

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского
Кафедра электротехники и мехатроники

Разработка методики определения разрядности спецвычислителей рекурсивных цифровых фильтров

Выполнил студент 369м группы Ништа Е.Н.
Руководитель к.т.н., доцент Благодарный Н.П.
Нормоконтролер ассистент Косыченко О.Н.

«ХАИ» 2016

				ХАИ.3.05.369м.8.0502.0202.01		
Исполн.	Ништа Е.Н.	Лектор	Занял	Разработка методики определения разрядности спецвычислителей рекурсивных цифровых фильтров	Лист	1
Руководит.	Благодарный Н.П.				Листов	23
Н. контрол.	Косыченко О.Н.			ГОСТ 2.743-91	ХАИ	гр. 369м

Объект исследования: достоверность информации состояния в мехатронных системах.

Предмет исследования: фильтрация сигналов информации состояния МС рекурсивных цифровых фильтров.

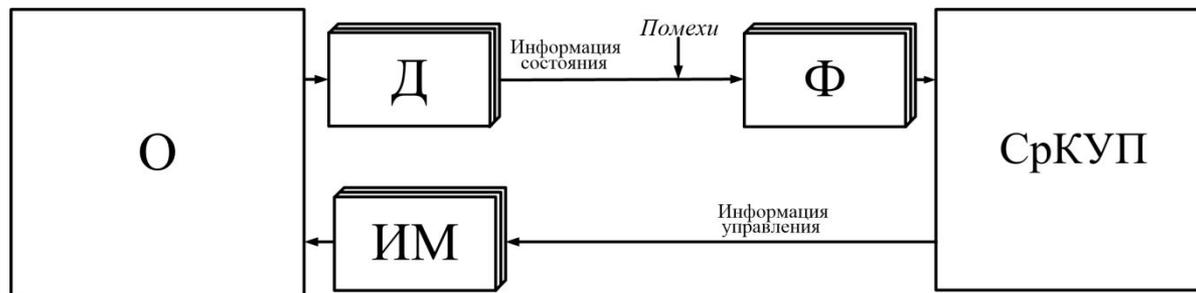
Цель: разработка методики определения минимально допустимой разрядности спецвычислителей рекурсивных цифровых фильтров.

- Задачи:**
- анализ влияния разрядности спецвычислителей на погрешность вычислений;
 - разработка методики для выбора минимально допустимой разрядности спецвычислителей рекурсивных цифровых фильтров на этапах проектирования и модернизации мехатронных систем;
 - разработка программы расчета минимально допустимой разрядности спецвычислителей;
 - исследование влияния разрядности спецвычислителя на импульсную и амплитудно-частотную характеристики РЦФ;
 - разработка рекомендаций по усовершенствованию этапов проектирования и модернизации мехатронных систем.

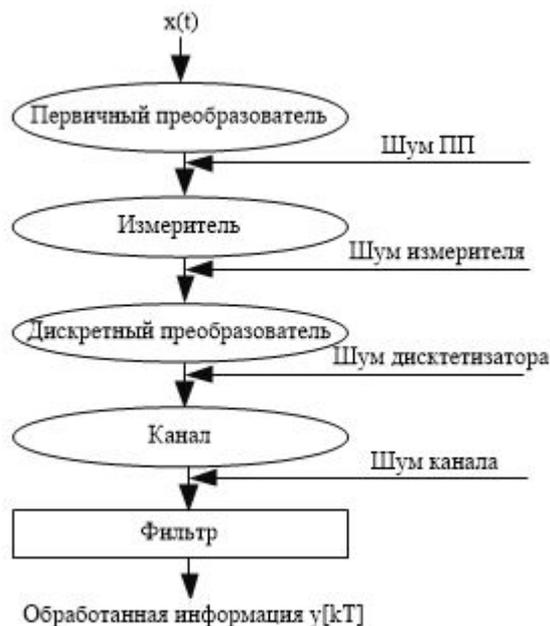
				ХАИ.3.05.369м.8.0502.0202.02			
				Лист		Из всего	
				у		1:1	
				Лист 2		Листов 23	
				ГОСТ 2.743-91		ХАИ зр. 369м	

Цифровая фильтрация в мехатронных системах

Обобщенная схема структуры мехатронной системы:



Этапы обработки информации состояния



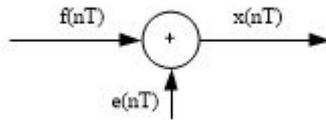
СрКУП – средства контроля, управления и представления информации;
 Ф – фильтры (аналоговые, нерекурсивные, рекурсивные цифровые фильтры);
 Д – датчики;
 О – объект управления;
 ИМ – исполнительные механизмы (пневмоприводы, электроприводы, гидроприводы и др.).

