

УДК 51-7:004.92:519.6

В. Н. Павлыш, С. А. Зори, В. Г. Черников

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Донецкий национальный технический университет»
83001, г. Донецк, ул. Артема, 58

МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МОДУЛЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3-D ТЕХНОЛОГИЙ

V. N. Pavlysh, S. A. Zori, V. G. Chernikov

State Educational Institution of Higher Professional Education «Donetsk National Technical University»
83001, Donetsk, st. Artema, 58

MODIFICATION OF THE CONTROL ALGORITHM OF A PHOTOELECTRIC MODULE USING 3-D TECHNOLOGIES

В статье рассматривается задача совершенствования параметров подсистемы управления фотоэлектрическим модулем при формировании математической и алгоритмической базы общей системы автоматизированного управления оборудованием нетрадиционных источников энергии. Одним из способов модификации является применение современных трёхмерных технологий.

Ключевые слова: модуль, управление, алгоритм, система, технология.

The article deals with the problem of improving the parameters of the photovoltaic module control subsystem when forming the mathematical and algorithmic base of the general system for automated control of equipment for non-traditional energy sources. One of the modification methods is the use of modern three-dimensional technologies.

Key words: module, control, algorithm, system, technology.

Введение

На современном этапе дальнейшее развитие науки и техники немыслимо без всесторонней информатизации и автоматизации процессов. Особенно остро эта проблема стоит при проектировании новых и модификации используемых устройств и процессов. Традиционные методы расчета параметров и проектирования носят экстенсивный характер, они были эффективны до определенного момента – момента так называемого «насыщения», когда на первый план выдвигается необходимость перехода к интенсивным методам проектирования и управления. В частности, важное значение приобретает задача создания устройств для реализации процессов функционирования возобновляемых источников энергии.

С этой целью разрабатывается подсистема автоматизированного управления параметрами фотоэлектрических модулей возобновляемых источников энергии, призванная повысить качество их функционирования на основе применения компьютерных технологий.

Актуальность работы. Применяемые на практике способы управления параметрами фотоэлектрических модулей обладают рядом недостатков, что определяет необходимость дальнейших исследований процесса и реконструкции оборудования. Реконструкция подсистемы управления требует соответствующего обоснования, что вызывает необходимость теоретических и экспериментальных исследований.

Одним из наиболее эффективных методов исследования процесса является метод математического моделирования, позволяющий получить с помощью компьютера достаточно широкий набор данных о реконструируемом объекте без проведения долговременных и дорогостоящих натурных исследований [1], [2].

С другой стороны, в процессе проектирования регулярно возникает необходимость дополнительной проверки принимаемых решений, для чего в систему автоматизированного проектирования обязательно включается модельная база и комплекс программных средств.

В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы – обоснование направления формирования модельной базы и программных средств подсистемы автоматизированного управления параметрами фотоэлектрического модуля.

Основное содержание работы. Для реализации системы управления ориентированием фотоэлектрического модуля использован микропроцессорный контроллер – Simatic S7-300. В качестве привода поворота использовался преобразователь частоты Micromaster 440, который обеспечивает вращение асинхронного электродвигателя. Основные аппаратные и программные компоненты системы управления ориентированием фотоэлектрического модуля приведены на рис. 1.

Работа системы управления ориентированием фотоэлектрического модуля организована следующим образом. Выходные данные системного таймера позволяют рассчитать параметр J и значение среднего местного времени $СМВ$ по эмпирическим формулам, что позволяет рассчитать оптимальный угол поворота модуля – $\varphi_{опт}$.

Блок управления поворотом модуля формирует последовательность подачи заданий на систему ориентирования. При этом формирование сигнала задания на угол поворота модуля может происходить как в автоматическом режиме, когда интервал выдачи задания определяется сигналом программного тактового генератора, так и в полуавтоматическом режиме, когда момент подачи задания определяется оператором. Выбор режима осуществляется переключателями на пульте управления.

