

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НПО «ФИЗИКА-СОЛНЦЕ» АН РУз

ГЕЛИОТЕХНИКА

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

$\frac{1}{2018}$

*Журнал издается с января 1965 г.
по 4 номера в год*

Ташкент – 2018

Гелиоустановки и их применение

**А.К. САЙМБЕТОВ¹, М.К. НУРГАЛИЕВ¹, Е. ТУЛКИБАЙУЛЫ¹, Ё.К. ТОШМУРОДОВ²,
Е.Д.НАЛИБАЕВ¹, Г.Б. ДОСЫМБЕТОВА¹, Н.Б. ҚУТТЫБАЙ¹, М.М. ГЫЛЫМЖАНОВА¹,
Е.А.СВАНБАЕВ¹**

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХОСНОГО СОЛНЕЧНОГО ТРЕКЕРА С ТОЧНОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ К СОЛНЦУ

Современные системы слежения за Солнцем позволяют увеличить КПД солнечных элементов, повышая эффективность использования солнечной энергии. Рассмотрены современные методы слежения за Солнцем и принцип их действия. В зависимости от того, в какой плоскости происходит слежение, трекеры классифицируются на одноосные и двухосные. Наибольшую эффективность имеют двухосные трекеры. Рассмотрен принцип действия активных и пассивных трекеров. Описана лабораторная модель двухосного солнечного трекера с точной ориентацией к Солнцу, основанная на алгоритме расчета напряжения с использованием датчиков тока. Приведены результаты экспериментов по получению ВАХ при различных положениях солнечной батареи и с использованием трекера. Приведены графики мощности, полученные при измерениях тока и напряжения, проведены расчеты КПД при различных положениях солнечной батареи и с использованием трекера.

Ключевые слова: солнечная панель; солнечная энергия, двухосный солнечный трекер, солнечная батарея, энергоэффективный, микроконтроллер.

**A.K. SAYMBETOV¹, M.K. NURGALIYEV¹, YE. TULKIBAIULY¹, YO.K. TOSHMURODOV²,
YE.D.NALIBAYEV¹, G.B. DOSYMBETOVA¹, N.B. KUTTYBAY¹, M.M. GYLYMZHANOVA¹,
YE.A.SVANBAYEV¹**

DEVELOPMENT OF METHOD OF INCREASING THE EFFICIENCY OF SOLAR TRACKER WITH ACCURATE ORIENTATION TO THE SUN

Today, existing solar power plants are successfully being implemented into global electricity production. Modern solar tracking systems can increase the efficiency of solar cells and increase the efficiency of solar energy use. The article considers modern methods of tracking the Sun, and the principle of their action. Depending on the plane in which tracking takes place, trackers are classified into uniaxial and biaxial. Biaxial trackers are most effective. And also the principle of action of active and passive trackers is considered. Also in this paper, we describe the development of a laboratory model of a biaxial solar tracker with an exact orientation to the Sun, based on an algorithm for calculating voltage using current sensors. The results of the experiment on obtaining I-V characteristic at various positions of the solar battery and using a tracker are also given. The power curves obtained with current and voltage measurements are given, calculations of the efficiency at different positions of the solar battery and using a tracker are performed.

Key words: solar panel; solar energy, dual-axis solar tracker, solar battery, energy efficient, microcontroller.

ВВЕДЕНИЕ

Среди устройств преобразования солнечной энергии и повышения эффективности преобразования, солнечные трекеры являются одними из наиболее доступных для применения и эксплуа-

тации. В статье исследовалась работа двухосного солнечного трекера, использующего разработанный нами метод точной ориентации к Солнцу.

Разработанные солнечные трекеры имеют ряд преимуществ и недостатков. Одноосные трекеры обычно увеличивают производительность электроэнергии на 27-32%. В то время как двухосные трекеры обычно добавляют еще 6% эффективности и улучшают производительность на 35-40% по сравнению с неподвижными панелями [1-3]. Очевидно, что с экономической точки зрения выбор того или иного типа трекера, в основном, зависит от дополнительных инвестиций и расходов на техническое обслуживание. В [4] авторы разработали лабораторный образец трекера, который вырабатывает на 42% больше электроэнергии, чем солнечные электростанции с фиксированной по отношению к Солнцу панелью.

