

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНЦЕРН FESTO
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «СИНЕРГИЯ»
ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ВОЕНМЕХ» ИМ. Д. Ф. УСТИНОВА
СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

АВТОМАТИЗАЦИЯ, МЕХАТРОНИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Материалы
VIII Международной научно-технической интернет-конференции
молодых ученых

(Россия, Омск, 16 мая 2018 года)

AUTOMATION, MECHATRONICS, INFORMATION TECHNOLOGIES

International Scientific and Technical Internet Conference of Young Scientists

(Russia, Omsk, 16 May 2018)

Омск
Издательство ОмГТУ
2018

УДК 658.52.011.56.012.3(075)+621.865(075)+004(075)

ББК 32.965я73+32.816я73+32.81я73

A22

Редакционная коллегия:

В. Г. Хомченко, д-р техн. наук, профессор (ответственный редактор);

Е. С. Гебель, канд. техн. наук, доцент;

Е. И. Пастухова, канд. техн. наук, доцент;

Е. А. Кривохатко, ассистент;

О. В. Трапезникова, ассистент

A22 **Автоматизация, мехатроника, информационные технологии = Automation, Mechatronics, Information Technologies** : материалы VIII Междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых ученых (Россия, Омск, 16 мая 2018 г.) / Междунар. концерн Festo [и др.] ; [редкол.: В. Г. Хомченко (отв. ред.) и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018.

ISBN 978-5-8149-2726-2

Представлены материалы докладов по автоматизации технологических процессов и производств, управлению в технических системах, программному и алгоритмическому обеспечению систем управления техническими объектами, мехатронным и робототехническим системам и модулям, а также по информационным технологиям в прикладных областях исследования.

Издание адресовано научным сотрудникам, инженерам, преподавателям и аспирантам, работающим в области теории управления, механики и их приложений.

УДК 658.52.011.56.012.3(075)+621.865(075)+004(075)

ББК 32.965я73+32.816я73+32.81я73

*Конференция «Автоматизация, мехатроника, информационные технологии»
проходила в рамках III Международной мультikonференции
«Сетевое партнерство в науке, промышленности и образовании»*

ISBN 978-5-8149-2726-2

© ОмГТУ, 2018

1 электронный оптический диск

Оригинал-макет издания выполнен в Microsoft Office Word 2007/2010 с использованием возможностей Adobe Acrobat Reader.

Минимальные системные требования:

- процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше;
- оперативная память 256 Мб и более;
- свободное место на жестком диске 260 Мб и более;
- операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10;
- разрешение экрана 1024×768 и выше;
- акустическая система не требуется;
- дополнительные программные средства Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше.

Ответственность за содержание материалов несут авторы

Издается в авторской редакции

Компьютерная верстка Л. Ю. Бутаковой

Подписано к использованию 19.10.18.

Объем 7,33 Мб.

Издательство ОмГТУ.

644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12

Эл. почта: info@omgtu.ru

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

1. Шалай В.В., президент ОмГТУ, д.т.н., профессор, председатель (г.Омск, Россия);
2. Елисеев А.С., дважды Герой СССР, летчик-космонавт СССР, д.т.н., профессор, сопредседатель (г.Москва, Россия);
3. Каталинич Б., директор FESTO-проекта, профессор, сопредседатель (г. Вена, Австрия);
4. Косых А.В., ректор ОмГТУ, д.т.н., профессор, сопредседатель (г.Омск, Россия);
5. Рогалев Н.Д., ректор НИУ МЭИ, д.т.н., профессор (г.Москва, Россия);
6. Ибатов М.К., ректор КарГТУ, д.т.н., профессор (г. Караганда, Казахстан);
7. Стажков С.М., председатель совета директоров Международного межуниверситетского сетевого проекта «Синергия», заведующий кафедрой «Системы приводов, мехатроника и робототехника» БГТУ, д.т.н., профессор (г. Санкт-Петербург, Россия).

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

1. Хомченко В.Г., директор УЦ «ОмГТУ-FESTO», профессор кафедры «Автоматизация и робототехника» ОмГТУ, д.т.н., профессор, председатель (г.Омск, Россия);
2. Бобряков А.В., заведующий кафедрой «Управление и информатика» МЭИ, директор центра подготовки «МЭИ-FESTO», д.т.н. (г. Москва, Россия);
3. Брейдо И.В., заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов» КарГТУ, д.т.н., профессор (г. Караганда, Казахстан);
4. Кабанов А.А., заведующий кафедрой «Информатика и управление в технических системах» СевГУ, к.т.н., доцент (г.Севастополь, Россия);
5. Потехин В.В., доцент кафедры «Высшая школа киберфизических систем и управления» СПбПУ, к.т.н., доцент (г.Санкт-Петербург, Россия);
6. Филаретов В.Ф., заведующий кафедрой «Автоматизация и управление» ДВФУ, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ, д.т.н., профессор (г. Владивосток, Россия);
7. Гебель Е.С., заведующий кафедрой «Автоматизация и робототехника» ОмГТУ, к.т.н., доцент (г.Омск, Россия);
8. Пастухова Е.И., доцент кафедры «Автоматизация и робототехника» ОмГТУ, к.т.н., доцент (г. Омск, Россия).
9. Кривоухатко Е.А., ассистент кафедры «Автоматизация и робототехника» ОмГТУ (г. Омск, Россия).
10. Трапезникова О.В., ассистент кафедры «Автоматизация и робототехника» ОмГТУ (г. Омск, Россия).

Секция 1

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

И. О. Алиев, М. С. Пешко Исследование эффективности методов синтеза систем автоматического регулирования.....	8
И. О. Макаренко Формализованное математическое описание процесса брожения пивного сусла.....	14
С. С. Морозов, Е. С. Гебель Стабилизация влажности сливочного масла в процессе маслообразования	18
Л.С. Панова, Е. С. Гебель Экспертная система оценки качества молока.....	23
Г. И. Паршина, А. Д. Чен, Д. К. Жумагулова Автоматизированная система подачи воды для тепловой энергетической компании	28
Н.В. Прудцких Вертикальные теплицы: переход к концепции модульности	32
М. А. Семиколонов ¹ , Е. И. Моренко ¹ , Е.С. Гебель Автоматизированная система визуализации основных производственных показателей	36
Т.С.Татомир, А.А. Ибатуллин, И.А. Сорокина Моделирование процесса нагрева изобутановой фракции в трубчатой печи с использованием программного обеспечения Aspen HYSYS.....	40
С.Д. Фарунцев, А.А. Перминов Перспективы повышения эффективности технологических процессов подготовки нефти средствами промышленной автоматизации.....	47

Секция 2

МЕХАТРОННЫЕ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И МОДУЛИ

М.А. Буйнов Структурный синтез механизмов мехатронных устройств и роботов	53
М. Р. Ромазанов, В. О. Рябчевский, Е. И. Пастухова Анализ современных подходов при создании роботов телеприсутствия.....	58
Д.В. Донцов, А.А. Кабанов Разработка системы моделирования движения квадрокоптера	63
Ю.В. Жигулина, В.И.Осипов, В.А. Цветков, Б.Н. Воротынцев Гидродинамический демпфер системы ориентации и стабилизации	67
А.О. Кузьмин, В.В. Попов, С.М. Стажков, П.И. Валиков Улучшение характеристик объемных гидравлических машин.....	72
С.П. Машин, Д.А. Токарев, А.А. Кабанов Роботизированный комплекс для выполнения хирургических операций	75

А.В. Михалев, В.И. Осипов, В.А. Королёв, А.В. Киев Насос гидродинамического демпфера	80
А.А. Тарасов, А.Г. Нефёдов, В.А. Цветков, В.В. Попов Выбор способа горизонтирования транспортных платформ в зависимости от требований точности и нагрузки	85
Б.Н.Фешин, Л.Г.Шпакова Задачи оптимального управления электроприводами робота-манипулятора.....	91
Ю. В. Титов, Д. С. Реченко, Д.Г. Балова, А. Ю. Андрейчук Разработка установки для получения «чистых» поверхностей и ультрадисперсного порошка высокоскоростным способом в криогенной среде.	94

Секция 3

ПРОГРАММНОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

И.Ю. Шевченко, С.С. Поярков Программное обеспечение управления автономным тренажером «МТО».....	101
А.А. Новиков, В.В. Заводов, М.С. Пешко Оптимизации подбора термометров сопротивления с помощью программного пакета MATLAB Simulink.....	106
В. Ф. Филаретов, А. С. Губанков, И. В. Горностаев Особенности формирования программных сигналов для исполнительных электроприводов промышленных роботов с избыточными степенями подвижности	114
А.О. Строев , А. Н. Кужель , И. М. Зуга, В. Г. Хомченко Автоматизация синтеза схем внешних кабельных проводок на ортогональном поле с использованием волнового алгоритма	119
А.О. Строев, А. Н. Кужель, И. М. Зуга, В. Г. Хомченко Синтез схем внешних кабельных проводок на основе волнового алгоритма с использованием окрестности Мура.....	122
И.И. Малахов, Е.И. Моренко, К.А. Лузарев, М.А. Семиколенов Моделирование и кинематический анализ кривошипно-ползунного механизма.....	125

Секция 4

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Г.С. Нурмаганбетова Косвенные методы определения активного сопротивления и температуры статора асинхронного электродвигателя.....	130
Ю.А. Жуков, М.И. Надежин Моделирование трения в линейном приводе системы управления гексаподом космического назначения	134
Р. Ю. Сухарев, Е. И. Пастухова Нечеткое регулирование в АСУТП гидроочистки дизельного топлива.....	143

В.А. Королёв, А.В. Киев, Б.Н. Воротынцев Обобщённая математическая модель с цикловым управлением	151
П.С. Мачулин Резервирование системы управления привода путем применения генераторного режима работы.....	155
Р. К. Саткангулов, К. К. Смагулова Замена контроллерного оборудования в разрабатываемой автоматической системе управления групповыми замерными установками на нефтяном месторождении «Восточный Молдабек» АО «Эмбаунайгаз»	159

Секция 5

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИКЛАДНЫХ ОБЛАСТЯХ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.Е. Зверев, А.В. Куликова, М.М. Полотнов, К.В. Фомин Комплексное программное решение для реализации процессов сбора и обработки плановой и отчетной информации в целях финансового планирования и оперативного мониторинга деятельности подведомственных учреждений	162
А.Е. Зверев, А.В. Куликова, М.М. Полотнов Научно-методическое и информационно-аналитическое сопровождение оказания государственных услуг в части подготовки кадров высшей квалификации	165
К.А. Лузарев, Е.С. Гебель Система показателей технического состояния запорно-регулирующей арматуры.....	168
В.А. Иванов, Е.С. Котов, И.В. Брейдо GSM-сети в распределённых системах контроля технологических процессов.	173

Секция 1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

УДК 681.51

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ СИНТЕЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

И. О. Алиев¹, М. С. Пешко¹

¹*Омский государственный технический университет*

Аннотация – В статье рассмотрены методы Циглера-Никольса и расширенных частотных характеристик, использующихся при параметрическом синтезе регуляторов. Проанализирована их эффективность применения в системе автоматического регулирования. В качестве объекта управления рассмотрен процесс регулирования температуры во вторичном контуре теплообменника в составе компактной станции фирмы FESTO. Результатом проведенного анализа стала сравнительная таблица показателей качества процесса регулирования по каждому методу.

Ключевые слова – Циглер-Никольс, регулятор, математическая модель, объект управления, Simulink.

I. ВВЕДЕНИЕ

Глобальная проблема теории автоматического управления состоит в синтезе такой системы управления, которая обеспечила бы наилучшие качественные показатели (робастность, быстродействие, точность, перерегулирование) переходных процессов на выходе объекта управления (ОУ), с минимальными энергозатратами на управление.

Одним из направлений решения данной проблемы является параметрический синтез регуляторов. Существует множество методов как приближенной, так и точной настройки регуляторов, использующих экспериментально снятые переходные характеристики, или математическую модель в виде передаточных функций ОУ.

Проблема синтеза регуляторов состоит в невозможности предположить значения параметров регулятора, приводящие к наиболее качественному процессу управления. На данный момент не существует универсального метода синтеза САУ, в виду многообразия объектов управления, нелинейностей управляемых процессов, внешних возмущений действующих на систему.

Цель исследования состоит в анализе эффективности таких распространенных методов синтеза как: метод Циглера-Никольса [1], метод расширенных частотных характеристик (РЧХ) [2], – и получении рекомендаций о применимости методов к типовым объектам управления.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для достижения поставленной цели стоят следующие задачи:

- провести сравнительный анализ качества переходных процессов при синтезе исследуемыми методами;
- выявить достоинства и недостатки синтеза каждого из методов;
- составить рекомендации о применимости исследуемых методов параметрического синтеза регуляторов для конкретного объекта.

III. ТЕОРИЯ

1. Математическая модель объекта управления

В качестве объекта управления (ОУ) выбран контур регулирования температуры теплоносителя на выходе из охладителя Compact-Workstation фирмы FESTO [3]. Внешний вид Compact-Workstation и функциональная схема контура представлены на рис. 1. В первичный контур K1 теплообменника NP 1-04 включены: бак B101 с датчиком температуры TE1 и нагревателем E104; насос P101. Во вторичный контур K2 теплообменника включен охладитель DLK 40 с встроенным датчиком температуры TE2.

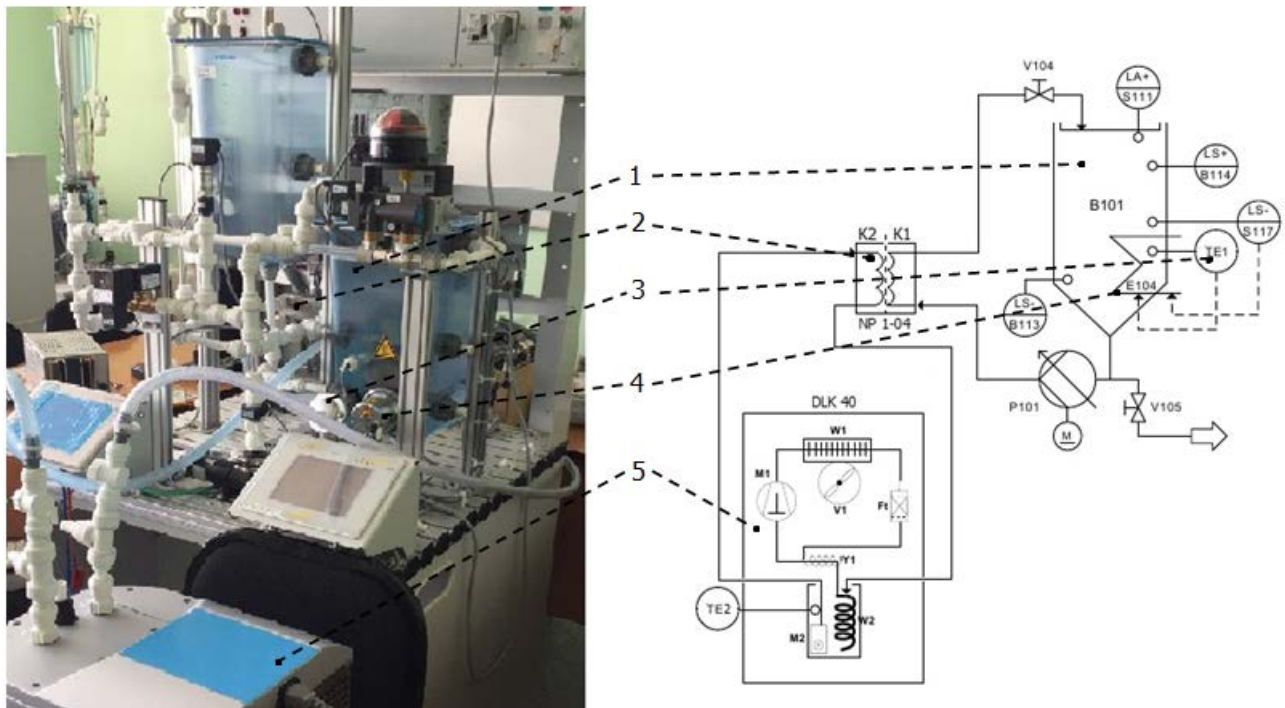


Рис. 1. Внешний вид компак станции и функциональная схема объекта управления (1 – бак с водой, 2 – теплообменник, 3 – датчик температуры в баке, 4 – нагревательный элемент, 5 – охладитель)

Для построения математической модели объекта управления компоненты контура были описаны балансными уравнениями тепловых потоков [4]. По балансным уравнениям тепловых потоков были составлены дифференциальные уравнения, на основании которых в пакете Simulink реализована математическая модель ОУ.

С помощью инструмента Linear Analysis Tool модель линеаризована по каналу управления от нагревателя Qng, каналу возмущения по наружной температуре Tn и по каналу возмущения от охладителя Qoh, с получением соответственно передаточных функций W_Qng, W_Tn, W_Qoh. На Рис. 2 представлена математическая модель САР, включающая в себя линеаризованную модель ОУ, ПИД-регулятор, датчик PT100 обратной связи по температуре воды Tох(t) на выходе охладителя.

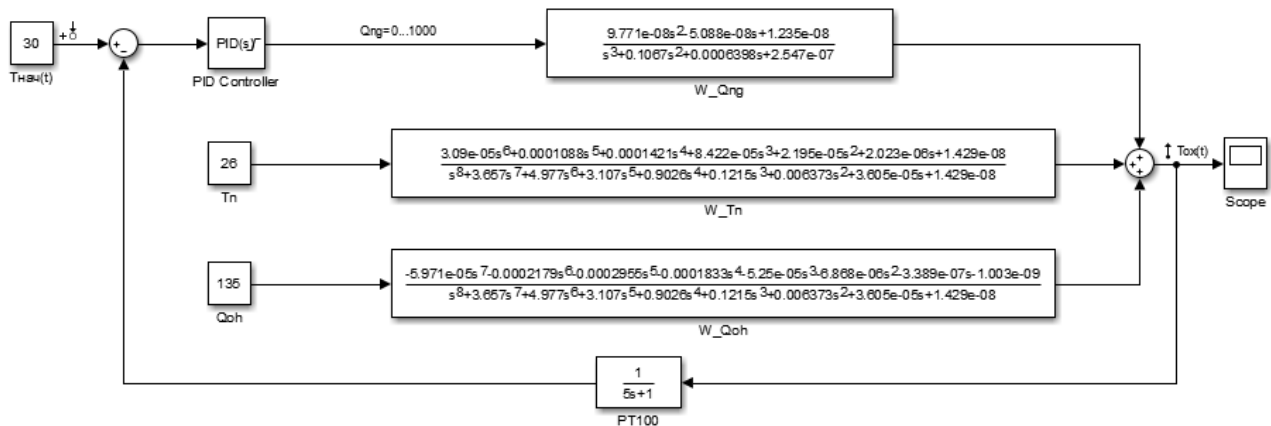


Рис. 2. Исследуемая САР

2. Настройка САР методом РЧХ

Одним из традиционных методов настройки регуляторов является метод расширенных частотных характеристик.

Метод РЧХ основан на критерии Дудникова Е.Г. [5]. В качестве исследуемой передаточной функции выступает W_{Qng} (Рис.2), включенная в канал управления а также ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W_p(s) = K_p + \frac{Ki}{s} \quad (2)$$

Метод использует понятие расширенной частотной характеристики разомкнутой системы, которая включает в себя заранее заданную величину степени колебательности m , определяющую запас устойчивости системы. При различных значениях частоты ω строится линия равной степени колебательности в плоскости параметров K_i , K_p . Критерием качества при синтезе данным методом выступает минимум квадратичной интегральной оценки J_{20} , который достигается на частоте:

$$\omega_{onm} = 1.2\omega_p, \quad (3)$$

где ω_p – частота максимума линии равной степени колебательности.

На Рис. 3 изображены линии равной степени колебательности при $m=0.366$, $m=10$, определенные с помощью программы MathCad.

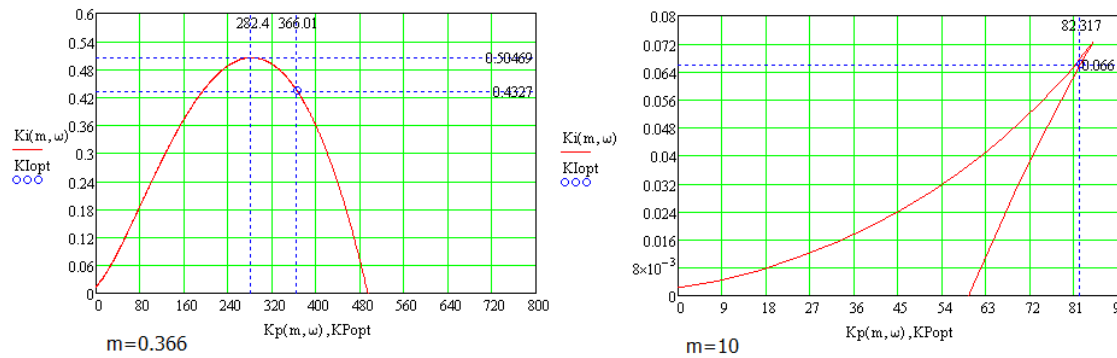


Рис. 3. Границы равной степени колебательности

Точками на графике отмечены оптимальные значения параметров ПИ-регулятора.

К недостаткам метода следует отнести:

- отсутствие рекомендаций по выбору интервала частот, по которому строится граница равной степени колебательности;
- невозможность получить апериодические процессы;
- трудоемкость процесса, без использования средств ЭВМ.

3. Настройка САР методом Циглера-Никольса

Синтез САР проводилась с помощью двух вариантов метода Циглера-Никольса [6], (первый вариант реализован аналитически) [7] .

Реализация второго варианта метода, для свободного процесса линеаризованной модели ОУ при нулевых начальных условиях представлена на Рис. 4.

