

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ**

**№4 2023**

**Направления:**

**1.2.2. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ  
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**2.3.1. – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА  
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**2.3.3. – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**

**2.3.5. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**2.3.5. – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (технические науки)**

**2.3.6. – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
(физико-математические науки)**

**Казань  
2023**

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**Н-66**

**Н-66** Научно-технический вестник Поволжья. №4 2023г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2023. – 220 с.

**ISSN 2079-5920**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте [www.ntvprt.ru](http://www.ntvprt.ru), и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № E12025.

*Главный редактор Р.Х. Шагимуллин*

Редакционная коллегия

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;  
В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;  
В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; М.В. Шулаев – д.т.н., проф.*

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**ISSN 2079-5920**

**© Рашин Сайнс, 2023 г.**

## 1.2.2

Г.А. Овсенко<sup>1</sup>, Р.С. Кашаев<sup>1</sup>, О.В. Козелков<sup>1</sup>, А.В. Каляшина<sup>2</sup><sup>1</sup>Казанский государственный энергетический университет<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)  
Казань, galinka.ovseenko@mail.ru**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЕЩЕСТВ**

*В работе разработана модель цифрового фильтра двухконтурной системы измерения концентраций веществ в мехатронном комплексе. Для достижения поставленной цели решались задачи построения и расчетов цифровых фильтров двухконтурной измерительной системы, которые является помехоустойчивыми, и допускают перепрограммирование с целью изменения качества измерения.*

*Ключевые слова: концентрация, качества измерения, мехатронный комплекс, MatLab, цифровой фильтр, нефти.*

Актуальность проблемы заключается в необходимости повышения точности измерительных систем измерения концентрации газа в мехатронном устройстве контроля сырой нефти, строящихся на основе компенсационных систем с обратной связью с применением цифровых технологий. С этой целью в данной работе решались задачи построения и расчетов цифровых фильтров двухконтурной измерительной системы, которые является помехоустойчивыми и допускают перепрограммирование с целью изменения качества измерения в среде MatLab Simulink[1].

Была разработана структурная схема динамической модели астатической системы, измерения концентрации вещества представлена на рис. 1.

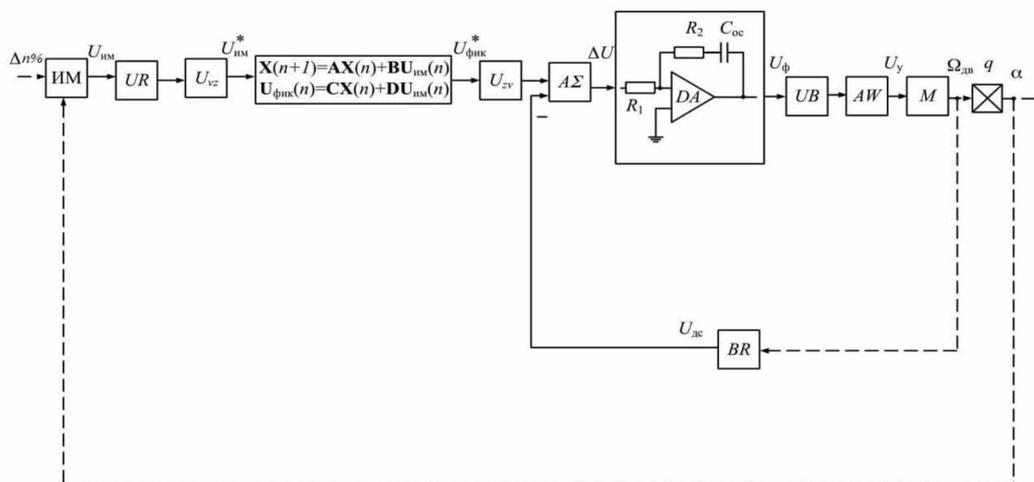


Рис. 1 - Структурная схема динамической модели астатической системы измерения вещества

Принцип действия системы заключается в следующем. При изменении температуры от требуемого значения на величину  $\Delta T$  изменяется сопротивление терморезистора, который включен в одно из плеч измерительного моста (ИМ). Наступает, раз баланс ИМ и на его выходе формируется сигнал переменного тока  $U_{им}$  пропорциональный величине  $\Delta T$ . Сигнал  $U_{им}$  подается на демодулятор, который формирует медленноменяющийся сигнал, величина которого пропорциональна амплитуде входного сигнала, а знак соответствует его фазе.