Использование солнечных трекеров или систем прогнозирования не является основным для работы фотоэлектрического модуля. Однако, без таких систем, его производительность значительно снижается. При создании подобной установки необходимо изучить такие проблемы, как стоимость, надежность, потребление энергии и техническое обслуживание.

ИЗВЕСТНЫЕ МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

Трекер или системы прогнозирования могут работать как замкнутые, так и разомкнутые системы. Системы с замкнутым контуром используют концепцию обратной связи через устройства обнаружения света. В последнее время мониторинг перемещения облаков используется для сбора, позиционирования и последующего принятия решений для положения фотоэлектрической системы. Системы с открытым контуром не требуют использования обратной связи и работают с помощью математических алгоритмов, которые вычисляют астрономические координаты для позиционирования. В 1994 г. Poulek [7-9] разработал пассивную систему трекинга, основанную на осевых приводах, с идеей сплава с памятью (SMA). Привод SMA можно легко деформировать при относительно низких температурах работы (ниже 70 ° C), который возвращается к своей первоначальной форме при нагревании выше определенной температуры. Во время тепловых циклов привод SMA работает как тепловой двигатель.

В 2004 г. исследователи Клиффорд и Иствуд разработали недорогую пассивную систему слежения за экваториальными регионами с коэффициентом усиления 23% по сравнению с традиционными фиксированными фотоэлектрическими модулями. Однако предлагаемая система слежения учитывает только одну ось относительно видимого движения Солнца. Таким образом, эта система не может компенсировать изменения, вызванные углом широты во время смены сезонов года. Конструкция пассивного механизма слежения включает две биметаллические полосы (переборки) из алюминия и стали, расположенные на деревянной конструкции, симметрично с обеих сторон, с центральной горизонтальной осью, аналогичной схеме, показанной на рис.1.

В 1975 г. МакФи представила одну из первых активных систем слежения. Это алгоритм, разработанный для расчета полной мощности и распределения плотности потока в центральном приемнике солнечной энергетической системы. Это было достигнуто путем разбиения каждого зеркала на 484 элемента, а вычисление выполняется путем суммирования вклада каждого элемента. Положение Солнца определялось с допустимой погрешностью от 0,5° до 1°. Наиболее активные системы слежения могут быть классифицированы на основе логики их управления: метод даты и времени, микропроцессорные, электрооптические сенсорные и вспомогательные фотоэлементы. Активные системы слежения, которые используют микрообработку и электрооптические датчики, обычно состоят по меньшей мере из нескольких фоторезисторов или фотоэлементов, которые имеют те же требования к облучению и электрически сбалансированы, избегают любого управляющего антипараллельного сигнала в приводе. В системах со вспомогательными бифокальными солнечными элементами эти солнечные элементы обнаруживают и запускают систему для перехода в желаемое положение. В системах, основанных на контроле даты и времени, компьютер вычисляет положение Солнца через математические алгоритмы, генерируя сигналы управления системой.

В 1984 г. Зогби разработал двухосевую систему слежения (высота Солнца и азимутальный угол). Четыре электрооптических датчика были помещены в каждый квадрант, образованный двумя прямоугольными пластинами, пересекающимися друг с другом по линии. Блок управления

состоит из усилителя и других электронных компонентов для сравнения полученных сигналов от каждой пары датчиков и для управления двумя двигателями привода. Система возвращается в исходное положение в начале ночи. Если на выходе одного из датчиков сигнал превышает установленный порог, двигатель активируется усилителем, пока сигналы не будут меньше порога. Схема такой двухосевой системы слежения за Солнцем показана на рис.2. Автор заключает, что построенный прототип успешно работает в условиях переменной интенсивности света.

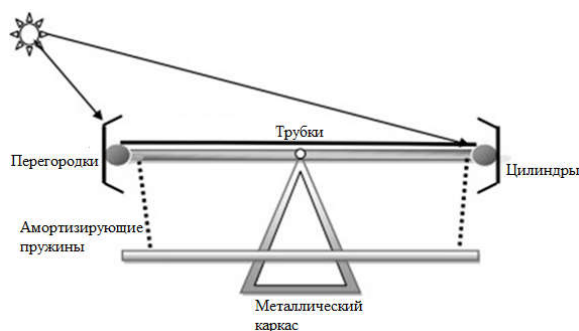


Рис. 1. Система слежения с использованием двух идентичных цилиндров, соединенных трубкой, заполненной жидкостью под давлением.