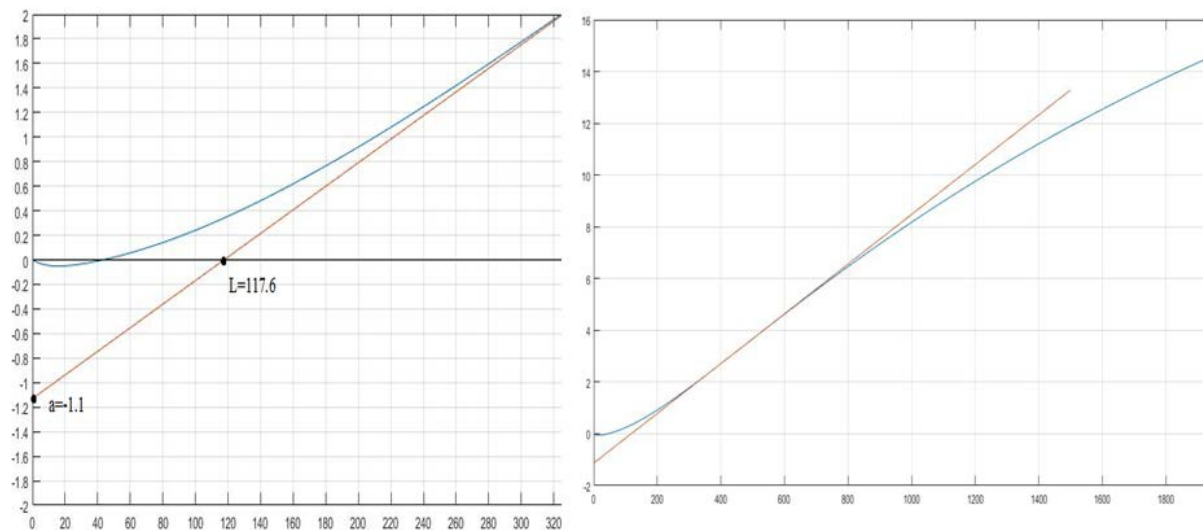


Рис. 4. Реализация метода Циглера-Никольса по переходной характеристике ОУ

Используя табличные выражения [6] , по найденным значениям $a = -1.1$, $L = 117.6$ определены настройки ПИД-регулятора.

Преимущество метода в его простоте, недостаток – требует ручной подстройки, найденные параметры регулятора часто обеспечивают переходные процессы неудовлетворительного качества.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В пакете Simulink Matlab были построены переходные процессы исследуемой САР по обоим методам синтеза. Результат представлен на Рис. 5. Переходный процесс по первому варианту метода Циглера-Никольса незатухающий, следовательно, обладает неудовлетворительным качеством.

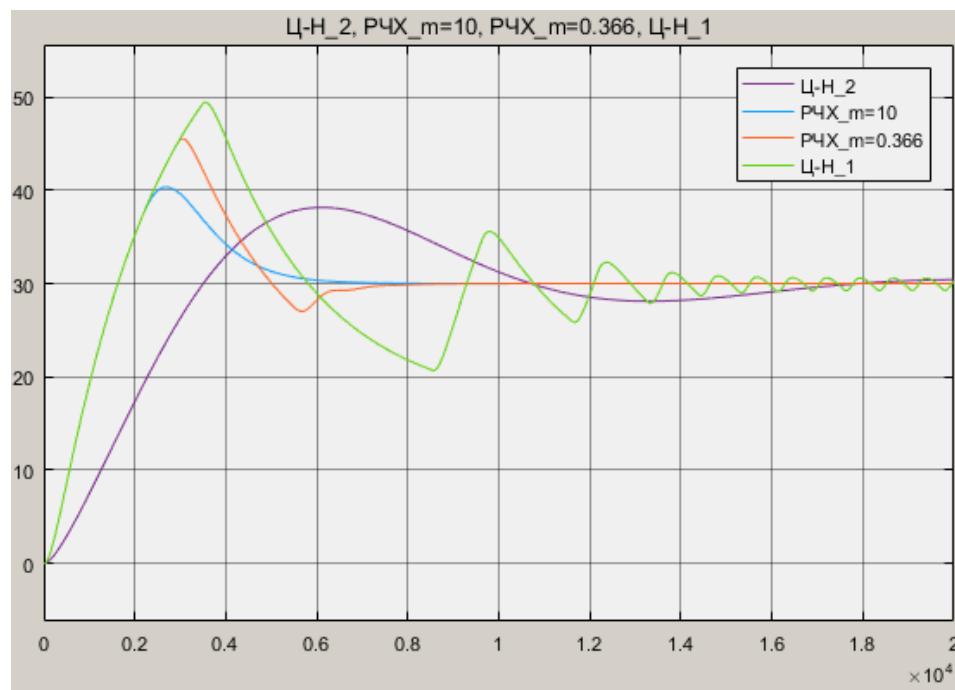


Рис. 5. Переходные процессы САР при синтезе исследуемыми методами

На основании графиков переходных процессов при помощи инструмента Linear Analysis Tool получены показатели качества для каждого процесса: t_p – длительность переходного процесса, σ – перерегулирование, $\Delta_{ст}$ – статическая ошибка регулирования. Значение интегрального квадратичного критерия J_{20} и энергозатраты E_z по выходу регулятора получены в Simulink модели САР с помощью блока Integrator при заданной величине уставки $T_{уст}(t) = 30$, модельного времени $T_{мод} = 20000$ с (ориентир на самый длительный процесс). Численные значения показателей качества представлены в Табл. 1.

ТАБЛИЦА I
ТАБЛИЦА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДУЕМЫХ МЕТОДОВ

Метод	Параметры регулятора			t_p , с	σ , %	$\Delta_{ст}$, °C	J_{20}	E_z , кВт*ч
	K_p	K_i	K_d					
РЧХ при $m=0.366$	366.01	0.433	0	1830	42.8	0	$8.175 \cdot 10^5$	0.355
РЧХ при $m=10$	82.317	0.066	0	3700	11.9	0	$6.63 \cdot 10^5$	0.350
Циглера-Никольса	1.091	0.0112	58.8	17500	23	0	$13.59 \cdot 10^5$	0.330

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Так как объект управления имеет ярко выраженный апериодический характер, то применение варианта метода Циглера-Никольса, основанного на частотных характеристиках ОУ привело к возникновению незатухающих колебаний (Рис. 5, график "Ц-Н_1"), вследствие сильно завышенных значений параметров ПИД-регулятора.

Апериодический характер свободного процесса ОУ, также послужил причиной возникновения неприемлемого перерегулирования при настройке ПИ-регулятора на заданную степень колебательности $m=0.366$, вследствие недостаточной степени затухания для объекта такой инерционности.

Судя по Табл. 1 наиболее эффективным оказался метод РЧХ на степень колебательности $m=10$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers // Transactions of the ASME, Vol.64. pp. 759–768, 1942.
- [2] Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учеб. для вузов. М.: Изд. дом МЭИ, 2007.
- [3] Jürgen Helmich. MPS PA Compact Workstation/ Manual. Esslingen, Germany, 12/2008.
- [4] Мазо А.Б. Основы теории и методы расчета теплопередачи: учеб. пособие / А.Б. Мазо – Казань: Казан. ун-т, 2013. 144 с.
- [5] Е.Г. Дудников, Определение настройки регулятора по динамическим характеристикам регулируемого объекта и регулятора, полученным из опыта // Автомат. и телемех., 1953, том 14, выпуск 3, 294–307
- [6] Настройка типовых регуляторов по методу Циглера-Никольса. URL: <http://portal.tpu.ru/SHARED/v/VOS/study/disc2/Tab/06-labtau-2014.pdf>
- [7] Расчет настроек регуляторов эмпирическим методом Зиглера-Никольса. URL: <https://studfiles.net/preview/5338120/>, URL – свободный.

ФОРМАЛИЗОВАННОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА БРОЖЕНИЯ ПИВНОГО СУСЛА

И. О. Макаренко¹

¹*Омский государственный технический университет*

Аннотация – Изложено получение формализованного описания математической модели процесса брожения пивного сусла. Для построения математической модели были получены экспериментальные данные в ходе нормальной эксплуатации объекта. При помощи линейного множественного регрессионного анализа построена математическая зависимость скорости изменения сухих веществ от времени брожения. Полученная математическая модель в полном объеме отражает динамику изменения сухих веществ в процессе брожения сусла.

Ключевые слова – Математическая модель, брожение, пиво.

I. ВВЕДЕНИЕ

Технологические процессы, происходящие в пивоваренном производстве, а именно процесс брожения пивного сусла, относится к сложным многопараметрическим системам [1]. Обзор научно-технической литературы показал, что до настоящего времени область научных работ, посвященных математическому описанию процессов производства пива, мало исследована. Для разработки АСУ такими процессами необходимо получить формализованное математическое описание.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача идентификации заключается в таком представлении модели объекта, которое позволит достаточно полно отразить картину перехода продукта брожения из какого-либо начального состояния до конечного под влиянием внешних и внутренних факторов и управляющих воздействий. В пивоваренном производстве возмущающими воздействиями являются многочисленные параметры исходного сырья и процесса ферментации, которые постоянно изменяют качество конечного продукта, требующих применения математических моделей.

III. ТЕОРИЯ

В первом приближении всю совокупность факторов, действующих на объект исследования, можно разбить на две основные группы.

Внешние факторы $E_1(t)$ обусловлены как возможным изменением состава и свойств задаваемых компонентов (температура, плотность, органолептические и микробиологические показатели и т.п.), так и изменением состояния окружающей среды (температура, влажность, состав воздушной среды и т.д.).

Внутренние факторы $E_2(t)$ обусловлены природой продукта брожения, общей картиной физических, химических и микробиологических превращений, протекающих в нем.

Таким образом, совокупное влияние всех факторов на процесс брожения можно описать следующим образом:

$$E(t) = E_1(t) + E_2(t) = E_k(t) + E_{нк}(t)$$

где $E(t)$ – совокупность всех воздействий;

$E_k(t), E_{нк}(t)$ – контролируемые и неконтролируемые воздействия.

Для построения математической модели были получены экспериментальные данные в ходе нормальной эксплуатации объекта. Планирование эксперимента в данном случае не представлялось возможным ввиду особенностей данного объекта управления, в котором входные параметры являются взаимосвязанными. С учетом этого фактора, классические методы планирования эксперимента непригодны для получения модели. Поэтому в данной работе используется метод линейного множественного регрессионного анализа.

Рассмотрим структурную модель объекта управления, представленную на Рис. 1.

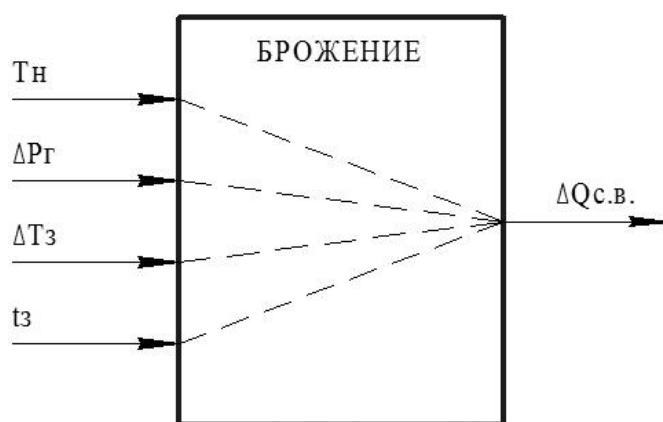


Рис.1. Структурная модель объекта управления

Входными параметрами являются:

T_n – начальная температура затора;

ΔP_g – изменение давления углекислого газа в ЦКБА;

ΔT_z – изменение температуры затора;

t_z – время протекания затора.

Выходными параметрами являются:

$\Delta Q_{с.в.}$ – скорость изменение количества сухих веществ в заторе.

Выходные параметры объекта управления – это параметры, измеряемые в ходе процесса брожения в лабораторных условиях, что с точки зрения автоматизации является неудобным. Все входные параметры легко поддаются измерениям стандартными средствами измерения, что позволяет разработать автоматизированную систему управления.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе проведения эксперимента получена выборка объемом в 20 измерений.

Воспользуемся множественным линейным регрессионным анализом для построения математической зависимости. Таким образом, имеем матрицу результатов наблюдений

Необходимо построить такое уравнение плоскости, отклонение результатов наблюдений от которой были бы минимальными. Другими словами, следует вычислить значения коэффициентов b_0, b_i в линейном полиноме:

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

что равносильно минимизации выражения:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (b_0 + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + b_3 x_{i3} + \dots + b_j x_{ij} + b_p x_{ip})]^2 \quad (2)$$

где p – число факторов;

\hat{y}_i – вычисляемые, предсказываемые, выравненные значения исследуемой характеристики.

Для отыскания минимума выражения (2) необходимо найти частные производные по всем неизвестным $b_0, b_1, b_2, b_3, \dots, b_p$ и приравнять их нулю. Полученные уравнения образуют систему нормальных уравнений, которую можно представить в матричном виде:

$$(X^T X)B = X^T Y$$

где B – вектор столбец искомых коэффициентов аппроксимирующего полинома (2).

Учитывая, что число факторов равно 4, представим вектор столбец B в матричном виде:

$$B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix}$$

где X – матрица всех значений всех рассматриваемых факторов, полученных при проведении измерений. Для решения данной системы нормальных уравнений в матричной форме умножаем ее слева на матрицу, обратную матрице системы нормальных уравнений.

$$(X^T X)^{-1}(X^T X)B = (X^T X)^{-1}(X^T Y)$$

$$(X^T X)^{-1}(X^T X) = E$$

где E – единичная матрица.

Таким образом, решение системы нормальных уравнений в матричной форме запишется так

$$B = (X^T X)^{-1}(X^T Y)$$

В результате вычислений получаем следующие значения коэффициентов $b_0 = -6.5$, $b_1 = 1.1748$, $b_2 = 0.25$, $b_3 = 0.0011$, $b_4 = 0.1563$ Уравнение математической модели примет вид:

$$\hat{y} = -6.5 + 1.1748x_1 + 0.25x_2 + 0.0011x_3 + 0.1563x_4$$

V. ВЫВОоды и ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученная математическая модель процесса брожения является ключевым моментом в решении комплексной автоматизации процесса производства пива, так как именно процесс брожения до сих пор оставался неконтролируемым простыми средствами

измерения в непрерывном режиме, что не позволяло автоматизировать данный этап производства. Автоматизация данного технологического этапа совместно с автоматизацией процесса подготовки и задания компонентов, а также процесса транспортировки и охлаждения позволит комплексно автоматизировать весь технологический процесс производства пива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ермолаева Г. А. Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков / Г. А. Ермолаева, Р.А. Колчева М.: ИРПО; Изд. центр «Академия», 2000. 417 с.
- [2] Константинов Е. Н. Математическая модель кинетики процесса брожения сусла / Е. Н. Константинов, Т. Г. Короткова, Р. С. Шаззо // Известия вузов. Пищевая технология. 2007. № 5. 6. С. 65 – 66.
- [3] Скугоров В. П. Анализ многокомпонентных систем физико-химическими методами / В. П. Скугоров. Приборостроение. 1959. № 8. С. 18–21
- [4] Фараджеева Е. Д. Общая технология бродильных производств / Е. Д. Фараджеева, В. А. Федоров. М.: Колос, 2002. 408 с.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ВЛАЖНОСТИ СЛИВОЧНОГО МАСЛА В ПРОЦЕССЕ МАСЛООБРАЗОВАНИЯ

С. С. Морозов¹, Е. С. Гебель¹

¹*Омский государственный технический университет*

Аннотация – В статье рассматривается технологический процесс получения сливочного масла методом преобразования высокожирных сливок. Качество конечного продукта определяется консистенцией и содержанием воды. Влажность, как исходного сырья, так и сливочного масла варьируется на всех этапах производства, что обуславливается влиянием большого числа возмущающих воздействий. В результате анализа операционно-технологической схемы процесса и данных лабораторного анализа установлено, что с целью повышения качества выпускаемого продукта необходимо обеспечить регулирование влажности на заключительном этапе маслообразования за изменения расходов нормализующих компонентов.

Ключевые слова – высокожирные сливки, система автоматического управления, влажность, маслообразователь.

I. ВВЕДЕНИЕ

В основе технологии получения сливочного масла, независимо от метода производства, лежит концентрирование жира в плазме молока, частичное отвердевание молочного жира в пределах, необходимых для получения масла желаемой консистенции, формирование структуры и консистенции сливочного масла. Благодаря способности молочного жира к отвердеванию, осуществляемому под влиянием температурного воздействия, возможна выработка сливочного масла из молока.

Сливочное масло – пищевой продукт, состоящий в основном из молочного жира и воды, содержание которых определяет разновидность конечного продукта (Табл. 1) [1].

ТАБЛИЦА 1
СОСТАВ РАЗНОВИДНОСТЕЙ СЛИВОЧНОГО МАСЛА

Массовая доля в масле, %	Разновидности сливочного масла				
	Традиционное	Любительское	Крестьянское	Бутербродное	Чайное
Жиры	82,5	80,0	72,5	61,5	50,0
Воды	16,0	18,0	25,0	35,0	45,5

Отсутствие оперативного контроля за химическим составом и свойствами жировой фазы сливок приводит к появлению различных пороков консистенции масла [2]. Необходимость непрерывного контроля влажности на всех стадиях технологического процесса и оперативная стабилизация параметра влажности масла является актуальной задачей.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для решения задач, связанных со стабилизацией влажности сливочного масла, получаемого на выходе с технологической установки, необходимо определить факторы

и условия, влияющие на качество готового продукта. В работе рассматривается технологический процесс (Рис. 1) приготовления сливочного масла методом преобразования высокожирных сливок с применением цилиндрического маслообразователя на Замелетеновском молочном заводе.

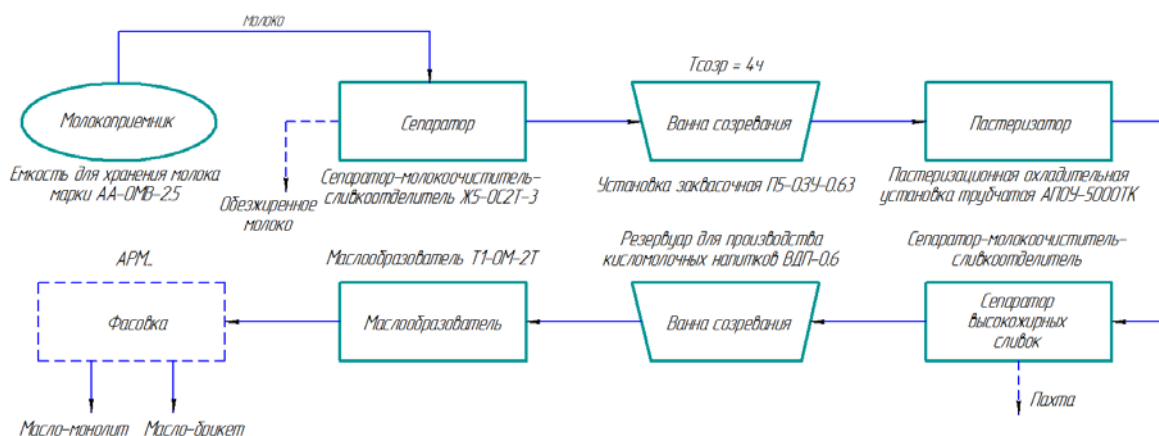


Рис. 1. Операционно-технологическая схема производства сливочного масла

III. ТЕОРИЯ

Технология рассчитана для производства сливочного масла вида «Крестьянское несоленое» с массовой долей влаги не более 25%, массовая доля жира не менее 72,5%, СОМО (сухой обезжиренной молочный остаток) 2,5% [3]. На стадии сепарирования обезжиривание молока зависит от следующих факторов: числа оборотов барабана (рекомендованное значение порядка 6500 об/мин), температуры и кислотности молока. Согласно ГОСТ [3] температура сливок на входе в сепаратор должна составлять не менее 40°C, кислотность 16 – 18,5°Т (по Тернеру). На выходе пастеризатора (Рис.1) влажность зависит от температуры (76 – 93°C) и времени пастеризации (1–2 мин.). Установка АПОУ-500ТК оборудована системой автоматического управления процессом охлаждения, в случае превышения допустимых норм происходит возврат молока на повторное охлаждение – рециркуляция, если температура на выходе выше заданной.

Анализ аппаратурно-технологической структуры процесса получения сливочного масла показал, что влажность конечного продукта варьируется на всех стадиях, указанных на Рис. 1.

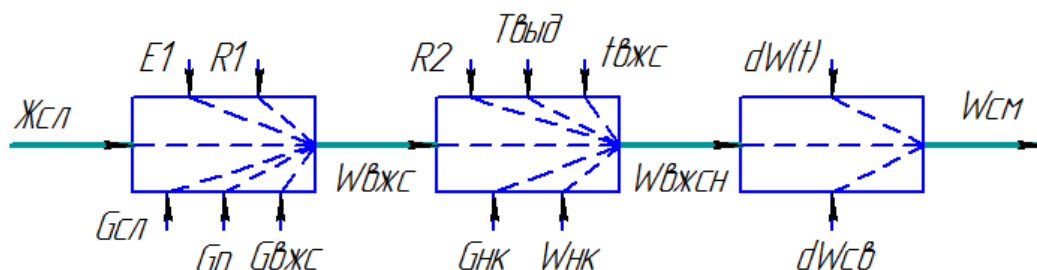


Рис. 2. Параметрическая (функциональная) схема процесса производства масла

Параметрическая схема системы регулирования содержания воды, учитывающая возмущающие и задающие воздействия показана на Рис. 2, где $Ж_{сл}$ – жирность сливок, $G_{сл}$ –

расход сливок, подаваемых в сепаратор, $G_{\text{п}}$ – расход пахты, $G_{\text{вжс}}$ – производительность сепаратора по ВЖС, E_1 – комплекс параметров, характеризующих физико-химические свойства сливок, $W_{\text{вжс}}$ – содержание влаги в ВЖС, $R1$ и $R2$ – факторы, определяющие конструктивные особенности оборудования, $T_{\text{выд}}$ – время выдержки ВЖС в ванне, $t_{\text{вжс}}$ – температура ВЖС, $W_{\text{нк}}$ – содержание влаги в нормализующем компоненте, $G_{\text{нк}}$ – расход нормализующего компонента, $W_{\text{вжсн}}$ – содержание влаги в нормализованных ВЖС, $dW_{\text{св}}$ – прирост влаги в масле, $dW(t)$ – фактор неоднородности готового продукта по влаге, $W_{\text{см}}$ – содержание воды в сливочном масле.

В процессе сепарирования управляющими воздействиями являются расход сливок $G_{\text{сл}}$ (аппаратное воздействие), расход пахты $G_{\text{п}}$ и производительность (число оборотов) сепаратора $G_{\text{вжс}}$ (технологические воздействия). К возмущающим воздействиям относятся жирность сливок $Ж_{\text{сл}}$, комплекс параметров E_1 , характеризующих физико-химические свойства сливок (например, плотность, поверхностное натяжение, титруемую и активную кислотность и т.д.) и группа факторов $R1$, определяющих конструктивные особенности сепаратора.