Был выбран и асинхронный микродвигатель серии ЭМ-25М таблица 1 и рассчитаны его параметры.

Таблица 1

Основные технические данные двигателя серии ЭМ-1М

Тип	P, Вт	n, об/мин	f, Гц	Uy, В	Мдв, Г см	Мп, Г см	дрот, мм	mрот, кг
ЭМ-25М	25	4200	50	36	570	900	6	0,16

С учетом этих расчетов была построена MatLab Simulink модель внутреннего контура измерительной системы, представлена на рис. 2.

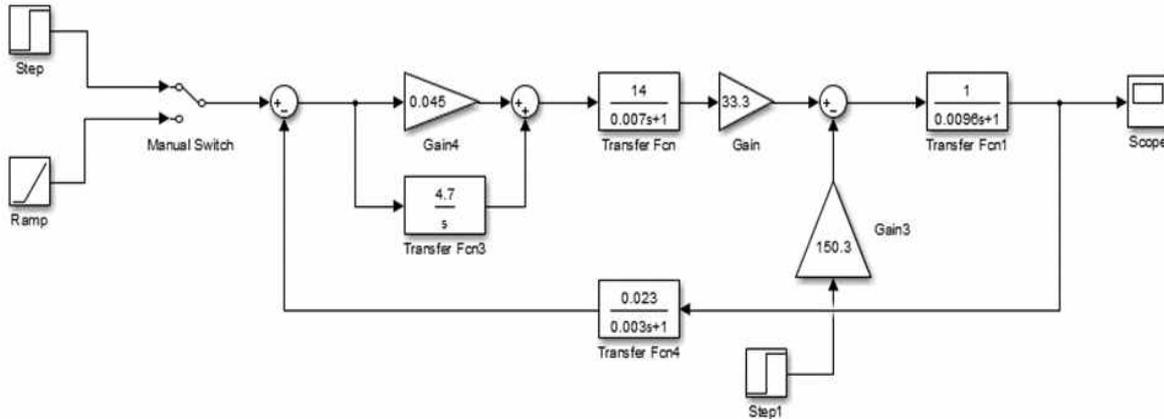


Рис. 2 - Структурная схема динамической модели внутреннего контура измерительной системы в среде MatLab Simulink

Была разработана цифровая модель, которая позволила построить схему программирования. В результате моделирования были получены графики представленные на рис. 3

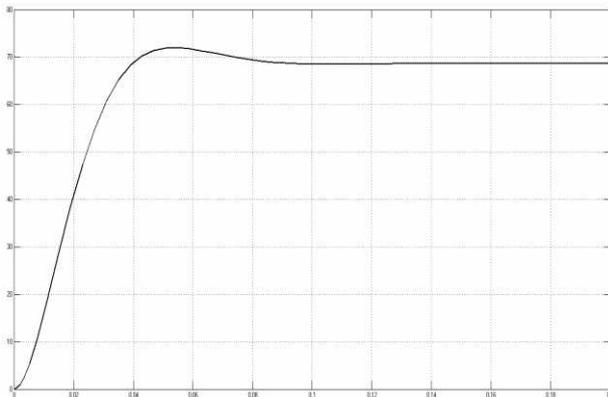
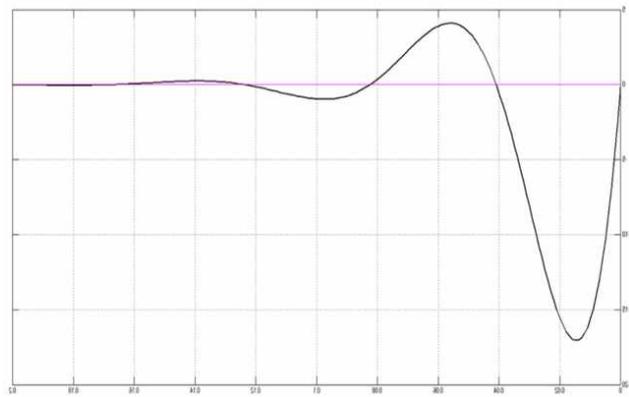