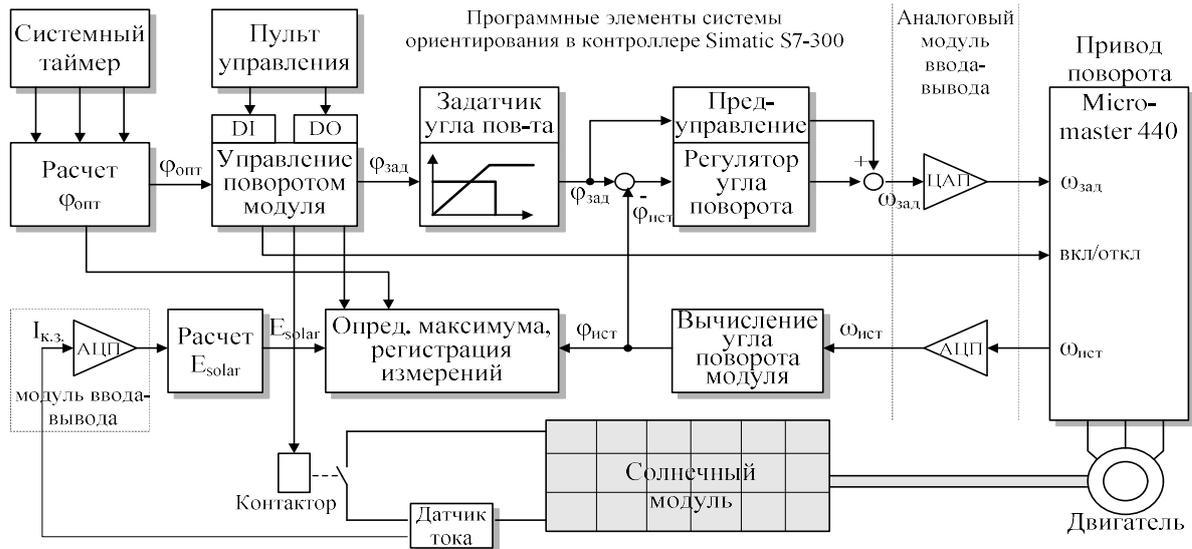


Рисунок 1 – Структура системы управления ориентированием фотоэлектрического модуля на базе программируемого логического контроллера

Посредством задатчика положения обеспечивается плавное перемещение механизма поворота с заданными значениями скорости перемещения и ускорения. Далее сигнал задания поступает на регулятор положения, который совместно со звеном предупредования формирует сигнал заданного значения скорости перемещения механизма ориентирования. Внутри звена предупредования происходит вычисление производной от сигнала задания на угол поворота $\varphi_{зад}$, что позволяет эффективней формировать сигнал задания на скорость и увеличить быстродействие контура позиционирования. Цифровой сигнал заданного значения скорости $\omega_{зад}$ через АЦП контроллера передается в аналоговой форме на привод поворота модуля. Структурная схема контура регулирования угла поворота фотоэлектрического модуля приведена на рис. 2.

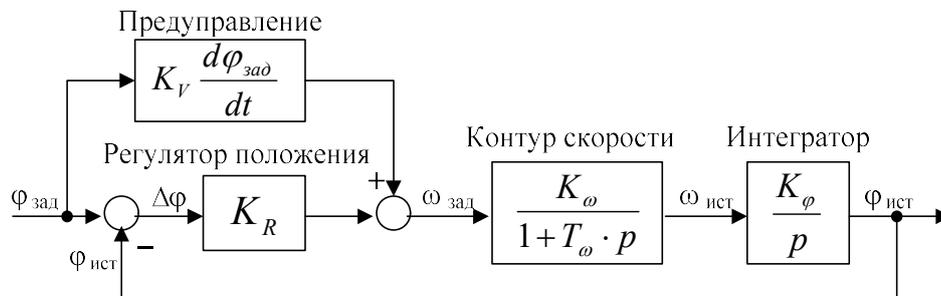


Рисунок 2 – Структурная схема контура регулирования угла поворота модуля

Тогда рассчитать коэффициент усиления регулятора положения – K_R , можно из условия равенства единице коэффициента демпфирования контура.

$$K_R = \frac{1}{4 \cdot T_\omega \cdot K_\omega \cdot K_\phi}, \quad (1)$$

где K_ω и T_ω – коэффициент передачи и постоянная времени контура скорости, K_ϕ – коэффициент интегратора, связывающий скорость и угол поворота.

Сигнал задания на скорость формируется согласно приведенному уравнению

$$\omega_{зад} = K_R \cdot \Delta\varphi[n] + K_V \frac{\varphi_{зад}[n] - \varphi_{зад}[n-1]}{T} \quad (2)$$

Фрагмент программы, реализующий уравнение (2), приведен на рис. 3.

```

▣ Netzwerk 2 : Определение ошибки позиции
L   #Fi_soll
L   #Fi_ist
-R
T   #dfi
ABS
T   #abs_dfi

▣ Netzwerk 3 : Вычисление сигнала предуп
L   #Fi_soll
L   #Fi_soll_n_1
-R
L   #abtastzeit
/R
L   5.030000e+002
*R
L   #Kvorst
*R
T   #w_vorst
L   #Fi_soll
T   #Fi_soll_n_1

▣ Netzwerk 4 : Вычисление заданной ско
L   #dfi
L   #Kreg
*R
L   #w_vorst
+R
L   -1.000000e+000
*R
T   #w_soll_real

▣ Netzwerk 5 : Перевод заданной скорос
CALL "UNSCALE"
IN   :=#w_soll_real
HI_LIM :=2.764800e+004
LO_LIM :=-2.764800e+004
BIPOLAR:=#start_reg
RET_VAL:=MW110
OUT   :=#w_soll_int

```

Рисунок 3 – Фрагмент программы для вычисления сигнала задания на скорость

Реальное значение скорости вращения привода ω_{uct} оценивается импульсным датчиком, установленным на валу двигателя со степенью точности 2048 импульсов на оборот. Сигналы импульсного датчика обрабатываются преобразователем частоты Micromaster 440 и в аналоговой форме поступают на ЦАП контроллера, который оцифровывает значение сигнала скорости вращения двигателя поворота. В дальнейшем, на базе цифрового значения скорости, можно вычислить реальный угол поворота фотоэлектрического модуля φ_{uct} , который поступает в качестве обратной связи на регулятор положения.