На стадии нормализации формирование влажности определяется расходом $W_{\text{нк}}$ и температурой $t_{\text{вжс}}$ нормализующего компонента (пахты, молока, сливок, молочного жира, сухого, сгущенного обезжиренного молока и др.). Следует отметить, что добавление компонента не обеспечивает однородность продукта по влажности и является причиной расслоения готового продукта, в результате происходит прирост $dW(t)$ массовой доли воды в масле.

На стадии маслообразования основным фактором определяющим влажность готовой продукции является содержание воды $W_{\text{вжсн}}$ в нормализованных высокожирных сливках. В результате термохимической обработки сырья в аппарате Т1-0М-2Т (Рис.1) часть влаги испаряется.

Таким образом, содержание воды в сливочном масле определяется действием следующей совокупности факторов:

$$W_{\text{см}} = W_{\text{вжс}} + W_{\text{нк}} + dW(t) + dW_{\text{св}}. \quad (1)$$

Наибольшее влияние на отклонение влажности от заданного значения оказывают технологический процесс в маслообразователе [4], т.е. после предусмотренных штатных технологических корректировок в сепараторе и нормализационных ваннах. В аппарате Т1-0М-2Т не предусмотрен контур регулирования влажности.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В технологическом процессе маслообразования происходит двух стадийное сепарирование молока и сливок. Нормализация влажности происходит в ваннах созревания, что не является достаточно надежным способом, так как варьирование регулирования параметра достигает 0,5–1%.

Оснащение маслообразователя дополнительными контурами регулирования расходов нормализующих компонентов с повышенным и пониженным содержанием влаги в маслообразователе позволит контролировать массовую долю воды в сливочном масле. На основе текущей информации о значении влажности аналитически рассчитываются расходы

нормализующих компонентов (пахты, молока, сливок, молочного жира, сухого, сгущенного обезжиренного молока и др.) для стабилизации выходного параметра [5].

Преобразование высокожирных сливок в маслообразователе Т1-ОМ-2Т (Рис. 3) происходит в несколько этапов: охлаждение; преобразование фаз дисперсной системы сырья в диспергаторе (термомеханическая обработка) и формирование первичной структуры сливочного масла в обработнике [6].

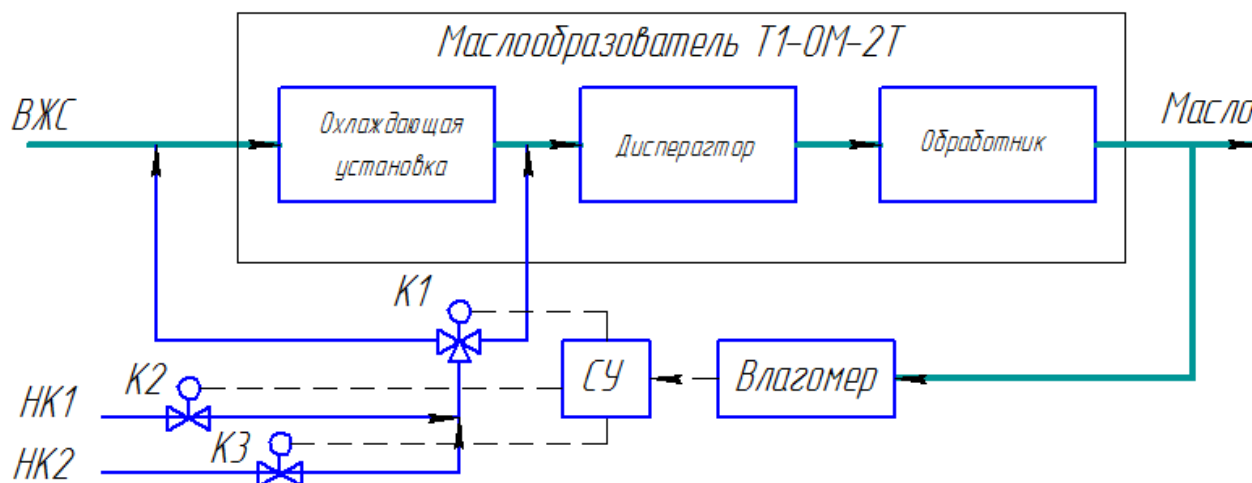


Рис. 3. Функциональная схема стабилизации влажности сливочного масла

Выбор зоны внедрения нормализующих компонентов оказывает огромное влияние на качество и скорость технологического процесса получения сливочного масла. Экспертным путем установлено, что подачу нормализующих компонентов (пахты, молока, сливок, молочного жира, сухого, сгущенного обезжиренного молока и др.) наиболее целесообразно с точки зрения стабилизации влажности готового продукта осуществлять на входе в маслообразователь между установкой охлаждения и установкой термомеханической обработки, так как в зоне охлаждения, до температуры, соответствующей началу кристаллизации массы молочного жира не происходят качественных изменений концентрации влаги, поэтому отсутствует необходимость введения НК с повышенным содержанием влаги в конце зоны охлаждения. НК с пониженным содержанием влаги является частью сырья для производства масла, поэтому целесообразно вводить в зону после охлаждения, до термомеханической обработки (Рис. 3).

Текущий контроль значений выходного параметра системы управления позволит в реальном времени регулировать расход нормализующих компонентов.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассматривается технология получения сливочного масла методом преобразования высокожирных сливок. В результате анализа операционно-технологической схемы производства составлен перечень факторов, влияющих на содержание воды в конечном продукте. Показано, что требуется модернизация аппарата маслообразователя, которая заключается во введении дополнительного контура регулирования расхода нормализующих компонентов на основе показаний влагомера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Вышемирский Ф.А. Показатели состава и качества сливочного масла разных методов производств // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти В. М. Горбатова "Актуальные вопросы развития устойчивых, потребитель-ориентированных технологий пищевой и перерабатывающей промышленности АПК", 2017. № 1. С. 64–69.
- [2] Алешичев С. Е. Совершенствование процесса аппаратурно-технологической стабилизации влажности при производстве сливочного масла способом непрерывного сбивания: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.18.12. Санкт-Петербург, 2009. 16 с.
- [3] ГОСТ 32261-2013 Масло сливочное. Технические условия. Введ. 2015-07-01.
- [4] Григорьян Р. Г. Стабилизация влажности в технологическом процессе производства сливочного масла способом преобразования высокожирных сливок: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.18.12. Санкт-Петербург, 1994. 16 с.
- [5] Долгарева Н.Г., Богтаова О.В. Продукты из молочного сырья: учебное пособие. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. 131 с.
- [6] Особенности работы маслообразователей // Промышленная группа «ПРОМФ» URL: <http://promf.com/reference-equipment-food-ru/1364-osobennosti-raboty-masloobrazovatelej.html> (дата обращения: 29.04.2017).

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МОЛОКА

Л. С. Панова¹, Е. С. Гебель¹

¹*Омский государственный технический университет*

Аннотация – В работе разработана экспертная система оценки качества молока. На основе накопленного опыта технологов выделены основные факторы, влияющие на качество исходного продукта в технологическом процессе изготовления сгущенного молока. Фаззификация переменных и база правил нечеткого регулятора реализованы в математическом пакете Matlab. Верификация модели проведена на нескольких наборах тестовых данных.

Ключевые слова – Экспертная система управления, интеллектуальные системы, нечеткий регулятор, фаззификация.

I. ВВЕДЕНИЕ

Внедрение и эксплуатация систем управления технологическими процессами на предприятиях пищевой промышленности позволяет решить задачи оптимального оперативного управления технологическими объектами, быстрый сбор информации о функционировании участков, цехов и предприятия с целью получения продукции в заданном количестве и качестве. С использованием экспертных систем в молочной консервной промышленности повышается эффективность процессов и появляется возможность перенастраивать систему в соответствии с расширением опыта, таким образом, система управления становится адаптивной, появляется возможность к самообучению и самоорганизации.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При автоматизации управления процессами приготовления сгущенного молока современные автоматические регуляторы применяются только на определенных этапах автоматизация управления технологическими процессами и для стабилизации отдельных параметров технологического режима пищевой промышленности. Качество основного продукта используемого при производстве сгущенного молока зависит от большого количества параметров, например, химического состава, сбалансированного, полноценного кормления животных и т.д. При не явном характере зависимостей при производстве объекта пищевой промышленности оператору трудно принять правильное решение. Традиционные системы управления способны решать только полностью детерминированные задачи, поэтому появляется необходимость внедрения интеллектуальных систем управления, построенных на основе экспертных знаний технологов. Применение аппарата нечеткой логики в таких системах позволяет преобразовать неоднозначные эмпирические утверждения в формальные математические формулы [4].

Целью работы является создание экспертной системы оценки качества сырья при производстве сгущенного молока.

III. ТЕОРИЯ

При выполнении анализа процесса выпаривания на одном из этапов технологического процесса производства сгущенного молока практический опыт эксперта-технолога используется для составления адекватной модели, учитывающей основные факторы, влияющие на качество молока: порода животных, период лактации, количество питательных веществ в корме. Оптимальное сочетание параметров, обеспечивающих максимальное качество и производительность конечного продукта, при этом минимальные затраты на процесс, не остаются постоянными и изменяются от исходного продукта – молока.

Процесс фаззификации исходных параметров о состоянии процесса обеспечивает точность при построении нечеткого регулятора. Для описания экспертной системы оценки качества молока используются следующие термы: «Порода», «Протеины в корме» и «Количество молока».

В соответствии с данными, приведенными в [2], предел жирности в зависимости от породы животного изменяются в пределах 2,7–5,8%. Определим границы изменения параметров и принимаемы технологические решения:

- нижней допустимой отметкой нормального молока является жирность 2,7%. Молоко с меньшей жирностью не используется при температурных воздействиях и требует нормализации с добавлением молочных жиров.
- верхней допустимой отметкой нормального молока является жирность 5,8%. Молоко с большей жирностью разбавляют обезжиренным.

Таким образом, молоко с большей или меньшей жирностью, чем рекомендованное значение, увеличивает затраты на нормализацию молока.

С учетом накопленного опыта технологов [5] диапазон от 3,2% до 5,8% разбивается на интервалы, описывающие параметр жирности продукта в зависимости от породы животного, и описывается термами лингвистической переменной «Порода» (Табл. 1).

ТАБЛИЦА I
ТЕРМА ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ «PORODA»

Диапазон жирности, %	Характеристика терма	Обозначение терма	Среднее значение жирности, %
3,2-3,39	Порода красная степная	ks	3,3
3,3-3,48	Порода чёрно-пестрая	ch-p	3,39
3,39-3,77	Порода холмогорская	h	3,48
3,48-4,44	Порода ярославская	ja	3,77
3,77-5,75	Порода айширская	a	4,44
4,44-5,8	Порода джерсейская	d	5,75

Процесс выработки молока называется лактацией, у коровы длится около 300 дней. Качество молока в зависимости от дня его получения по таким показателям как кислотность и плотность. С учётом разбиения получения молока от дней выделим терма для лингвистической переменной «Количество» (Табл. 2).

При описании лингвистической переменной «Количество» учитываются следующие экспертные оценки [2]:

- молоко, полученное в первые 7–10 дней периода лактации, имеет повышенную кислотность (50°T) и плотность ($1,038\text{--}1,040\text{ г/см}^3$);
- молоко, полученное в последние 7–10 дней периода лактации, имеет сниженную кислотность (10°T).

ТАБЛИЦА II
ТЕРМА ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ «SEZON»

Диапазон дней	Характеристика терма	Обозначение терма
1-10	Молозиво	min
11-285	Нормальное молоко	norma
286-300	Стародонное	max

Еще одним фактором, влияющим на качество молока, является количество протеина на единицу корма. В зависимости от массы корма в нем содержится определенное количество протеина. В Табл. 3 приведены термы лингвистической переменной «Protein» в соответствии с количеством протеина в корме (г), а на Рис. 3 представлены результаты.

ТАБЛИЦА III
ТЕРМА ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ «PROTEIN»

Количество протеина, г	Масса корма, кг
95	менее 8
98	9-15
100	16-20
102	21-23
105	более 24

Перечисленные входные параметры влияют на выходной параметр жирность молока. Зависимость описывается функцией принадлежности (Рис. 1). Оптимальной для приготовления молока цельного сгущённого с сахаром является жирность в пределах от 2.7–5,8%. В остальных случаях молоко либо нормализуется до указанных параметров, либо не используется в технологии.

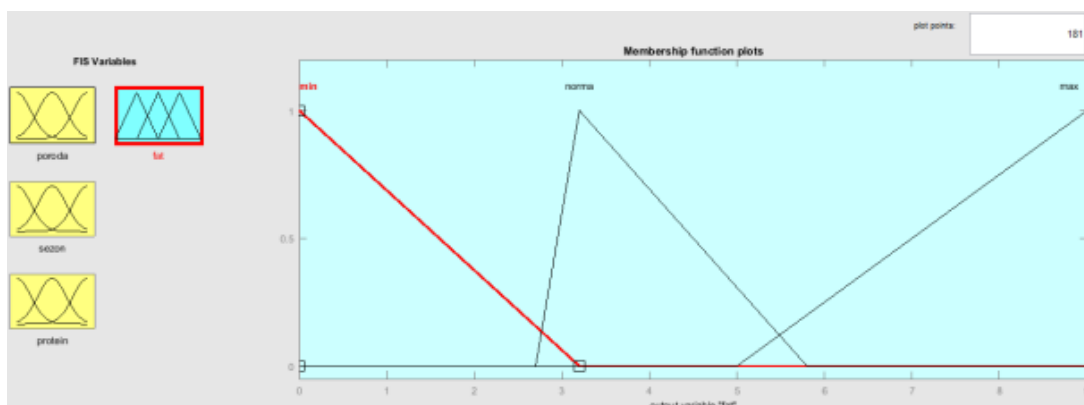


Рис. 1. Функция принадлежности для выходного параметра «Fat» (жирность)

Используя термины функций принадлежности входных и выходных параметров, составлена база правил.

1. If (poroda is ks) and (sezon is norma) and (protein is 95) then (fat is min)
2. If (poroda is ch-p) and (sezon is norma) and (protein is 95) then (fat is min)
3. If (poroda is ks) and (sezon is norma) and (protein is 98) then (fat is norma)
4. If (poroda is ch-p) and (sezon is norma) and (protein is 98) then (fat is norma)
5. If (poroda is d) and (sezon is norma) and (protein is 95) then (fat is max)
6. If (poroda is d) and (sezon is norma) and (protein is 98) then (fat is max)
7. If (poroda is ch-p) and (sezon is min) and (protein is 95) then (fat is 0)
8. If (poroda is d) and (sezon is max) and (protein is 100) then (fat is 0)

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На вход нечеткого регулятора экспертной системы управления поступают данные о состоянии молока (Рис. 2).

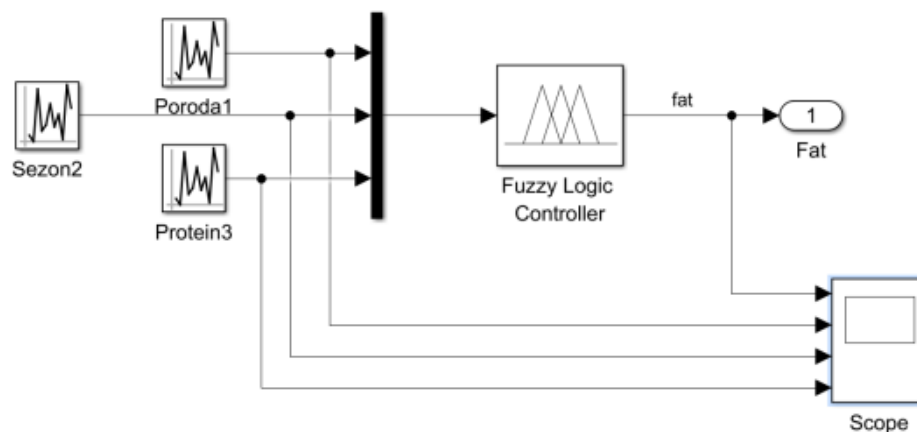


Рис. 2. Экспертная система управления

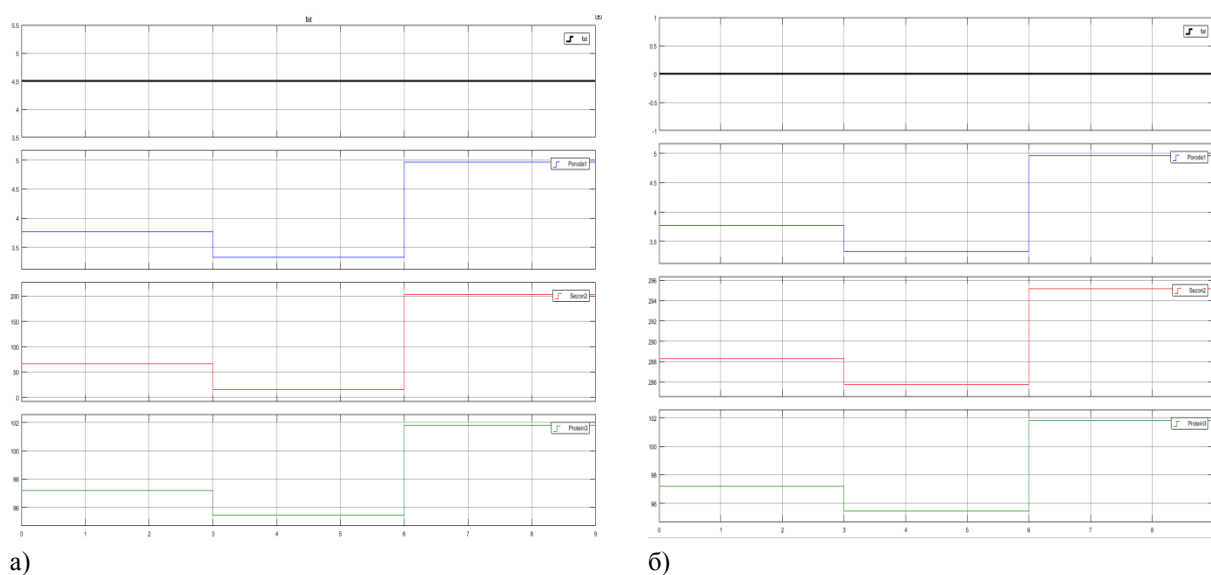


Рис. 3. Параметры экспертной системы

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве тестовых данных для анализа работы системы были приняты следующие значения:

Poroda от 3,2 до 5,8 %;

Sezon от 1 до 300 дней;

Protein от 95 до 105 г.

При таком сочетании входных параметров жирность молока составила 4,5% (Рис. 3а, б), следовательно, сырье может быть использовано при производстве сгущенного молока.

Если изменить значение Sezon от 285 до 300 дней, то на выходе системы будет 0, что означает, такое сырье не пригодно к использованию в производстве.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная экспертная система позволит оценить жирность молока и принять решение об использовании в технологическом процессе изготовления сгущенного молока. В случае удовлетворительного качества исходного продукта технология может варьироваться за счет дополнительной стадии – нормализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Крусъ, Г. Н. Технология молока и молочных продуктов / Г. Н. Крусъ, А. Г. Храмцов, З. В. Волокитина, С. А. Карпычев; Под ред. А. М. Шалыгиной. М.: КолосС, 2006. 255 с.
- [2] Голубева, Л. В. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептура т.9 / Л. В. Голубева; Под ред. А. Б. Рубинова. С.П.: Типография наука, 2005. 255 с.
- [3] Тихомирова, Н. А. Технология и организация производства молока и молочных продуктов / Н. А. Тихомирова; Под ред. О. В. Саламаха. М.: ДеЛи принт, 2007. 260 с.
- [4] Полковникова Н. А., Курейчик В. М. Разработка модели экспертной системы на основе нечёткой логики / Известия Южного федерального университета. 2014. 1 (150). С. 83–92.
- [5] Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДАЧИ ВОДЫ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

Г. И. Паршина¹, А. Д. Чен¹, Д. К. Жумагулова¹

¹*Карагандинский Государственный технический университет,
г. Караганда, Республика Казахстан*

Аннотация – Надежность работы тепловой электростанции определяется бесперебойной циркуляцией воды в котлах. Аварии, связанные с повреждением трубопроводов приводят к угрозе жизни и безопасности персонала станции. Часто причиной аварий становится гидроудар в трубопроводе, поэтому задача создания автоматизированной системы поддержания постоянного давления в трубопроводе является актуальной. В статье проанализирована система автоматизации насосной станции для государственного коммунального предприятия “Костанайская тепловая энергетическая компания”. Выявлены основные недостатки системы и пути их устранения. Проведен анализ и выбор оборудования с заменой устаревших узлов и механизмов на более надежные и экономичные. Предложена улучшенная функциональная схема автоматизации насосной станции. Предложенная система позволяет повысить точность поддержания давления на выходе насосной станции и тем самым исключить возможность возникновения гидроударов в трубопроводе.

Ключевые слова – насосная станция, гидроудар, автоматизация, тепловая электростанция, функциональная схема.

I. ВВЕДЕНИЕ

Аварии, связанные с повреждениями трубопроводов питательной воды, относятся к разряду наиболее тяжелых аварий на электростанциях. Они могут привести к повреждениям основного и вспомогательного оборудования, поверхностей нагрева котла из-за прекращения или снижения расхода воды на котел, а также к серьезной угрозе безопасности эксплуатационного персонала. Часто причиной таких аварий является гидроудар в трубопроводе, вследствие резкого повышения или понижения давления при подаче воды к котлам ТЭЦ [1, 2]. Поэтому одним из главных показателей надёжности ТЭЦ является бесперебойная циркуляция воды в котлах.

В связи с этим существует необходимость в поддержании постоянного давления в подводящем трубопроводе. Для этих целей служит насосная станция.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной работе в качестве объекта исследования выбрана насосная станция государственного коммунального предприятия “Костанайская тепловая энергетическая компания”. В настоящий момент на насосной станции нужное давление поддерживается задвижками на напорных линиях насосов, а также количеством работающих насосов.

При колебаниях давления во всасывающем трубопроводе персонал не может оперативно регулировать работу насосов, что приводит к длительным нарушениям рабочего режима насосной станции, а также вследствие частого механического воздействия к преждевременному износу задвижек.

Целью проекта является повышение точности поддержания давления на выходе насосной станции, что позволит повысить надёжность работы оборудования в целом.

