

## Краткие сообщения

УДК 621.37

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРХНИМИ РАБОЧИМИ ВОРОТАМИ СУДОХОДНОГО ШЛЮЗА**

***Е.В. Мельников, С.А. Колпащиков, И.А. Данилушкин***

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: idanilushkin@mail.ru

*Обсуждаются результаты активного эксперимента по изучению динамических характеристик системы гидропривода подъемно-опускного щита ворот судоходного шлюза. Приведено описание экспериментальной установки.*

**Ключевые слова:** *судоходный шлюз, верхние рабочие ворота, эксперимент, энкодер, счетчик импульсов, характеристика, программируемый логический контроллер, обработка сигнала.*

В настоящее время в России производится ряд работ по реконструкции водных путей. Необходимость реконструкции вызвана предаварийным состоянием гидротехнических сооружений, обеспечивающих поддержание заданных параметров судоходных путей, неоптимальными режимами эксплуатации и малой пропускной способностью существующих сооружений.

В рамках этих работ предусмотрена реконструкция Балаковского шлюза с заменой существующей системы управления на современную, построенную по распределенному принципу на базе ПЛК фирмы «Шнейдер Электрик».

Перед проведением проектных работ на шлюзе № 25 Балаковского района гидротехнических сооружений и судоходства (РГСис) были выполнены работы по снятию характеристик с системы управления гидроприводом щита верхних рабочих ворот (ВРВ). Целью данных работ являлось: проверка правильности выбранных технических решений по контролю за состоянием щита ВРВ; оценка быстродействия примененных технических средств контроля; снятие динамических характеристик гидросистемы шлюза № 25; оценка профиля скорости движения стороны щита ворот; контроль за динамикой перекоса ворот; подготовка к проведению экспериментальных работ на шлюзе № 26.

Перемещение щита ВРВ осуществляется с помощью двух независимых гидроцилиндров, установленных по обеим сторонам шлюза. Управление подачей масла в каждый из гидроцилиндров осуществляется маслonaпорными установками (МНУ).

---

*Евгений Владиславович Мельников (к.т.н.), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».*

*Сергей Александрович Колпащиков (к.т.н.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».*

*Иван Александрович Данилушкин (к.т.н.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».*

Контроль за перекосом щита ВРВ происходит с помощью сельсинов. В случае возникновения перекоса при подъеме щита ВРВ на опережающей стороне открывается золотник синхронизации, обеспечивающий сброс давления в гидроцилиндре и снижение скорости подъема опережающей стороны. Аналогичным образом контролируется перекося при опускании щита ВРВ.

Все работы, связанные с постановкой эксперимента на шлюзе № 25, производились без вмешательства в штатные системы управления шлюзом и не влияли на его работоспособность. Снятие экспериментальных характеристик осуществлялось с помощью трех измерительных преобразователей, обеспечивающих измерение статического давления в гидросистеме маслonaпорной установки (МНУ) ВРВ, положения края щита ВРВ и величины перекоса щита ВРВ.

На базе контроллера Modicon M340 фирмы «Шнейдер Электрик» был собран комплекс автоматического сбора и первичной обработки данных от измерительных преобразователей. Данные регистрировались с максимально возможным быстродействием. Интервал между соседними измерениями составлял от двух до четырех миллисекунд. На контроллере формировался циклически перезаписываемый буфер на 15 записей. Каждая запись содержала метку времени и текущие показания датчиков. Содержимое буфера передавалось по сети Ethernet на регистрирующий компьютер с максимально возможной частотой. Для повышения быстродействия весь буфер передавался одной Modbus-посылкой, которая без дополнительной обработки записывалась в файл-архив. Полученного быстродействия оказалось достаточно для регистрации данных без потерь при передаче между контроллером и компьютером.

Для измерения положения стороны щита ВРВ на оси сельсин-датчика, установленного в колонке управления ВРВ, был смонтирован инкрементальный энкодер E6C2-CWZ5GH фирмы Omron, имеющий разрешение 1000 импульсов на оборот. Выходной сигнал с энкодера подавался на высокоскоростной вход счетчика импульсов контроллера. Величина перекоса щита ВРВ определялась с помощью абсолютного энкодера E6C3-AG5C фирмы Omron, установленного на ось сельсин-датчика, открывающего сливной клапан системы синхронизации. Энкодер с параллельным десятиразрядным интерфейсом обеспечивал разрешающую способность 0,35 град. Съём показаний с датчика осуществлялся модулем контроллера Modicon M340 с 16 дискретными входами постоянного напряжения.

Монтаж датчиков перемещения осуществлялся с помощью кронштейнов, крепимых трубами на силовых конструкциях МНУ ВРВ. Такое решение позволило быстро смонтировать систему измерения и провести ее демонтаж без остановки эксплуатации шлюза. Датчик статического давления с унифицированным токовым выходом 4 – 20 мА, с верхним пределом измерения 160 кгс/см<sup>2</sup> устанавливался на место штатного манометра в гидросистему МНУ ВРВ. Датчик обеспечивал измерение давления в системе с быстродействием 0,5 с.

Снятие характеристик МНУ ВРВ производились при выполнении следующих операций: наполнить камеру шлюза; открыть ВРВ; закрыть ВРВ.

Измерения производились многократно, на каждой стороне шлюза, с целью дальнейшей статистической обработки данных и удаления случайных погрешностей.

На рис. 1 – 4 приведены результаты проведенных измерений параметров движения ворот береговой стороны. Представленные данные были предварительно обработаны для исключения повторяющихся записей из файла-архива, соответствующих ситуации, когда запись значений параметров в файл-архив происходила с большей частотой, чем частота изменений измерительных сигналов на входах контроллера.