При этом необходимо отметить, что нулевое значение угла поворота фотоэлектрического модуля присваивается такому положению модуля, когда его поверхность сориентирована перпендикулярно южному направлению. Нулевое значение угла поворота модуля фиксируется в системе управления соответствующим конечным выключателем. Таким образом, поворот модуля левее южного направления будет соответствовать отрицательным углам поворота, а поворот модуля правее южного направления будет соответствовать положительным углам поворота. Полный ход механизма ориентации соответствует диапазону углов поворота от -85° до $+85^\circ$. При этом крайние положения механизма поворота фиксируются двумя соответствующими конечными выключателями для предотвращения выхода приводной шестерни за пределы полудиска.

Расчет реального угла поворота фотоэлектрического модуля φ_{uct} происходит на базе передаточной функции дискретного интегратора, которая трансформируется в разностное уравнение

$$\varphi_{uct} = \frac{b_0}{1 - a_1 \cdot z^{-1}} \cdot \omega_{uct}, \quad (3)$$

$$\varphi_{uct}[n] = k_I \cdot T \cdot \omega[n] + \varphi[n-1], \quad (4)$$

где: k_I – коэффициент интегратора; T – период дискретности интегратора.

Ниже приводится пример реализации программного блока вычисления реального угла поворота модуля на языке программирования Step 7 в виде нескольких сегментов программы, рис. 4. В пятом сегменте происходит процесс масштабирования скорости, при котором учитываются особенности работы АЦП контроллера и целочисленное значение скорости переводится в формат с плавающей запятой. В шестом сегменте реализуется разностное уравнение в соответствии с формулой (4). В седьмом сегменте происходит обнуление переменных разностного уравнения по сигналу «сброс».

```

▢ Netzwerk 5: Масштабирование скорости
L   #w_ist
L   13824
-I
T   #w_ist_2
T   MW   30
L   #w_ist_2
ITD
DTR
T   #w1
L   1.047000e+001
*R
L   1.382400e+004
/R
L   -1.000000e+000
*T
T   #w

▢ Netzwerk 6: Дискретный интегратор
L   #w
L   #T
*R
L   #Ki
*R
L   #Fi_n1
+R
T   #Fi_n1
T   #Fi
SPA  m01

▢ Netzwerk 7: Обнуление переменных
m00: L   0.000000e+000
      T   #Fi_n1
      T   #Fi
m01: NOP  0

```

Рисунок 4 – Фрагмент программы вычисления реального угла поворота модуля

Кроме этого, приведенная на рис. 1 система управления, позволяет рассчитывать мгновенные значения плотности мощности солнечного излучения, поступающего на поверхность фотоэлектрического модуля – E_{solar} , на основании его тока короткого замыкания, т.е. без использования какого-либо фотоэлектрического датчика. Это происходит следующим образом: контактор по команде контроллера замыкает цепь солнечного модуля, быстродействующий датчик тока на основе эффекта Холла замеряет ток короткого замыкания модуля, сигнал датчика тока поступает на АЦП контроллера, после чего оцифрованное значение тока может быть использовано для расчета значения плотности мощности на поверхности фотоэлектрического модуля – E_{solar} по нижеследующей формуле.

$$E_{solar} \approx \frac{1000}{I_{кзN}} \cdot I_{кз}, \quad (5)$$

где: $I_{кзN}$, $I_{кз}$ – токи короткого замыкания модуля соответственно при стандартной ($E_s = 1000$ Вт/м²) и текущей плотности мощности солнечной энергии, измеренные при стандартной температуре – $t = 25^\circ\text{C}$.

Необходимо так же отметить, что использованный в формуле знак приближенного равенства, означает, что при отклонениях температуры от стандартного значения – 25°C , может появиться некоторая погрешность при расчете значения E_{solar} из-за температурного влияния на ток короткого замыкания фотоэлектрического модуля – $I_{кз}$. Однако влияние температуры на ток $I_{кз}$ модуля весьма незначительно и описывается температурным коэффициентом, который составляет +0,04% на градус Цельсия. Это означает, что при отклонении температуры фотоэлектрического модуля от стандартного значения на 25°C , значение тока короткого замыкания и соответственно расчетное значение плотности мощности – E_{solar} отклониться от стандартного на 1%, что существенно не повлияет на точность регистрации измерений.