III. ТЕОРИЯ

Одним из недостатков насосной станции, является прямое включение насосов в сеть. Так как мощность одного насоса составляет 160 кВт, то при прямом включении насосов в сеть возникает перегрузка питающих линий. Вследствие этого пусковой ток насоса превышает номинальный ток примерно в 5–7 раз, что приводит к негативному воздействию на питающие сети. Не совпадение режима работы насоса с расходно-напорной характеристикой насоса приводит к отклонению работы насоса от оптимального режима, понижению КПД и дополнительным расходом энергии на регулирующих задвижках.

На Рис. 1 представлена схема существующей насосной станции.

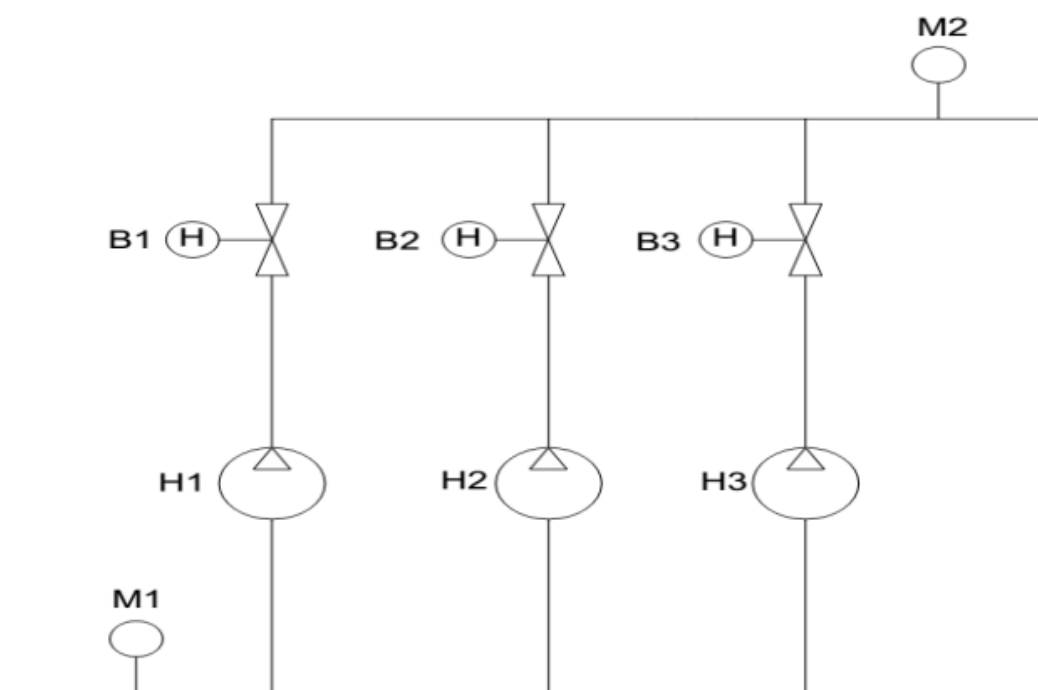


Рис. 1. Схема существующей насосной станции
(где M1, M2 – манометры, H1, H2, H3 – насосы, B1, B2, B3 – задвижки)

IV РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для реализации автоматизированной работы насосной станции необходимо разработать функциональную схему автоматизации на базе современного надёжного и экономичного оборудования.

Для защиты от перегрева статора двигателя для каждого насоса устанавливаем датчики РТС на соответствующие линии трубопроводов. Для первого насоса необходимо установить устройство плавного пуска (номер 16 на Рис. 2). Для второго и третьего насоса устанавливаем частотные преобразователи (номер 17 и 18 соответственно на Рис. 2).

Измеряемой величиной на протяжении всей работы насосной станции является давление. Поэтому необходимо установить в схему измерительное оборудование.

Для максимально корректной работы второго и третьего насосов необходимо учитывать давление, а также перепад давления, на каждом из насосов. Для реализации банного контроля устанавливаем по одному преобразователю давления РС-28 на каждый из всасывающих и напорных трубопроводов насосов.

Следующим шагом является установка двух приводных исполнительных механизмов ГЗ-ОФ на каждый из напорных трубопроводов. Так как электроприводы ГЗ-ОФ будут оснащены маховиком для ручного управления, мы отмечаем исполнительный механизм буквой “Н”.

Электроприводы оснащены датчиками положения. Они обозначены на схеме номерами 9 и 10. Также в электроприводах под номерами 11 и 12 установлены концевые выключатели. Разработанная функциональная схема автоматизации представлена на Рис. 2.

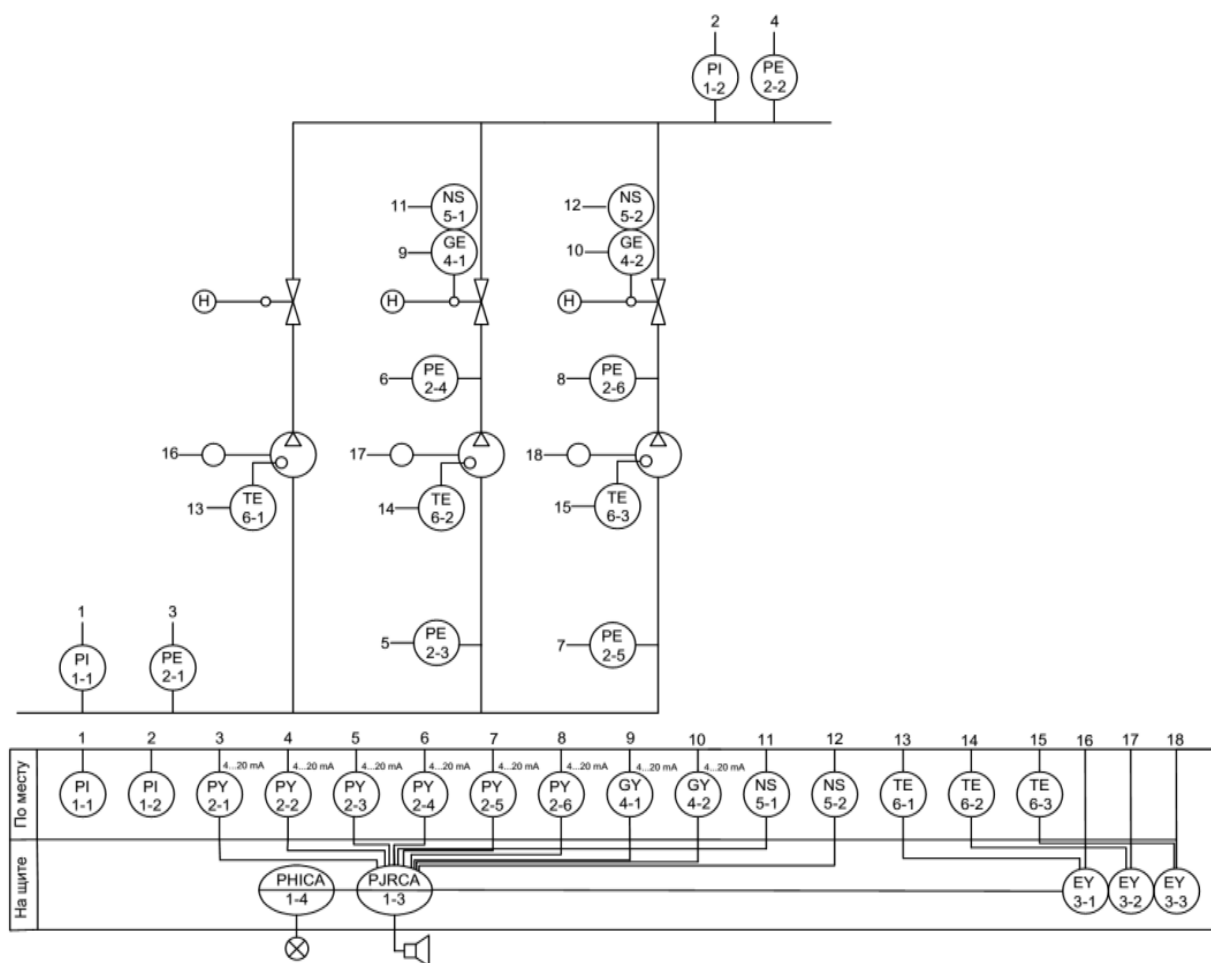


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации насосной станции

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате реализации проекта устаревшее насосное оборудование было заменено на современное экономичное и энергоэффективное. На базе выбранного оборудования разработана функциональная схема автоматизации насосной станции. Предполагается что данная система автоматизации будет в дальнейшем интегрирована с систему управления предприятием.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение данного проекта позволит добиться снижения затрат по потреблению электроэнергии, повысить точность поддержания давления на выходе насосной станции, повысить надёжность работы оборудования насосной станции, улучшить безопасность работы обслуживающего персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Насосы и насосные станции/В. Ф. Чебаевский, К. П. Вишневский, Н. Н. Накладов, В. В. Кондратьев; Под ред. В. Ф. Чебаевского. М.: Агропромиздат, 1989. 416 с.: ил.
- [2] Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1986. 320 с.: ил.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ТЕПЛИЦЫ: ПЕРЕХОД К КОНЦЕПЦИИ МОДУЛЬНОСТИ

Н. В. Прудцких¹

¹*Омский Государственный Технический Университет*

Аннотация – В статье обоснована актуальность создание типовых модулей вертикальной теплицы применительно к сформировавшимся в России типовым проектам жилых и офисных зданий городской среды. Создание вертикальных теплиц позволяет более эффективно использовать тепло- и энергоресурсы, как в отношении самих вертикальных теплиц, так и зданий, в комплекс которых они будут входить. Размещение вертикальных теплиц в мегаполисах, содействует обеспечению населения продуктами питания с низкой себестоимостью, за счёт снижения транспортно-накладных расходов по доставке товара к потребителю. Эффективность разрабатываемого типового модуля вертикальной теплицы в значительной мере будет определяться степенью сочетаемости автоматизации технологического процесса выращивания растений с возможностью минимизировать общие затраты, путём создания оптимального сочетания параметров самого модуля. Статья предназначена специалистам в области проектирования тепличных комплексов.

Ключевые слова – вертикальная теплица, автоматизированный технологический тепличный комплекс, автоматизированные системы управления, типовое строительство.

I. ВВЕДЕНИЕ

Созданию вертикальных теплиц (ВТ) как части ландшафта современных мегаполисов способствует архитектурная «гибкость» форм подобных зданий, например офисное здание компании Plantagon International (Швеция) [2]. Конструкция представляет собой сферу со спиральным конвейером, транспортирующим растительные контейнеры, перемещающиеся с верхних этажей вниз со скоростью, обеспечивающей созревание плодов к моменту поступления в логистическое отделение на первом этаже. Подобные комплексы создаются по индивидуальным проектам, имеющим высокую себестоимость.

Многие сельхозпроизводители архитектурной «вертикальности» предпочитали, «вертикальные» технологии выращивания, по одностебельной схеме формирования растения шпалерами высотой 4.5 – 5м в традиционных теплицах. Расположение подобных производств в городской черте нерационально. Установлено, что активная плодоносящая зона растения 40–50 см, а дальше происходит смена репродуктивных ярусов растения по мере роста вверх. Т.о. отказываясь от индивидуального проектирования, заказчик увеличивал транспортные расходы и использовал объём теплицы лишь частично. На смену устаревшей технологии приходит многоярусная узкостеллажная гидропоника, урожайность в 2 раза больше, но при этом с использованием в традиционных теплицах, что не исключает уже упомянутые проблемы. В большинстве случаев развитие ВТ идёт двумя параллельными путями: архитектурным и агротехнологическим, при этом почти не осуществляются попытки нивелировать недостатки одного способа, за счёт достоинств другого.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Наиболее рациональной с точки зрения использования в мегаполисе площади участка под застройку является многоэтажная конструкция ВТ. Многоэтажность отвечает и требованиям зонирования технологических помещений, т.к. есть возможность создания относительно изолированного пространства (этажа) под каждое отделение: сеянцев, рассадное и нескольких овощных. Т.о. АСУ вертикальных теплиц необходимо выстраивать по децентрализованному принципу с трехуровневой структурой управления:

- верхний уровень, обеспечивает взаимодействие АСУ ТП с оперативным персоналом, с системами нижних уровней, формирование команд управления и архивирование данных.

- на среднем уровне (локальные САУ, диспетчерское управление) в режиме реального времени происходит обработка и архивирование значений технологических параметров, и формируются управляющие воздействия на исполнительные механизмы.

- нижний уровень, включает в себя датчики, исполнительные механизмы и их приводы.

Выделение в ходе зонирования под определённую культуру изолированное пространство (этаж), упрощаются процессы автоматического поддержания в каждой зоне собственных фитоклиматических параметров.

Следовательно, задача заключается в определении компоновочных параметров типового модуля ВТ применительно к существующим требованиям агротехнологий с учётом наиболее эффективных форм и наиболее распространённых градостроительных проектов.

III. ТЕОРИЯ

Перспективным решением является совмещение ВТ с торгово-офисным или жилым зданием. В этом случае теплота и углекислота, присутствующие в сбрасываемых воздушных потоках через вытяжную вентиляцию в атмосферу, перенаправляются в помещение теплицы и позволяют сэкономить энергоресурсы, затрачиваемые на обогрев и получение углекислого газа на подкормку растений.

Необходимо учитывать, что большинство жилых зданий строились и строятся по типовым проектам. Многие из них имеют в торцах зданий «глухие» стены, шириной 14 – 14,4 м, чаще всего никаким образом не используемые. Например, пятиэтажки серий 111-121, 111-86, 1-468, 137; девятиэтажные здания серий 11-68-02/16М, П-4, П-22К; шестнадцатиэтажные дома серии Щ9378; типовой проект для гостиниц и санаториев 1МГ-601Ж; двадцатиэтажные здания серий И-155Н, П-111, П-152, 11-66 и др.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве типового модуля ВТ, предлагается конструкция, представленная на Рис. 1. Этажность варьируется в зависимости от этажности исходного соседнего здания, существующего или строящегося по типовому проекту. Минимальная длина здания 7 м может быть увеличена, без нарушения строительных норм и правил. Возможна и прямоугольная модульная пристройка. Общие принципы проектирования неизменны: ширина 14м, многоэтажность постройки совмещённой с другим типовым зданием (уже существующем или закладываемым), общая компоновка; разбивка на автоматизированные регулируемые зоны.

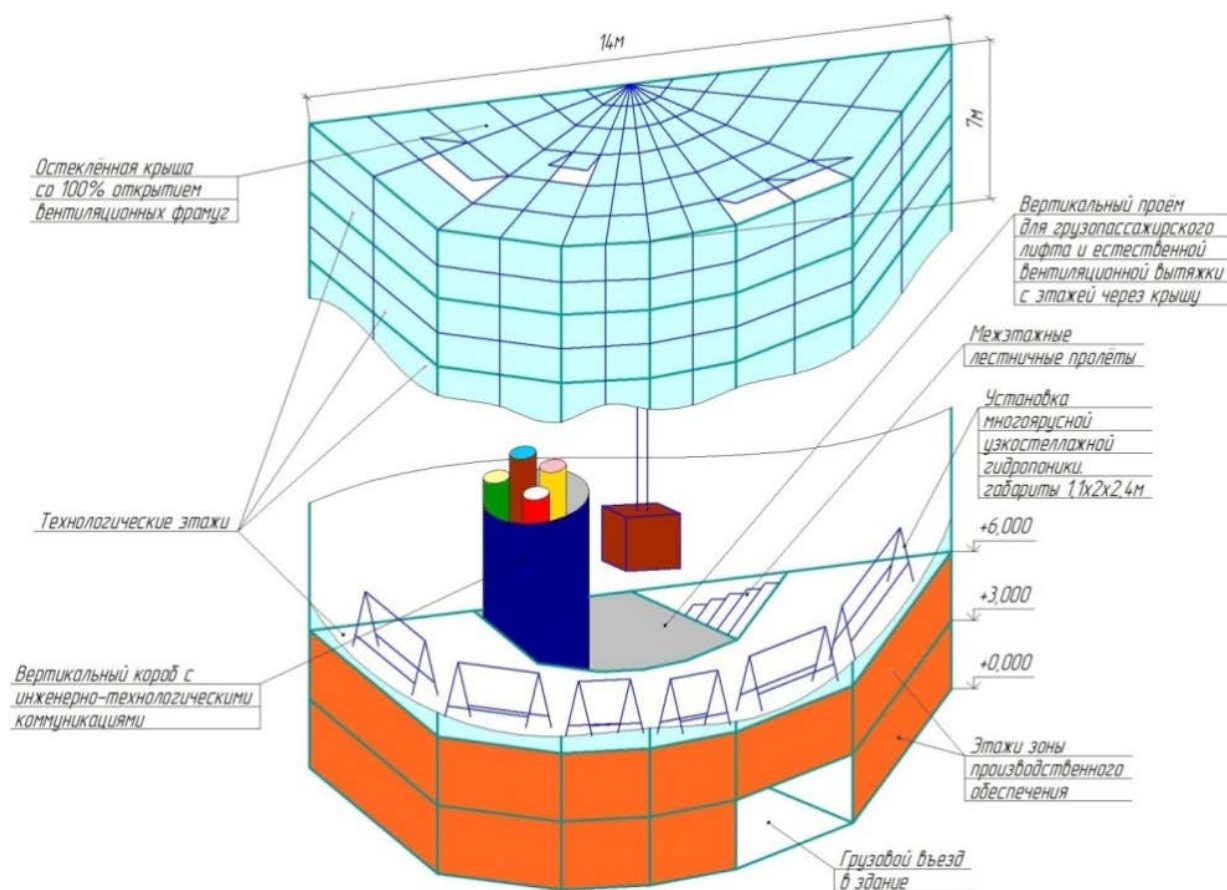


Рис. 1 – Компоновка типового модуля вертикальной теплицы с варьируемой этажностью

Разбивка на автоматизированные регулируемые зоны имеет дополнительное преимущество: возможно отведение части этажей под торгово-офисные помещения при сохранении нижних для зоны производственного обеспечения ВТ. Концепция отвечает последним исследованиям консалтинговой фирмы Cushman & Wakefield [1], согласно которой наиболее востребованными являются малоформатные локальные торговые и офисные центры, расположенные вблизи к потенциальному потребителю в жилых зонах.

Как было указано ранее, наиболее перспективной технологией с точки зрения урожайности и возможности автоматизации выращивания растений является многоярусная узкостеллажная гидропоника [3]. Т.о. к уже названным положительным эффектам архитектурной «вертикальности», добавляются биотехнологическая «вертикальность», позволяющая размещать выращивание растений в помещениях высотой соответствующей высоте этажей в большинстве типовых жилых зданий и значит их полной конструктивной сочетаемости.

Эффективность подобного модульного подхода проверена расчётом по совмещенному критерию достаточности взрослой культуры [3, п.12.4], исходящего из минимизации удельного тепло- и энергопотребления при максимально возможной урожайности. При выращивании перцев, как наиболее энергозатратной культуры, для зоны (этажа) объемом 14х14х3м декабрьский расход тепла составит 0.03 Гкал*час на обогрев и электроэнергию 128.7 кВт*час на освещение, при урожайности в 48.3 кг/м².

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В большинстве теплиц усреднённые значения потребности в энергии для всех культур, колеблются с середины сентября по середину мая в пределах [4]:

для обогрева $2\div 4$ МВт/га ($1.7\div 3.4$ Гкал*час/га) тепловой энергии;

для системы досвечивания $10\div 30$ МВт/га электрической энергии;

Переведя данные диапазоны для нашего случая (полезная посадочная площадь $\approx 100\text{м}^2$), получим номинальные диапазоны уже в учётных единицах $0.017 \div 0.034$ Гкал*час и $100 \div 300$ кВт*час. Сравнивая указанные выше данные из раздела IV с номинальными, можно отметить, что энергозатраты в исследуемой зоне ВТ являются допустимыми с учётом расчётного периода (наиболее холодный месяц – декабрь) для наиболее тепло-, светолюбивой культуры – перцы.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При переходе от использования традиционных теплиц с горизонтальным размещением культур и технологического оборудования к использованию типовых модульных ВТ можно обеспечить снижение себестоимости продукции за счёт:

- уменьшения транспортных расходов на доставку продукции к конечному потребителю;
- уменьшения затрат на создание инфраструктуры (использование дорог и коммуникаций, уже проложенных к основному зданию);
- уменьшение теплотрат на обогрев и получения углекислого газа на подкормку растений, за счёт утилизируемых из системы вентиляции основного здания;
- снижение затрат на проектно-конструкторские разработки (переход от индивидуальных проектов к привязке типового проекта в комплекс зданий);
- снижение теплотерь за счёт совмещения торцов двух обогреваемых зданий;
- упрощения процессов автоматической стабилизации в зонах плодоношения, за счёт минимального разброса регулируемых параметров в замкнутом небольшом пространстве. Это в свою очередь даёт возможность выращивать одновременно на разных этажах (зонах) культуры с совершенно различными температурно-влажностными параметрами, зачастую отличными в 1.5–2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Сайт Новости недвижимости. URL: <http://realty.vesti.ru/gorod/novye-tc-budut-rouyavlyatsya-rezhe-a-ih-ploschad-budet-menshe> (дата обращения: 21.02. 2018).
- [2] Норвежская компания предложила строить вертикальные теплицы. URL: <http://www.luxusplast.ru/>, свободный (дата посещения 14.01.2018).
- [3] СНиП 2.10.04-85. Теплицы и тепличные комбинаты. Greenhouses and greenhouse plants. Актуализированная редакция. Издание официальное. М., Минрегион РФ, 2011. – 135с.
- [4] Рыков А.Н. Комплексное управление микроклиматом теплиц, котельными и оборудованием. URL: <http://www.greenhouses.ru/upravlenie-mikroklimate-teplic>, свободный (дата посещения 4.10.2017).
- [5] Шишко Г., Потапов В., Сулима Л. Теплицы и тепличные хозяйства. Справочник. Киев: Урожай, 1993. 189 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

М. А. Семиколенов¹, Е. И. Моренко¹, Е.С. Гебель¹

¹Омский государственный технический университет

Аннотация – Конкурентоспособность любого современного производственного предприятия напрямую зависит от оперативности принятия управленческих решений на основе анализа больших объемов разнородных данных. В статье описана автоматизированная система визуализации основных производственных показателей, показаны основные преимущества использования разрабатываемой системы для оперативного визуального представления ключевых показателей эффективности работы производственных бригад.