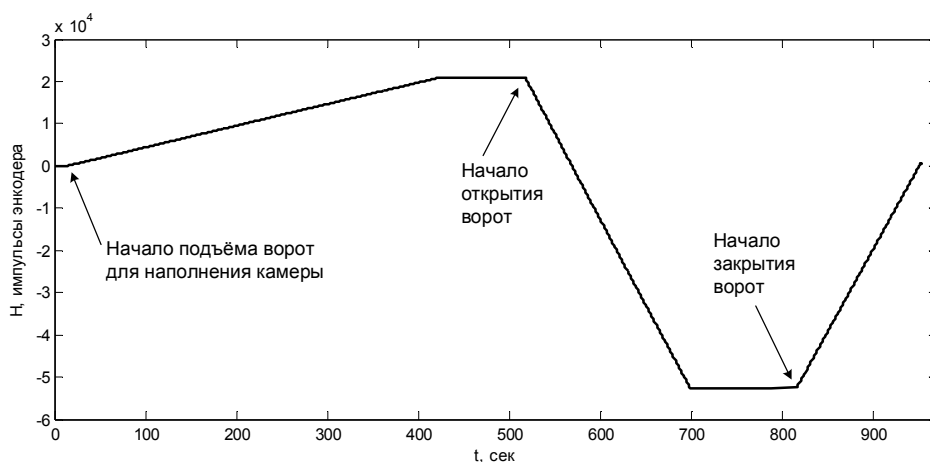


Рис. 1. График изменения положения стороны щита ВРВ

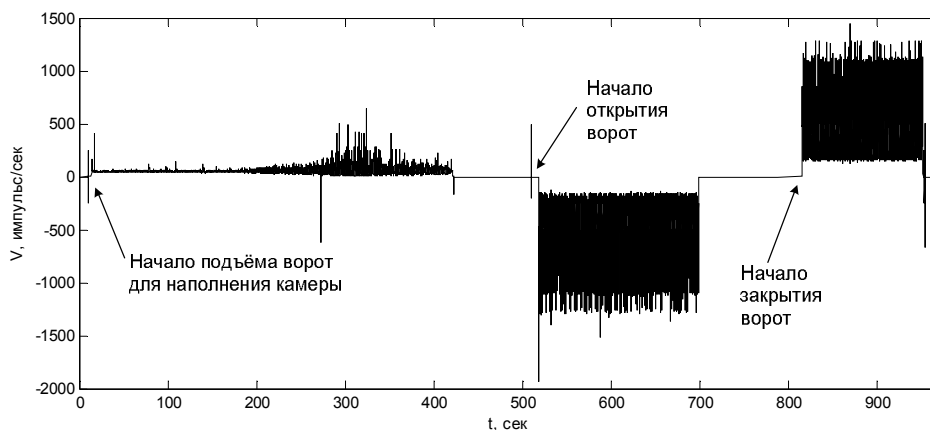


Рис. 2. График скорости движения стороны щита ВРВ

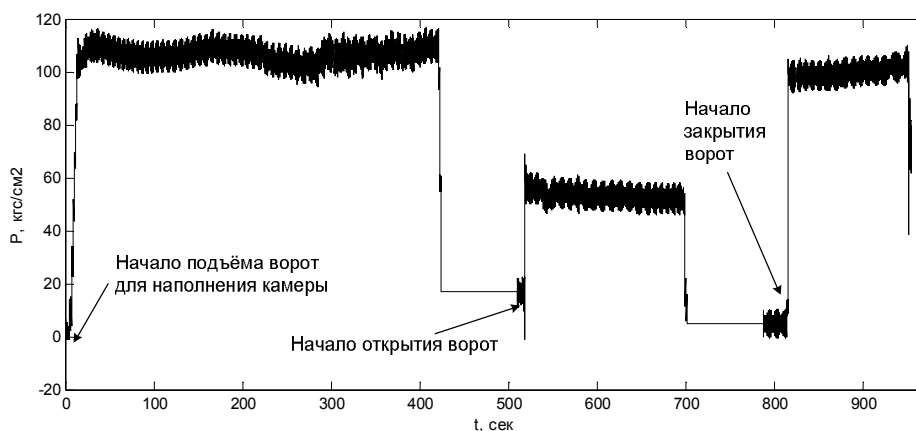


Рис. 3. График изменения давления в гидроцилиндре ВРВ

Как видно из представленного графика скорости движения щита ВРВ (рис. 2), при выполнении операций опускания и подъема щита ВРВ с максимальной производительностью МНУ происходит резкое изменение параметра, вызванное заеданием

направляющих. Графики (рис. 1 – 3) будут использоваться в дальнейшем для параметрической идентификации динамической модели МНУ ВРВ.

На рис. 4 приведен график работы системы синхронизации сторон щита ВРВ. Как видно из представленных данных, при открытии ворот происходит запаздывание береговой стороны.

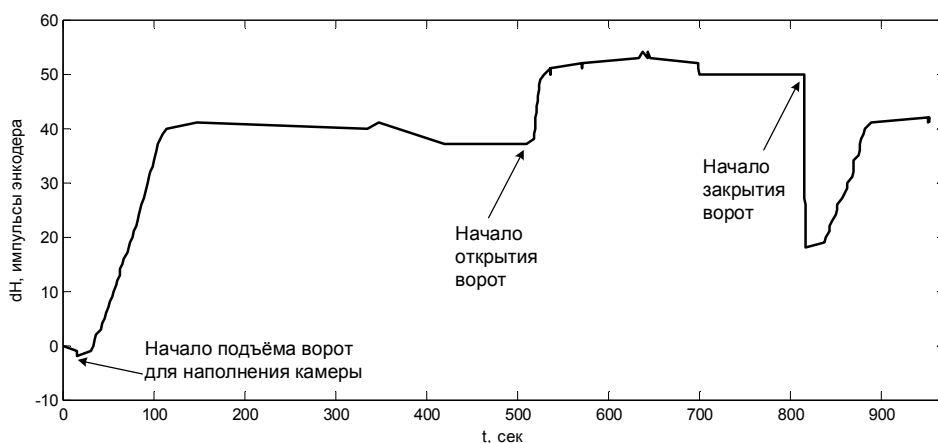


Рис. 4. График изменения величины перекоса щита ВРВ

Проведя анализ полученных данных, можно сделать следующие выводы:

- перемещение щита ВРВ сопровождается рывками, вызванными заеданием направляющих;
- система синхронизации обеспечивает стабилизацию положения ворот в диапазоне 13 % от полного диапазона регулирования.

При проведении повторных экспериментальных исследований подобных установок рекомендуется оснастить комплекс автоматического сбора информации дополнительным датчиком для оценки характера и величин быстро протекающих процессов в МНУ ВРВ. Для этого предлагается использовать быстродействующий датчик давления, измеряющий динамические процессы в гидросистеме МНУ ВРВ. Датчик позволит определить наличие гидроударов в системе, их характер и частоту возникновения.

