

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

А.В. Волгин, А.В. Юрченко, А.В. Козлов, М.В. Китаева

В статье описана система мониторинга работы фотоэлектрических модулей и энергетических систем на их основе, фотоэлектрических датчиков и система ориентации на солнце. Представлены результаты натурных испытаний фотоэлектрических модулей в условиях Сибири и дальнего Востока.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, системы мониторинга, система ориентации.

В условиях уменьшения мировых запасов природного топлива (невозобновляемых ресурсов), большое внимание уделяется использованию солнечной энергии путем прямого преобразования в электрическую энергию. Для этой цели применяются кремниевые фотоэлектрические модули (ФМ). В настоящее время солнечные электростанции строятся не только в странах с высокой солнечной активностью, но практически во всех регионах мира с различными климатическими условиями. В связи с тем, что стоимость традиционных источников энергии стремительно растет, в настоящее время в регионах без стационарной сети электропитания вместо дизельных электрогенераторов все чаще применяют солнечные энергетические системы (СЭС). Это не только позволяет снизить экологическую нагрузку на экосферу, но и экономически выгодно.

В связи с расширением географии использования солнечной энергии - анализ многолетней работы СЭС в реальных условиях и разработка методики прогнозирования использования СЭС в регионах Сибири и Дальнего Востока являются актуальной научной задачей [1].

Постановка задачи

Для построения адекватной методики прогнозирования необходимо создать модель работы ФМ с учетом воздействия доминирующих факторов, а также провести натурные испытания СЭС и ФМ при одновременном мониторинге параметров атмосферы и характеристик ФМ.

Актуально изучение влияния доминирующих факторов на энергетические характеристики ФМ и СЭС и, соответственно разработка устройств, позволяющих проводить мониторинг работы и управление ФМ при воздействии климатических факторов.

Факторы, влияющие на работу ФМ. При выборе устройств мониторинга, а также факторов, влияющих на работу солнечных эле-

ментов и батарей, в реальных условиях необходимо учитывать различные процессы, протекающие во время работы батарей. Например, при преобразовании любого типа энергии часть уходит на нагревание элементов. То же самое происходит в ФМ – поверхность может нагреваться до 80 -100 °С. Это приводит к изменению параметров установки, повышенному износу солнечного элемента, уменьшению эффективности ФМ. Так как при повышении температуры (да и вообще изменении) свойства кремния меняются, то необходимо изучение влияния температуры и освещенности на фотоэлектрические и радиационные характеристики солнечных элементов, работающих в реальных условиях.

Факторы, влияющие на работу ФМ, можно разделить на две группы:

аппаратные, обусловленные особенностью конструкции и технологией изготовления ФМ, углом размещения по отношению к горизонту;

климатические, обусловленные воздействием различных климатических параметров на выходные энергетические характеристики ФМ (например, солнечная радиация, температура воздуха, влажность, скорость ветра, концентрация аэрозолей).

Экспериментальная часть

Для проведения натурных испытаний в различных регионах РФ в конце 2004 г. в лаборатории физики солнечных элементов ЭФФ ТПУ была спроектирована мобильная станция мониторинга работы ФМ. Она позволяет измерять ВАХ ФМ, температуру ее рабочей поверхности, количество поступающей на поверхность ФМ солнечной энергии, температуру, влажность и давление воздуха.

Мобильная станция мониторинга работы ФМ. Мобильная станция мониторинга работы солнечной батареи содержит эквивалент нагрузки (ЭН), блок управления, средства для измерения параметров учитывающих климатические и аппаратные факторы: дат-

РАЗДЕЛ III. НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

чик температуры воздуха (ДТВ), датчик давления воздуха (ДДВ) датчик влажности воздуха (ДТВ), датчик температуры рабочей поверхности солнечной батареи (ДТП), средства для измерения суммарной солнечной радиации – пиранометр (П). Эквивалент нагрузки и измерительные средства соединены с блоком управления, а эквивалент нагрузки имеет вход для соединения его с исследуемой солнечной батареей. Мобильная станция разработана на основе микроконтроллера PIC 16F877 и обеспечивает синхронизацию с ПЭВМ посредством платы ФМора данных LA20USB[2].

На рисунке 1 приведена блок схема мобильной станции мониторинга работы солнечной батареи.