Ключевые слова – система визуализации, панели индикаторов, анализ данных, ключевые показатели эффективности.

I. ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространенными метриками эффективности в настоящее время являются ключевые показатели эффективности – КПЭ (англ. KPI). КПЭ рассчитываются как для предприятия в целом, так и для отдельных структурных подразделений и вплоть до конкретных сотрудников. Руководители предприятия имеют возможность устанавливать достижение определённых показателей КПЭ в качестве целей для подчиненных.

Система визуализации (панель индикаторов, интерфейс отображения КПЭ) представляет собой программный комплекс, состоящий из приложений, позволяющих производить мониторинг КПЭ, анализ достижения целей и принимать соответствующие управленческие решения [1] (в случае с производственным персоналом, под управленческими решениями понимается управление технологическим процессом).

В зависимости от конкретного предприятия системы визуализации имеют различные характерные черты: специализированное отраслевое программное обеспечение (источники данных для системы) и специфические отраслевые КПЭ [2].

Существует ряд готовых решений для создания системы визуализации, разработанных ИТ-компаниями, например, Power BI от Microsoft, QlickView от QlickTech и др. Широкое применение готового программного обеспечения ограничивается высокой стоимостью полноценной лицензии, избыточность функционала для потребностей конкретного предприятия, а также ограничения в области политики безопасности.

Таким образом, разработка автоматизированной системы визуализации основных производственных показателей в соответствии со спецификой конкретного предприятия является актуальной и экономически целесообразной задачей.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В целях повышения качества работы производственных подразделений и предприятия в целом необходимо разработать прикладное программное обеспечение для расчета и визуализации основных показателей производственной эффективности. Система должна обеспечивать сбор и представление информации о текущем выполнении КПЭ

производственных объектов в наглядной форме, а также адресную передачу данных ответственному персоналу и руководству в режиме реального времени для анализа текущего состояния и принятия производственных и управленческих решений.

Цель создания системы визуализации КПЭ является представление в удобном для анализа виде необходимых данных для поддержки принятия управленческих решений. Н.Н. Караулов и А.А. Миролубов в статье «Использование панелей индикаторов для оценки результативности деятельности предприятия» отмечают актуальность представление КПЭ в наглядной форме [3].

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: сформировать перечень требований к системе; разработать список КПЭ предприятия; определить доступные источники исходных данных; разработать систему выгрузки (ETL); спроектировать и реализовать схему хранилища данных на выбранной СУБД; спроектировать и реализовать программное обеспечение для расчета КПЭ по данным из хранилища; спроектировать и разработать программное обеспечение для визуализации данных с помощью панелей индикаторов.

III. ТЕОРИЯ

Панель индикаторов, как программный комплекс, объединяет в себе приложения для мониторинга, анализа и управления. Приложение для мониторинга позволяет облегчить доступ к критически важной информации на основе релевантных данных. Приложение для анализа даёт возможность анализировать и исследовать данные по эффективности в разных измерениях и с разной степенью детализации. Приложение для управления обеспечивает непрерывную обратную связь руководителей верхнего уровня с ответственными структурными подразделениями предприятия.

Панели индикаторов можно разделить на стратегические (предоставляющие информацию для руководителей предприятия) и тактические (предоставляющие информацию для руководителей подразделений и сотрудников). Индикаторы, использующиеся в таких панелях, относят к двум видам: диаграммы отклонений и обыкновенные диаграммы (с явным преобладанием диаграмм отклонений).

Преобладание диаграмм отклонений объясняется тем, что в соответствии с КПЭ определяются цели в виде интервалов значений, называемых «зелёной», «желтой» и «красной» зонами. «Зелёная» зона индикатора показывает желательный интервал значений КПЭ, «желтая» – допустимый интервал, «красная» – недопустимый. Перечень и тип индикаторов различаются в зависимости от отрасли и рода деятельности предприятия.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На Рис. 1 показана главная экранная форма предлагаемой автоматизированной системы визуализации основных производственных показателей визуализации, отражающая текущее состояние КПЭ. Для наглядности цвета инвертированы, на реальном рабочем экране использованы красный, желтый и зелёный, в соответствии с рекомендациями для панелей индикаторов. Экран разделен на главное меню и шесть тематических блоков – блок производственных показателей, блок потребления энергоресурсов, блок ключевых задач, блок стратегических показателей, блок с показателями охраны труда, производственной безопасности и экологии, а также блок с данными о погоде.

На экранной форме используется два вида диаграмм – столбчатая с указанием «красной» и «желтой» границ, и секторные – диаграмма в виде прибора со стрелкой, показывающая усреднённое значение показателя с начала месяца.

На Рис. 2 показан интерфейс формы администрирования системы. Вкладка с редактором экранов используется для привязки показателей к ячейкам на экране.



Рис. 1. Пользовательский интерфейс системы

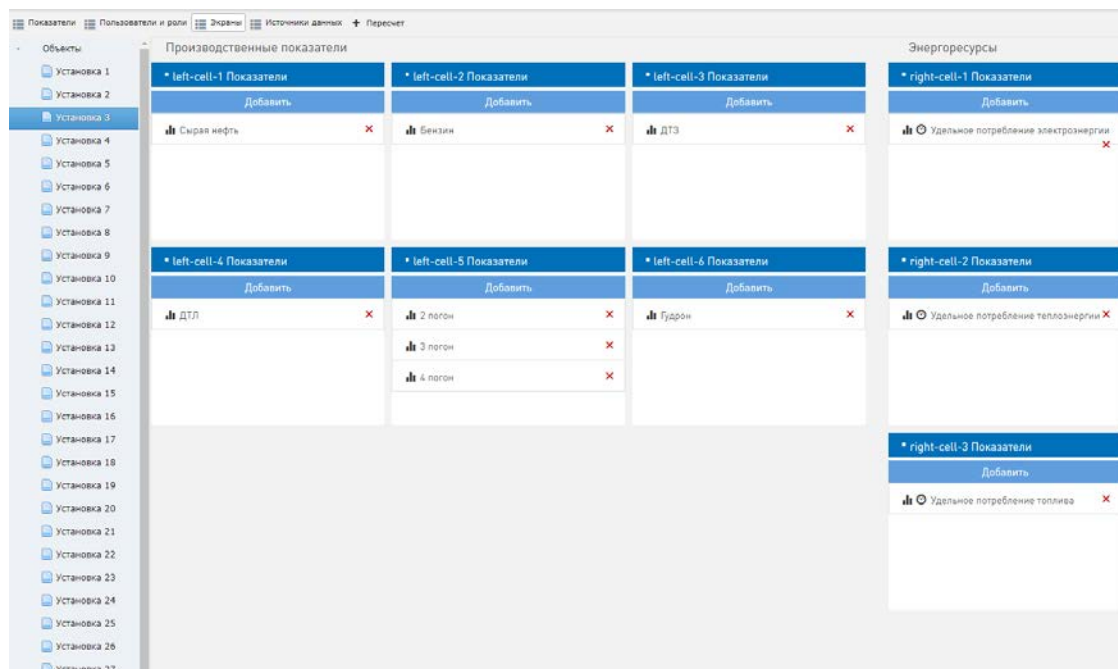


Рис. 2. Интерфейс администратора

Форма администрирования содержит вкладки: «Показатели», «Пользователи и роли», «Экраны», «Источники данных», и кнопку для пересчета выгруженных значений из источников данных. На вкладке «Показатели» создается новый или редактируется

существующий КПЭ, а также аналитическая зависимость, используемая для расчёта. Вкладка «Пользователи и роли» содержит инструментарий для управления доступом к системе. Вкладка «Экраны» позволяет настроить привязку показателей к ячейкам на экранной форме. Вкладка «Источники данных» используется для настройки источников загрузки данных из системы.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Внедрение системы визуализации позволило повысить оперативность предоставления актуальной текущей информации о ходе выполнения КПЭ на производственных объектах. В результате разработки и внедрения системы повысится качество управления предприятием, что подтверждается исследованиями внедрения подобных инструментов в работах [4] и [5].

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Разработанная комплексная инженерная система – система визуализации основных производственных показателей предприятия, помимо основных задач, связанных с предоставлением доступа к оперативным данным, возможностями анализа этих данных, решает задачу оптимизации нескольких второстепенных бизнес-процессов предприятия.

Основным направлением развития системы является создание подсистемы отчетов для автоматизированного построения ежемесячных или ежеквартальных отчетов о выполнении норм и планов персоналом технологических объектов. Инструмент позволит добавить соревновательный компонент в производственный процесс (определять лучшие бригады, лучшие объекты и материально стимулировать причастных) и стимулировать повышения качества и эффективности работы персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Экерсон У. Панели индикаторов как инструмент управления: ключевые показатели эффективности, мониторинг деятельности, оценка результатов. Альпина Паблишер, 2007. 396 с.
- [2] Семиколенов М.А., Гебель Е.С. Разработка средства настройки ETL-приложения для системы визуализации основных производственных показателей // Современные материалы, техника и технология. Курск 2017. С. 340-345.
- [3] Караулов Н., Миролюбов А. Использование панелей индикаторов для оценки результативности деятельности предприятия // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2015. Т. 221, № 3. С. 232.
- [4] Elbashir M. Z., Collier P. A., Davern M. J. Measuring the effects of business intelligence systems: The relationship between business process and organizational performance // International Journal of Accounting Information Systems. 2008. Vol. 9. no. 3. Pp. 135–153.
- [5] Yigitbasioglu O. M., Velcu O. A review of dashboards in performance management Implications for design and research // International Journal of Accounting Information Systems. 2012. Vol. 13. № 1.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ИЗОБУТАНОВОЙ ФРАКЦИИ В ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ASPEN HYSYS

Т. С.Татомир¹, А. А. Ибатуллин¹, И. А. Сорокина¹

¹*Омский государственный технический университет*

Аннотация – В статье поднимается проблема оптимальной суточной производительности установок и комплексов на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). В качестве объекта оптимизации рассмотрена трубчатая печь. Математическая модель трубчатой печи исследована в среде моделирования химико-технологических производств Aspen HYSYS. Выявлены оптимальные характеристики технологического режима, способствующие оптимизации суточной производительности установки трубчатой печи.

Ключевые слова – трубчатая печь, Aspen HYSYS, оптимизация, АСУ ТП.

I. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день добыча и переработка нефти считаются одними из самых перспективных отраслей промышленности. Переработка нефти и газа приносит стабильный доход, оказывая положительное влияние на экономическое состояние страны в целом.

Гибкость производственных возможностей оборудования НПЗ проявляется в допустимости варьирования подачи сырья в единицу времени, а также действующие возмущения. Его диапазон определяется верхним и нижним техническими и технологическими ограничениями. Это порождает и специфическую организационно-техническую проблему выбора оптимального варианта суточной производительности одной установки или технологически взаимосвязанного их комплекса. С этих позиций наибольший практический интерес представляет оптимизация суточной производительности ключевого технологического комплекса, включающего установки АВТ (атмосферно-вакуумная трубчатка), каталитического крекинга и каталитического риформинга. На него приходится до 80% общего объема продукции и прибыли НПЗ топливного профиля [2].

В состав АВТ входят трубчатые печи, необходимые для нагрева сырья и реакторные блоки, которые предназначены для разделения сырья на фракции. В качестве объекта исследования выбрана трубчатая печь [1]. Предметом исследования является процесс нагрева изобутановой фракции в трубчатой печи.

Целью работы является исследование математической модели трубчатой печи с целью оптимизации процесса по энергопотреблению.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей исследования является разработка модели процесса нагрева изобутановой фракции в трубчатой печи в среде моделирования Aspen HYSYS, проверка адекватности разработанной модели, исследование построенной модели с целью оптимизации процесса по энергопотреблению.

III. ТЕОРИЯ

Для разработки современных технологических процессов нефтепереработки, а также оптимальной эксплуатации действующих установок применяются моделирующие программы, которые обладают высокой точностью описания параметров технологических процессов и позволяют проводить исследования процессов без значительных трудозатрат. Такое моделирование необходимо как для проектирования технологических установок, так и для функционирования действующих.

Основой средств моделирования технологического процесса являются общие принципы расчетов материально-тепловых балансов нефтеперерабатывающих производств (к ним относятся производства, связанные с изменением агрегатного состояния, а также компонентного и химического состава материальных потоков). Каждое производство состоит из нескольких стадий. На каждой стадии происходит превращение энергии и производится определенное воздействие на материальные потоки. Для описания последовательности стадий обычно используются технологические схемы, где каждый элемент соответствует определенному технологическому процессу.

В качестве моделирования технологических процессов нефте- и газодобывающей, а также перерабатывающей промышленности применяется программный пакет моделирования Aspen HYSYS. Данный пакет моделирования позволяет создавать системы в стационарном режиме, проектировать химико-технологические производства, осуществляет контроль производительности оборудования, занимается оптимизацией и бизнес-планированием в области добычи и переработки углеводородов и нефтехимии.

В качестве исходных данных для построения модели в Aspen HYSYS используется упрощенная технологическая схема процесса нагрева изобутановой фракции в трубчатой печи представлена на Рис. 1. На схеме указаны входящие (Д12, Д1) и выходящий потоки (сырье из Т-3/1). На технологической схеме указаны: трубчатая печь Т-3/1, сепаратор Е-11; испарители Т-6/1, Т-6/2; реактор Р-1/1; подогреватель Т-8.

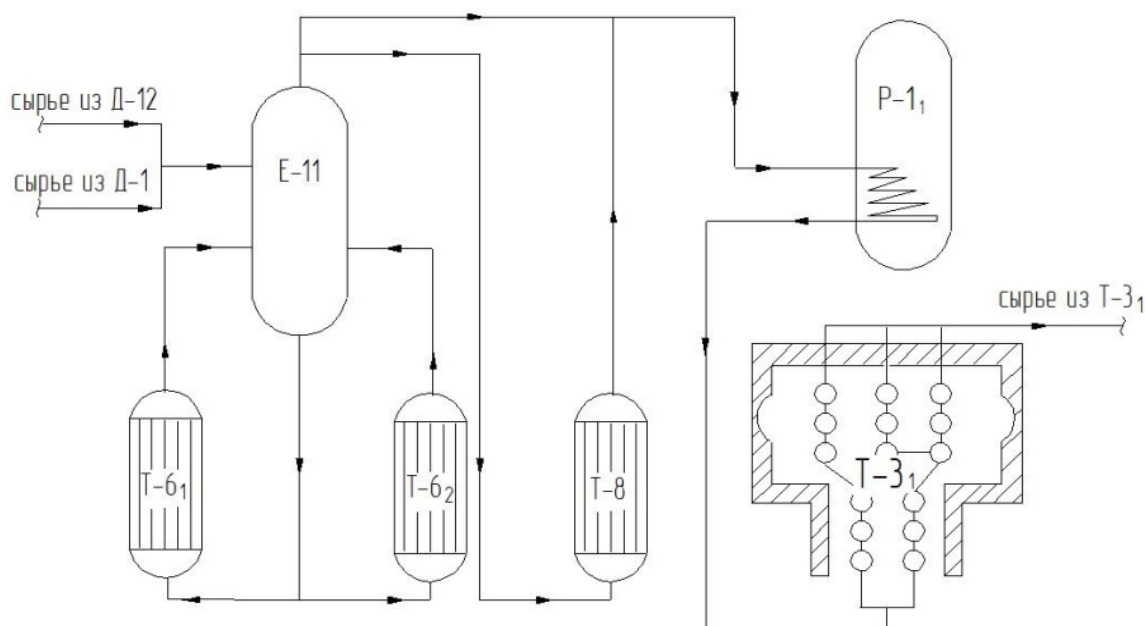


Рис. 1. Упрощенная технологическая схема процесса нагрева изобутановой фракции в трубчатой печи

Краткое описание технологического процесса: Исходным сырьем является изобутановая фракция из шаровых резервуаров отделения Д-1 и изобутан-возврат из отделения Д-12. Сырье насосом подаётся в сепаратор E-11 одновременно из отделения Д-12 и из отделения Д-1. Сырье из сепаратора E-11 поступает в нижнюю часть трубного пространства испарителей Т-6/1, где изобутановая фракция испаряется и ее пары с температурой не менее 50°C возвращаются в сепаратор E-11, откуда направляются в подогреватель Т-8 для подогрева до температуры не менее 55°C. Испаренное сырье из подогревателя Т-8 подается в «закалочный» змеевик реактора Р-1/1, где нагреваются до температуры не менее 180°C и направляются в змеевики трубчатой печи Т-3/1, где пары изобутановой фракции перегреваются до температуры не более 560 °С и подаются на дегидрирование в маточник реактора Р-1.

В результате соединения аппаратов, созданных при помощи рабочих наборов компонентов из внутренних библиотек с использованием технологических данных, в среде моделирования Aspen HYSYS построена модель технологического процесса нагрева изобутановой фракции в трубчатой печи, которая представлена на Рис. 2.

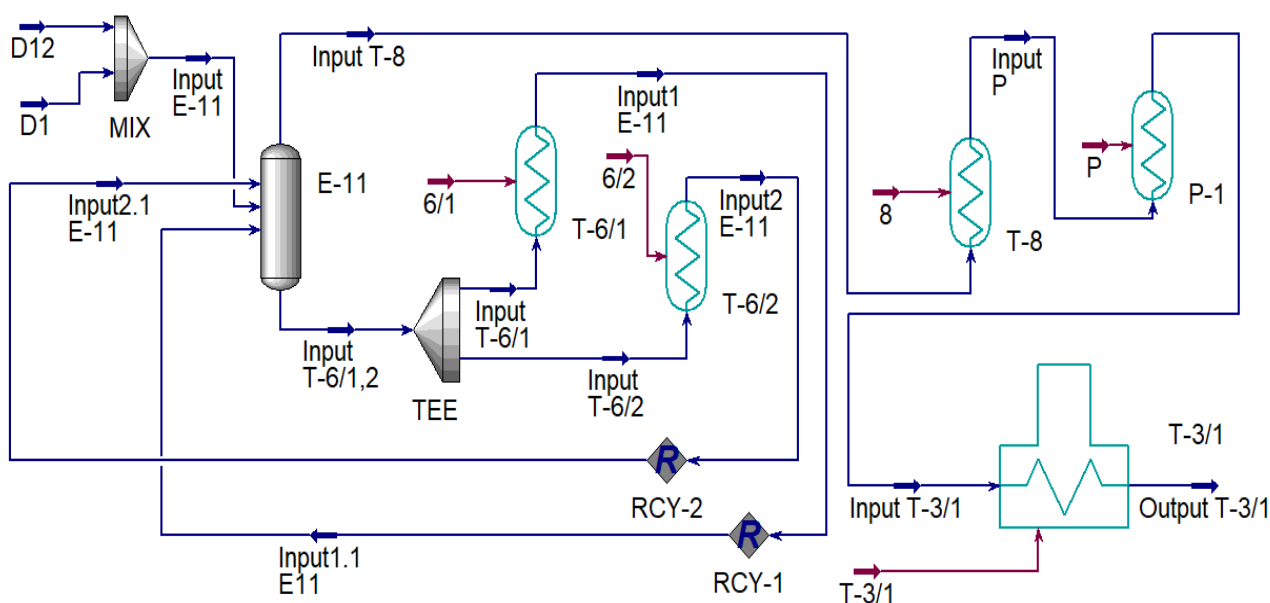


Рис. 2. Модель процесса нагрева изобутановой фракции в трубчатой печи в Aspen HYSYS

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Произведена оценка адекватности построенной модели путем сопоставления фактических параметров работы установки и рассчитанных в среде Aspen HYSYS. Для верификации модели использованы лабораторные данные (расход и состав сырья для потоков D12 и D1) за 30 календарных дней.

Построены графики, отражающие зависимость изменения теплового потока от расхода и состава сырья Рис. 3. Сплошной линией построен график, отражающий рассчитанный тепловой поток в Aspen HYSYS, пунктирной линией – данные с производства. Максимальное значение отклонения равно 1,7% достигается в 16 день.

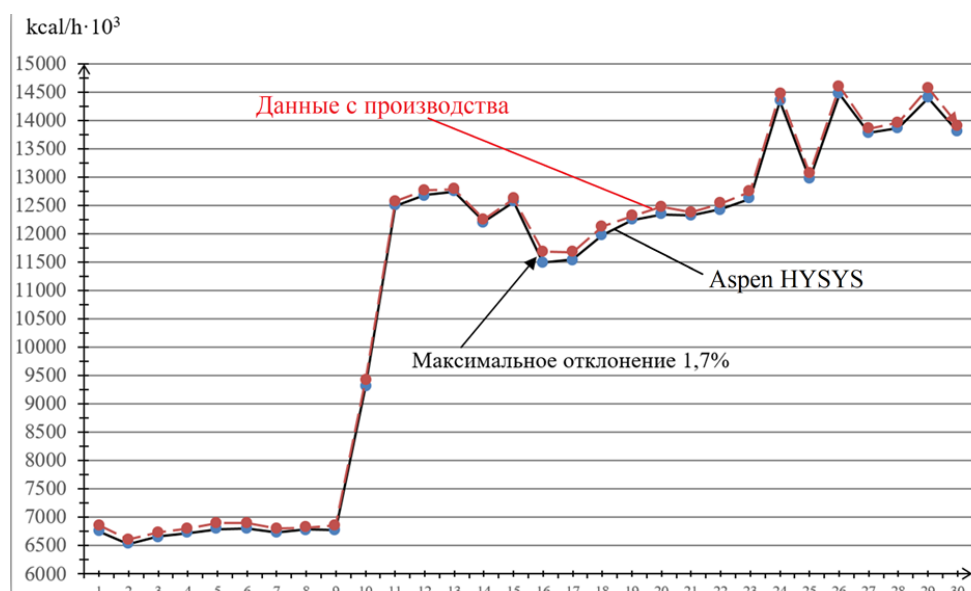


Рис. 3. График изменения теплового потока от расхода и состава сырья

Из полученного графика виден небольшой разброс между полученными значениями в Aspen HYSYS и данными с производства. Это связано с тем, что статическая модель в Aspen HYSYS не учитывает возмущающие воздействия на систему. Разброс считается допустимым, поэтому модель адекватно описывает текущий технологический режим.

Исследование математической модели трубчатой печи

Для оптимизации работы трубчатой печи Т-3/1 в схему внесены изменения в технологический процесс.

1. Изменение давления на потоках Input1 E-11 и Input2 E-11

Исследуемый поток и результат изменения теплового потока в трубчатой печи от давления на исследуемом потоке представлены на Рис.4 и Рис.5. Согласно технологическому режиму установки рабочее давление на потоках Input1 E-11 и Input2 E-11 $P = 0,68$ МПа.