*Статья поступила в редакцию 25 декабря 2012 г.*

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF CONTROL SYSTEM OF UPPER WORKING LOCK GATE

*E.V. Melnikov, S.A. Kolpaschikov, I.A. Danilushkin*

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The results of the active experiment to study the dynamic characteristics of hydraulic lifting sluice gate of navigation lock are discussed. It is given a description of experimental setup.*

**Keywords:** *navigation lock, upper working lock gate, experience, encoder, impulse counter, feature, programmable logic controller, signal processing.*

---

*Evgeny V. Melnikov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Sergey A. Kolpaschikov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Ivan A. Danilushkin (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗОНЫ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЛЮФТА В КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПРИВОДА ПОДАЧИ КООРДИНАТНО-РАСТОЧНОГО СТАНКА**

**Я.И. Пешев, С.С. Саранцев**

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244


E-mail: sarmail87@mail.ru

*Рассмотрена проблема автоматического измерения величины люфта в кинематической цепи привода подачи координатно-расточного станка. Представлен алгоритм измерения и функциональная схема, реализующая метод.*

**Ключевые слова:** автоматизация, измерение, люфт, нелинейность, электропривод.

Поскольку механически люфт не всегда возможно исключить (в некоторых случаях он создается преднамеренно), то для снижения его влияния разработан ряд программно-аппаратных способов компенсации (осуществление форсированного реверса исполнительного электродвигателя для скорейшего введения в зацепление зубьев механической передачи). Основным требованием для применения программно-аппаратных способов коррекции люфта является необходимость точного измерения величины люфта. В связи с этим разработана методика автоматического измерения величины зоны нечувствительности люфта, содержащегося в кинематической цепи привода подачи КРС.

Процесс измерения величины зоны нечувствительности люфта разделен на три этапа. На первом этапе (рис. 1 – от  $t_0 = 0$  сек до  $t_1 = 5$  сек) производится введение зубьев в зацепление для того, чтобы обеспечить одинаковые начальные условия при проведении процесса измерения. На втором этапе (рис. 1 – от  $t_1 = 5$  сек до  $t_2 = 10$  сек) производится проверка отсутствия внешних возмущающих воздействий на систему, способных снизить точность результатов измерения. На третьем этапе (рис. 1 – от  $t_2 = 10$  сек до  $t_3 = 13,5$  сек) происходит непосредственное измерение зоны нечувствительности люфта.

Функциональная схема экспериментальной установки для измерения величины люфта представлена на рис. 2. На рис. 2 введены следующие обозначения: БКЛ – блок коррекции люфта; ВУ – вычислительное устройство блока коррекции люфта; РС – регулятор скорости; СП – силовой преобразователь (РС и СП входят в структуру привода FR-A 740 – 00052 ЕС производства Mitsubishi); ДВ – синхронный электродвигатель; ДС – датчик скорости электродвигателя; Ред – редуктор;  – люфт; ДП – датчик положения; S(t) – выходной сигнал системы;  $\omega_{3Д}(t)$  – сигнал задания скорости вращения электродвигателя;  $\omega_{ДВ}(t)$  – скорость вращения электродвигателя; ШИМ – широтно-импульсный модулятор вычислительного устройства; ДІ – дискретный вход вычислительного устройства; АО – аналоговый выход вычислительного устройства.

Процесс измерения происходит следующим образом: в момент начала измерения (см. рис. 1,  $t = t_0 = 0$  сек) в вычислительном устройстве обнуляются счетчики положения входного ( $n1$ ) и выходного ( $n2$ ) валов. Далее вычислительное устройство формирует на аналоговом выходе положительный сигнал задания скорости вращения электродвигателя. Двигатель начинает вращать входной вал редуктора с шестерней ( $Z1$ ), расположенной на нем по направлению хода часовой стрелки. Счетчики входных ( $n1$ ) и выходных валов ( $n2$ ) начинают инкрементироваться.

Вращение будет осуществляться до тех пор, пока значение счетчика импульсов положения выходного вала не достигнет  $n2 = n_{\alpha_p}$  ( $t = t_1 = 5$  сек), что соответствует повороту выходного вала на угол  $\alpha_p$  ( $\alpha_p$  – угол поворота выходной шестерни на величину шага зуба). Величина угла поворота шестерни, равная углу  $\alpha_p$ , выбирается исходя из того, что максимально возможная величина люфта в механическом соединении не может превысить этот угол ( $\alpha_p > \alpha_{л}$ ), то есть поворот выходного вала редуктора на угол  $\alpha_p$  будет означать, что люфт гарантированно выбран. Затем счетчики положения входного и выходного валов обнуляются ( $n1 = n2 = 0$ ), двигатель продолжает вращаться в том же направлении. Вращение будет осуществляться до тех пор, пока значение счетчика выходного вала не составит  $n2 = n_{\alpha_p}$ . Поскольку люфт в редукторе был выбран, значения счетчиков импульсов датчиков положения входного и выходного валов редуктора должны быть равны ( $n1 = n2$ ). Отсутствие равенства значений счетчиков будет означать неточность выполнения эксперимента, причиной которого могут служить неточность ввода данных, действие на систему возмущающего воздействия и т. д. В таком случае вычислительное устройство выдаст сигнал ошибки и процесс измерения будет остановлен.

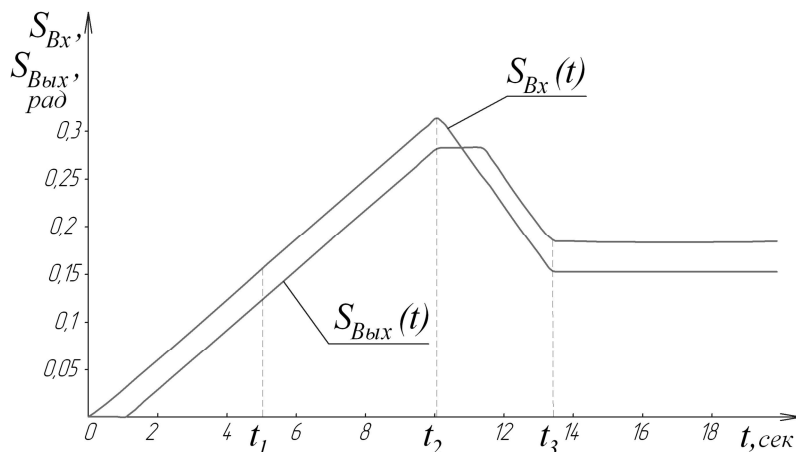


Рис. 1. Графики изменения угла поворота входного и выходного валов редуктора

Если значения счетчиков импульсов датчиков положения входного и выходного валов редуктора достигнут значения  $n1 = n2 = n_{\alpha_p}$ , вычислительное устройство изменит знак сигнала задания скорости (рис. 3,  $t = t_2 = 10$  сек) и входной вал редуктора будет вращаться в направлении, противоположном ходу часовой стрелки.