				ХАИ.3.05.369м.8.05020202.03		
Исполн.	М.В.С.	П.В.С.	Л.В.С.	Лист	Масштаб	Масштаб
Рис. №	Автомат. Е.С.			У		1:1
Проц.	С.В.С.			Лист 3	Листов 23	
И.И.С.	С.В.С.			ГОСТ 2.743-91 ХАИ зр. 369м		

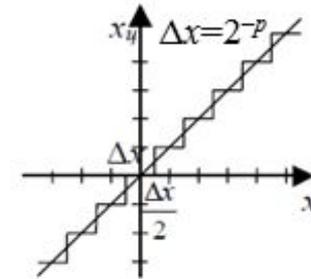
Характеристики искажений сигналов информации состояния

При цифровой фильтрации ошибки квантования рассматриваются как стационарный шумоподобный процесс с равномерным распределением вероятности по диапазону распределения ошибок квантования.

Линейная модель квантования сигналов:



$f(nT)$ – дискретный или m -разрядный цифровой сигнал ($m > p$);
 $x(nT) = f(nT) + e(nT)$ – квантованный p -разрядный сигнал;
 $e(nT)$ – ошибка квантования.



Величина шага квантования: $\Delta x = 2^{-p}$,
 Максимальная ошибка квантования при округлении:

$$e_{max} = \max |e_k| = \frac{\Delta x}{2} = \frac{2^{-p}}{2} = 2^{-p-1}$$

Дисперсия ошибок округления: $\sigma^2 = 2^{-2p}/12$.

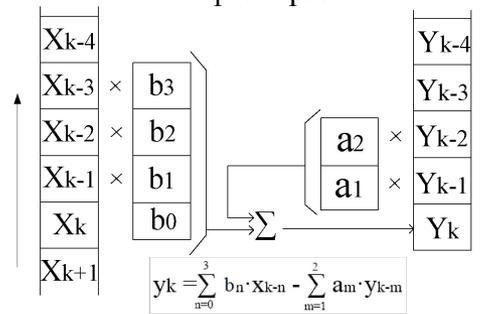
Пример влияния количества уровней квантования на точность представления числа 0,967

Кол-во разрядов	Представление числа с фиксированной точкой	Приближенное значение	Абсолютная погрешность Δ
1	0.1	0.5	0.467
2	0.11	0.75	0.217
3	0.111	0.875	0.092
4	0.1111	0.9375	0.0295

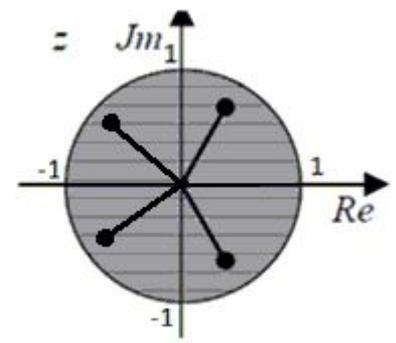
				ХАИ.3.05.369м.8.05.02.0202.04		
Исполн.	М.И.Савин	Получил	Завед.	Характеристики помеховой сигналы цифровых устройств	Лист	Масштаб
Проверил	С.И.Савин	С.И.Савин	С.И.Савин		4	1:1
				ГОСТ 2.743-91	ХАИ зр. 369м	

Критерии устойчивости рекурсивных цифровых фильтров

Структурная схема рекурсивного цифрового фильтра:



Расположение полюсов устойчивого цифрового фильтра:



Абсолютная сходимость ряда отсчетов импульсной характеристики:

$$\sum_{k=0}^{\infty} |h(kT)| < \infty.$$

Корневой критерий устойчивости:

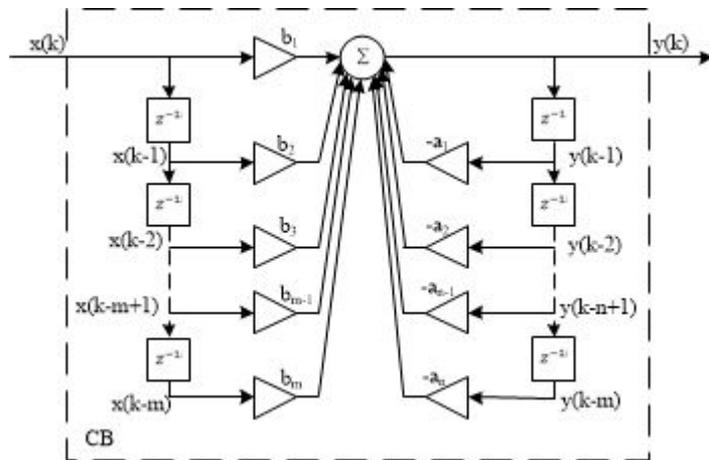
Дискретная система устойчива, если все полюса передаточной функции по модулю меньше единицы (находятся внутри единичного круга z-области).