С использованием мобильной станции мониторинга работы ФМ в течении 2004–2008 гг. были проведены испытания различных типов ФМ (таблица 1) в различных регионах

Сибири и Дальнего Востока (оз. Байкал, гг. Томск, Новосибирск, Иркутск, Абакан, Владивосток). Таблица 1. Типы ФМ и места проведения испытаний

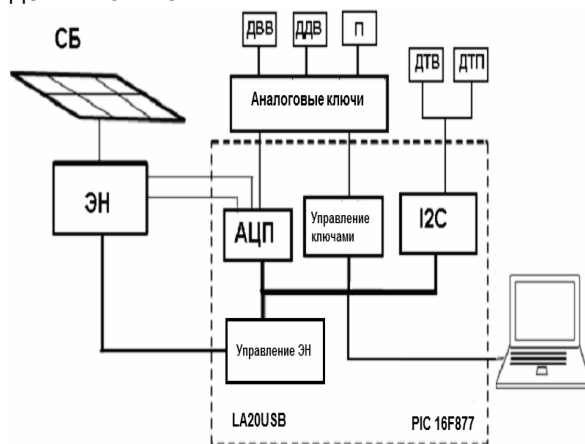


Рисунок 1 - Блок схема системы мониторинга работы солнечной батареи

Тип ФМ	Объем выборки	Мощность, Вт	Время испытаний	Место	Контролируемые параметры	Тип конструкции
СБ-14-10	18408	10	1996-2003 гг.	Томск (ИОА СО РАН)	Ток КЗ, 38 параметров атмосферы	Триплекс
СБ-200 «ОЛЬХОН»	253	200	Зима 2002 г.	Томск (НИИПП)	ВАХ, основные параметры атмосферы	Триплекс
ФСМ 1,5-3 «Артика»	511	1,5	2006 г.	Томск, Новосибирск, Абакан	ВАХ, солнечная радиация, температура воздуха и СБ	Текстолит
ФСМ 50/14	2628	25	2005-06 гг.	Томск (ИОА СО РАН, НИИПП)	ВАХ, основные параметры атмосферы	Стекло/ пленка
ФСМ 25/14	1276	25	2005-07гг.	Томск, Новосибирск, о. Байкал	ВАХ, основные параметры атмосферы	Стекло/ пленка
ФСМ 25/14	373	25	2007 г.	Владивосток	ВАХ, основные параметры атмосферы	Стекло/ пленка

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований с использованием мобильной станции была собрана база данных, включающая: даты, времени проведения измерений, метеопараметров, температуры ФМ и ее характеристик. С учетом данных, собранных с 1996 г.[2], объем базы данных составил более чем 20000 записей. Такое количество данных достаточно для проведения статистического анализа и построения уравнений регрессии.

Данная база данных позволила на основе методов статистической обработки разра-

ботать математическая модель солнечных энергетических систем с погрешностью оценки выработки мощности не более 5% [3].

Статистическая модель работы ФМ. Первым этапом регрессионного анализа является определение вероятностного взаимного влияния параметров друг на друга. Для этого, используя множественный корреляционный анализ, были рассчитаны парные коэффициенты корреляции, характеризующие тесноту связи между факторами, влияющими на работу ФМ. Затем, используя парные коэффициенты корреляции, был построен следующий граф, рисунок 2.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2010

Для расчета максимальной вырабатываемой мощности ФМ, с учетом климатических факторов, которые влияют на напряжение и ток ФМ, можно использовать многофакторный анализ. Его принцип заключается в построении такого уравнения плоскости в $(p+1)$ -мерном (p – число факторов) пространстве, отклонение результатов наблюдений y_i от которой были бы минимальны. Или другими словами, следует вычислить значения коэффициентов b_0, b_j в линейном полиноме:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n x_i b_i, \quad (1)$$

где y – функция отклика; x – факторы, влияющие на функцию отклика.

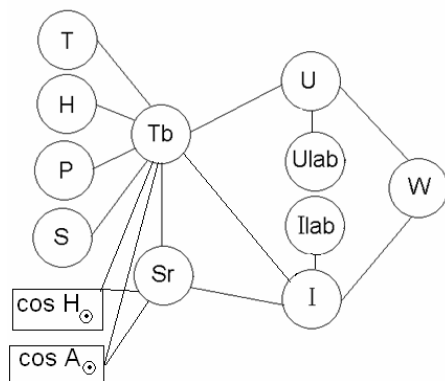


Рисунок 2 - Граф работы фотозлектрических модулей: T, H, P – температура, влажность и давление воздуха; S – скорость ветра; $\cos H$ – косинус угла наклона Солнца над горизонтом, $\cos A$ – азимут Солнца, T_b – температура ФМ; S_r – солнечная радиация; U_{lab}, I_{lab} – напряжение и ток ФМ, измеренные в лабораторных условиях; W – мощность, вырабатываемая ФМ