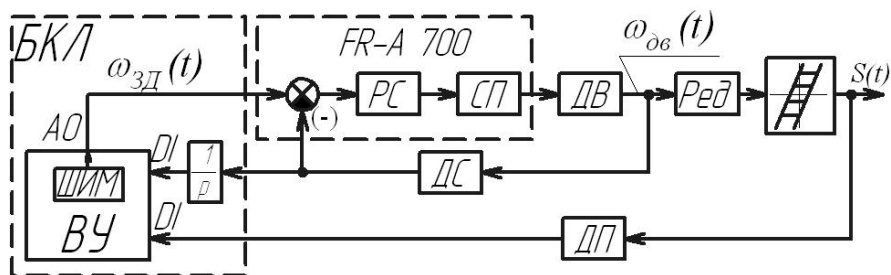


Рис. 2. Функциональная схема привода подачи экспериментальной установки

Как только значение счетчика импульсов датчика положения, расположенного на входном валу, будет равно нулю  $n1 = 0$  при  $t = t_3 = 13,5$  сек, значение в счетчике положения выходного вала ( $n2$ ) будет соответствовать искомой величине люфта. На этом цикл измерения считается окончанным, серводвигатель останавливается, а измеренная величина люфта сохранится в памяти вычислительного устройства. Блок-схема процесса измерения величины зоны нечувствительности люфта показана на рис. 1.

На рис. 3. введены следующие обозначения: 1 – инициализация процесса измерения величины люфта; 2 – переход; 3 – ввод числа зубьев шестерен редуктора ( $p$ ); 4 – сброс счетчиков ( $n1 = 0$ ;  $n2 = 0$ ); включение сигнала вращения электродвигателя в прямом направлении; 5 – провернулся ли входной вал редуктора на угол  $\alpha_p = 360^\circ / p$  ( $n1 = n_{\alpha_p}$ ); 6 – сброс счетчиков ( $n1 = 0$ ;  $n2 = 0$ ); включение сигнала вращения электродвигателя в прямом направлении; 7 – провернулся ли входной вал редуктора на угол  $\alpha_p = 360^\circ / p$  ( $n1 = n_{\alpha_p}$ ); 8 – проверка условия  $n1 = n2 = n_{\alpha_p}$ ; 9 – включение сигнала вращения электродвигателя в противоположном направлении; 10 – показать сообщение «Ошибка процесса измерения»; 11 – проверка условия  $n1 = 0$ ; 12 – сохранение измеренной величины люфта редуктора ( $2C = n2$ ).

Следует заметить, что точность измерения люфта напрямую зависит от точности датчика, контролирующего положение исполнительного органа (в экспериментальном стенде – угловой датчик положения выходного вала редуктора), и скорости вращения выходного вала редуктора во время измерения (скорость вращения должна выбираться из условий скорости обработки датчиков положения).

Как было отмечено ранее, недостатком программно-аппаратных способов коррекции люфта является необходимость точного измерения величины люфта.

Поскольку в процессе работы станка происходит износ узлов станка, их температурные деформации и т. д., существует необходимость в периодическом замере

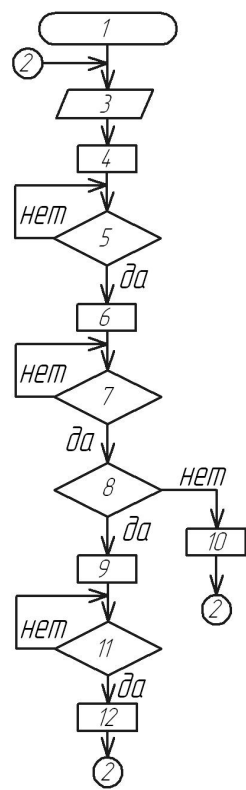


Рис. 3. Блок-схема процесса измерения величины зоны нечувствительности люфта

величины люфта, что легко реализуется за счет применения представленного автоматического способа измерения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лысов В.Е., Саранцев С.С.* Математическая модель позиционно-слеящего электропривода с линеаризованной нелинейностью в кинематической цепи // Компьютерная интеграция и ИПИ-технологии: Сб. материалов V Всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург: ИП Осиночкин Я.В., 2011. – 639 с.
2. *Лысов В.Е., Саранцев С.С.* Повышение динамической точности позиционно-слеящего электропривода с нелинейностью типа «люфт» в кинематической цепи // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2011. – № 1 (29). – С. 179-184.

*Статья поступила в редакцию 4 декабря 2012 г.*

### **EXPERIMENTAL MEASUREMENT OF THE SIZE OF DEAD ZONE OF THE BACKLASH IN KINEMATICAL CHAIN OF DRIVE SYSTEM OF JIG BORING MACHINE**

***Y.I. Peshev, S.S. Sarantsev***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The problem of an automatic measurement of the size of dead zone of the backlash in kinematical chain of the jig boring machine is considered in this paper. Algorithm of automatic measurement and functional scheme of this system are given.*

***Keywords:*** *automatic, backlash, nonlinearity, measurement, electric motor drive.*

---

*Yaroslav I. Peshev, Engineer.  
Stanislav S. Sarantsev, Postgraduate Student.*



## АНАЛИЗ И МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ВЫБОРКИ МАКСИМАЛЬНОГО ПОДОБИЯ

*И.М. Сунагатов*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Проведен обзор метода экстраполяции выборки максимального подобия. Предложен вариант повышения точности метода путем адаптации метода авторегрессии.*

**Ключевые слова:** *методы прогнозирования, энергопотребление, экстраполяция максимального подобия, авторегрессия, математическое моделирование.*

Цель статьи – рассмотрение методов прогнозирования энергопотребления с применением авторегрессий, экстраполяции выборки наибольшего подобия и предложение вариантов повышения точности.

Назовем выборкой отрезок временного ряда определенной длины с параметром начала и окончания, который лежит внутри исходного временного ряда. Последовательность выборок составляет исходный ряд. Предполагается, что фактические выборки могут быть подобны будущим выборкам. С учетом данного суждения аппроксимация выборки может использоваться для построения модели.

«Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия» использовалась для прогнозирования Чучуевой Е.А. в кандидатской диссертации, где приводится таблица сравнения различных методов прогнозирования [1]. В этом сравнении присутствуют авторегрессионные модели и методы, которым приписываются следующие характеристики:

- трудоемкость и ресурсоемкость идентификации моделей;
- невозможность моделирования нелинейностей;
- низкая адаптивность.

В работе представлены вариант решения задачи идентификации моделей, оценки подобия выборок и проанализированы результаты прогноза, которые не отстают от результатов многих представленных стран по точности (величине ошибки) прогноза. Сравнение точности методов приведены в таблице.

Модель внешне довольно проста, описывается двумя компонентами – авторегрессия  $\alpha_2 Z_{k \max + M}^P$  и внешний фактор  $\alpha_1 X_{T+1}^P$ :

$$Z_{T+1}^P = \alpha_2 Z_{k \max + M}^P + \alpha_1 X_{T+1}^P, \quad (1)$$

где  $Z_{T+1}^P$  – прогнозные значения;  $M$  – определенная модель, соответствующая выборке максимального подобия;  $Z_{k \max + M}^P$  – выборка максимального подобия;  $P$  – значение временного ряда;  $X_{T+1}^P$  – выборка прогноза внешнего фактора;  $\alpha$  – коэффициенты;  $k$  – задержка временного ряда, соответствующая минимуму ошибки регрессии и максимуму модуля корреляции ( $m$ ).