Сегодня задачей разработчиков является повышение эффективности солнечных трекеров, не повышая при этом энергозатраты на механизмы приведения в действие устройства слежения за Солнцем. В [10-11] рассмотрена математическая модель и симуляция солнечного трекера в импульсном режиме. Совершенствуются и способы получения информации о движении Солнца. В [12] проведен сравнительный анализ системы слежения за Солнцем с использованием фоторезисторов в качестве теневых датчиков и системы слежения, использующего солнечную панель в качестве датчика интенсивности солнечного излучения. Авторы пришли к выводу что при использовании двухосного трекера КПД солнечной панели может быть повышен на 30-40%.

Еще одним аспектом при проектировании солнечных трекеров является выбор алгоритма слежения за Солнцем. Если использовать фотоприемники в качестве датчиков интенсивности солнечного излучения, то при переменной облачности, в пасмурные дни из-за постоянных изменений интенсивности солнечного потока, датчики могут часто изменять свои значения и приводить в действие шаговые двигатели для изменения положения солнечной панели. Такие частые изменение положения панели приводят к затратам электроэнергии [12]. В [13-14] с целью разработки алгоритма слежения за Солнцем на основе поиска точки наибольшей мощности авторы моделируют систему слежения за Солнцем при различных температурах и уровне солнечного излучения.

Данный алгоритм дает возможность плавно изменять положение солнечной панели даже при резких изменениях интенсивности солнечного излучения в пасмурную погоду.

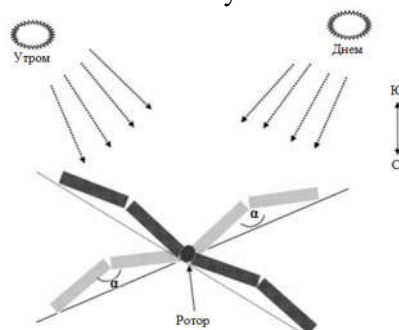


Рис. 2. Расположение фотоэлектрических модулей утром и днем.

Изготовление устройства солнечного трекера, использующего адаптивный метод слежения за Солнцем.

Общая структура системы управления трекером состоит из трех частей: механической конструкции, программного обеспечения и системы приводов.

В разработанной системе имеется солнечная батарея (СБ) $50 \times 35 \text{ см}^2$. Механическая конструкция, состоящая из СБ, базовой рамы, нижней рамы, цепной передачи исполнительных механизмов, показана на рис.3.



Рис. 3. Дизайн механической части солнечного трекера.

При сборке привода используются следующие компоненты:

- Микроконтроллер Atmega328 осуществляет цифровое управление, широко распространен, экономически эффективный и гибкий. К недостаткам относится частота работы резонатора в этой схеме, но для этой системы достаточно 16 МГц;
- Сервоприводы для точной ориентации к Солнцу;
- Фоторезисторы MLG4416 - используются для получения информации об уровне освещенности;
- Датчик тока предназначен для измерения постоянного или переменного тока с гальванической развязкой силовой цепи и цепей управления;
- Несколько резисторов по 10 кОм, печатная плата, корпус и соединительные провода.

На рис.4 представлена блок-схема двухосного солнечного трекера. Принцип работы основан на получении данных с двух пар фотодатчиков: одна пара контролирует горизонтальное смещение, а другая – вертикальное. Данные, полученные с фотодатчиков, обрабатываются микроконтроллером.

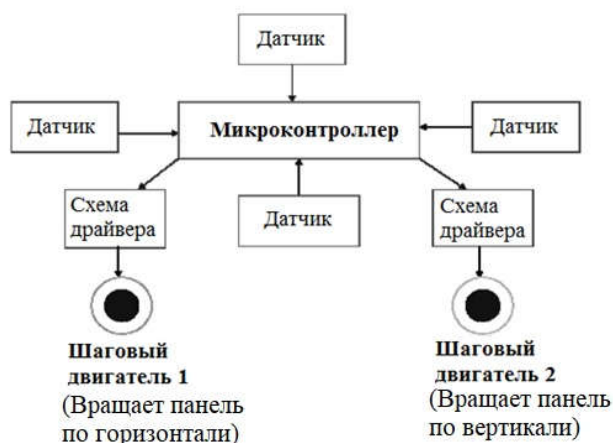


Рис. 4. Блок-схема двухосного солнечного трекера с алгоритмом точной ориентации к Солнцу.