Температура рабочей поверхности:

$$T_{ФМ} = T_{лаб.ФМ} + 0,81 \cdot (T_{возд} - T_{лаб.возд}) - 0,06 \cdot HUM - 0,01 \cdot Press - 0,24 \cdot SPD + 0,06(SR_{ФМ} - SR_{лаб}), \quad (2)$$

где $T_{лаб.ФМ}$ – температура ФМ, измеренная в лабораторных условиях; $T_{возд}$ – температура воздуха; $T_{лаб.возд}$ – температура воздуха, измеренная в лабораторных условиях; HUM – влажность воздуха, %; $Press$ – давление воздуха, мм. рт.ст.; SPD – скорость ветра, м/с; $SR_{лаб}$ – суммарная солнечная радиация установленная на имитаторе в лабораторных условиях (обычно 1000 Вт/м²).

Напряжение холостого хода ФМ

$$U_{xx} = U_{xx.лаб} - 0,1 \cdot (T_{ФМ} - T_{лаб.ФМ}), \quad (3)$$

где $U_{xx.лаб}$ – напряжение холостого хода ФМ, измеренное в лабораторных условиях.

Рабочее напряжение ФМ:

$$U_{раб} = 0,728 \cdot U_{xx}. \quad (4)$$

Ток короткого замыкания ФМ:

$$I_{кз} = I_{кз.лаб} + 0,01 \cdot (T_{СБ} - T_{лаб.ФМ}) - 0,004 \cdot HUM + 0,005 \cdot (SR_{ФМ} - SR_{лаб})$$

где $I_{кз.лаб}$ – ток короткого замыкания, измеренный в лабораторных условиях [3].

Рабочий ток ФМ:

$$I_{раб} = 0,763 I_{кз}. \quad (5)$$

Максимальная вырабатываемая мощность:

$$P_{раб} = U_{раб} \cdot I_{раб} \quad (6)$$

где $U_{раб} \cdot I_{раб}$ – рабочее напряжение и ток.

На основе статистической модели были произведены расчеты выработанной энергии солнечными батареями по различным моделям, также на график нанесена произведенная энергия ФМ в стационарном состоянии и с использованием системы управления и слежения за солнцем (рис. 3). Использование данных систем позволяет увеличить отбор мощности до 30% на широте г.Томска, в связи с этим была разработана система управления и слежения за солнцем[4]. Структурная схема системы представлена на рис. 4.

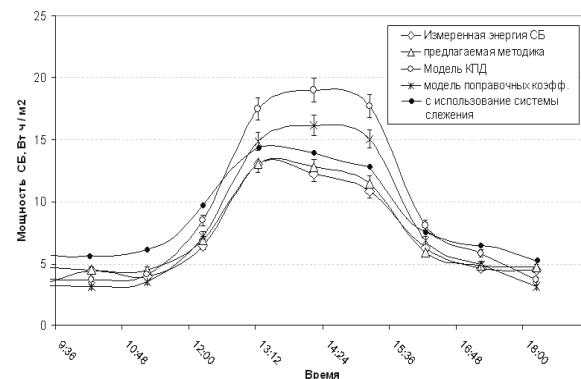


Рисунок 3 - Сравнение мощностей ФМ, рассчитанных по различным моделям: 1) реальной, для сравнения, 2) на основе статистической модели 3) на основе использования КПД ФМ, 4) на основе поправочных коэффициентов, 5) реальной, с использованием системы слежения за солнцем

Система мониторинга, контроля и управления СЭС. Элементы фотозлектрического датчика (ФЭД), установленного на одной плоскости с ФМ, преобразуют световой поток в токи, пропорциональные освещенности каждого элемента. Токи поступают в Блок контроллера, где преобразуются в напряжение, которое усиливается для согласования с диапазоном входных сигналов аналогового цифрового преобразователя (АЦП) с помощью операционного усилителя (ОУ).

АЦП микроконтроллера (МК) последовательно преобразовывает напряжения всех трех сигналов в соответствующие цифровые коды. Все цифровые коды считываются в МК и обрабатываются по заложенному алгоритму.

РАЗДЕЛ III. НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

му.