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}}$$

				ХАИ.3.05.369м.8.05.02.02.05		
				Лист	Масштаб	Объем/номер
Исполн.	Провер.	Дата	Критерии устойчивости рекурсивных цифровых фильтров	1		1:1
Исполн.	Провер.	Дата		Лист 5	Листов 23	
				ГОСТ 2.743-91 ХАИ зр. 369м		

Обобщенная структура спецвычислителя цифрового фильтра

Структурная схема рекурсивного цифрового фильтра:



$x(k)$ – входной сигнал;

$y(k)$ – выходной сигнал;

b_i – коэффициенты числителя передаточной функции ($i = 1..m$);

a_j – коэффициенты знаменателя передаточной функции ($j = 1..n$).

Преимущества РЦФ:

- для реализации требуемой ЧХ на основе БИХ-фильтров требуется меньшее число элементов;
- синтез БИХ-фильтров осуществляется более простыми способами чем КИХ-фильтров.

Недостатки РЦФ:

- фазовая характеристика БИХ-фильтров нелинейная, особенно на краях полос;
- гарантировать устойчивость БИХ-фильтров удается не всегда.

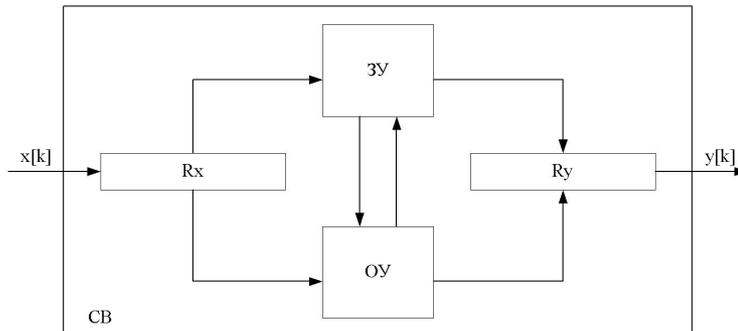
R_x и R_y – входной и выходной регистры соответственно,

ЗУ – запоминающее устройство,

ОУ – операционное устройство,

$x[n]$, $y[n]$ – входной и выходной сигналы.

Структурная схема спецвычислителя:



				ХАИ.305.369м.8.05.02.02.06		
№ докум.	Полн. назв.	Дата	Лист	Всего	Изменен	
Рис. 1	Обобщенная структура специального вычислителя цифрового фильтра		1	1	1:1	
Про.	Благодарный Н.П.				Лист 6 из 23	
И. Вып.	Вып. 10				ГОСТ 2.743-91	
				ХАИ зр. 369м		

Задача оптимизации структуры рекурсивного цифрового фильтра

Увеличение разрядности средств цифровой обработки, хранения и представления информации улучшает их характеристики точности. Однако увеличение количества разрядов снижает скорость дискретизации и увеличивает стоимость аппаратно-программных средств. Имеет место противоречие. Для его решения необходимо определять в конкретных условиях минимальную необходимую разрядность спецвычислителя цифрового фильтра.

Условие оптимизации:

$$\begin{cases} C = \sigma \times \lg n \rightarrow \min, \\ \Delta t \leq \frac{1}{2F_B}, \\ |y[k] - y_{эм}[k]| \leq \delta_y, \end{cases}$$

где C – стоимость цифрового фильтра;

σ – стоимость хранения, обработки и передачи одного разряда цифрового сигнала;

n – длина разрядной сетки (разрядность) спецвычислителя;

Δt – длина интервалов дискретизации сигналов $x(t)$ и $y(t)$;

F_B – верхняя частота спектра сигнала от датчика;

$y[k], y_{эм}[k]$ – соответственно значения реального и эталонного выходных сигналов;

δ_y – допустимая абсолютная погрешность выходного сигнала.