На рис.5, 6 и 7 приведены вольтамперные характеристики и графики мощности солнечной батареи в различное время дня в летнее время. Наблюдения проводились при трех различных положениях солнечной батареи: а горизонтальном, под углом 45° и с использованием трекера. Как видно, кривая, соответствующая характеристикам трекера, лежит выше, чем остальные, что говорит об эффективности предложенного метода.

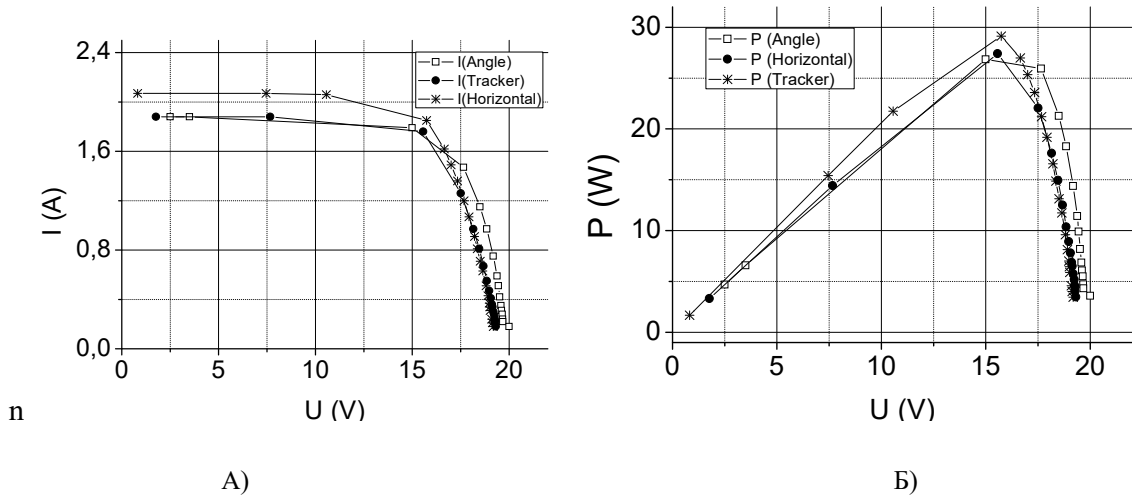


Рис.5. ВАХ (А) и график мощности (Б) солнечной батареи в 11:00 час. утра.

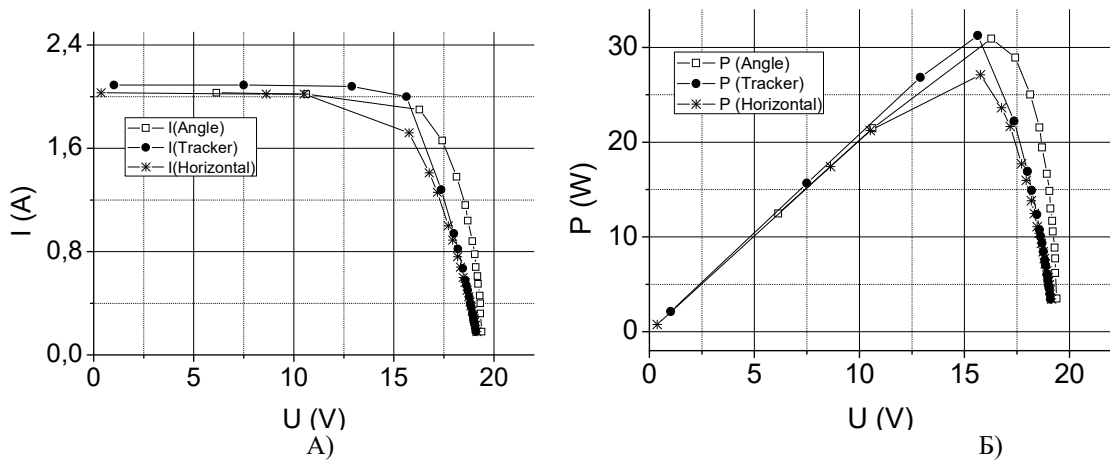


Рис. 6. ВАХ (А) и график мощности (Б) солнечной батареи в 13:00 час. дня.