Рис. 3 – Переходный процесс по цепи измерения (график 1)



Переходный процесс по цепи воздействия момента сопротивления (график 2)

Из рис. 3 график 1 переходный процесс по цепи измерения видно, что процесс имеет регулирования 4,5% что соответствует настройки контура оптимум по модулю. Из график 2 следует, что 0,06 секунде, что говорит о компенсации момента составляющей погрешности. Ниже приведен синтез аналогового интегро-дифференцирующего фильтра измерительной системы. Моделирование показало, что интегро-дифференцирующего фильтра рассчитан правильно. После проведена дискретная аппроксимация аналогового фильтра внутреннего контура и аналогового интегро-дифференцирующего фильтра измерительного контура. В основе дискретной аппроксимации лежит схема рис. 4.

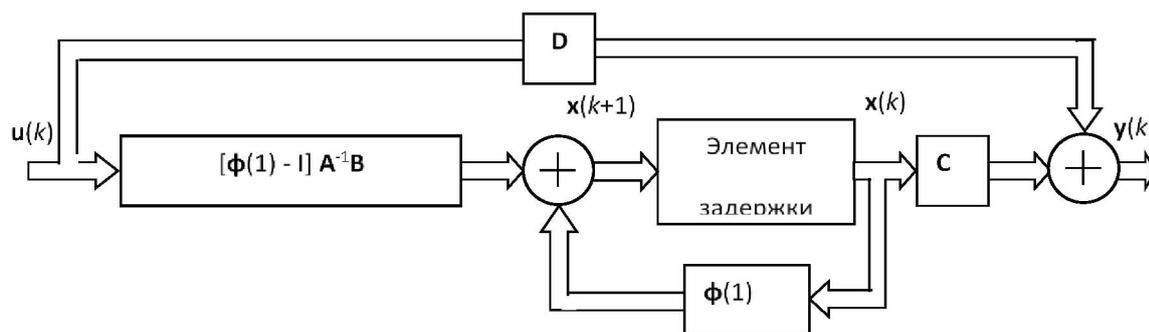


Рис. 4 – Векторная структурная схема цифровой системы с элементом задержки

Для дискретной аппроксимации используют:

-метод Тастина (метод трапеции).

Применяется в MatLab при помощи функции Bilinear

$$\frac{U_{\text{вых}(n)}}{U_{\text{вх}(n)}} = \frac{T^0}{2} * \frac{1 + Z^{-1}}{1 - Z^{-1}}$$

Из этого получаем:

$$S^{-1} = \frac{T^0}{2} * \frac{1 + Z^{-1}}{1 - Z^{-1}}$$

$$W_{\text{ПИ}}(s) = \frac{K_{\text{ПИ}}(T_{\text{ПИ}}S + 1)}{T_{\text{ПИ}}}$$

$$W(s) = K_{\text{ПИ}} + \frac{K_{\text{ПИ}}/T_{\text{ПИ}}}{S}$$

$$W(S^{-1}) = K_{\text{ПИ}} + \frac{K_{\text{ПИ}}}{T_{\text{ПИ}}} S^{-1}$$

В  $W(S^{-1})$  подставляем:  $S^{-1} \approx \frac{T_0 Z+1}{2 Z-1}$  после чего получаем:

$$W(S^{-1}) = \frac{K_{\text{ПИ}}(z-1) + \frac{K_{\text{ПИ}} T_0}{2}(z+1)}{z-1} = \frac{b_1 z + b_0}{z-1}$$