				ХАИ.3.05.369м.8.0502.0202.08		
				Лист	Из всего	Из всего
Исполн.	Исполн. Е.И.	Получил	Дата	у		1:1
Проф.	Специальность			Лист 6	Листов 23	
И.И.	И.И.			ГОСТ 2.743-91 ХАИ зр. 369м		

Программная реализация методики определения разрядности спецвычислителей рекурсивных цифровых фильтров

Исходные данные на проектирование фильтра:

- частота дискретизации $f_0=13$ кГц;
- граничная частота полосы пропускания $f_1=3$ кГц;
- граничная частота полосы задерживания $f_2=4$ кГц;
- крутизна характеристики затухания в полосе задерживания – 20Дб;
- неравномерность характеристики затухания в полосе пропускания – 0, 86 Дб;
- тип аппроксимации – Чебышева 2 рода.

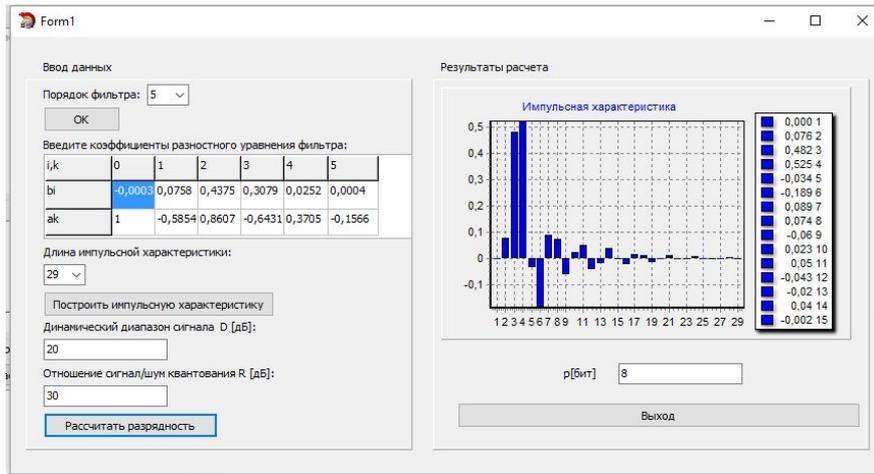
Данные для расчета разрядности спецвычислителя:

- Динамический диапазон $D=30$ [дБ];
- Отношения сигнал/шум $R=20$ [дБ];
- Каноническая структура рекурсивного фильтра;

Передаточная функция фильтра:

$$H(z) = \frac{-0.0003 + 0.0758 z^{-1} + 0.4376 z^{-2} + 0.3079 z^{-3} + 0.0251 z^{-4} + 0.0004 z^{-5}}{1 - 0.5854 z^{-1} + 0.8607 z^{-2} - 0.6430 z^{-3} + 0.3704 z^{-4} - 0.1566 z^{-5}}$$

Внешний вид программной реализации методики



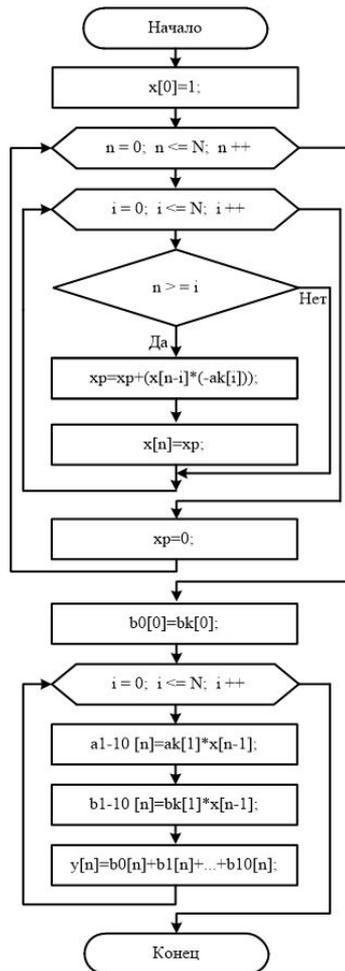
Системные требования:

- ОС: Windows XP или более поздние версии;
- Процессор: 1,6 ГГц;
- ОЗУ: 1.00 ГБ;
- 3 ГБ свободного места на диске.

				ХАИ.3.05.369м.8.05020202.11		
				Программная реализация методики определения разрядности спецвычислителей рекурсивных цифровых фильтров	Лист	Из листов
Исполн.	М.И.Олегов	Получил	Л.А.Сидорова		1	1
Проверил	С.А.Сидорова	Дата	2011		Листов	23
Согласовано	С.А.Сидорова	Дата			ГОСТ 2.743-91 ХАИ зр. 369м	