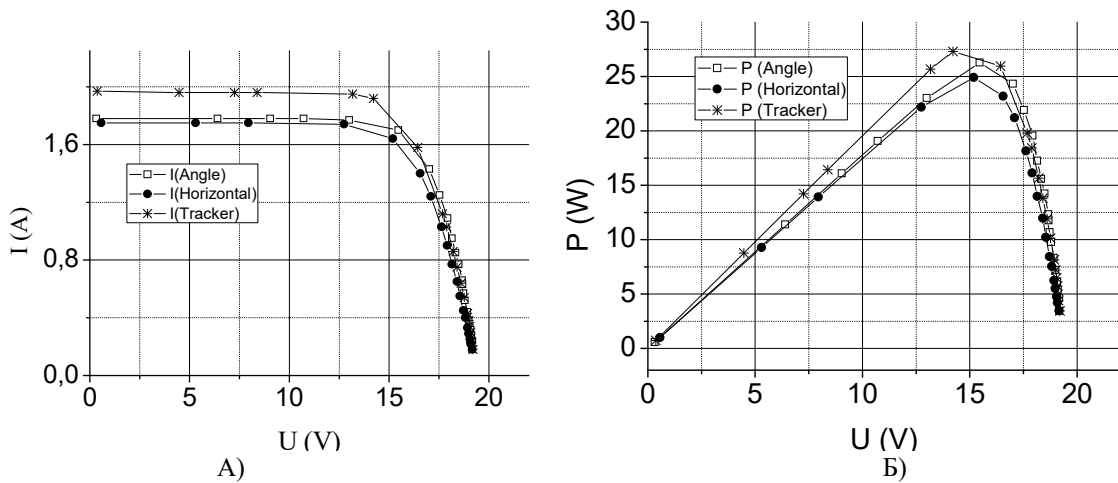


Рис. 7. ВАХ (А) и график мощности (Б) солнечной батареи в 15:00 час. дня.

Для расчета мощности использована формула:

$$P = IU. \tag{1}$$

КПД солнечной батареи можно рассчитать по формуле:

$$\eta = \frac{I_{mp}U_{mp}}{SP_{max}} \cdot 100\%, \tag{2}$$

где I_{mp} – пиковое значение тока, U_{mp} – пиковое значение напряжения, S – площадь солнечной панели, P_{max} – плотность солнечного излучения, $P_{\text{max}} = 1000 \text{ Вт/м}^2$.