Автор указывает на важность оценки времени работы метода на вычислительной машине с определенным максимальным значением количества операций в секунду и

прилагает значения замеров вычислительных нагрузок, создаваемых методом экстраполяции максимально подобных выборок, продолжительность которых примерно равна 3,5 минутам. Указывается также положительное влияние совмещения таких методов, которые конкурируют друг с другом на разных временных участках.

### Обзор работ по прогнозированию энергопотребления

№	Работа, год публикации	Временные ряды по региону	Полученная точность, %
1	[2], 2006	Шанхайская энергосистема (Shanghai Power Grid)	2.8 – 3.4 % в зависимости от модели
2	[2], 2006	Подстанции Франкфурта (Frankfurt-Substation)	2.04 %
3	[3], 2010	Обзор методов прогнозирования	1.26 – 4.81 % в зависимости от модели
4	2009	Энергосистема Виктории (Victorian Power System, Австралия)	2.64 %
5	[4], 2008	Энергосистема штата Орисса (Восточная Индия)	2.96 – 5.27 % в зависимости от алгоритма обучения модели
6	[5], 2008	Энергосистемы различных стран Европы (10 стран)	0.80 – 2.90 % для различных моделей, стран и времени упреждения
7	[6], 2010	Энергосистема Малайзии	0.99 %
8	[7], 2010	Энергосистема Костромской области	2 – 5 % в зависимости от модели
9	2009	Энергопотребление поселка Жиганск, Республика Саха (Якутия)	3 – 5 % для различных моделей
10	[8], 2011	Энергопотребление ОАО «Мордовская энергосбытовая компания»	1.43 – 2.75 % для различных дней недели
11	2007	Энергопотребление ОАО «Костромская энергосбытовая компания»	2 – 5 % для различных дней недели

Автор принимает для сравнения и модель авторегрессии распределенного лага, описываемого уравнением

$$Z(t) = \varphi_0 + \varphi_1 Z(t-l-1) + \dots + \varphi_p Z(t-l-p) + \varepsilon_1, \quad (2)$$

где  $Z(t)$  – процесс,  $\varphi_0, \varphi_1$  – коэффициенты,  $l$  – величина лага,  $\varepsilon_1$  – значение ошибки.

Значение процесса  $Z(t)$  линейно зависит от некоторого количества предыдущих значений того же процесса  $Z(t-1), \dots, Z(t-p)$ .

Модель (1)–(2) называется ARDLM(p, l) и чаще всего применяется для моделирования экономических процессов.

В методе экстраполяции модель с учетом лагов не используется. В статье «Выбор методики краткосрочного прогнозирования электропотребления региона» указывается на воздействие лага, уровень влияния которого нельзя получить, взяв за основу только максимально подобные аппроксимации и экстраполяцию.

Принцип подобия для задачи прогнозирования рядов с сезонностью [9] используют многие авторы [10]. Для прогноза таких рядов решается задача правильной оценки ряда и идентификации. В автореферате [11] выявление сезонных волн выполняется с помощью ортогонального сингулярного разложения.

Рассмотрев модификации авторегрессий, можно выделить достоинства, такие как относительная простота, прозрачность моделирования [12]; единообразие анализа и проектирования; множество примеров применения и также отсутствие эффекта «проклятия размерности», что положительно сказывается на быстродействии метода.

В пользу регрессионной модели можно указать то, что ресурсоемкость идентификации также относится ресурсоемкости в целом нейросетевых моделей. Этот факт, учитывая важное качество методов «прозрачность вычислений», ставит метод регрессий в более выгодное положение относительно нейросетевых.

Точность прогноза авторегрессионного метода можно повысить, устранив один из его недостатков, такой как «низкая адаптивность». Адаптировать [13] к изменениям тренда можно путем анализа на каждом шаге изменения ошибки. Анализ ошибки можно производить, вычисляя относительную величину. Отклонение ошибки от допустимого интервала можно анализировать, добавляя в модель аномальное поведение в описании дневного, недельного или другого сезонного тренда. На следующем шаге, принимая условия изменения, повышать ранг данного явления. В случае, если основной тренд не будет обеспечивать допустимую точность, его можно не брать в расчет. Некоторое количество шагов новые данные анализируется, и если они более точны, то принимается в расчет новый основной тренд (ряд с коэффициентами более высокого ранга). Данный способ напоминает базу знаний и ведет к увеличению объема вычислений, но это можно решить, производя анализ накопленных правил путем оценки корреляции их между собой. Один из двух сильно коррелирующих между собой правил по принципу меньшего среднеквадратичного отклонения относительно фактического потребления подлежит удалению из расчетов.

Данный метод можно использовать с методом экстраполяции по наибольшему правдоподобию. В этом случае будут иметься эталонные графики, относительно которых будет вычисляться регрессионная зависимость от температуры, влияние распределенных лагов, влияние сезонности, адаптированные значения регрессии. В этом случае наиболее правдоподобные графики с учетом адаптивности будут изменяться на каждом шаге, в котором алгоритм поймет, что тренд изменился.

В этих методах всегда будет видна логика, соответственно алгоритм прозрачен. В качестве дополнительного анализа нужно ввести прогнозирование значения ошибки  $\varepsilon_1$  и параметр в виде коэффициента к значению ошибки. В этом случае прогнозная ошибка будет описывать доверительный интервал.