Блок-схемы и фрагмент программы расчета импульсной характеристики РЦФ

Блок-схема функции



Фрагмент программы

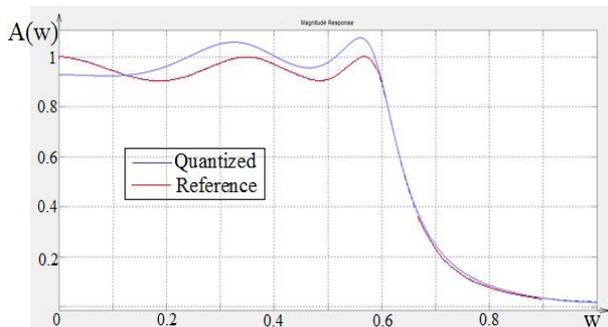
```

x[0]=1;
for (n=1; n<=N; n++)
{for (i=1; i<=N; i++)
{if (n>=i) {
xp=xp+(x[n-i]*(-ak[i]));
x[n]=xp;
}}
xp=0;}
b0[0]=bk[0];
for (n=1; n<=N; n++)
{a1[n]=ak[1]*x[n-1];
...
a10[n]=ak[10]*x[n-10];
b0[n]=bk[0]*x[n];
...
b10[n]=bk[10]*x[n-10];}
for (n=0; n<=N; n++)
{y[n]=b0[n]+b1[n]+b2[n]+b3[n]+b4[n]+b5[n]+b6[n]+b7[n]+
b8[n]+b9[n]+b10[n];}
    
```

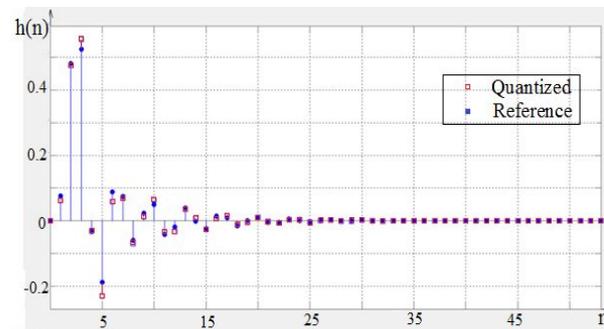
				ХАИ.305.369м.8.05020202.12		
№ докум.	Полн.т.	Дата	Лист	Место	Изменен	
Изд.	Актуальн. в.п.		1		1:1	
Изд.	Актуальн. в.п.		Лист 12	Листов 23		
ГОСТ 2.743-91				ХАИ зр. 369м		

Частотные и временные характеристики рекурсивного цифрового фильтра с разрядностью спецвычислителя 4 бит

АЧХ с разрядностью спецвычислителя фильтра 4 бит



Импульсная характеристика с разрядностью спецвычислителя фильтра 4 бит



Коэффициенты передаточной функции до и после квантования

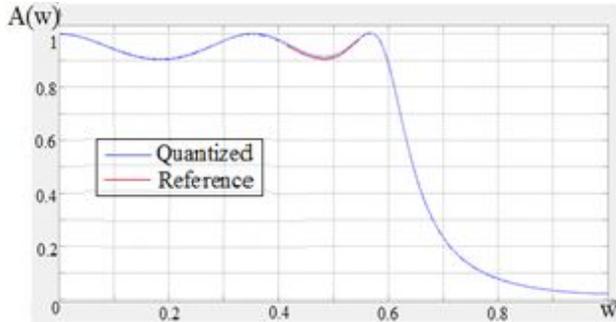
i	0	1	2	3	4	5
b_i	-0,0003	0,0758	0,4376	0,3079	0,0251	0,0004
Δb_i	0	0	0,5	0,25	0	0
a_i	1	-0,5854	0,8607	-0,643	0,3704	-0,1566
Δa_i	0	-0,0854	0,1107	0,107	0,1204	0,0934

Максимальная абсолютная погрешность:
 $\Delta_{max} = 1,204 * 10^{-1}$

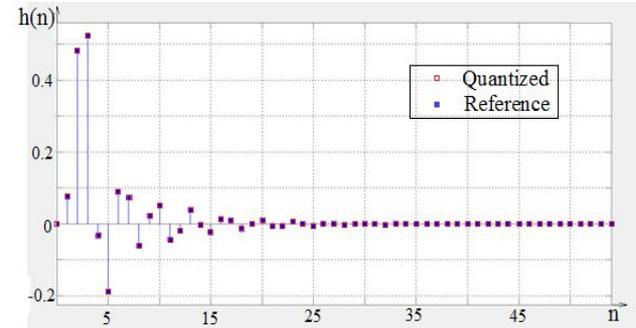
				ХАИ.3.05.369м.8.05020202.13			
				Частотные и временные характеристики рекурсивного цифрового фильтра с разрядностью спецвычислителя 4 бит			
				Лист 18		Листов 23	
				ГОСТ 2.743-91		ХАИ зр. 369м	