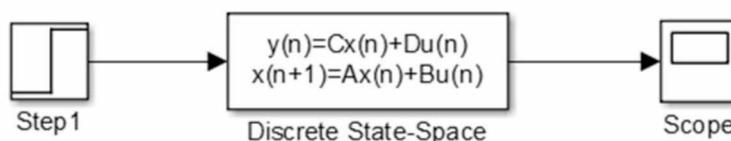
Далее применяется метод непосредственного программирования в результате, которого строится структурная схема цифрового фильтра с элементами задержки  $Z^{-1}$ . Для того чтобы провести данную процедуру необходимо определить  $W_{\text{ПИ}}(Z^{-1})$

$$W_{\text{ПИ}}(Z^{-1}) = \frac{z(b_1 + b_0 Z^{-1})}{z(1 - Z^{-1})} = \frac{U_{\text{ПИ}}}{\Delta U_{\text{ВХ}}}$$

$$U_{\text{ПИ}} = \frac{b_1 + b_0 Z^{-1}}{1 - Z^{-1}} \Delta U_{\text{ВХ}}$$

$$W_{\text{ПИ}}(Z) = \frac{b_1 z + b_0}{z-1}$$

По схеме определяется алгоритм работы цифрового ПИ-фильтра в векторно-матричной форме в виде Discrete State-Space.



Результат моделирования показан на рис. 5 в виде графика переходной характеристики измерительной системы цифрового фильтра измерительного контура

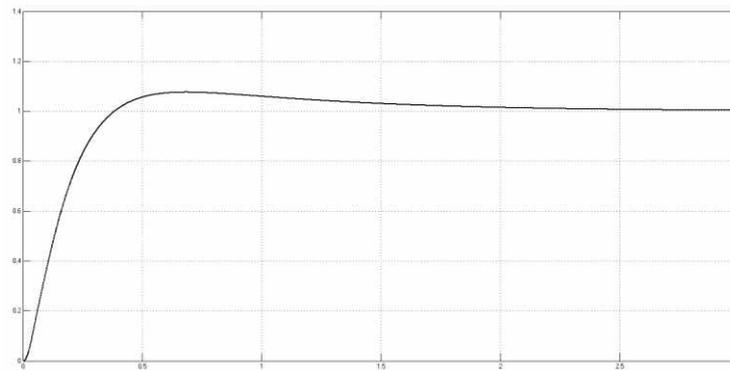


Рис. 5 - Переходная характеристика измерительной системы цифрового фильтра

В результате проведенной работы по оптимизации мехатронного приборно-программного комплекса для контроля свойств сырой нефти фильтра первого порядка можно сделать следующие выводы. Проведенное исследование показало улучшение точностных характеристик прецизионной измерительной системы с цифровым фильтром пятого порядка, что доказывает безусловное преимущество применения цифровых технологий в измерительных системах данного класса [5].

#### Список литературы

1. Андреев М.В., Рубан Н.Ю., Суворов А.А. Математическое моделирование цифровой дифференциальной защиты трансформера в среде MATLABSIMULINK // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. №1. С.79-84.
2. Погодицкий О.В. Цифровые системы управления // Казанский гос. энергетический ун-т. 2010. С. 85-96.
3. Овсянников С.В., Бошляков А.А. // Проектирование мехатронных систем. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. С. 56-65.
4. Лапшин А.С., Кубалова А.Р., Кубалов Р.И. Анализ, моделирование, экспериментальное исследование и оптимизация фильтра на встречных стержнях микрополосковом исполнении в сборнике // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании II Международная конференция научно-техническая и научно-методическая конференция. 2013. №3. С. 89-93.
5. Ovseenko G.A., Kozelkov O.V., Kashaev R.S. Installation for the crude oil purification from admixtures by electromagnetic fields, driving by analyzer on the base of proton magnetic resonance relaxometry // Proceedings of the International Conference «Process Management and Scientific Developments». Birmingham. United Kingdom. 2021. 215pp.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ

№4 2023

Направления:

- 1.2.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ  
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**
- 2.3.1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА  
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**
- 2.3.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ  
СЕТЕЙ (технические науки)**
- 2.3.6. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
(физико-математические науки)**

[www.ntvprrt.ru](http://www.ntvprrt.ru)

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732  
Подписано в печать 21.04.2023      Формат А4. Печать цифровая.  
Дата выхода в свет 21.04.2023  
14,5 усл.печ.л. 17,2 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 4713.

Учредитель: ООО "Рашин Сайнс":  
420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.  
Адрес редакции, издательства, типографии – ООО "Рашин Сайнс":  
420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.

Цена свободная.

© Рашин Сайнс  
тел. (843) 216-30-35

Отпечатано с готового оригинал-макета  
ООО «Рашин Сайнс»