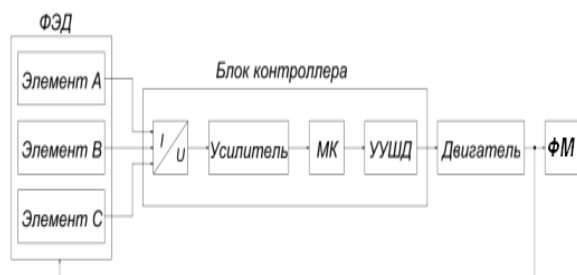


Рисунок 4 - Структурная схема системы слежения за Солнцем на основе ФЭД

МК подает на устройство управления шаговым двигателем (УУШД) код, соответствующий необходимому направлению и повороту ФМ и ФЭД. УУШД по сигналам МК коммутирует токи в обмотках шагового двигателя (ШД), обеспечивая тем самым поворот в нужном направлении и на заданный угол.

На основе проведенного анализа датчиков систем ориентирования, разработана и апробирована модель датчика (рисунок 5), в котором учтены температурное влияние и влияние фонового излучения минимальны.

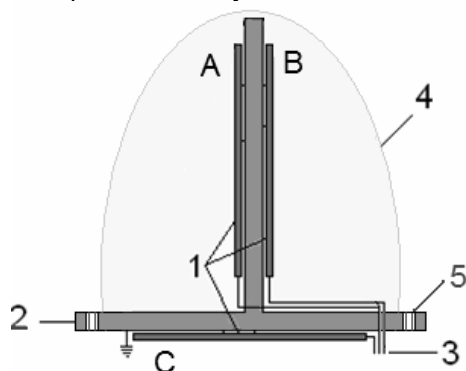


Рисунок 5 - Конструкция ФЭД: 1 - три идентичных ФЭП (элементы А, В, С); 2- теплопроводящая перегородка; 3- соединительные провода; 4 - защитное стекло; 5 - отверстия для винтов

В качестве фоточувствительных элементов выбран кремниевый фотоэлектрический преобразователь (ФЭП). В основе датчика: два лицевых элемента для определения положения Солнца, третий тыловой элемент (С) – для исключения влияния рассеянного излучения и для запуска системы утром.

Элементы А и В установлены на разные стороны перегородки, что позволяет компенсировать влияние разности температур. Также перегородка служит токопроводящим элементом. Элемент С необходим для измерения рассеянного излучения, исключения его влияния на два других датчика и запуска

системы в утренние часы. Он расположен так, чтобы его плоскость была повернута от Солнца, таким образом, он измеряет только фоновое излучение. Утром, в то время как лицевые элементы отвернуты от Солнца, тыльный ориентирован на него, что воспринимает блок контроллера и подает команду поворота ФМ на восток.

Разработанный датчик имеет возможность ориентирования только по одной координате, т.к. исследования показали, что добавление второй координаты ориентирования (сезонного угла), усложняет механику конструкции и ощутимо увеличивает стоимость системы. Угол перемещения солнца относительно горизонта в течение года изменяется незначительно, в отличие от эклиптики, меняющейся в течение дня, поэтому рентабельнее использовать одноосную систему и раз в месяц вручную устанавливать угол наклона относительно горизонта.

Главные преимущества данного метода: простота, автономность, необходимая для ФМ точность наведения.

Проведены натурные испытания разработанного датчика, при различных погодных условиях и при использовании разных углов между элементами А и В.

Испытания показали, что наиболее эффективна работа датчика при угле 20 град, что доказывает приведенная зависимость чувствительности датчика от угла наклона между элементами А и В (рисунок 6).

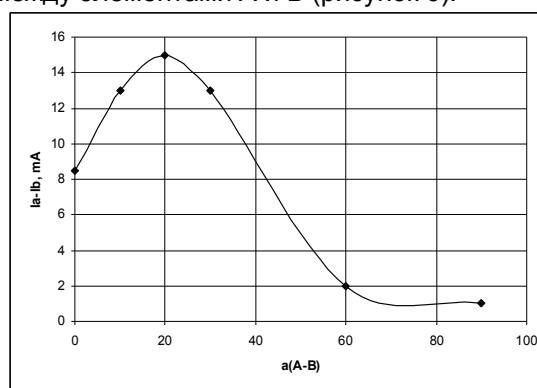


Рисунок 6 - Зависимость чувствительности датчика от угла наклона

Как мы видим при выбранном угле разницы между сигналами А и В максимальна

Разработана принципиальная схема блока контроллера, его печатная плата с возможностью питания от ФМ, создан алгоритм работы программы МК.