Таким образом, блок регистрации измерений в заданные моменты времени позволяет сохранять в памяти контроллера значения плотности мощности на поверхности фотоэлектрического модуля – E_{solar} на заданных углах его поворота относительно южно-направленной оси полудиска – φ , а так же сами значения этих углов.

Эта способность системы управления дает ей возможность работать в исследовательском режиме работы. В этом режиме сначала плотность мощности на поверхности фотоэлектрического модуля фиксируется системой регистрации при строгой ориентации модуля на юг и затем при повороте модуля на оптимальный угол – φ_{opt} , рассчитанный системой управления. При таком методе регистрации измерений можно провести сравнительный анализ, который покажет, какой прирост плотности мощности дает использование системы ориентирования по сравнению с жестко закрепленным и сориентированным на юг фотоэлектрическим модулем.

Кроме регистрации плотности мощности в указанных фиксированных положениях модуля, можно проводить регистрацию измерений прямо во время его движения с коротким временным интервалом записи в память, например каждые 20 ms. При этом диапазон изменения угла поворота целесообразно установить в пределах от $\varphi=0^\circ$ (ориентация на юг) до $\varphi=\varphi_{onm}+15^\circ$. Во время поворота модуля можно использовать алгоритм трекера максимальной мощности на исследуемом секторе поворота с последующей записью в память значения максимальной зарегистрированной в данном секторе плотности мощности и угла поворота, соответствующего этой мощности. Дальнейшее сравнение зарегистрированного угла поворота, соответствующего максимальной плотности мощности, с расчетным значением оптимального угла поворота модуля – φ_{onm} позволит сделать вывод о корректности предложенного метода расчета оптимального угла для ориентации фотоэлектрического модуля на максимальный поток солнечной энергии.

Временная диаграмма, демонстрирующая процесс регистрации основных параметров системы во время измерительного цикла приведена на рис. 5. При этом, измерительным циклом можно считать процесс поворота модуля с исходной позиции при $\varphi=0^\circ$ до позиции $\varphi=\varphi_{onm}+15^\circ$ и возврат в исходное положение (ориентация на юг).

Процесс записи в память измеренных параметров происходит в моменты появления активирующих импульсов, рис. 5. Первый импульс появляется через секунду после включения контактора в цепи фотоэлектрического модуля, в этот момент запоминается значение плотности мощности модуля – E_{solar} в исходной позиции при $\varphi=0^\circ$ и время измерения – t . Сразу после этого начинается поворот модуля в позицию $\varphi=\varphi_{onm}+15^\circ$. В процессе движения, при $\varphi=\varphi_{onm}$, появляется второй импульс и происходит регистрация плотности мощности модуля – E_{solar} в позиции φ_{onm} и значения угла – φ_{onm} . Третий импульс появляется в момент достижения позиции $\varphi=\varphi_{onm}+15^\circ$. В этот момент фиксируется максимальная плотность мощность модуля, зарегистрированная трекером в пройденном секторе – $E_{solar\ max}$ и угол поворота, на котором эта мощность была зафиксирована – φ_{max} . В процессе регистрации все данные записываются в соответствующие блоки данных. При регистрации используется метод косвенной адресации, при котором адрес ячейки памяти в блоке данных, куда будет произведена запись, задается в адресном регистре. При окончании измерительного цикла значение адресного регистра увеличивается на 32 бита и подготавливается к следующей записи в память. Измерительный цикл заканчивается, когда модуль возвращается в исходное положение – $\varphi=0^\circ$. Пример фрагмента программы, которая регистрирует мощность модуля и угол его поворота в точке максимума, приведен на рис. 6.