## **Заключение**

В статье рассмотрен внедренный метод экстраполяции выборок максимального подобия и предложен вариант повышения его точности путем анализа ошибки и корректировки коэффициентов, т. е. вариант адаптации метода к изменениям временного ряда.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Чучуева Е.А.* Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.18. – М., 2012. – 16 с.
2. *Jingfei Yang M. Sc.* Power System Short-term Load Forecasting: Thesis for Ph.d degree. Germany, Darmstadt, Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universitat, 2006. 139 p.
3. *Bunnoon P., Chalermyanont K., Limsakul C.* A Computing Model of Artificial Intelligent Approaches to Mid-term Load Forecasting: a state-of-the-art-survey for the researcher // IACSIT International Journal of Engineering and Technology. 2010, No.1. P. 94 – 100.
4. *Mishra S.* Short term load forecasting using computation intelligence methods: Thesis for the degree of

- Master of technology electronics and communication engineering. India, Rourkela, National Institute Of Technology, 2008. 89 p.
5. *Taylor J.W., McSharry P.E.* Short-Term Load Forecasting Methods: An Evaluation Based on European Data // IEEE Transactions on Power Systems 2008, Vol. 22. P. 2213 – 2219.
  6. *Norizan M., Maizah Hura A., Zuhaimy I.* Short Term Load Forecasting Using Double Seasonal ARIMA Model // Regional Conference on Statistical Sciences, Malaysia, Kelantan, 2010. P. 57 – 73.
  7. *Сидоров С.Г., Никологорская А.В.* Анализ временных рядов как метод построения потребления электроэнергии // Вестник ИГЭУ. – 2010. – Вып. 3. – С. 81 – 83.
  8. *Соломкин А.В.* Краткосрочное прогнозирование потребления электроэнергии с помощью нейросетевых методов // Электроника и информационные технологии [электронный ресурс]. 2011, № 1. 5 с. URL: [http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/Forecasting\\_electricity\\_consumption.pdf](http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/Forecasting_electricity_consumption.pdf) (дата обращения 28.08.2011).
  9. *Фармер Э.Д.* Метод предсказания нестационарных процессов и его применение к задаче оценки нагрузки: Труды II Международного конгресса ИФАК. – М.: Наука, 1965. – С. 416-434.
  10. *Макоклюев Б.И.* Методы и средства анализа и планирования электропотребления энергообъединений и энергосистем: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – М., 2005. – 43 с.
  11. *Сухомлинова О.А.* Моделирование процесса электропотребления при краткосрочном прогнозировании методами ортогональных разложений: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.18. – Ростов-на-Дону, 2005. – 20 с.
  12. Анализ временных рядов и прогнозирование: Учеб. пособие / Н.А. Садовникова, Р.А. Шмойлова. – Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. – М., 2001. – 67 с.
  13. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.: ил.
  14. Прогнозирование эконометрических временных рядов: Учеб. пособие / Е.П. Чураков. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 208 с.: ил.
  15. *Сунагатов И.М., Чернышев С.В.* Обзор подходов и методов, применяемых в краткосрочном прогнозировании энергопотребления. Информационные, измерительные и управляющие системы (ИИУС-2012): Материалы III Международной научно-технической конференции. 29-31 мая 2012. – Самара: СамГТУ, 2012. – 356 с.
  16. *Чернышев С.В., Сунагатов И.М.* Выбор методики краткосрочного прогнозирования электропотребления региона. Математическое моделирование и краевые задачи: Труды Седьмой всероссийской научной конференции с международным участием. Ч. 4: Информационные технологии в математическом моделировании. – Самара: СамГТУ, 2010. – 208 с.: ил.

*Статья поступила в редакцию 24 декабря 2012 г.*

## **ANALYSIS AND MODIFICATION OF THE FORECASTING METHOD OF ENERGY CONSUMPTION USING THE EXTRAPOLATION OF SAMPLING THE MAXIMUM SIMILARITY**

***I.M. Sunagatov***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*A review of the extrapolation method of maximum likelihood sample. A variant of the method to improve the accuracy by adapting the method of autoregression.*

***Keywords:*** forecasting methods, energy, the extrapolation of maximum likelihood, autoregression, mathematical modeling.

---

*Ildar M. Sunagatov, Postgraduate Student.*

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИНТЕГРИРУЮЩИХ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

**К.Ю. Пискаев**

Пензенская государственная технологическая академия  
440039, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11

*В настоящее время  $\Sigma\Delta$ -АЦП благодаря их уникальным метрологическим и техническим характеристикам являются стандартом де-факто при построении высокоточных измерительных систем, однако способы достижения этих характеристик зачастую не учитывают особенностей области применения. В статье проанализированы недостатки основных способов повышения точности  $\Sigma\Delta$ -АЦП с точки зрения их использования в изделиях ответственного назначения.*

**Ключевые слова:** изделия ответственного назначения,  $\Sigma\Delta$ -АЦП, погрешность квантования, повышение точности  $\Sigma\Delta$ -АЦП, весовое интегрирование.

Под изделиями ответственного назначения будем понимать сложные технические системы, примером которых могут служить изделия ракетно-космической техники (РКТ). Изделие под воздействием необходимых управляющих сигналов выполняет целевую функцию и в каждый конкретный момент времени может быть охарактеризовано многокомпонентным вектором параметров, описывающим тепловые, пневматические, гидравлические, химические, электрические и другие явления. Ключевой задачей определения текущего состояния изделия в рамках контроля и управления является задача измерения этих параметров с требуемой точностью и быстродействием, причем быстродействие чаще всего должно соответствовать скорости протекания контролируемых процессов, то есть режиму реального времени.

В соответствии с процессом измерения на первом этапе применяют датчики физических величин. Число параметров современных изделий ответственного назначения может составлять тысячи единиц, при этом их подавляющее большинство преобразуется в напряжение или ток, общий динамический диапазон которых достигает 120 дБ, а частота – сотен кГц. Для обеспечения современных требований к единству и точности измерений на втором этапе применяют интегрирующие АЦП (ИАЦП), реализующие алгоритм так называемого сигма-дельта ( $\Sigma\Delta$ )-преобразования. Для данных преобразователей можно однозначно утверждать, что во всех случаях, когда удовлетворяются необходимые требования по быстродействию, они наиболее полно соответствуют совокупности требований по точности, надежности и простоте реализации. Поскольку отклонение от расчетного значения какого-либо параметра изделия может быть вызвано различными неисправностями, то на третьем этапе осуществляют анализ измерительной информации. Чем сложнее изделие, тем более разнообразные средства применяют для анализа существенно увеличивающихся объемов информации [1-6].

Сложность реализации подсистемы сбора измерительной информации в изделиях ответственного назначения обусловлена следующими факторами:

– большое количество разнообразных параметров (в зависимости от сложности изделия может применяться до нескольких тысяч датчиков) [3];

- высокий уровень внешних широкополосных помех, характеристики которых зависят от конкретного изделия и даже конкретного режима работы этого изделия;
- широкий диапазон рабочих температур (от  $-40$  до  $+80$  °С) совместно с ограничением по мощности и массогабаритным размерам для бортовой аппаратуры [2-4].

Пропуски информации, потери в точности, временные задержки напрямую сказываются на правильности принимаемых команд управления и могут привести к необратимым последствиям. Поэтому применяемые алгоритмические и технические решения, обеспечивающие требуемые характеристики ИАЦП по точности и быстродействию, должны учитывать особенности предметной области.