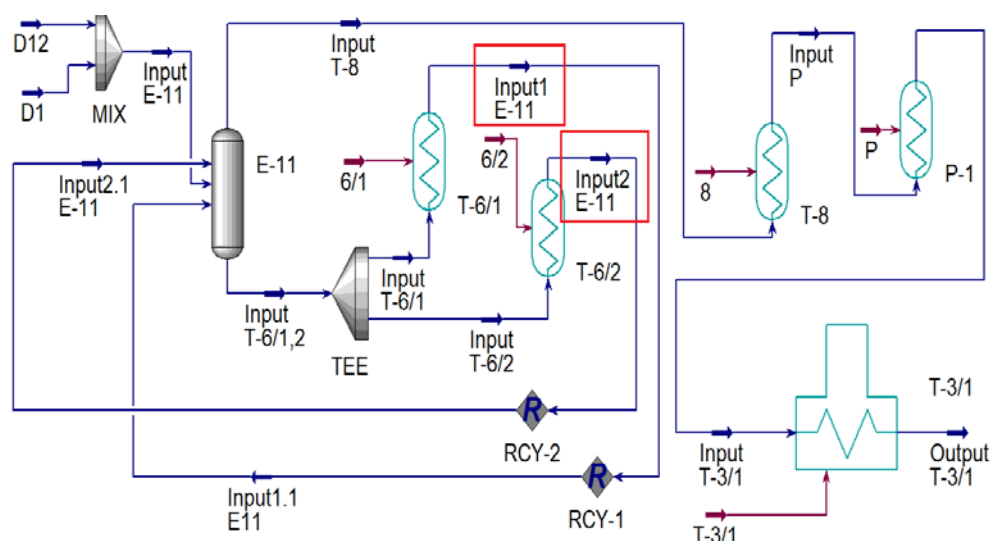


Рис. 4. Исследуемые потоки Input1 E-11 и Input2 E-11

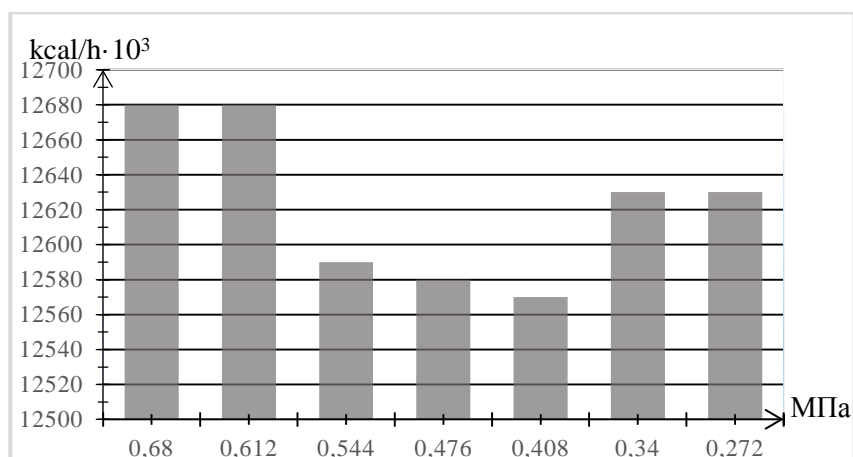


Рис. 5. График изменения теплового потока в трубчатой печи от давления

Из полученного графика «Рис. 5» видно, что оптимальным значением является давление $P = 0,408$ МПа, при котором расход теплового потока уменьшается на 0,87% в сутки.

2. Изменение давления на потоке Input P

Исследуемый поток и результат изменения теплового потока в трубчатой печи от давления на исследуемом потоке представлены на Рис.6 и Рис.7. Согласно технологическому режиму установки, рабочее давление на потоке Input P $P=0,5884$ МПа.

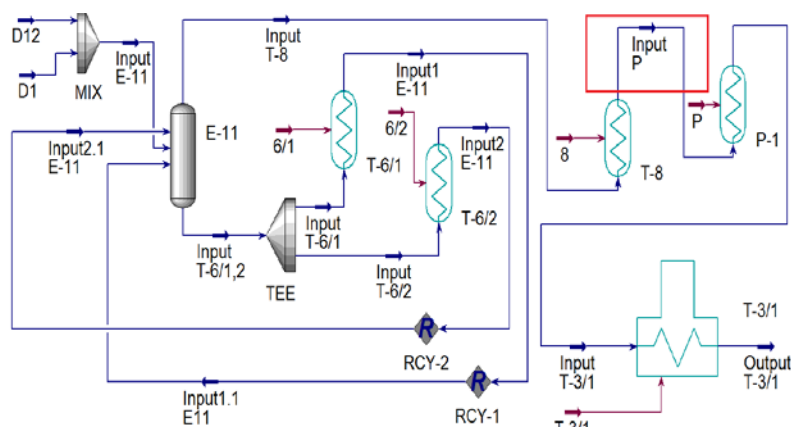


Рис. 6. Исследуемый поток Input P

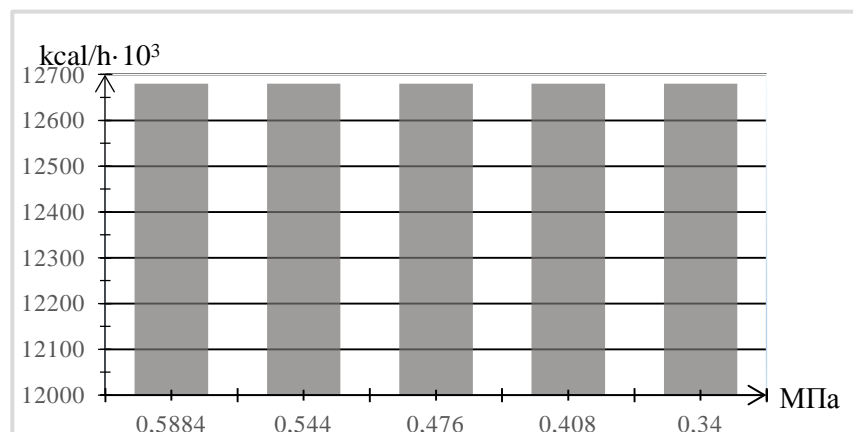


Рис. 7. График изменения теплового потока в трубчатой печи от давления

При изменении давления, расход теплового потока в трубчатой печи не меняется. Таким образом, давление на потоке Input P считается критическим параметром, значение которого необходимо выдерживать в соответствии с технологическим режимом установки.

3. Изменение давления на потоке Input T-3/1

Исследуемый поток и результат изменения теплового потока в трубчатой печи от давления на исследуемом потоке представлены Рис.8 и Рис.9. Согласно технологическому режиму, рабочее давление на потоке Input T-3/1 $P=0,4413$ МПа.

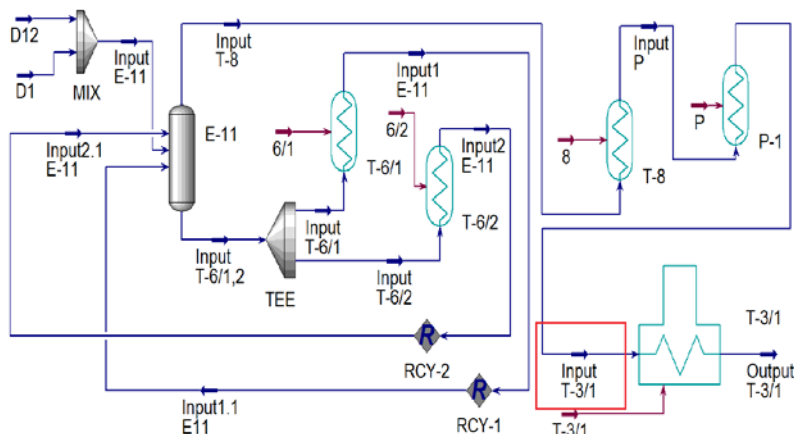


Рис. 8. Исследуемый поток Input T-3/1

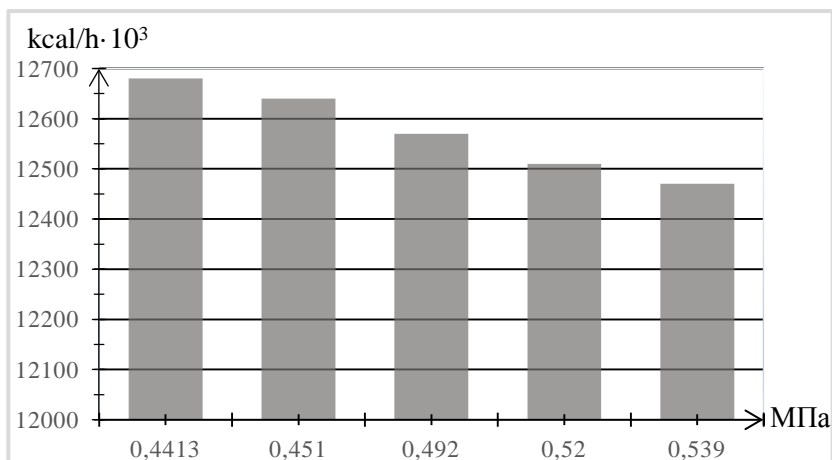


Рис. 9. График изменения теплового потока в трубчатой печи от давления

Из полученного графика видно, что оптимальным значением является давление $P = 0,539$ МПа, при котором расход теплового потока уменьшается на 1,65% в сутки.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенного исследования сделаны следующие выводы:

Необходимо четко выдерживать значение давления потока Input P. Исследованы два способа, которыми можно минимизировать расход теплового потока трубчатой печью - это изменение давления на потоке Input T-3/1 и на потоках Input1 E-11 и Input2 E-11. Наилучшее значение достигается при изменении давления на потоке Input T-3/1.

График, отражающий изменение расхода теплового потока, после изменения технологического режима установки показан на «Рис. 10». Сплошной линией построен график, отражающий тепловой поток в трубчатой печи Т-3/1 «до» оптимизации, пунктирной линией «после» оптимизации.

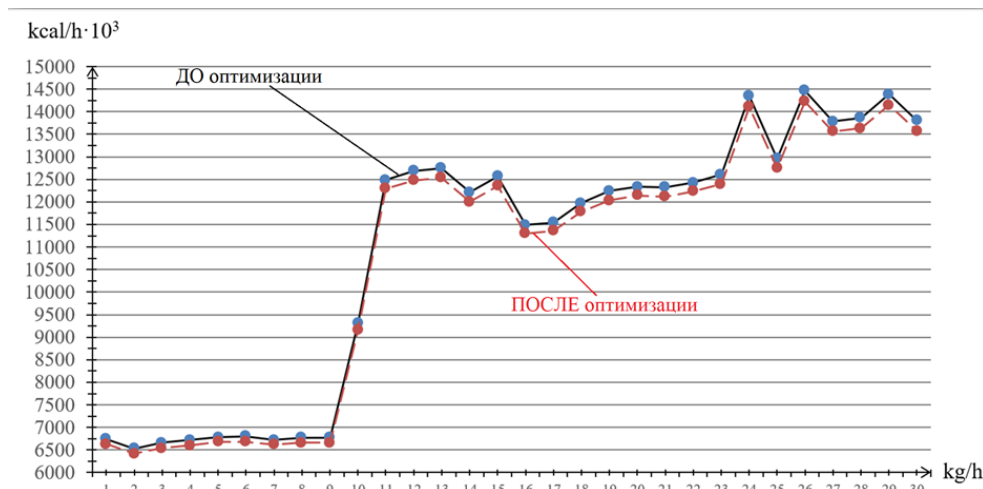


Рис. 10. График изменения теплового потока в трубчатой печи Т-3/1 «до» и «после» оптимизации

Таким образом, график еще раз подтверждает, что при изменении технологических параметров на потоке Input Т-3/1 минимизирует расход теплового потока в трубчатой печи Т-3/1.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено исследование разработанной модели, в результате которого выявлены оптимальные характеристики технологического режима, способствующие оптимизация суточной производительности установки трубчатой печи.

Рекомендуется выдерживать и контролировать давление на потоке Input Т-3/1 равное $P = 0,539$ МПа, которое приводит к уменьшению теплового потока на 1,65% в сутки. Исследуемые давления на потоках Input P, Input1 E-11 и Input2 E-11 принимаются согласно технологическому режиму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Татомир Т.С. Трубчатые печи как объект для повышения энергоэффективности нефтеперерабатывающего предприятия / Т.С. Татомир, Р.А. Хакимов, А.А. Ибатуллин // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2017. С. 89-92.

[2] Буренина И.В. Экономическое обоснование оптимизации производственных процессов нефтеперерабатывающих заводов / И.В. Буренина, Е.В. Евтушенко, А.С. Зац // Наукоедение . 2015. Т. 7, № 3. С. 1–17.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ СРЕДСТВАМИ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

С. Д. Фарунцев¹, А. А. Перминов²

¹ООО «Инсист Автоматика»,

²Омский государственный технический университет

Аннотация - Дается общая характеристика концепции интеллектуального месторождения, как отражения идей Четвертой промышленной революции (Industry 4.0) в нефтедобывающей отрасли. Приведена проблематика промысловой автоматизации процессов подготовки нефти к транспортировке. Показана возможность существенного повышения эффективности эксплуатации объектов подготовки нефти за счет применения усовершенствованных систем управления. Отмечено, что важным резервом для решения указанной задачи является содружество отраслевого инжиниринга, ВУЗовской науки и молодых профессионалов, вооруженных знаниями в области интеллектуальных систем управления, математического моделирования и технологических процессов. Продемонстрированы первые результаты совместной деятельности в данном направлении.

Ключевые слова – интеллектуальное месторождение, проблематика промысловой автоматизации, усовершенствованные системы управления, эффективность объектов подготовки нефти, содружество отраслевого инжиниринга и вузовской науки.

I. ВВЕДЕНИЕ

Начиная с зарождения в 2011 году в Германии идей Четвертой промышленной революции (Industry 4.0), а затем в США и промышленного интернета вещей (IIoT), в каждой отрасли стали создаваться концепции «цифрового предприятия». В нефтепереработке – это «умный завод», в горнодобывающей отрасли – «цифровой рудник», в нефтедобыче – «интеллектуальное месторождение» [1].

Однако традиционные системы автоматизации в настоящее время далеко не всегда в состоянии поддержать эффективность процессов на должном уровне, особенно это касается установок объектов подготовки нефти (УПН) к транспортировке в магистральных трубопроводах. Причин тому несколько, главные из которых - интенсивный фон возмущений по количеству и качеству нефтяной эмульсии, поступающей со скважин на входы УПН и недостаток и/или отсутствие непрерывных анализаторов качества и измерителей количества основных компонентов и материальных потоков и, как следствие, – отсутствие должного контроля за действием возмущений и текущими экономическими параметрами эффективности объектов и УПН в целом [2].

В совокупности указанные факторы приводят к снижению производительности установок по товарной нефти, потерям легких нефтяных фракций через отбираемый газ, а, следовательно, к падению выхода товарной нефти, избыточному расходу электроэнергии и перерасходу ценных реагентов.

Решение обозначенных проблем в рамках традиционных систем автоматизации нефтедобычи уже не может устраивать отрасль и требует новых подходов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Существенным резервом повышения эффективности процессов подготовки нефти является оптимизация режима за счет применения усовершенствованных систем управления (в англоязычной литературе – Advanced Process Control, APC).

Усовершенствованные системы управления – это класс управляющих систем, предназначенный для стабилизации качества продуктов и повышения эффективности технологических процессов. APC основаны на классической теории управления и современных информационных технологиях и предусматривают, в дополнение к традиционным локальным средствам автоматизации, применение интеллектуальных систем управления (фазы- и МРС-контроллеры, нейрорегуляторы и др.), использующих информацию об особенностях технологических процессов, оформленную в виде математических моделей и алгоритмов.

III. ТЕОРИЯ

За границей усовершенствованные системы управления начали активно внедряться нефтяниками с конца 90-х годов, где они используются на объектах добычи (в основном, морской), подготовки и транспорта нефти и газа (в компаниях BP, Shell, Statoil, Petrobras, Saudi Aramco, Qatar Petroleum и др. [3–5]). На отечественных предприятиях нефтепереработки, химии, энергетики данные системы в последние 5–10 лет также достаточно активно применяются [6].

В нефтедобыче, несмотря на то, что теоретические основы применения оптимальных методов управления отечественной отраслевой науке и инжиниринговым компаниям в целом известны уже достаточно давно [2, 7], практического применения в конкретных процессах и системах они пока не находят.

Чтобы преодолеть существенный консерватизм служб эксплуатации нефтедобывающих предприятий по отношению к новшествам, инжиниринговым компаниям и системным интеграторам, занимающимся практическими разработками и внедрением систем автоматизации и вполне осознающим актуальность современных решений, часто не хватает ресурсов для завершения разработок и создания пилотных образцов решений, способных продемонстрировать их достоинство победить скепсис лиц, принимающих решения у заказчиков.

Практика сотрудничества между отраслевыми инжиниринговыми компаниями и ВУЗами, которая начала складываться в последнее время, может существенно подтолкнуть решение обозначенной проблемы за счет привлечения к пилотным, а затем и промышленным разработкам дополнительных ресурсов в лице молодых профессионалов – выпускников, бакалавров и магистров.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате исследований по моделированию и оптимизации процессов подготовки нефти, проведенных специалистами компании «Инсист Автоматика», разработаны варианты решений в области усовершенствованной автоматизации объектов нефтедобычи. В частности, предлагаются схемы усовершенствованного управления процессом дозирования деэмульгатора, управления секциями предварительного и глубокого обезвоживания [8].

Одним из наиболее ответственных объектов технологической цепочки подготовки нефти, предъявляющим особые требования к системе автоматизации, является нефтегазоводоразделитель с прямым подогревом (НГВРП), предназначенный для предварительного обезвоживания и дегазации нефтяной эмульсии. В настоящей работе предложено описание одного из возможных вариантов реализации усовершенствованной системы управления данным аппаратом.

Технологическая схема и традиционная система автоматизации НГВРП, построенная на локальных регуляторах, изображены на Рис.1. Нефтяная эмульсия поступает в верхнюю часть зоны подогрева НГВРП, где расположены жаровые трубы, внутрь которых подается топливный газ (обычно – нефтяной газ с этого же аппарата). Под действием сил гравитации нефтяная эмульсия расслаивается, частично обезвоженная нефть, как более легкая, оказывается в верхней части аппарата и перетекает в зону отстоя, более тяжелая вода с солями выводится из нижней части НГВРП. Нефтяной газ, содержащий летучие углеводородные фракции (метан, этан, бутан, пропан), выводится из верхней части аппарата.

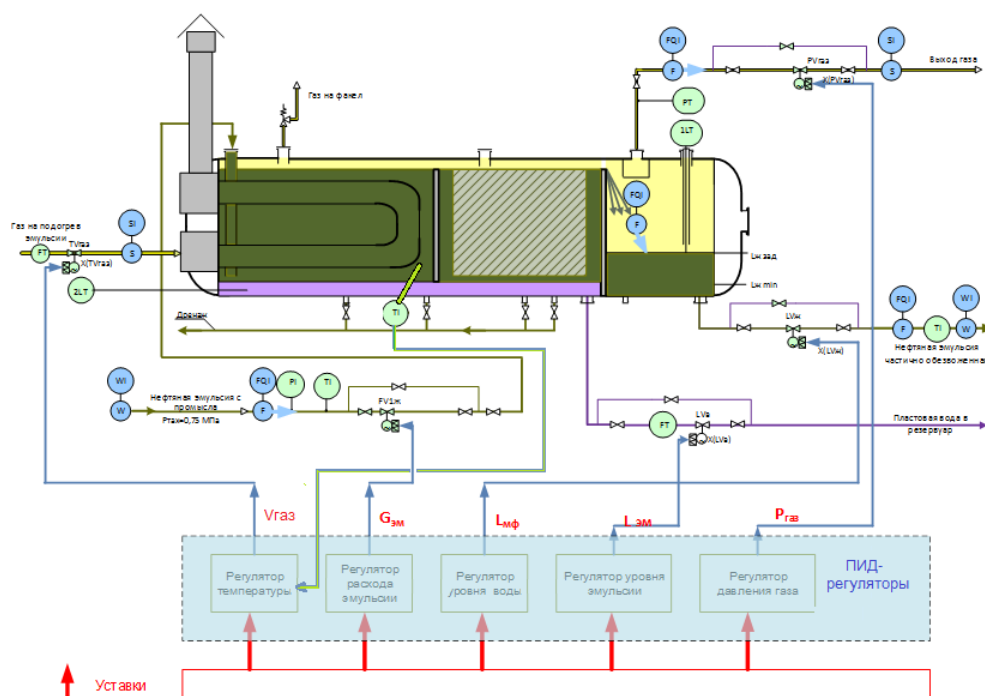


Рис. 1. Схема существующей системы контроля и управления нефтегазоводоразделителя с прямым подогревом нефтяной эмульсии

Отдельные контура регулирования НГВРП, указанные на Рис. 1, не связаны между собой (хотя внутренняя технологическая связь имеет место), отсутствуют средства контроля над возмущающими воздействиями, перечисленными ранее, что приводит к взаимной раскачке контуров, снижению качества сепарации, а часто – и к срабатыванию системы защиты и незапланированным остановам.

Предлагаемая усовершенствованная система управления НГВРП включает:

1. Расчет неизмеряемых качественных показателей (так называемых, виртуальных анализаторов):

– общей теплотворной способности потока топливного газа;

- теплосодержания (количества потребленного тепла) нефтяной эмульсии;
- соотношения указанных параметров.

2. Систему автоматического регулирования соотношения общей теплотворной способности потока топливного газа и количества тепла, необходимого для нагрева эмульсии до заданной температуры с помощью регулятора, воздействующего на регулирующий клапан, установленный на трубопроводе топливного газа.

3. Систему автоматического регулирования температуры нефтяной эмульсии с помощью дополнительного регулятора, воздействующего на задание регулятору соотношения.

Т.е. в целом предлагается реализовать схему поддержания соотношения тепловых потоков с коррекцией по целевому параметру объекта регулирования по принципу отрицательной обратной связи. Ведущим в указанной схеме (задающим соотношение) является поток тепла, необходимого для нагрева эмульсии. Ведомым (отрабатывающим соотношение) является поток тепла, связанный с расходом топливного газа.