Получено, что КПД СБ с солнечным трекером повысился на 4,22%, по сравнению со стационарным положением батареи под углом 45° , и на 9% по сравнению с горизонтальным положением СБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный метод слежения за Солнцем позволяет обеспечить точную ориентацию по отношению к Солнцу, и как следствие - максимальный КПД при эксплуатации системы. В результате проведенных экспериментов КПД солнечной батареи повысился на 4% по сравнению со стационарным положением.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cuong N. X., Hong N. T., Do Nhu Y. Analysis of the Sun Tracking Systems to Optimize the Efficiency of Solar Panels //European Journal of Technology and Design. 2016. №4. pp.144-151.
- [2] McEvoy, Augustin Joseph, Luis Castaner and Tom Markvart. Solar cells: materials, manufacture and operation. Academic Press. 2012.
- [3] Goetzberger Adolf, Joachim Luther, and Gerhard Willeke, Solar cells: past, present, future. Solar energy materials and solar cells 2002. V.74. N1. pp. 1-11.
- [4] Rambhawan Y., Oree V. Improving the dual-axis solar tracking system efficiency via drive power consumption optimization //Applied Solar Energy. 2014. V.50. №2. pp. 74-80.
- [5] Fahrenbruch Alan and Richard Bube. Fundamentals of solar cells: photovoltaic solar energy conversion. Elsevier. 2012.
- [6] Tudorache T., Kreindler L. Design of a solar tracker system for PV power plants //Acta Polytechnica Hungarica. 2010. V.7. №1. pp. 23-39.
- [7] Winter C. J., Sizmann R. L., Vant-Hull L. L. (ed.). Solar power plants: fundamentals, technology, systems, economics. – Springer Science & Business Media. 2012.
- [8] Clifford M. J., Eastwood D. Design of a novel passive solar tracker //Solar Energy. 2004. V.77. №3. pp. 269-280.
- [9] Poulek V., Libra M. New solar tracker //Solar energy materials and solar cells. 1998. V.51. №2. pp.113-120.
- [10] Desai H. P. et al. Maximum power extraction from photo-voltaic power generator with adaptive MPP tracker //Applied Solar Energy. 2010. V. 46. №4. pp. 251-257.
- [11] Desai H. P., Maheshwari R. Synchronized pulsed dc-dc converter as maximum power position tracker with wide load and insolation variation for stand alone PV system //Applied Solar Energy. 2011. V.47. №4. pp. 271-280.
- [12] Samanta A., Dutta A., Neogi S. A simple and efficient sun tracking mechanism using programmable logic controller // Applied Solar Energy. 2012. V.48. №3. pp. 218-227.
- [13] Mukti R. J., Islam A. Modeling and performance analysis of PV module with Maximum Power Point Tracking in Matlab/Simulink //Applied Solar Energy. 2015. V.51.№4. pp.245-252.
- [14] Natsheh E. M., Natsheh A. R., Albarbar A. H. An automated tool for solar power systems //Applied Solar Energy. 2014. V.50. №4. p. 221.

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Дата поступления

²Физико-технический институт АН РУз

17.01.2018

asaymbetov@gmail.com

*Содержание***Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую****Р.Р. Кобулов, Н.А. Матчанов, О.К. Атабоев**Морфология и фотоэлектрические характеристики тонкопленочной поликристаллической структуры SnO₂-CdS/Cu(InGa)Se₂-Ag.....3**Х.Б. Ашуров, Б.Р. Кутлимуротов, Б.Л. Оксенгендлер**

Фрактальное управление электронным спектром границ раздела в солнечных элементах на основе ковалентных полупроводников.....8

Гелиоустановки и их применение**А.К. Саймбетов, М.К. Нургалиев, Е. Тулкибайулы, Ё.К. Тошмуродов, Е.Д. Налибаев,****Г.Б. Досымбетова, Н.Б. Куттыбай, М.М. Гылымжанова, Е.А. Сванбаев**

Разработка метода повышения эффективности двухосного солнечного трекера с точной ориентацией к Солнцу.....15

Ж.С. Ахатов, К.А. Самиев, М.С. Мирзаев, А.Э. Ибраимов

Исследование теплотехнических характеристик солнечной комбинированной опреснительно-сушильной установки,21

Н.Р. Авезова, Э.Ю. Рахимов,**А.Э. Хаитмухамедов, Б.Б. Болиев, А.Ю. Усмонов**

Зависимость технико-экономических и экологических показателей плоских солнечных водонагревательных коллекторов в системах горячего водоснабжения от температуры нагрева воды.....30

Р.Р. Авезов, А.У. Вохидов, Н.О. Усмонов

Коэффициент теплопередачи от листотрубных лучепоглощающих панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов к теплоносителю в их теплоотводящих каналах.....36

Концентраторы солнечной энергии**А.А. Кучкаров, Ш.Р. Холов, А.А. Абдумуминов, А. Абдурахманов**

Оптико-энергетические характеристики оптимального модуля солнечной составной параболической установки.....43

Экономика и экология**А.М. Мирзабаев, В.П. Канонеров,****Т.А. Махкамов, О.Р. Сытдыков, Ш.М. Мирзабеков**

Фотоэлектрическая установка для электроснабжения базовых станций сотовых компаний.....48

Возобновляемые источники энергии**У.А. Гаджиев, Е.И. Киселева, Р.А. Захидов**

Опыт и возможности использования энергоресурсов водохранилищ комплексного назначения, расположенных в аридной зоне.....52