Современные  $\Sigma\Delta$ -АЦП (рис. 1), используемые в подсистеме сбора и обработки информации, представляют собой достаточно сложные устройства. Первоначально была создана базовая структура  $\Sigma\Delta$ -АЦП, состоящая из одного интегратора, одноразрядного квантователя (компаратора), одного одноразрядного ЦАП и цифрового фильтра, выполняющего простую операцию усреднения [5, 7].

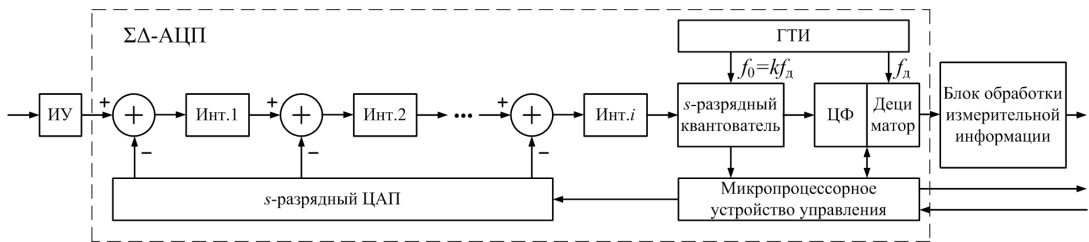


Рис. 1. Подсистема сбора и обработки измерительной информации на основе  $\Sigma\Delta$ -АЦП: ИУ – измерительный усилитель; Инт. – интегратор; ГТИ – генератор тактовых импульсов; ЦФ – цифровой фильтр;  $f_0$  – частота синхронизации квантователя;  $f_d$  – частота дискретизации;  $k$  – коэффициент передискретизации

Современный путь развития можно объяснить следующим: в  $\Sigma\Delta$ -АЦП осуществляется уравнивание значения  $\int_0^{T_n} U_x dt$  последовательностью значений

$$\sum_{i=1}^n \int_0^{T_0} U_0^+ dt \text{ и } \sum_{j=1}^m \int_0^{T_0} U_0^- dt, \text{ где } U_x \text{ – постоянное преобразуемое напряжение, } U_0^+ \text{ и } U_0^- \text{ –}$$

значения положительного и отрицательного опорных напряжений,  $n$  и  $m$  – целые числа,  $T_0$  – длительность такта синхронизации компаратора,  $T_n = (n + m)T_0$  – интервал преобразования (рис. 2).

Так как  $U_x$  может принимать бесконечное число значений, а все остальные величины конечны, то процесс полного завершения преобразования именно за время  $T_n$  может произойти только в конечном числе случаев. В остальных случаях имеет место методическая погрешность  $\Delta R$ . Соответствующая этому математическая модель имеет следующий вид:

$$\int_0^{T_n} U_x dt - \left[ \sum_{i=1}^n \int_0^{T_0} U_0^+ dt + \sum_{j=1}^m \int_0^{T_0} U_0^- dt \right] = \begin{cases} 0 \\ \Delta R \end{cases}$$

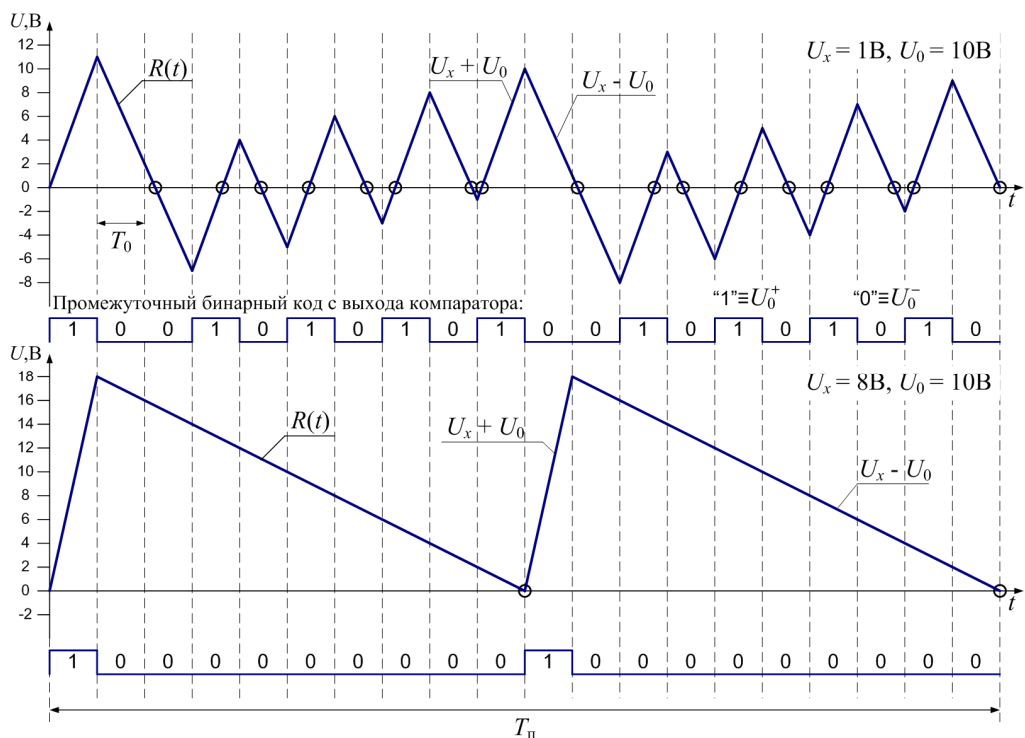


Рис. 2. Временные диаграммы работы базовой структуры  $\Sigma\Delta$ -АЦП:  
 $R(t)$  – развертывающая функция, форма напряжения на выходе интегратора

Методическую погрешность  $\Delta R$  в зарубежных источниках называют погрешностью квантования, и прогресс в этой области шел по пути ее уменьшения [5, 7].

Во-первых, увеличение разрядности квантователя и ЦАП пропорционально снизило погрешность квантования, при этом ЦАП стал по сложности равен прямому каналу преобразования.

Во-вторых, стали увеличивать количество интеграторов. Поскольку каждое дополнительное интегрирующее звено обеспечивает лучшее подавление шума квантования, в современных  $\Sigma\Delta$ -АЦП (*ADS1278*, *AD7195*) используют до 5 каскадов интегрирования. Увеличение числа каскадов интегрирования свыше трех приводит к появлению неустойчивых состояний ИАЦП. Затраты времени на выход из такого состояния (процедура «сброса») приводят к пропускам информации.

В-третьих, уменьшения влияния шумов квантования на результат преобразования можно добиться уменьшением длительности  $T_0$ . Для этого интегратор реализуется по схеме на переключаемых конденсаторах и формируется максимально возможный для данной элементной базы режим быстрогодействия системы «интеграторы – квантователь – ЦАП». Это означает, что в моменты, отмеченные на рис. 2 кружками, повышается неопределенность принятия решений. Поэтому считается, что шум квантования становится случайной величиной с равномерным законом распределения; как следствие, делается вывод о том, что результат преобразования может быть определен только в среднем.