Описанная система изображена на Рис.2. Поскольку основные возмущения в систему регулирования температуры $T_{эм\text{ вых}}$ – изменение состава и плотности топливного газа, колебания расхода и влагосодержания эмульсии – поступают по контролируемым каналам теплотворной способности газа и теплосодержания эмульсии, предполагается, что, тем самым, обеспечится компенсация данных возмущений. Неизбежные погрешности виртуальных анализаторов и прочие неконтролируемые возмущения (например, суточные колебания, связанные с изменением температуры окружающей среды), будут компенсироваться главным регулятором.

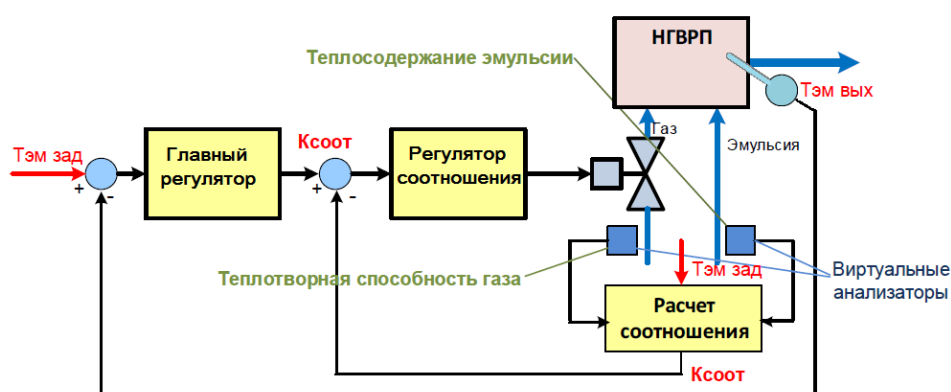


Рис. 2. Схема усовершенствованного регулирования температуры эмульсии НГВРП

На Рис. 3 приведены графики, иллюстрирующие эффективность данного метода поддержания температуры подогрева эмульсии на выходе НГВРП, смоделированного в компьютерном классе кафедры Автоматизации и робототехники ОмГТУ программными средствами Matlab/Simulink с использованием данных реальных объектов.

Нижний график показывает характер изменения нагрузки НГВРП в течение суток, т.е. расхода нефтяной эмульсии на его входе, изменяющегося в пределах 200...300 т/час. Средний график, по оси ординат которого отложено соотношение тепловых потоков (номинальное соотношение равно единице), демонстрирует, что компенсация возмущений по нагрузке осуществляется поддержанием постоянного соотношения тепловых потоков. Высокочастотные колебания соотношения тепловых потоков являются следствием работы регулятора соотношения.

Одновременно с высокочастотными колебаниями нагрузки данная схема обрабатывает низкочастотные суточные температурные колебания путем изменения задания регулятору соотношения, что также отражено на среднем графике.

Целевая температура эмульсии на выходе НГВРП при всех низкочастотных и высокочастотных возмущениях стабильно поддерживается на заданном значении 40°C – верхний график.

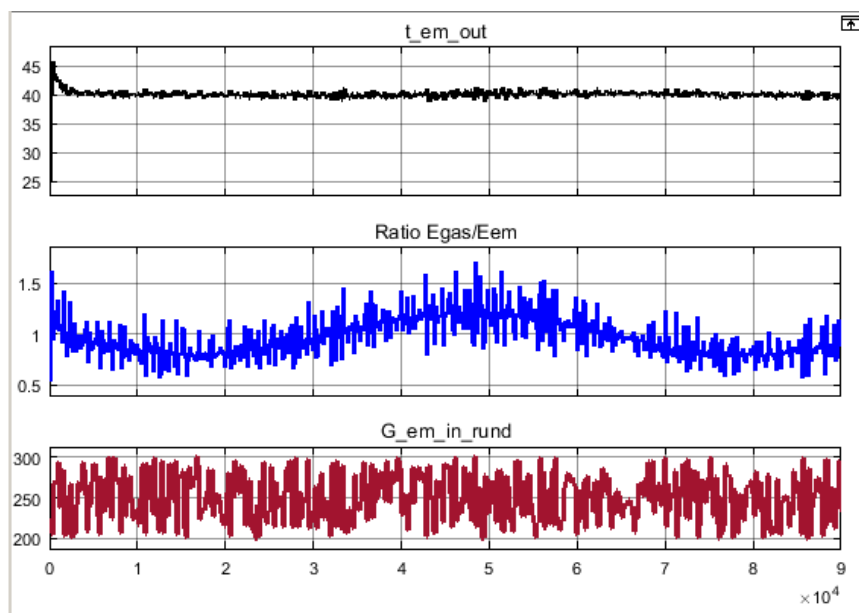


Рис. 3. Графики двухуровневого регулирования температуры эмульсии нефти при одновременном воздействии контролируемого высокочастотного возмущения по расходу эмульсии (нижний график) и неконтролируемого низкочастотного температурного возмущения

Студенты бакалавры и магистры на практических занятиях по моделированию и интеллектуальным системам управления осваивают методы моделирования реальных объектов нефтедобычи и их усовершенствованного управления. Предоставление исходных и экспериментальных данных для построения моделей объектов и систем регулирования, методическое руководство осуществляются компанией Инсист Автоматика.

Алгоритмы оптимизации и системы управления, отработанные на моделях, служат основой для создания пилотных образцов и промышленных решений.

V. Выводы и заключение

Показана возможность повышения эффективности процессов нефтедобычи современными средствами промышленной автоматизации.

Продемонстрирован один из вариантов схемы усовершенствованного управления нефтегазоводоразделителем с прямым подогревом.

Проиллюстрированы результаты совместных работ компании Инсист Автоматика и ОмГТУ по моделированию и построению систем усовершенствованного управления, выполненные в компьютерном классе ОмГТУ, которые служат основой для создания пилотных образцов и промышленных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Зубкова Е. Умное месторождение для оптимального промысла. <http://www.energyland.info/analitic-show-123296>
- [2] И.Д. Ельцов. Управление технологическим процессом подготовки нефти по технико-экономическим показателям. Диссертация на соиск. ученой степени канд. техн. наук. Уфа, 2007 г.
- [3] John-Morten Godhavn, Stig Strand and Gunleiv Skofteland. INCREASED OIL PRODUCTION BY ADVANCED CONTROL OF RECEIVING FACILITIES // Statoil R&D Process Control. Arkitekt Ebbells vei 10, Rotvoll, 7005 Trondheim, Norway
- [4] K.A. Amminudin, A.S. Mehli. Crude Oil Processing Optimization Initiative – from Concept to Successful Implementation and Sustainment // SPE-172053-MS. 2014.
- [5] Nunzio Bonavita, Egil Birkemoe, Olav Slupphaug, Espen Storkaas. OPERATIONAL PERFORMANCE EXCELLENCE THROUGH PRODUCTION OPTIMIZATION IN THE UPSTREAM INDUSTRY//10th Mediterranean Petroleum Conference (MPC08), Tripoli, Libya, February 26 – 28, 2008.
- [6] Дозорцев В.М., Ицкович Э.Л., Кнеллер Д.В. Усовершенствованное управление технологическими процессами (APC): 10 лет в России // Автоматизация в промышленности. 2013. № 1. С. 12-19.
- [7] Вережкин А.П. Методы решения «продвинутых» задач управления и обеспечения безопасности для объектов нефтегазового комплекса // Проблемы управления и автоматизации технологических процессов и производств: сб. тр. Всерос. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию кафедры "Автоматизация технологических процессов и производств" "Применение усовершенствованных систем управления для повышения эффективности процессов нефтедобычи". Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет им. С.Д. Фарунцев, 2010. С. 8–22.

Секция 2. МЕХАТРОННЫЕ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И МОДУЛИ

УДК 621.865.8:519

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ МЕХАТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И РОБОТОВ

М. А. Буйнов¹

¹ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»

Аннотация – В статье предложен новый метод структурного синтеза механизмов мехатронных устройств и роботов, позволяющий строить структурные схемы без избыточных и метрических связей, лишних подвижностей и лишних звеньев, возникающих в контурах механизмов.

Ключевые слова – Механизм, структурный синтез, избыточная связь, лишняя подвижность, метрическая связь.

I. ВВЕДЕНИЕ

Структурный синтез механизмов – проектирование их структурных схем, отвечающих заданным требованиям. Задача синтеза состоит в определении числа подвижных звеньев механизма, числа и вида его кинематических пар, а также порядка соединения звеньев кинематическими парами. Синтез механизмов представляет собой трудную задачу, которая обычно имеет многовариантное решение.

До настоящего времени в теории механизмов и машин для проведения структурного синтеза используют структурные формулы П.Л. Чебышева и А.П. Малышева, которые не всегда позволяют корректно его проводить, поскольку не учитывают такие структурные особенности механизмов, как избыточные контурные связи (связи, обращающие механизм в статически неопределимую систему[1]) (ИКС), лишние контурные подвижности (возможность звена поворачиваться вокруг своей продольной оси или нескольких звеньев вокруг их общей оси, не оказывая влияния на функциональные возможности механизма) (ЛКП) и метрические связи (связи, которые повторяют ограничения на относительные движения звеньев в механизме [2]) (МС).

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работе предлагается иной подход к структурному синтезу механизмов. Исходными требованиями, задаваемыми при синтезе механизма, являются число его степеней свободы, число его замкнутых контуров, также синтезированный механизм не должен содержать ИКС, ЛКП и МС.

III. ТЕОРИЯ

Синтез механизма начинаем с определения числа его подвижных звеньев, которое можно находим из условия отсутствия в нем метрических связей [3]

$$T = 2K + 1 - n, \quad (1)$$

где T – число метрических связей механизма; K – число контуров механизма; n – число подвижных звеньев механизма.

Приравнивая выражение (1) к нулю можно получить минимальное число подвижных звеньев синтезируемого механизма, при котором он не будет содержать МС

$$n_{c1} = 2K + 1. \quad (2)$$

Для того чтобы механизм обладал заданным числом степеней свободы W необходимо чтобы он содержал не звеньев не менее, чем

$$n_{c2} = W + 2K. \quad (3)$$

Окончательно число звеньев синтезируемого механизма (n_c) принимаем равным большему из чисел n_{c1} и n_{c2} . Общее число кинематических пар синтезируемого механизма (p_Σ) определяем из формулы Х.И. Гохмана [2]

$$p_\Sigma = n_c + K. \quad (4)$$

Число избыточных контурных связей и лишних подвижностей j -го замкнутого контура механизма определяется по выражению [3]

$$S_j = 3 - \sum_{i=1}^5 (m-i) p_i, \quad (5)$$

где p_i – число кинематических i -го класса замкнутого контура; m – модификатор, учитывающий тип кинематических пар: $m=5$ – для низших кинематических пар (5, 4 и 3 классов), $m=4$ – для высших кинематических пар (2 и 1 классов). Положительное значение S_j соответствует числу ИКС контура, а отрицательное – числу его ЛКП.

Плоский замкнутый контур механизма, образованный кинематическими парами только 5-го класса обладает согласно выражению (5) тремя ИКС. Для того чтобы в синтезируемом механизме отсутствовали ИКС необходимо дать парам контура дополнительные подвижности т.е. понизить их класс. Если синтезируемый механизм имеет число контуров равное K , то суммарное число дополнительных подвижностей звеньев, необходимое для устранения ИКС в его контурах равно $3K$. На основании этого требования можно записать уравнение, связывающее число контуров синтезируемого механизма с числом его пар 4-го (p_4), 3-го (p_3), 2-го (p_2) и 1-го (p_1) классов.

$$p_4 + 2(p_3 + p_2) + 3p_1 = 3K. \quad (6)$$

Общее число пар синтезируемого механизма было определено в выражении (3), поэтому можно записать следующее уравнение

$$p_5 + p_4 + p_3 + p_2 + p_1 = p_\Sigma. \quad (7)$$

Решая (6) и (7) совместно относительно переменных p_5, p_4, p_3, p_2 и p_1 получим систему из двух уравнений с 5 неизвестными. Из-за того, что число неизвестных больше числа уравнений в системе, она имеет бесконечное число решений, однако число кинематических

пар механизма не может быть выражено дробным или отрицательным числом, поэтому задача синтеза механизма сводится к отысканию всех целых, неотрицательных решений системы уравнений (6) и (7).

Для нахождения всех целочисленных неотрицательных решений системы уравнений (6-7) можно выразим из (6) число пар 4-го класса (p_4), а из выражения (7) число пар 5-го класса (p_5)

$$p_4 = 3K - 2(p_3 + p_2) - 3p_1; \quad (8)$$

$$p_5 = p_\Sigma - 3K + p_3 + p_2 + 2p_1. \quad (9)$$

Подставляя последовательно в выражения (8) и (9) вместо p_1 , p_2 и p_3 значения от 0 до p_Σ , получим все целочисленные решения системы уравнений (6) и (7) в виде $(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5)^1 \dots (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5)^m$. Количество полученных решений (m) зависит от суммарного числа кинематических пар механизма и равно $(p_\Sigma + 1)^3$.

Среди полученных решений для дальнейшего синтеза необходимо выбрать те, для которых число пар 4-го и 5-го класса неотрицательно.

Решения системы уравнений (6) и (7) позволяют определить общее число кинематических пар всех классов в механизме, но они не дают информации о том сколько пар и какого класса содержится в каждом контуре синтезируемого механизма.

Распределение кинематических пар по контурам синтезированного механизма производим из анализа выражения (5). Если контур механизма не имеет ИКС и ЛКП ($S=0$), то в его состав могут входить следующие кинематические пары с 1 по 4 класс: одна пара 1-го класса (контур 1 типа); одна пара 2-го и одна пара 4-го класса (контур 2 типа); одна пара 3-го и одна пара 4-го класса (контур 3 типа); три пары 4-го класса (контур 4 типа).

Пусть синтезируемый механизм состоит из K контуров, каждый из которых не имеет ИКС и ЛКП. Среди этих контуров есть f – контуров 1 типа, h – контуров 2 типа, t – контуров 3 типа и g – контуров 4 типа. Числа f , m , t и g целые и неотрицательные. Тогда можно записать систему уравнений, которая будет связывать общее число кинематических пар механизма 1-4 классов с числом его контуров f , m , t и g .

$$\begin{cases} f = p_1 \\ h = p_2 \\ t = p_3 \\ m + t + 3g = p_4 \end{cases} \quad (10)$$

Система (10) имеет 4 уравнения и столько же неизвестных, следовательно, её решение единственно. Значения p_1, \dots, p_4 были найдены при решении системы уравнений (6) и (7). По решению системы (10) можно однозначно установить сколько кинематических пар 1-4 классов содержится в каждом контуре механизма. Число пар 5-го класса в каждом контуре механизма не может определяться из системы (10) и должно быть найдено из условий работы синтезируемого механизма. Если решение системы (10) отрицательно, то данный синтезируемый механизм имеет хотя бы в одном своём контуре ИКС или ЛКП.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Синтезируем структурную схему исполнительного механизма робота, который имеет 2 местных замкнутых контура и 3 степени свободы. Определим минимально необходимые числа звеньев структурной схемы n_{c1} и n_{c2}

$$n_{c1} = 2K + 1 = 4 + 1 = 5; \quad n_{c2} = W + 2K = 3 + 4 = 7.$$

Принимаем число звеньев синтезируемого механизма равное 7. Определим общее число кинематических пар

$$p_{\Sigma} = n_c + K = 7 + 2 = 9.$$

Так как в механизмах роботов не применяются кинематических пары 1-го и 2-го классов, то для получения всех решений в формулы (8) и (9) подставляем $p_1=p_2=0$, а p_3 изменяем от 0 до 9. Таким образом, система уравнений (6) и (7) имеет в данном случае 10 целочисленных решений, из которых неотрицательными являются всего 3. Для каждого полученного решения с помощью системы (10) найдем, сколько пар каждого класса содержится в контурах механизма. Распределение кинематических пар по контурам механизма для каждого решения приведено в таблице I.

ТАБЛИЦА I

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР ПО КОНТУРАМ СИНТЕЗИРУЕМЫХ МЕХАНИЗМОВ

<u>Решение №1</u>	<u>Решение №2</u>	<u>Решение №3</u>
Контур №1: 3 пары 4-го класса;	Контур №1: 1 пары 3-го класса; 1 пара 4-го класса	Контур №1: 1 пара 3-го класса; 1 пара 4-го класса
Контур №2: 3 пары 4-го класса	Контур №2: 3 пары 4-го класса	Контур №2: 1 пара 3-го класса; 1 пара 4-го класса

Структурные схемы, соответствующие синтезированным механизмам приведены на рис. 1

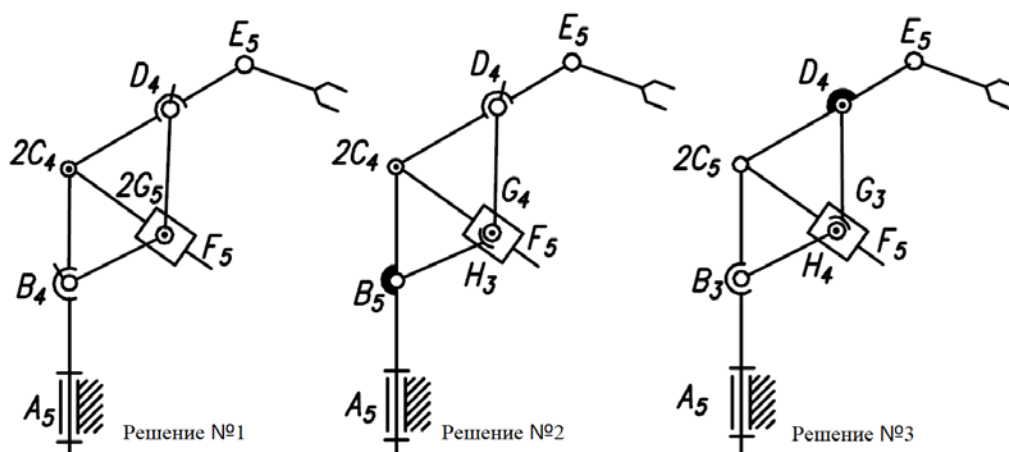


Рис.1. Синтезированные структурные схемы

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод структурного синтеза механизмов дает возможность проектировать структурные схемы механизмов без ИКС, ЛКП, ЛЗ и МС в каждом замкнутом контуре. Применение данного метода обеспечивает рациональное конструирование механизмов, приводящее к уменьшению трения и износа в кинематических парах, улучшению условий их функционирования и повышению качества работы механизма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы: Справочник. М.: Машиностроение, 1979. 334 с.
- [2] Проектирование механизмов и машин: учеб. пособие для вузов / В. Г. Гушин, С.А. Балтаджи, А.Н. Соболев, Ю.И. Бровкина. Старый Оскол: ТНТ, 2014 . 488 с.
- [3] Егоров О.Д., Буйнов М.А. Структурный анализ механизмов мехатронных и робототехнических устройств // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. № 4. С. 239–244.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ ПРИ СОЗДАНИИ РОБОТОВ ТЕЛЕПРИСУТСТВИЯ

М. Р. Ромазанов¹, В. О. Рябчевский¹, Е. И. Пастухова¹

¹*Омский государственный технический университет*

Аннотация – В статье рассматриваются основные типы роботов телеприсутствия. Определены их классификационные признаки и отличительные черты. Рассмотрены типовые примеры роботов телеприсутствия, подходы при их создании. Даны рекомендации разработчикам роботов телеприсутствия.

Ключевые слова – Роботы телеприсутствия, антропоморфные роботы, удалённое рабочее место

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из ярчайших проявлений индустриальной эпохи был колоссальный рост расстояний, которое в течение года преодолевал средний человек. Согласно популярному учебнику В. Ломакина «Мировая экономика», в 1900 году средний американец передвигался на 698 км в год, в основном на работу, а в 80-е передвижение человека с учётом всех видов транспорта достигло 19,2 тыс. км ежегодно, увеличившись с начала века почти в 27,5 раза. Но вот сейчас появился шанс эту тенденцию изменить – и шанс этот дают постиндустриальные, информационные технологии.

Изначально проблему огромных расстояний пытались решить с помощью телеконференций. Но проблема состоит в следующем: человеческий мозг устроен так, что реагирует на пространственное расположение в группе общающихся людей.

Управляющему персоналу иногда нужно пройти по офисам и заводским цехам, для контроля рабочей обстановки или соблюдения технологического процесса, обращая внимание на все детали под разными углами, а не только со стороны камеры видеонаблюдения. Для таких целей были созданы роботы телеприсутствия.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время проблема преодоления больших расстояний очень актуальна. Важно следить за современными тенденциями для создания своего робота телеприсутствия.

Для достижения поставленной цели стоят следующие задачи:

- выявить преимущества современных подходов к созданию таких роботов;
- с помощью полученных знаний сформировать рекомендации для создания робота телеприсутствия, соответствующего современным требованиям.

III. ТЕОРИЯ

Робот телеприсутствия – это мобильная автономная система, позволяющая человеку производить действия в месте нахождения робота, используя компьютер и интернет.

Их функции – удаленное наблюдение за происходящим, разговор с людьми, обзор окружающего мира, перемещение и трансляция изображения окружающим.

Рассмотрим роботы телеприсутствия ведущих мировых производителей с точки зрения их конструктивных особенностей и выполняемых функций.

Webot [2] (рис. 1) робот удалённого телеприсутствия от российской компании ООО Викрон. Схема робота подобна человеку: он обладает головой, которая поворачивается в двух перпендикулярных плоскостях и мобильной платформой. Управление осуществляется с помощью специального приложения на ПК. Заряд аккумулятора может поддерживать робота на ходу 12 часов. Работает с помощью одноплатного компьютера, куда подключены микрофон, динамики и дисплей, а также всё для передвижения робота, а связь происходит через собственный сервер на разработанное ими ПО.

Egor [3] (рис. 2) В основании движущийся части робота лежит радиоуправляемая машинка, а если быть точнее, то пара моторов и корпус. Для передачи данных используется только одноплатный компьютер Raspberry Pi. Передача изображения осуществляется с помощью внешней камеры. Автор предлагает выбор между обычной USB камерой и специальной камерой для. Различия заключаются в том, что USB камера довольно дешёвая, но она потребляет слишком много энергии, а камера для Raspberry Pi выходит дороговато, но в ней оптимизировано энергопотребление и она проста в эксплуатации. Для отправки команд с ПК, Raspberry Pi используют как точку доступа с помощью Wi-Fi адаптера. Для вывода изображения используется библиотека mjpeg-streamer. Чтобы получить изображение достаточно вписать ip сети Raspberry Pi в браузер. Команды передаются так же через сеть Wi-Fi.

