 4, увлекаемая штоком привода, с концом которой она связана с одной стороны. На пластине установлены индуктивный датчик 2 и концевые выключатели 3. В рейку с шагом 1 см вкручены металлические шпильки диаметром 3 мм. Датчик срабатывает при прохождении очередной шпильки непосредственно под ним. Свободный конец рейки изогнут на угол 90°, на изгибе располагается винт, воздействующий на один из концевых выключателей. На другой концевой выключатель воздействует деталь в форме уголка, прикрепленная к концу рейки, связанному со штоком привода.

Количество металлических шпилек на рейке датчиков поворота вокруг вертикальной и горизонтальной осей равно 30 и 19 соответственно, что обеспечивает позиционирование с абсолютной погрешностью не более  $\pm 6^\circ$  по азимуту и  $4,8^\circ$  по высоте.

Общий вид установки, оснащенной системами измерения и контроля положения представлен на рис. 5.

Лицевая панель и компоновка приборов шкафа управления показаны на рис. 6.



Рис. 5. Общий вид установки.



Рис. 6. Шкаф управления.

### Программное обеспечение

Структура программы ПЛК показана на рис. 7.

Во всех режимах контроллер занимается измерением и индикацией параметров электрической энергии солнечной батареи, вычислением и индикацией положения солнца, измерением и индикацией положения солнечной батареи, а также индикацией конфигурационных параметров (широты, долготы и часового пояса) и текущих даты и времени, полученных от энергонезависимых часов контроллера.

Для решения этих задач создано конфигурационное меню «Координаты» с пунктами: «Широта», «Долгота», «Часовой пояс» (типа INT), «Южная широта», «Западная долгота» (типа BOOL) и написан программный код, формирующий четыре рабочих экрана (рис. 8).

Алгоритм вычисления положения солнца (азимута и высоты) по текущим координатам (широте и долготе), дате и времени был разработан на основе материалов статьи [4]. Алгоритм был упрощен, но по-прежнему обладает высокой точностью. Ошибка вычисленных позиций солнца не превышает 1-2 угловых минут.

Текущее положение батареи сохраняется в энергонезависимой памяти контроллера (в так называемых RETAIN- переменных).