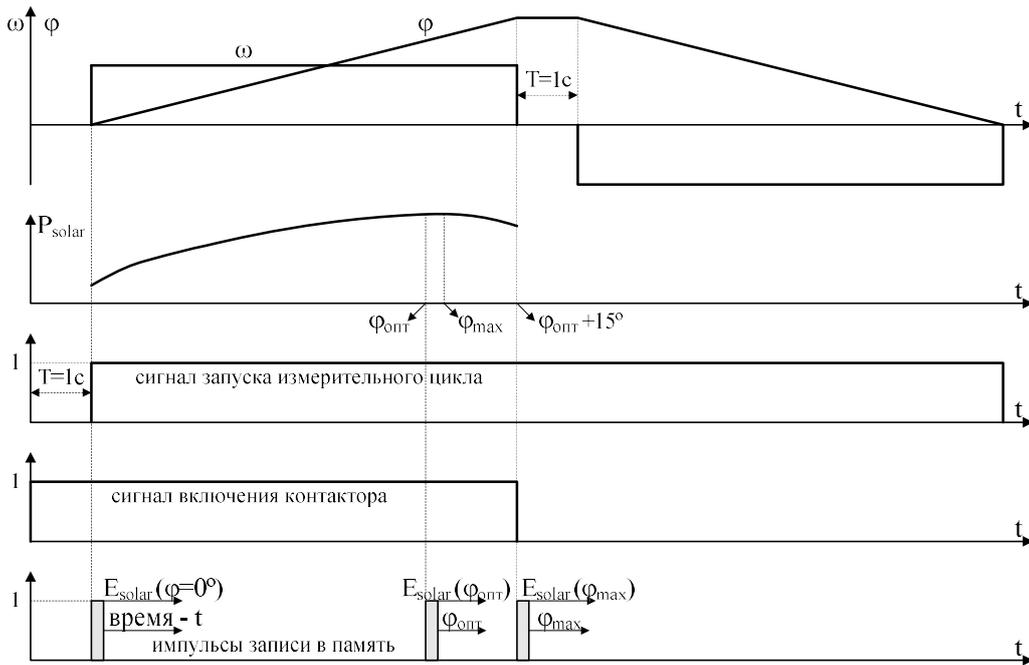


Рисунок 5 – Временная диаграмма измерительного цикла при регистрации основных параметров

▣ **Netzwerk 9** : Замер E_solar_max

```

U      T      5
FP     M      5.2
=      #imp_zamer_max
UN     #imp_zamer_max
SPB    m02
AUF    DB     150
LAR1   MD     150
L      #E_solar_max
T      DBD [AR1,P#0.0]
L      P#4.0
+AR1
TAR1   MD     150
AUF    DB     160
LAR1   MD     154
L      #Fi_max
T      DBD [AR1,P#0.0]
L      P#4.0
+AR1
TAR1   MD     154
SPA    m02
    
```

Рис. 6 Фрагмент программы регистрации измеренных параметров

Весь алгоритм программы управлением ориентированием приведен на рис. 7. Структура программы и связи между блоками программы показаны на рис. 8.