В разработанной схеме используются следующие элементы: ОУ - AD8554AR для ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2010

усиления напряжения пропорционального освещенности элементов ФЭД, МК - Atmega8L для оцифровки сигналов, сравнения и выработки управляющего кода, УУШД - ULN2803A для преобразования кода МК в сигналы управления ШД.

Система мониторинга, контроля и управления солнечной энергетической системой СЭС-240Вт. В 2009 г. была разработана и установлена на крыше 10 корпуса НИ ТПУ (г.Томск) СЭС-240Вт. Для оценки эффективности применения подобных систем для конечного потребителя разработана автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ). В лабораторных условиях была построена АСКУЭ на этапе т.н. «последней мили» с применением оборудования компании «Инкотекс».

АСКУЭ состоит из 2-х счетчиков Меркурий-203.2Т (RS-232) и Меркурий 201 (PLC), концентратора Меркурий 225, преобразователя интерфейсов Меркурий-221 и программного обеспечения на ЭВМ.

Данные по PLC каналу поступают от счетчика M201 к концентратору M225, где предварительно обрабатываются и хранятся в энергозависимой памяти, затем передаются на ЭВМ. Данные от счетчика M203.2Т поступают через преобразователь интерфейсов M221(RS-232<->COM) непосредственно на ЭВМ.

АСКУЭ состоит из 2-х счетчиков Меркурий-203.2Т (RS-232) и Меркурий 201 (PLC), концентратора Меркурий 225, преобразователя интерфейсов Меркурий-221 и программного обеспечения на ЭВМ.

Данные по PLC каналу поступают от счетчика M201 к концентратору M225, где предварительно обрабатываются и хранятся в энергозависимой памяти, затем передаются на ЭВМ. Данные от счетчика M203.2Т поступают через преобразователь интерфейсов M221(RS-232<->COM) непосредственно на ЭВМ.

С помощью ПО АСКУЭ осуществляет контроль не только за потреблением от городской сети, но и от солнечного энергетического комплекса мощностью 240 Вт. Это позволяет оценивать эффективность практического применения СЭС. Блок схема системы мониторинга, контроля и управления СЭС-240Вт представлена на рисунке 7.

Выводы

Спроектирована и изготовлена мобильная станция мониторинга работы фотоэлектрических модулей, контролирующая ее основные характеристики совместно с температурой, влажностью, давлением воздуха, скоростью ветра, суммарной солнечной радиацией.

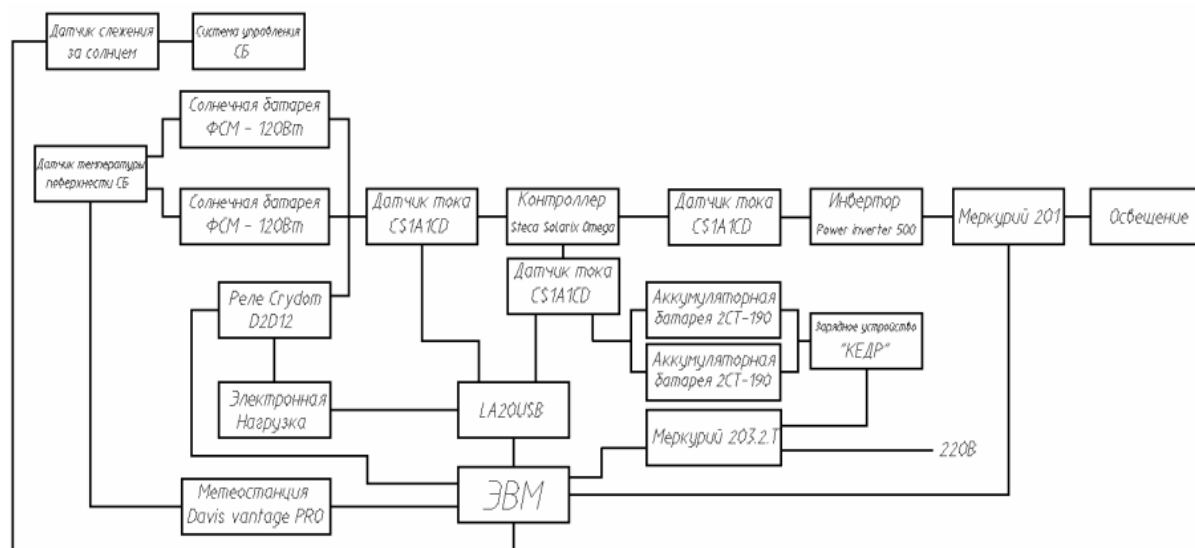


Рисунок 7 - Система мониторинга, контроля и управления солнечной энергетической системой СЭС-240Вт