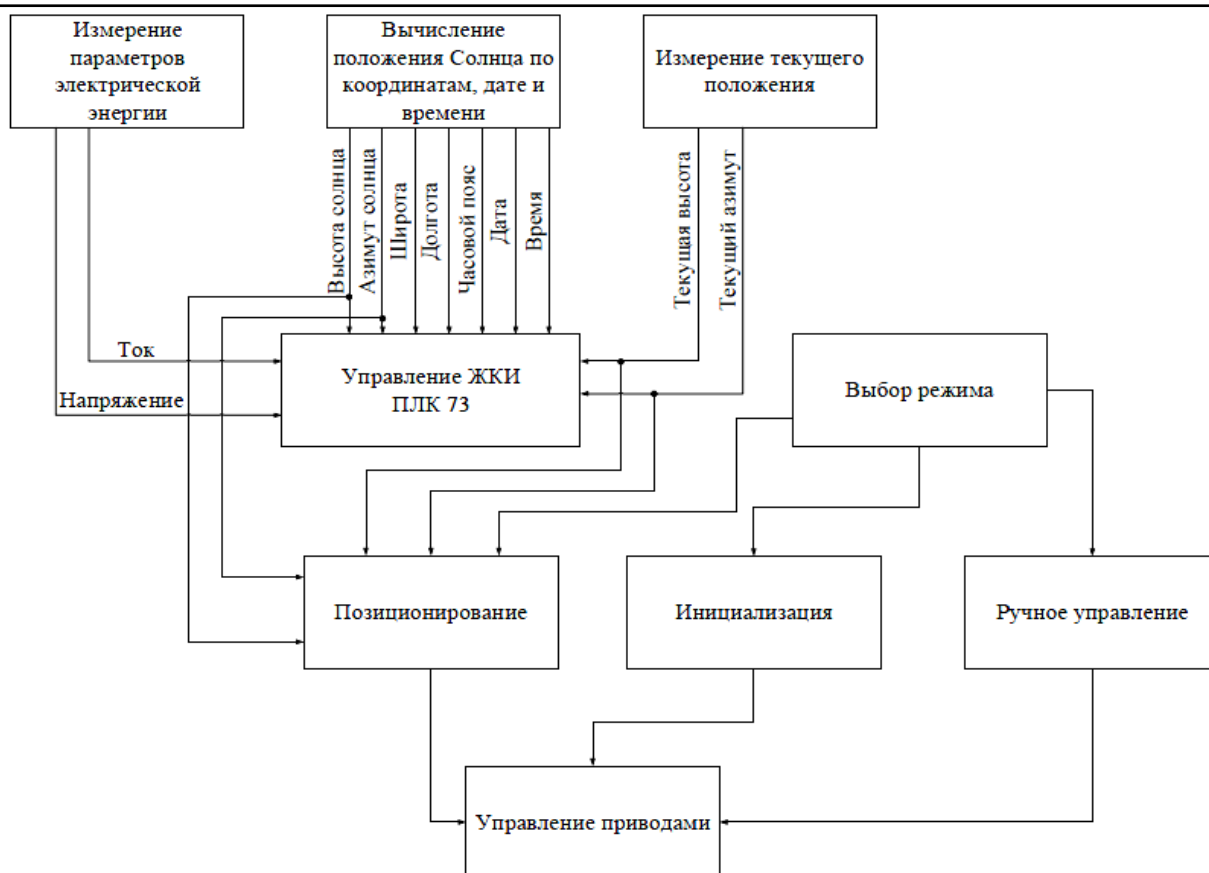


Рис. 7. Структура программы.

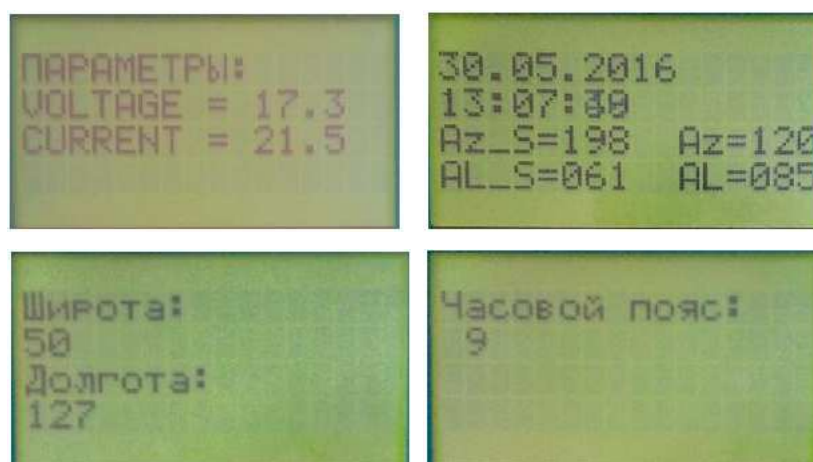


Рис. 8. Рабочие экраны.

Система может находиться в одном из трех режимов: позиционирование, инициализация и ручное управление.

Подпрограмма позиционирования служит для перевода системы из начального либо любого другого положения в положение, когда солнечная батарея ориентирована на солнце. Подпрограмма вызывается путем нажатия на клавиатуре контроллера кнопки «F2».