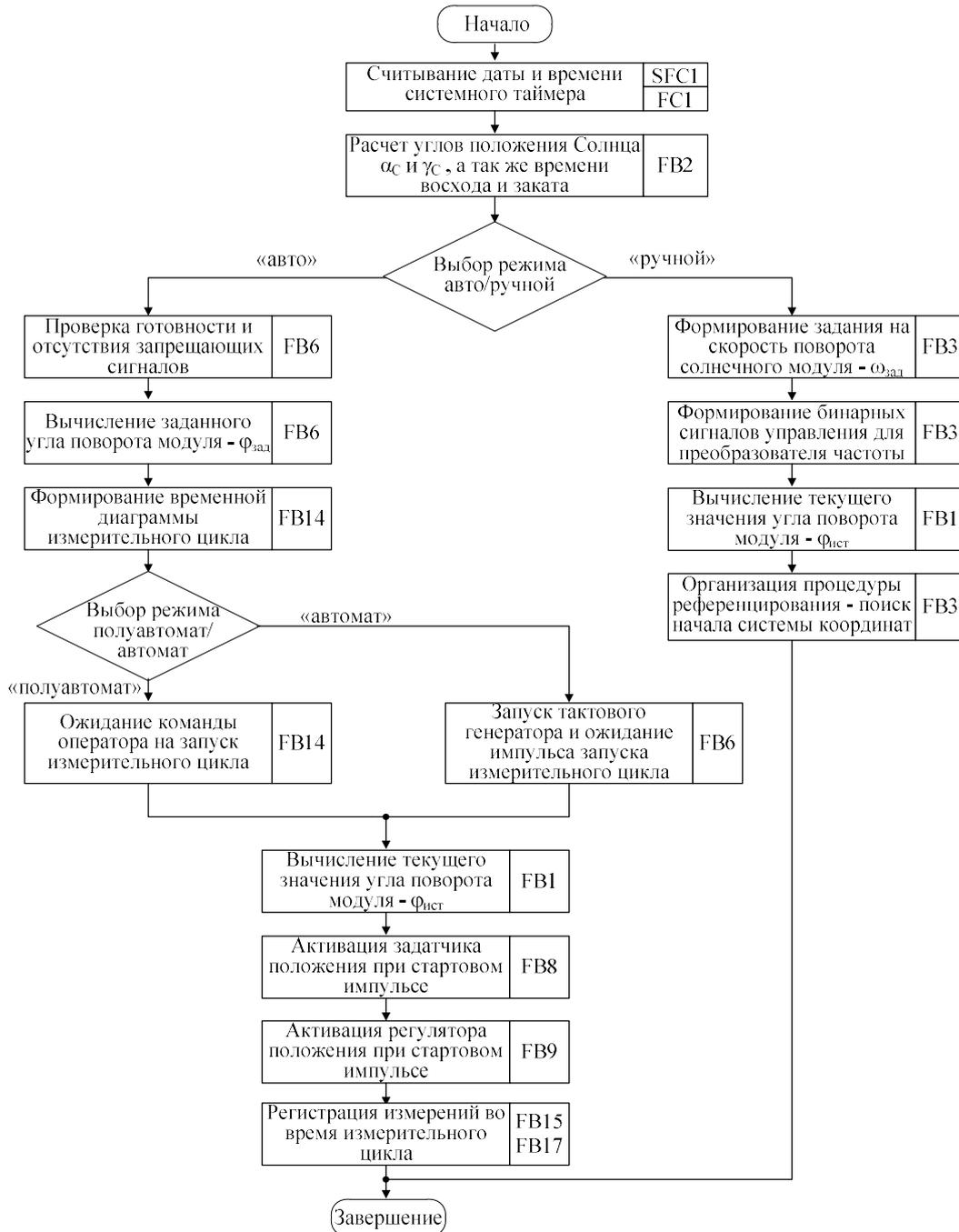


Рисунок 7 – Алгоритм программы управления системой ориентирования

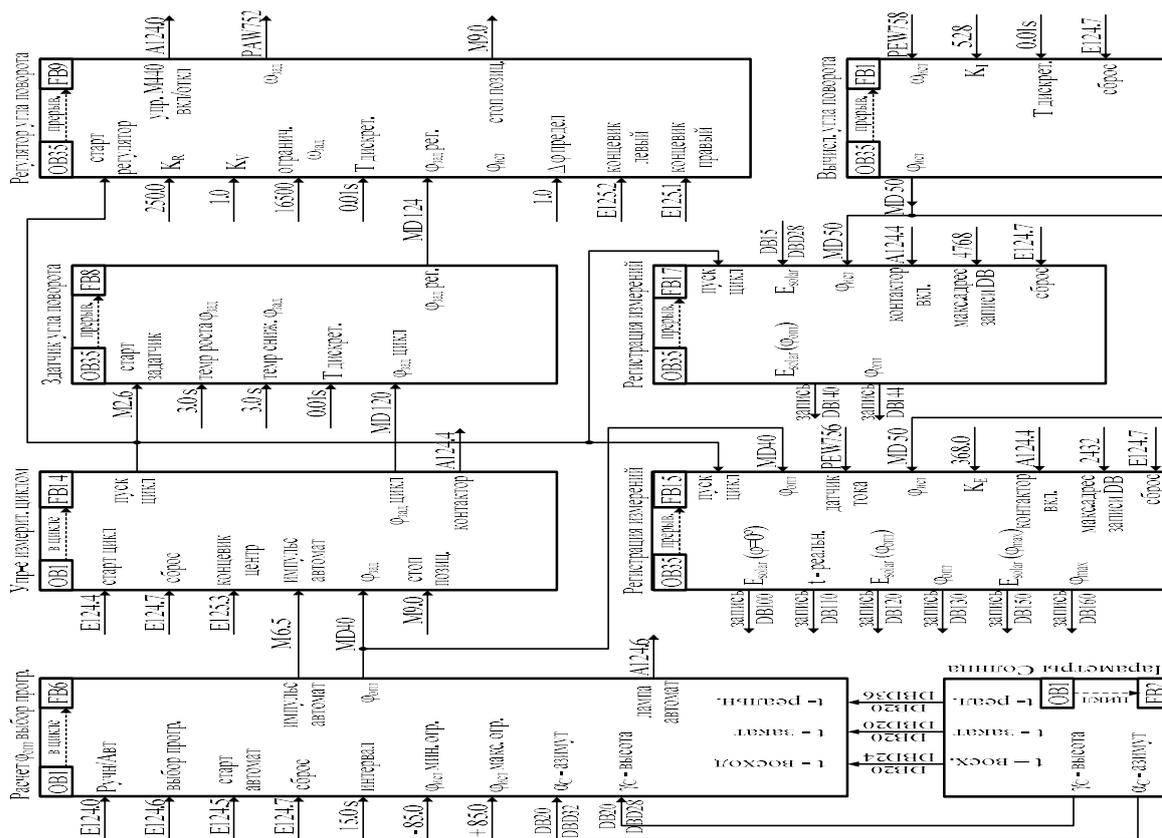


Рисунок 8 – Структура программы и связи между программными блоками

Выводы

Разработана функционально-логическая схема системы автоматизированного управления параметрами процесса ориентации фотоэлектрического модуля в комплексе устройств возобновляемого источника энергии, на основании построенной математической модели разработан алгоритм функционирования головной программы математического обеспечения подсистемы. По результатам исследований могут быть разработаны рекомендации, предназначенные для работников служб и подразделений предприятий, выполняющих работы по проектированию и эксплуатации технологических схем и оборудования возобновляемого источника энергии.

С использованием разработанных критериев проведено исследование эффективности процесса в зависимости от параметров технологической схемы, результаты которых подтверждают ранее полученные данные математического моделирования.