Рассмотрим последние разработки *Texas Instruments*: измерительный преобразователь *ADS131e08* при  $f_0 = 2048\text{кГц}$  имеет ряд частот дискретизации 1, 2, 4, 8, 32, 64кГц; *ADS1282* при  $f_0 = 4096\text{кГц}$  обеспечивает дискретизацию от 250 до 4000Гц, что дает представление о применяемых в них ЦФ и коэффициентах передискретиза-

ции [6]. Каждое удвоение частоты дискретизации в квантователе увеличивает значение  $SNR$  на 3,02 дБ в соответствии с выражением  $SNR = 3,52 + 12,04N + 20\lg(k)$ , где  $N$  – разрядность АЦП,  $k$  – коэффициент передискретизации [7]. Важно отметить, что при реализации на ПЛИС цифровой фильтра  $k$ -го порядка только на умножение уходит  $k \times N^2$  элементов при  $N$ -разрядном сигнале.

Как указывалось, работа изделия ответственного назначения характеризуется очень высоким уровнем помех различного типа. В этом случае считать, что погрешность квантования имеет равномерный закон распределения и можно выбрать в соответствии с приведенной формулой  $\Sigma\Delta$ -АЦП, обеспечивающий требуемое соотношение «точность – быстродействие», не представляется возможным. В принципе можно получить ряд аналогичных формул для различных законов распределения, но поскольку для каждого конкретного изделия и даже каждого конкретного режима работы изделия эти законы свои, то данный подход нерационален.

Таким образом, возникает задача достижения характеристик современных  $\Sigma\Delta$ -АЦП на основе других методов и средств, свободных от указанных недостатков. Анализ показал, что наиболее перспективным для решения поставленной задачи является метод весового интегрирования, позволяющий целенаправленно изменять динамические характеристики ИАЦП [6]. Однако эффективное применение данного метода на практике требует решения ряда задач. Во-первых, известные структурные решения схем ИУ не обеспечивают неизменности характеристик собственных шумов при изменении входного сигнала согласно используемым весовым коэффициентам [9]. Во-вторых, прямое применение весовых функций (ВФ) для подавления внутренних шумов в  $\Sigma\Delta$ -АЦП в аналоговом виде приводит к ограничению времени преобразования длительностью одного коэффициента ВФ. В-третьих, реализация ВФ в цифровом виде считается нецелесообразной из-за накопления погрешности квантования, поэтому известные работы в данном направлении отсутствуют. Таким образом, возникает комплексная задача разработки новых структур ИУ и исследования работы  $\Sigma\Delta$ -АЦП по формированию погрешности квантования во временной области.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. – М.: Наука, 2006. – 410 с.
2. Материалы сайта НПП «МЕРА». Режим доступа: <http://www.nppmera.ru/>, свободный (дата обращения 01.10.2012).
3. Опыт модернизации информационно-измерительного комплекса испытательного стенда с применением цифрового регистратора сигналов / *В.А. Лебига, А.В. Самсонов, О.М. Птушкин, С.Е. Боткин* / Материалы сайта НПП «МЕРА». Режим доступа: <http://www.nppmera.ru/application/>, свободный (дата обращения 01.10.2012).
4. *Дмитриенко А.Г., Блинов А.В., Николаев А.В.* Распределенная интеллектуальная система мониторинга состояния объектов РКТ // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Периодическое научное издание. Серия: Технические науки. – № 4. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. – С. 15-21.
5. *Кестер У.* Аналого-цифровое преобразование / Пер. с англ. под ред. Е.Б. Володина. – М.: Техносфера, 2007. – 1016 с.
6. *Шахов Э.К., Михотин В.Д.* Интегрирующие развертывающие преобразователи напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.
7. *Шахов Э.К.*  $\Sigma\Delta$ -АЦП: Процессы передискретизации, шейпинга шума квантования и децимации // Датчики и системы. – 2006. – № 11. – С. 50-57.
8. Сайт компании *Texas Instruments*. Режим доступа: <http://www.ti.com/>, свободный (дата обращения 05.11.2012).



9. Юрманов В.А., Пискаев К.Ю., Тюрин М.В. Повышение точности интеллектуальных датчиков в составе систем мониторинга технически сложных объектов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Периодическое научное издание. Серия: Технические науки. – № 4. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. – С. 83-90.

*Статья поступила в редакцию 29 ноября 2012 г.*

## **IMPROVING ACCURACY SIGMA-DELTA ADC'S IN SYSTEMS FOR CRITICAL APPLICATIONS**

***K. Yu. Piskaev***

Penza State Technological Academy  
1a/11, Baidukova pr./Gagarina st., Penza, 440039

*Now  $\Sigma\Delta$ -ADC are the de facto standard in the construction of high-precision measuring systems, but to achieve these characteristics often do not address specific applications. In work the analysis the shortcomings of the main ways to increase the accuracy of  $\Sigma\Delta$ -ADC, from the point of view of their use in products for critical applications.*

***Keywords:*** *products for critical applications,  $\Sigma\Delta$ -ADC quantization error, increase the accuracy of  $\Sigma\Delta$ -ADC, weighted integration.*

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Представленная в журнал работа **должна обязательно содержать новые научные результаты**, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

В журнале предполагается публикация статей объемом до 7 страниц (включая рисунки и таблицы), а также кратких сообщений по соответствующим разделам (объем 2-4 стр. вместе с рисунками и таблицами).

В приоритетном порядке будут рассматриваться материалы докторских и кандидатских диссертаций. Аспирантские работы рекомендуется представлять в форме кратких сообщений.

### **Требования к оформлению статей находятся на сайте университета**

[www.samgtu.ru](http://www.samgtu.ru) → Наука → Вестник СамГТУ → Серия «Технические науки».

К статье прилагаются:

- экспертное заключение;
- авторская справка;
- договор передачи авторского права на публикацию;
- акт приема-передачи к договору;
- направление от организации (если авторы не работают в СамГТУ).

***Статьи, не удовлетворяющие указанным правилам оформления, будут возвращены авторам без рассмотрения.***

Статьи и краткие сообщения передаются ответственному секретарю серии «Технические науки» И.Г. Минаковой (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, корп. 8, комн. 519).

Справки по телефонам:

337 07 00 – Эдгар Яковлевич Рапопорт

337 03 42 – Ирина Григорьевна Минакова (e-mail: [vest\\_teh@samgtu.ru](mailto:vest_teh@samgtu.ru))

Редколлегия журнала