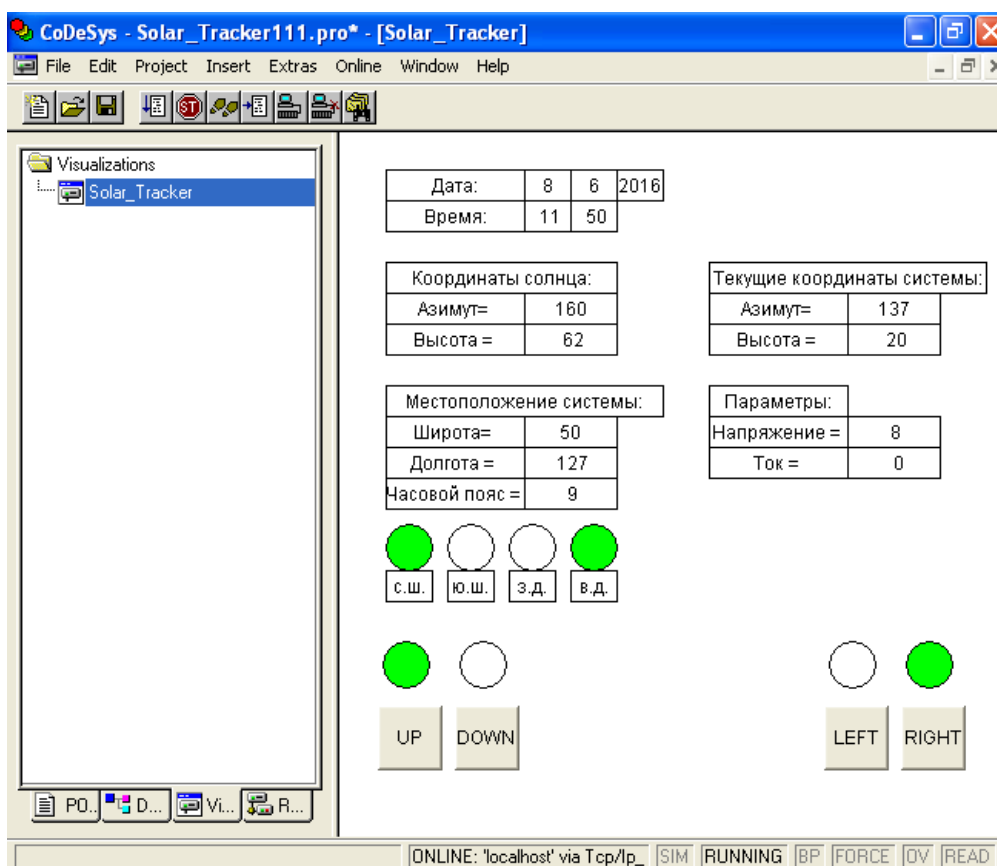
Основной целью подпрограммы инициализации является перевод солнечной установки в начальное состояние (до срабатывания соответствующих концевых выключателей электроприводов). Подпрограмма вызывается нажатием на клавиатуре контроллера кнопки «F1». Перевод установки в начальное положение также осуществляется при уходе Солнца за горизонт.

Подпрограмма ручного управления служит для снятия питания с дискретных выходов с целью предотвращения появления ложных цепей, которые приводят к ошибкам в работе установки. Пе-

реход в ручной режим осуществляется путем перемещения переключателя SA1 в нижнее положение. Факт перехода установки в ручное положение идентифицируется аналоговым входом AI3.

Для отладки программного обеспечения разработан экран визуализации (рис. 9).

Рис. 9. Визуализация в CoDeSys.



### Заключение

Разработанная система позиционирования солнечной батареи была смонтирована и опробована, в результате была доказана ее работоспособность. В дальнейшем установка будет использоваться для проведения экспериментов по определению эффективности систем слежения с применением различных алгоритмов и в учебном процессе в качестве лабораторного стенда по изучению релейных следящих и экстремальных систем автоматического регулирования.

Автор выражает благодарность высококвалифицированному рабочему кафедры автоматизации производственных процессов и производств В.П. Харькову, изготовившему все металлические конструкции стенда, а также выпускникам 2016 г. Д.А. Деревянко, А.Ю. Козыреву, выполнившим монтажные работы в рамках дипломного проектирования.

1. Портал-Энерго.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/905>.
2. Системы слежения за Солнцем/ М.В. Китаева, А.В. Юрченко, А.В. Скороходов, А.В. Охорзина // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 3 (4). – С.61–67.
3. Автономная система слежения за Солнцем для солнечной энергосистемы / А.В. Юрченко, М.В. Китаева, А.В. Охорзина, А.В. Скороходов // Контроль, измерение, информатизация: Материалы XII Междунар. научно-техн. конф. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – С. 179-183.
4. Van Flandern, T. C., Pulkkinen, K. F. Low-precision formulae for planetary positions// Astrophysical Journal Supplement Series. – Vol. 41, Nov. 1979. – P. 391-411.