Предложенные модели и методы их реализации позволяют проводить численное моделирование процессов и решать задачи совершенствования как конструктивных, так и технологических параметров.

К достоинствам данного метода следует отнести возможность широкой вариации параметров без проведения физических и натурных экспериментов, что удешевляет и ускоряет процесс проектирования новой аппаратуры.

Список литературы

1. Павлыш В.Н. Применение математического моделирования к исследованию параметров динамических процессов [Текст] / В.Н. Павлыш, Л. А. Лазебная, Е. В. Перинская // Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров : сб. трудов VII Международной научно-методической конференции в городе Сусс (Тунис) с 08 по 17 октября 2013 г. – Донецк : ДонНТУ, 2013. – С. 184–188.
2. Павлыш В. Н. Математическое моделирование процессов производства неметаллических материалов с применением критериальных зависимостей [Текст] / Павлыш В.Н., Перинская Е.В. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : Международный сборник научных трудов. – Вып. 32. – Донецк, 2006. – С. 167–171.
3. Ткаченко В. Н. Математическое моделирование, идентификация и управление технологическими процессами тепловой обработки материалов: Монография [Текст] / В. Н. Ткаченко – Киев : «Наукова думка», 2008. – 243 с.
4. Ковальский С.В. Визуализация комплексных частотно-временных характеристик сигналов [Текст] / С.В. Ковальский, С. А. Зори // Моделирование и компьютерная графика : Сб. трудов третьей международной научно-технической конференции. – Донецк : ДонНТУ, 2009.
5. Рябкин Ю. В. Программная система визуализации частотно-временных характеристик сигналов радиолокационных станций [Текст] / Ю. В. Рябкин // Донбас-2020: наука і техніка – виробництву: Матеріали III науково-практичної конференції. – Донецьк : ДонНТУ Міністерства освіти і науки, 2006. – С. 505–512.
6. Павлыш В. Н. Алгоритмы функционирования и технические элементы подсистемы автоматизированного управления процессом нагнетания жидкости в угольный пласт [Текст] / В. Н. Павлыш, И. В. Тарабаева, Л. А. Лазебная // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – 2017. – № 3(6). – С. 32–39.

References

1. Pavlysh V.N., Lazebnaya L.A., Perinskaya E.V. Application of mathematical modeling to the study of the parameters of dynamic processes [Primeneniye matematicheskogo modelirovaniya k issledovaniyu parametrov dinamicheskikh protsessov]. *Modern problems of the technosphere and training of engineering personnel: Proceedings of the VII International Scientific and Methodological Conference in the city of Sousse (Tunisia) from October 08 to October 17, 2013* [Sovremennyye problemy tekhnosfery i podgotovki inzhenernykh kadrov : sb. trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii v gorode Suss (Tunis) s 08 po 17 oktyabrya 2013 g.]. Donetsk: DonNTU, 2013, p. 184-188.
2. Pavlysh V.N., Perinskaya E.V. Mathematical modeling of non-metallic materials production processes using criterion dependencies [Matematicheskoye modelirovaniye protsessov proizvodstva nemetallicheskih materialov s primeneniyyem kriterial'nykh zavisimostey]. *International Collection of Scientific Papers Progressive technologies and mechanical engineering systems* [Progressivnyye tekhnologii i sistemy mashinostroyeniya : Mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov], vol. 32. Donetsk, 2006, pp. 167-171.
3. Tkachenko V.N. *Mathematical modeling, identification and control of technological processes of heat treatment of materials: Monograph* [Matematicheskoye modelirovaniye, identifikatsiya i upravleniye tekhnologicheskimi protsessami teplovooy obrabotki materialov: Monografiya] Kyiv, Naukova Dumka, 2008, 243 p.
4. Kovalsky S.V., Zori S.A. Visualization of complex time-frequency characteristics of signals [Vizualizatsiya kompleksnykh chastotno-vremennykh kharakteristik signalov]. *Proceedings of the third international scientific and technical conference "Modeling and computer graphics"* [Modelirovaniye i komp'yuternaya grafika : Sb. trudov tret'yey mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii] Donetsk, DonNTU, 2009.
5. Ryabkin Yu. V. *Software system for visualization of the frequency-time characteristics of radar signals* [Programmnaya sistema vizualizatsii chastotno-vremennykh kharakteristik signalov radiolokatsionnykh stantsiy]. *Materials of the III scientific and practical conference. – Donetsk: DonNTU of the Ministry of Education and Science* [Materials of the III scientific and practical conference. – Donetsk: DonNTU of the Ministry of Education and Science]. Donetsk : DonNTU of the Ministry of Education and Science, 2006. P. 505–512.
6. Pavlysh V. N., Tarabaeva, L. A. Functioning algorithms and technical elements of the subsystem for automated control of the process of injecting liquid into a coal seam [Algoritmy funktsionirovaniya i

tekhicheskiye elementy podsystemy avtomatizirovannogo upravleniya protsessom nagnetaniya zhidkosti v ugol'nyy plast]. *International peer-reviewed scientific and theoretical journal "Problems of artificial intelligence"* [Mezhdunarodnyy retsenziruyemyy nauchno-teoreticheskiy zhurnal «Problemy iskusstvennogo intellekta»] 2017. No. 3(6). P. 32–39.