Частотные и временные характеристики рекурсивного цифрового фильтра с разрядностью спецвычислителя 8 бит

АЧХ с разрядностью спецвычислителя фильтра 8 бит



Импульсная характеристика с разрядностью спецвычислителя фильтра 8 бит



Коэффициенты передаточной функции до и после квантования

i	0	1	2	3	4	5
b_i	-0.0003	0.0758	0.4376	0.3079	0.0251	0.0004
	0	0,125	0,5	0,25	0	0
Δb_i	0,0003	0,0492	0,0624	0,0579	0,0251	0,0004
a_i	1	-0.5854	0.8607	-0.6430	0.3704	-0.1566
	1	-0,625	0,875	-0,625	0,375	-0,125
Δa_i	0	0,0396	0,0143	0,018	0,0046	0,0316

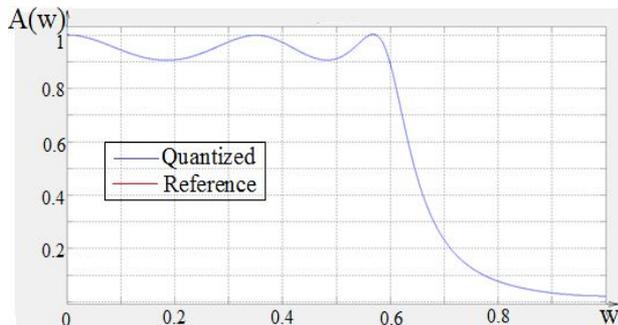
Максимальная абсолютная погрешность:

$$\Delta_{max} = 6,24 * 10^{-2}$$

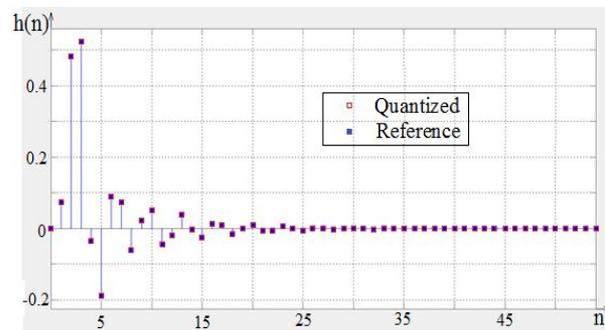
				ХАИ.305.369M.8.05020202.14			
				Частотные и временные характеристики рекурсивного цифрового фильтра с разрядностью спецвычислителя 8 бит			
Изд.	Лист	Масштаб	Объем	1	1	1:1	
Изд.	Лист	Масштаб	Объем				
ГОСТ 2.743-91				ХАИ зр. 369M			

Частотные и временные характеристики рекурсивного цифрового фильтра с разрядностью специфического вычислителя 16 бит

АЧХ с разрядностью специфического вычислителя фильтра 16 бит



Импульсная характеристика с разрядностью специфического вычислителя фильтра 16 бит



Коэффициенты передаточной функции до и после квантования

i	0	1	2	3	4	5
b_i	-0,0003	0,0758	0,4376	0,3079	0,0251	0,0004
	0	0,0625	0,4375	0,3125	0	0
Δb_i	-0,0003	0,0133	0,0001	-0,0046	0,0251	0,0004
a_i	1	0,5854	0,8607	0,643	0,3704	0,1566
	1	-0,5625	0,875	-0,625	0,375	0,1875
Δa_i	0	0,0229	0,0143	0,018	0,0046	0,0309

Максимальная абсолютная погрешность:

$$\Delta_{max} = 3,09 \cdot 10^{-2}$$

				ХАИ.3.05.369м.8.05020202.15			
				Частотные и временные характеристики рекурсивного цифрового фильтра с разрядностью специфического вычислителя 16 бит			
Исполн.		Получ.		Лист		Изменен	
Рисов.		Листов		1		1:1	
Проф.		Специальность		Лист		Листов	
И.И.И.		И.И.И.		Лист		Листов	
				ГОСТ 2.743-91		ХАИ зр. 369м	

Оценка эффективности оптимизации разработки спецвычислителей рекурсивных цифровых фильтров мехатронных систем

Микропроцессоры цифровой обработки сигналов существуют с разрядностью $n = 2^m$, где $m = 3, 4, 5, 6$.