С использованием мобильной станции проведены испытания кремниевых фотоэлектрических модулей в различных регионах Сибири и Дальнего Востока. Создана база дан-

ных, состоящая из метеопараметров и параметров исследуемых модулей.

Создана система мониторинга работы энергетических систем с элементами управ-

РАЗДЕЛ III. НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

ления: система слежения за солнцем и АСКУЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yurchenko, A.V. The long-term prediction of silicon solar batteries functioning for any geographical conditions / A.V. Yurchenko, A.V. Kozlov Proceedings of 22st European PV Solar Energy Conference and Exhibition, Milan 3-7 September 2007, pp.3019-3022.
2. Юрченко, А.В. Результаты климатических испытаний солнечной батареи в натурных условиях г. Томска. // А.В. Юрченко, А.В. Козлов, В.К. Ковалевский. -Светотехника. 2005. – №1. – С. 37-41.
3. Юрченко, А.В. Статическая модель кремниевых солнечных батарей, работающих под воздействием природных и аппаратных факторов. // А.В. Юрченко, А.В. Волгин, А.В. Козлов. - Известия ТПУ, 2009 - Т. 314, - № 4. - с. 142-148.
4. Юрченко, А.В. Фотоэлектрический датчик для систем слежения за Солнцем./ А.В. Юрченко, А.В. Волгин, М.В. Китаева, А.В. Охорзина. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010 – с.36-37.
5. Юрченко, А.В. Мобильная станция мониторинга работы солнечных батарей в натурных условиях. // А.В. Юрченко, А.В. Козлов. - Датчики и системы. 2006. – №9. – С. 64-67.
6. Юрченко, А.В. Влияние параметров атмосферы на энергетические характеристики кремниевой солнечной батареи.//А.В. Юрченко, Б.Д. Белан, А.В. Козлов, Д.А. Пестунов Оптика атмосферы и океана. 2005. – Т.18.- №8. – С. 731-734.

К.т.н., доцент Юрченко А.В., тел. 8-913-82-60-301, e-mail: niipr@inbox.ru; аспирант, Волгин А.В., студент, Китаева М.В., Национальный исследовательский Томский политехнический университет, кафедра информационно - измерительной техники (г. Томск); к.т.н., с.н.с., Козлов А.В., Институт оптики атмосферы СО РАН (г. Томск).

УДК: 621.317.18

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ КОНЦЕНТРАТОМЕТРОВ

Д.Е. Кривобоков

Рассмотрены схемы реализации измерительных преобразований в индукционных бесконтактных кондуктометрических приборах контроля штыревого типа. Выполнен анализ и представлены достоинства и недостатки измерительных схем, предложен компенсационный вариант измерительных преобразований.

Ключевые слова: кондуктометр, первичный измерительный преобразователь, компенсация, погрешность измерений, прибор контроля

Введение

Решение современных задач измерения параметров в технологическом процессе промышленных предприятий связано с необходимостью анализировать достаточно сложный объект контроля. Сложность связана с тем, что параметры, характеризующие объект, находятся в зависимости от нескольких величин, характеризующих как сам объект, так и условия, в которых он находится.

Всё это в полной мере относится к кондуктометрическим приборам контроля и измерительным установкам на их основе, использующимся для определения концентраций электролитов, как правило, в водных растворах.

Цель работы – рассмотреть способы уменьшения погрешности функциональных

преобразований сигналов с первичных измерительных преобразователей в выходные сигнал кондуктометрических концентратометров.

Известно, что удельная электрическая проводимость (УЭП) жидкости зависит от концентрации электролита и температуры. Поэтому, измерив УЭП и температуру, можно рассчитать и концентрацию электролита. Как правило, эта зависимость нелинейная и в некоторых случаях содержит экстремальные точки. Традиционный метод построения такой зависимости основан на применении кусочно-линейных функций, получаемых путём линейной аппроксимации экспериментальных данных в линейных, с точностью до требуемой погрешности, диапазонах измеряемых величин [1].