RESUME

V. N. Pavlysh, S. A. Zori, V. G. Chernikov

Modification of the Control Algorithm of a Photoelectric Module Using 3-D Technologies

At the present stage, the further development of science and technology is unthinkable without comprehensive informatization and process automation. This problem is especially acute when designing new and modifying used devices and processes. Traditional methods of calculating parameters and designing are extensive in nature, they were effective up to a certain point - the moment of the so-called "saturation", when the need to move to intensive design and control methods comes to the fore. In particular, the task of creating devices for the implementation of the processes of functioning of renewable energy sources is of great importance.

The actual value of the drive rotation speed ω_{act} is estimated by a pulse sensor mounted on the motor shaft with an accuracy of 2048 pulses per revolution. The pulse sensor signals are processed by the Micromaster 440 frequency converter and sent in analog form to the controller's DAC, which digitizes the value of the turn motor rotation speed signal. In the future, based on the digital value of the speed, it is possible to calculate the actual angle of rotation of the photovoltaic module ϕ_{ist} , which is fed as feedback to the position controller. In this case, it should be noted that the zero value of the angle of rotation of the photovoltaic module is assigned to such a position of the module when its surface is oriented perpendicular to the south direction.

The proposed models and methods for their implementation make it possible to carry out numerical modeling of processes and solve problems of improving both design and technological parameters.

The advantages of this method include the possibility of a wide variation of parameters without conducting physical and full-scale experiments, which reduces the cost and speeds up the process of designing new equipment.

As a result of the work of the programs, the values of the specified parameters are obtained and all other quantities characterizing the performance of the installation are calculated.

A functional-logic diagram of a system for automated control of the parameters of the process of orientation of a photovoltaic module in a complex of devices for a renewable energy source has been developed, and an algorithm for the operation of the head software of the subsystem software has been developed based on the constructed mathematical model. Based on the results of the research, recommendations can be developed for employees of services and departments of enterprises performing work on the design and operation of technological schemes and equipment for a renewable energy source.

РЕЗЮМЕ

В. Н. Павлыш, С. А. Зори, В. Г. Черников
Модификация алгоритма управления фотоэлектрическим модулем
с применением 3-D технологий

На современном этапе дальнейшее развитие науки и техники немислимо без всесторонней информатизации и автоматизации процессов. Особенно остро эта проблема стоит при проектировании новых и модификации используемых устройств и процессов. Традиционные методы расчета параметров и проектирования носят экстенсивный характер, они были эффективны до определенного момента – момента так называемого «насыщения», когда на первый план выдвигается необходимость перехода к интенсивным методам проектирования и управления. В частности, важное значение приобретает задача создания устройств для реализации процессов функционирования возобновляемых источников энергии.

Реальное значение скорости вращения привода фист оценивается импульсным датчиком, установленным на валу двигателя со степенью точности 2048 импульсов на оборот. Сигналы импульсного датчика обрабатываются преобразователем частоты Micromaster 440 и в аналоговой форме поступают на ЦАП контроллера, который оцифровывает значение сигнала скорости вращения двигателя поворота. В дальнейшем, на базе цифрового значения скорости, можно вычислить реальный угол поворота фотоэлектрического модуля фист, который поступает в качестве обратной связи на регулятор положения.

При этом необходимо отметить, что нулевое значение угла поворота фотоэлектрического модуля присваивается такому положению модуля, когда его поверхность сориентирована перпендикулярно южному направлению.

Предложенные модели и методы их реализации позволяют проводить численное моделирование процессов и решать задачи совершенствования как конструктивных, так и технологических параметров.

К достоинствам данного метода следует отнести возможность широкой вариации параметров без проведения физических и натуральных экспериментов, что удешевляет и ускоряет процесс проектирования новой аппаратуры.

Как результат работы программ получают значения указанных параметров и вычисляются все другие величины, характеризующие показатели работы установки.

Разработана функционально-логическая схема системы автоматизированного управления параметрами процесса ориентации фотоэлектрического модуля в комплексе устройств возобновляемого источника энергии, на основании построенной математической модели разработан алгоритм функционирования головной программы математического обеспечения подсистемы. По результатам исследований могут быть разработаны рекомендации, предназначенные для работников служб и подразделений предприятий, выполняющих работы по проектированию и эксплуатации технологических схем и оборудования возобновляемого источника энергии.

Статья поступила в редакцию 01.06.2022.