При выборе оптимальной разрядности n_1 и избыточной разрядности n_2 спецвычислителя стоимость цифрового фильтра определяется выражениями:

$$C_1 = \sigma \times \lg(n_1), \quad C_2 = \sigma \times \lg(n_2);$$

Например при $n_1 = 8$ и $n_2 = 16$ абсолютный выигрыш уменьшения стоимости составляет 1,26;

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\sigma \times \lg(n_2)}{\sigma \times \lg(n_1)} = \frac{0,602}{0,477} = 1.26$$

где, σ – стоимость хранения, обработки и передачи одного разряда цифрового сигнала.

Использование разработанной методики позволяет существенно уменьшить стоимость реализации спецвычислителей и повысить эффективность использования мехатронных систем.

				ХАИ.305.369м.8.05020202.16		
				Оценка эффективности оптимизации разработки спецвычислителей рекурсивных цифровых фильтров мехатронных систем	Лист	Масштаб
Исполн.	Исполн. П.И.	Получ.	Дата		1	1:1
Проф.	Специалист П.И.				Листов 10	Листов 23
И.И.И.	И.И.И. П.И.			ГОСТ 2.743-91	ХАИ зр. 369м	

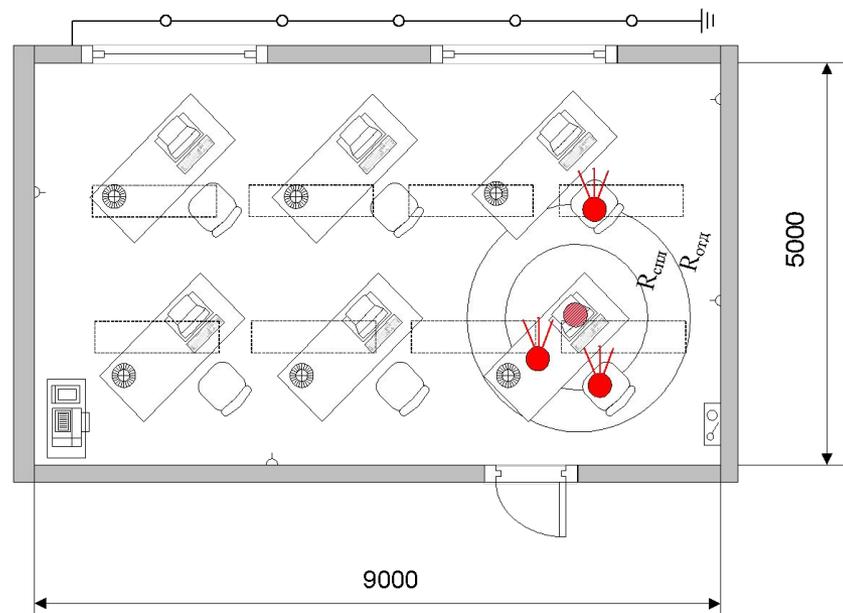
Охрана труда и безопасность в чрезвычайных ситуациях

Потери ОФ ≤ 4.1 МЗП,
 Мобщ = 2 чел.,
 Мсан ≤ 2 чел.,
 Убытки = 40.605 тыс. грн,
 Уровень ЧС - объектный.

Для предотвращения возникновения пожаров на территории рассматриваемого объекта необходимо предпринять следующие меры противопожарной защиты:

- в помещении должен находиться огнетушитель переносной ТУ У 13 485 476.003 96 ОУ-2. ,
- по возможности необходимо установить пожарную сигнализацию;
- необходимо разработать план эвакуации людей при пожаре;
- обучать производственный персонал противопожарным правилам;
- не совмещать системы кондиционирования лабораторий и других помещений;
- регулярно осуществлять контроль сопротивления изоляции.

Карта ожидаемой пожарной обстановки в учебной аудитории

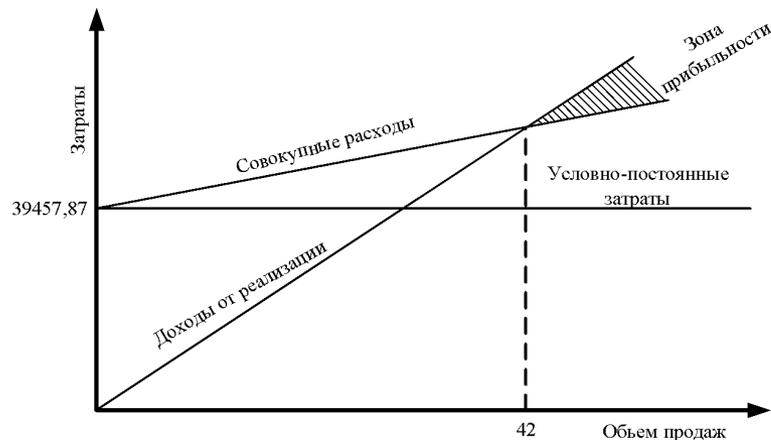


				ХАИ 305.369м.8.05020202.18		
№ докум.	Полном.	Дата		Лист	Масштаб	Объемность
Рис. №	Автомат. Е.П.			У		1:1
Проц.	Специальный			Лист №	Листов 23	
И. Иваниц.	Владимир П.И.			ГОСТ 2.743-91 ХАИ пр. 369м		

Экономическая часть

Сметная калькуляция на разработку ПП График достижения безубыточности разработки программного продукта

№	Статьи	Сумма, грн.	Примечание
1	Основная заработная плата (ОЗП)	18613	
2	Дополнительная заработная плата (ДЗП)	2791,95	15 % от ОЗП
3	Единый социальный взнос	7919,83	37 % (ОЗП+ДЗП)
4	Материалы и покупные изделия	2290,00	
5	Амортизация	397,89	
6	Внепроизводственные расходы	7445,2	40 % от ОЗП
7	Себестоимость (С)	39457,87	ОЗП+ДЗП+ЕСВ+МПИ+А+ВР
8	Прибыль (П)	7891,57	20 % от С
9	Цена без НДС	47349,45	П+С
10	НДС	9469,89	20 % от цены без НДС
11	Цена с НДС	56819,33	п.10 +п.9



После реализации 42 копий программного продукта, проект станет рентабельным.

				ХАИ.3.05.369м.8.05020202.19		
№ докум.	Платит	Дата		Лист	Масштаб	Масштаб
Рис. №	ХАИ.3.05.369м.8.05020202.19			1	1:1	
Проц.	Экономическая часть			Лист №	Листов 23	
Г. №	ХАИ.3.05.369м.8.05020202.19			ГОСТ 2.743-91 ХАИ зр. 369м		

Публикации результатов исследований

1. Ништа Е.Н. Влияние разрядности спецпроцессоров на устойчивость функционирования цифровых рекурсивных фильтров// Всеукраинская научно-техническая конференция «Интегрированные компьютерные технологии в машиностроении ИКТМ-2015» Тезисы докладов. – Харьков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского, ХАИ 2015г., – С125.
2. Ништа Е.Н. Макет для моделирования функционирования мехатронных систем// Всеукраинская научно-техническая конференция «Интегрированные компьютерные технологии в машиностроении ИКТМ-2013» Тезисы докладов. – Харьков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского, ХАИ 2013г., – С26.
3. Ништа Е.Н., Коновалов Д.И. Моделирование функционирования объектов управления мехатронных систем// Международный форум радиоэлектроника и молодежь. Тезисы докладов, 2014г., – С132.
4. Ништа Е.Н. Лабораторный комплекс для исследования датчика угловых перемещений// Всеукраинская научно-техническая конференция «Интегрированные компьютерные технологии в машиностроении ИКТМ-2014» Тезисы докладов. – Харьков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского, ХАИ 2014г., – С26.

				ХАИ 305.369м.8.05020202.22		
				Лист	Масштаб	Исполнение
И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	1		1:1
И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	Лист 22	Листов 23	
				ГОСТ 2.743-91 ХАИ зр. 369м		

Патентование

23



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **104130** (13) **U**
 (51) МПК (2015.01)
G06F 13/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2015 07167**
 (22) Дата подання заявки: **17.07.2015**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **12.01.2016**
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **12.01.2016, Бюл.№ 1**

(72) Винахідник(и):
**Благодарний Микола Петрович (UA),
 Жуланов Олександр Дмитрович (UA),
 Нішта Євген Миколайович (UA)**
 (73) Власник(и):
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ
 УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М.Є.ЖУКОВСЬКОГО
 "ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ",
 вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070 (UA)**

(54) НАВЧАЛЬНО-ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД

(57) Реферат:

Навчально-лабораторний стенд містить мікроконтролер, блок візуалізації, блок керування, блок приводів, який має n-приводів, на кожному з яких встановлена група з m-датчиків, виходи яких з'єднані з першою групою входів мікроконтролера, перша група виходів якого з'єднана з керуваними виводами кожного з приводів; до складу блока керування входить панель керування. Виводи блока керування з'єднані з другою групою входів мікроконтролера, друга група виходів якого з'єднана з блоком візуалізації.

				ХАИ.305.369м.8.05020202.23		
				Лист	Масштаб	Масштаб
Розроб.	Львівська обл.	Патент	Дата	Технічний зміст	у	1:1
Проєкт.	Спеціалізований			Лист 23	Листів 23	
В. Голова	Відомості			ГОСТ 2.743-91 ХАИ зр. 369м		