ORIGIBOT [4] (рис.3) – робот телеприсутствия с манипулятором-захватом. Он разработан на базе Android-планшета и Arduino. Прочная алюминиевая платформа является носителем Android-планшета с запущенной специальной программой, которая позволяет управлять роботом и манипулятором из web-браузера (через WebRTC).

WebRTC – это отличная замена приложений для передачи текстовой, голосовой и видеосвязи, таких как Skype, Whatsapp и Viber, т.к. он позволяет организовать передачу потоковых данных между браузерами или другими поддерживающими его приложениями по технологии точка-точка. Конструкция робота состоит, в основном, из конструктора Makeblock.

Endurance [5] (рис.4) это ещё один робот телеприсутствия в котором связь происходит через Android планшет, а управление колёсной базой осуществлено через микроконтроллер. На планшет установлена бесплатная (open source) программа LinPhone, с помощью которой реализовано управление робота. Используемый микроконтроллер для управления колёсной базой соединен с Android планшетом по mini USB через AndroidDebug Mode. Подобное соединение очень надежно и стабильно в отличие от Bluetooth. Для защиты робота от столкновений на нём установлены 4 ультразвуковых сонара.

Halley [6] (рис. 5) это антропоморфный робот, у которого реализовано множество функций для общения лицом к лицу. Динамик, камера и микрофон удовлетворяют потребности ввода и вывода информации. В роботе нет дисплея, передающее изображение оператора, поэтому в нём реализовано подражание человеческих эмоций. Телефон на системе Android позволяет отобразить эмоции лица человека, и в совокупности с жестами, выполняемые при помощи рук робота, дисплей будет лишним.

В роботе используется Arduino Mega 2560, как основной управляющий элемент. Контроллер имеет 54 входов/выходов, 15 из которых поддерживают ШИМ сигнал. Этого

количества вполне хватает для управления сервомоторами. Питается робот от блока на 5В и 10А. Корпус робота изготовлен из 3д принтера и станка с лазерной резкой.

Роботы профессора Хироши Ишигуро [7] (рис. 6) Профессор из университета Осаки Хироши Ишигуро получил широкую известность в мире робототехники благодаря созданным им и его группой фотореалистичным роботам-андроидом серии Geminoid, Kodomoid, Otonaroid и другим. Каждое творение профессора Ишигуро становится все реалистичней и обретает дополнительные способности, увеличивающие его сходство с живыми людьми

Роботы профессора имеют металлический скелет, пластиковый череп, "плоть" из уретановой пены, кожа из силикона. Пневматические актуаторы управляют движением туловища и выражением лица. Все остальные движения осуществляются с помощью сервоприводов. Роботы не имеют собственного процессора и управляются исключительно дистанционно, с внешнего компьютера.



Рис. 1



Рис. 2

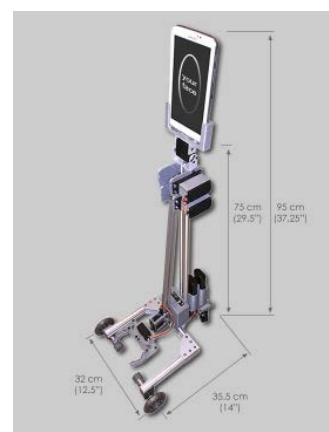


Рис. 3



Рис. 4

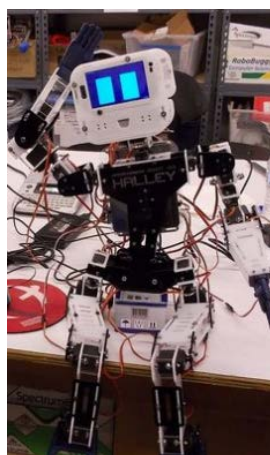


Рис. 5



Рис. 6

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При анализе роботов телеприсутствия были выделены основные отличительные критерии, которыми руководствуются разработчики при создании новых моделей (Табл.1).

ТАБЛИЦА I
КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ РОБОТОВ С ПРИМЕРАМИ РЕАЛИЗАЦИИ
ВЕДУЩИМИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯМИ

Платформа			
Одноплатный компьютер		Android + Arduino	
Webot		Origbot	
Egor		Endurance	
Geminoid		Halley	
Передача данных			
Web интерфейс	Wi-Fi	USB кабель	LinPhone
Webot	Egor	Halley	Endurance
Origbot			
Geminoid			
Вид телепередачи			
Дисплей и динамики передают ваше изображение и звук		Управление эмоциями робота и вывод звука с динамиков	
Webot		Geminoid	
Origbot		Halley	
Endurance			
Защита от столкновений			
Присутствует		Отсутствует	
Webot		Egor	
Endurance		Halley	
		Origbot	
		Geminoid	

Сопоставив роботов телеприсутствия с критериями можно выделить следующие зависимости:

- Android устройство в связке с Arduino равнозначны с Одноплатными компьютерами. Оба вида платформ используются как на дорогих роботах, так и на дешевых аналогах
- В передаче данных лидирует Web интерфейс, т.к. сейчас это самый доступный и распространённый вариант передачи данных на большие расстояния.
- Защита от столкновений есть только у готовых мобильных платформ. Egor и Origbot её не имеют из-за того, что это ещё прототипы.

Распределим роботов на два типа и отдельно рассмотрим их, чтобы проанализировать вид телепередачи.

Мобильные платформы. Это роботы с колёсной базой, у которых на длинной опоре расположена «голова», в которую просто вставить дисплей и динамики, поэтому основной вид телепередачи у мобильных платформ – вывод изображения на дисплей.

Антропоморфные роботы. Для таких роботов характерна конструкция свойственная движениям человека. В качестве движущего элемента используются сервоприводы.

Антропоморфных роботов всегда стараются максимально приблизить к образу человека, поэтому в них используют не дисплей, а сложные конструкции, которые могут подражать эмоциям человека. Из-за этого в Webot, Origbot и Endurance используют дисплей и динамики, а в Geminoid и Halley конструкцию лица робота и тела.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, для создания современного робота телеприсутствия можно использовать как одноплатный компьютер, так и связку Android устройство + Arduino. Передавать данные лучше всего через Web интерфейс. Телепередачу выбирать исходя из типа создаваемого робота. В серийно выпускаемых роботах защита от столкновений должна быть обязательной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Роботы телеприсутствия объявят войну транспорту? URL: www.computerra.ru/96949/robotyi-teleprisutstviya-obyavyat-voynu-transportu/
- [2] Телеприсутствие. Роботы телеприсутствия? URL: www.robotrends.ru/robopedia/webot-wicron-rossiya
- [3] Robot for the Office. URL: www.instructables.com/id/Robot-for-the-Office/
- [4] ORIGIBOT - робот телеприсутствия с манипулятором-захватом. URL: www.robocraft.ru/blog/projects/3267.html
- [5] Робот телеприсутствия Endurance. URL: www.old.endurancerobots.com/sistema-teleprisutstviya/
- [6] Halley: Ambassador Robot 001. URL: www.instructables.com/id/Halley-Ambassador-Robot-001/
- [7] Робот андроидного типа Geminoid HI-2. URL: www.robotrends.ru/robopedia/geminoid-hi-2

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА

Д.В. Донцов¹, А.А. Кабанов¹

¹Севастопольский государственный университет

Аннотация – В данной работе рассматривается задача построения системы моделирования движения квадрокоптера в пространстве. Система основана на математической модели движения квадрокоптера, построенной на основе физических законов. Для проверки адекватности модели выполнено моделирование стандартных летных задач – взлет, зависание, движение в горизонтальной плоскости. В качестве реального объекта исследования взят мини квадрокоптер производства компании «Геоскан». Выполнен анализ теоретических расчетов и полученных экспериментальных результатов.

Ключевые слова – Квадрокоптер, система моделирования, управления

I. ВВЕДЕНИЕ

За последние несколько лет на территории Российской Федерации количество используемых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) выросло в несколько раз. Именно этот фактор стал основанием для изучения методов управления БПЛА и их поведения в реальных условиях при различных внешних воздействиях [1–3]. Одной из широко распространенных конструкций лёгких БПЛА, часто применяемых в быту, являются БПЛА мультироторного типа – мультикоптеры, в частности квадрокоптеры (четырёхроторные БПЛА). Вышесказанное подчеркивает актуальность исследований в области создания и разработки методов и алгоритмов автоматического управления движением квадрокоптеров.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной работе поставлена задача разработать систему моделирования движения квадрокоптера с целью последующего ее использования для синтеза автоматического управления движением данного БПЛА. В качестве реального БПЛА, взятого за основу при разработке системы, используется мини квадрокоптер «Пионер» производства компании «Геоскан». В математической модели учитываются технические характеристики БПЛА и его особенности. Результаты моделирования необходимо сравнить с результатами, полученными при экспериментальных запусках квадрокоптера в лабораторных условиях.

III. ТЕОРИЯ

Рассматриваемая модель квадрокоптер «Пионер» имеет стандартную схему размещения четырех электродвигателей с пропеллерами (см. рис.1), используемых в качестве движителей. Каждый из двигателей создает подъемную силу – f_1, f_2, f_3, f_4 , соответственно. Каждая из сил в свою очередь создает крутящий момент – M_1, M_2, M_3, M_4 , соответственно (рис.1б).

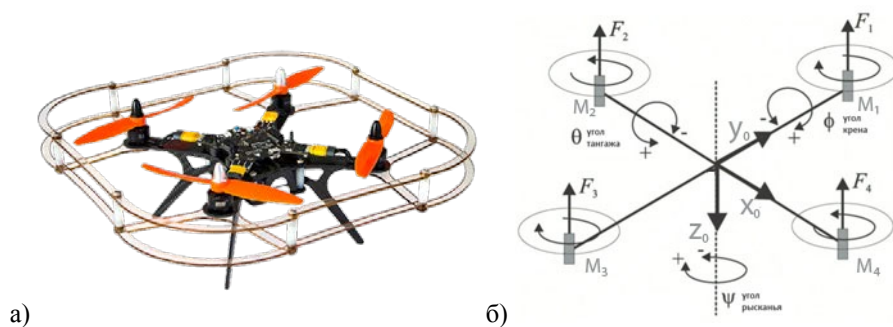


Рис.1. Внешний вид квадрокоптера «Пионер» (а) и схема действия сил и моментов (б)

Двигатели под номерами 1 и 3, а также 2 и 4 вращаются в противоположных направлениях, для того чтобы компенсировать динамический момент, создаваемый противоположными лопастями. Положение квадрокоптера в пространстве описывается координатами x, y, z его центра, а также углами пространственной ориентации – тангажа, рысканья и крена. Для движения квадрокоптера используется горизонтальная и вертикальная линейные скорости, а также угловая скорость вокруг оси z . Контроль этих скоростей и углов вращения происходит за счет управления скоростями вращения лопастей. Вертикальная скорость возникает в случае, когда суммарная сила тяги двигателей больше, чем сила притяжения земли. Угол крена (ϕ) возникает в случае, когда крутящий момент M_2 уменьшается, а крутящий момент M_4 увеличивается. Угол тангажа (θ) возникает в случае, когда крутящий момент M_1 увеличивается, а – M_3 уменьшается. Угол рысканья (ψ) возникает, когда динамический момент двигателей не компенсируется т.е. все двигатели вращаются в одном направлении.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исходя из данных, полученных при расчетах математической модели квадрокоптера [4], была разработана Simulink-модель его движения в пакете Matlab (рис.3), и промоделированы стандартные ситуации – взлет, удержание высоты, движение вдоль осей системы координат.

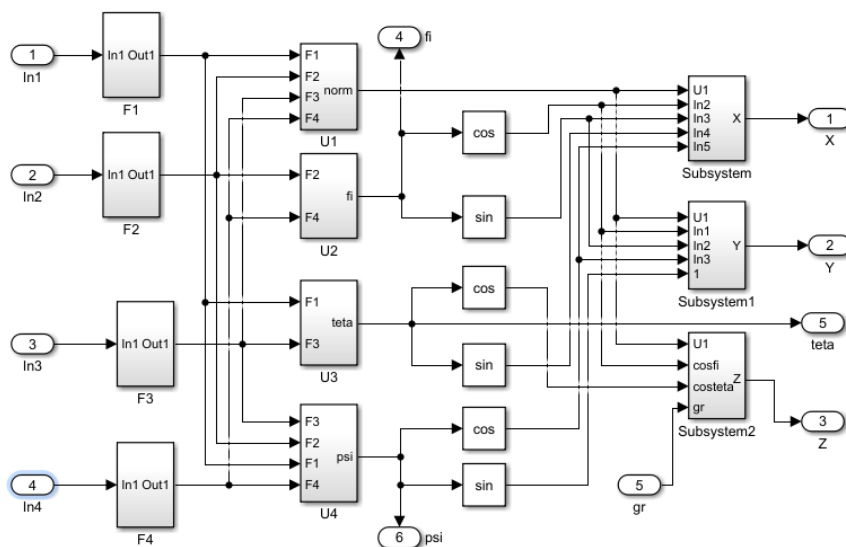


Рис. 3. Simulink-модель движения квадрокоптера

Входными данными Simulink-модели являются скорости вращения (ω_i , где $i = 1, 2, 3, 4$) каждого из двигателей соответственно. Выходными данными являются углы ψ , ϕ , θ и координаты x, y, z , характеризующие пространственное положение квадрокоптера.

Было проведено моделирование движения в условиях отсутствия внешних воздействий. На рисунке 4а изображен результат моделирования взлета квадрокоптера, выбор входных параметров модели не вызвал сложностей: необходимым и достаточным условием взлета в

данном эксперименте является условие $\sum_{i=1}^4 f_i > g$. На рисунке 4б продемонстрирован

результат моделирования зависания квадрокоптера в воздухе. По теоретическим расчетам

для реализации зависания необходимо, чтобы $\sum_{i=1}^4 f_i = g$. На практике достичь такого

равенства без реализации системы стабилизации крайне сложно, поэтому квадрокоптер незначительно изменяет свою высоту. На рисунке 4в показан результат движения квадрокоптера вдоль горизонтальной оси x начальной системы координат. Результаты теоретических вычислений и моделирования совпадают. На рисунке 4г приведен результат моделирования движения квадрокоптера вдоль горизонтальной оси y . Результаты теоретических вычислений и моделирования совпадают.

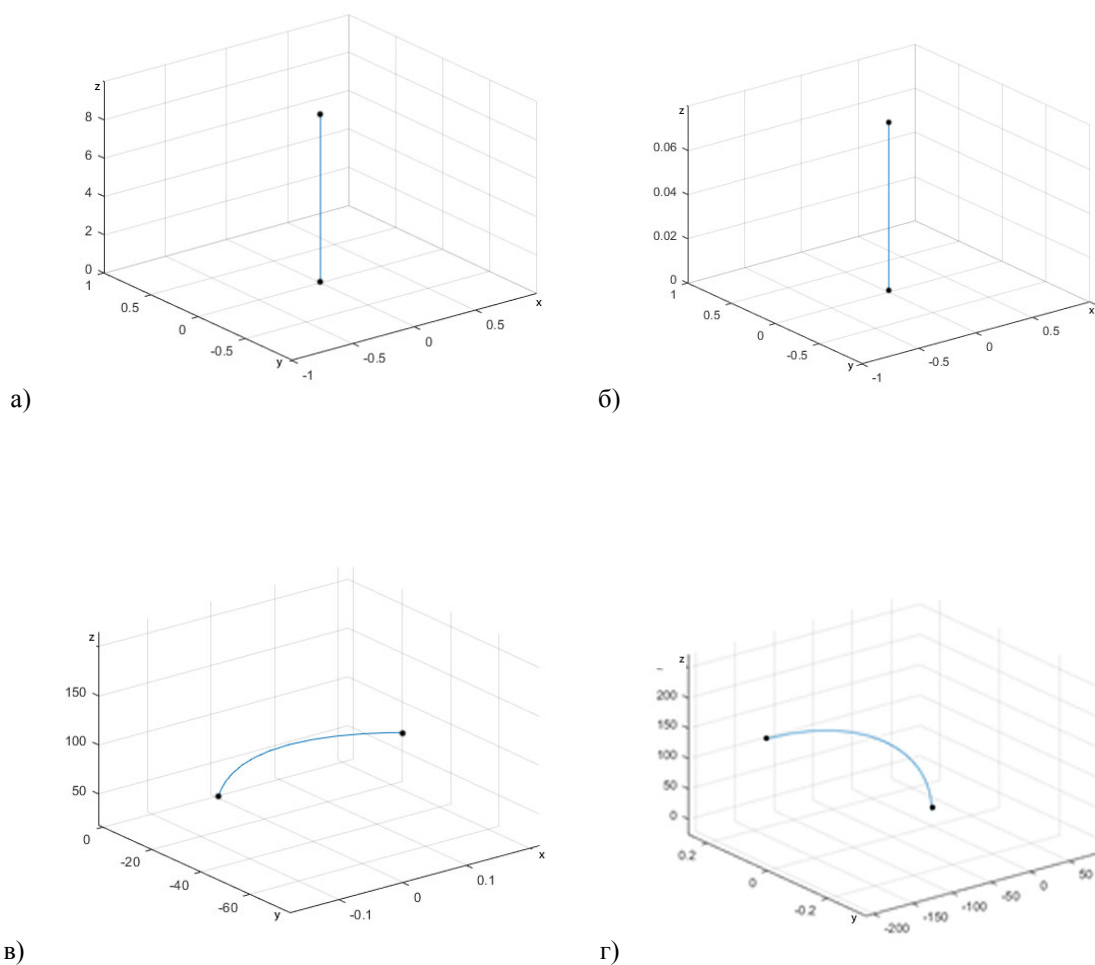


Рис.4. Результаты моделирования:
взлет БПЛА(а), зависание БПЛА(б), движение вдоль оси y (в), движение вдоль оси x (г)

Результаты моделирования можно назвать удовлетворительными, т.к. они практически полностью соответствуют теоретическим расчетам.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработанная система позволяет моделировать движение квадрокоптера при помощи задания скоростей двигателей для формирования заданного профиля движения. Полученный результат является промежуточным и не позволяет сформировать задающее воздействие в виде задания интересующего конечного положения квадрокоптера, но позволяет провести моделирование поведения квадрокоптера для разработки алгоритмов управления. Последующей задачей является создание удобного пользовательского интерфейса, учитывающего, в том числе, получение и отображение данных от реального квадрокоптера «Пионер» для сравнения результатов эксперимента с результатами моделирования.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы были изучены конструктивные особенности мини квадрокоптера. Выведена математическая модель и проведено моделирование поведения квадрокоптера без учета воздействия различных внешних возмущений – в лабораторных условиях. По результатам работы можно сделать выводы, что теоретические расчеты и компьютерное моделирование соответствуют друг другу. В дальнейшем планируется разработать систему стабилизации для рассматриваемого мини квадрокоптера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Нестеров А.А, Управление автономным объектом при плоском движении по заданной траектории с обходом препятствий // Труды IX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара: СНЦ РАН, 2007. С. 213-219.
- [2] Bristeau P.-J., Callou F., Vissiere D., Petit N. The Navigation and Control Technology Inside the AR.Drone Micro UAV // 18th IFAC World Congress. Milano, Italy, 2011. P.1477-1484.
- [3] Kim J., Kang M. – S., Park S. Accurate Modeling and Robust Hovering Control for a Quad – rotor VTOL Aircraft // Journ. Intell. Robotics Syst. 2010. Vol. 57, No. 1-4. P. 9-26.
- [4] E. Altug, J. P. Ostrowski, and C. J. Taylor Quadrotor control using dual camera visual feedback // Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 3, pp. 4294-4299, 2003.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ДЕМПФЕР СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ

Ю. В. Жигулина¹, В. И. Осипов¹, В. А. Цветков¹, Б. Н. Воротынцев¹

¹*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»*

им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург

Аннотация – В статье представлена разработка архитектуры системы ориентации и стабилизации для обеспечения требуемого положения наноспутника на орбите за счёт применения «жидкого маховика», в котором в качестве инертного тела выступает гидролиния со ртутью. Предлагаемая система представляет собой гидродинамический демпфер, который позволяет погасить первичные внешние воздействия на космический аппарат при выводе на целевую орбиту.

Ключевые слова – Демпфер, ориентация, система стабилизации, жидкий маховик, датчик угловой скорости.

I. ВВЕДЕНИЕ

Сверхмалые космические аппараты (СМКА) – одно из перспективных направлений техники и технологий в аэрокосмической отрасли [1, 2, 3]. Они являются инструментом для проведения различных исследований в космосе. Примером может служить многоцелевая унифицированная платформа «Синергия» блочно-модульного типа для сбора наноспутников формата CubeSat [3]. Для увеличения количества проводимых миссий, необходимо чтобы СМКА имели систему ориентации и стабилизации (СОС) [4].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основными режимами работы СОС являются: стабилизация (ориентации) углового положения аппарата; сброс кинетического момента; режим программных разворотов; стабилизация угловой скорости аппарата. Рассматривается СОС с наличием маховика для вызова момента инерции, позволяющего стабилизировать и управлять угловым положением КА. Конструктивная простота, в сочетании с достаточно высокой точностью, объясняют тот факт, что подобные СОС одни из первых нашли практическое применение [5]. В качестве «жидкого маховика» выступает гидролиния со ртутью в виде тора, так называемый гидродинамический демпфер. В работе решались следующие задачи: выбрана схема реализации СОС на основе анализа существующих; разработана математическая модель аппаратной и программной части СОС; определялись энергетические затраты СОС на различных режимах работы.

III. ТЕОРИЯ

В общем случае система ориентации и стабилизации СМКА должна работать одновременно по трём осям, а именно по каналу тангажа, рысканья и вращения.

Рассмотрим принцип работы на основе одной оси. Предположим, что момент внешних сил M_Z (Рис.1) стремится отклонить аппарат от первоначального положения. Угол отклонения ϑ измеряет инерциальная курсовертикаль (ИКВ), а усилитель-преобразователь

(УП) формирует команду на изменение скорости маховика ω_M , чтобы ликвидировать возникшее отклонение. Изменение угловой скорости маховика достигается изменением скорости жидкости в тороиде за счёт изменения $M_D(t)$ с помощью двигателей-насосов D_1/H_1 и D_2/H_2 (рис.1). Если $|M_D| = \text{const}$, то система угловой стабилизации может быть построена только по нелинейному принципу. Для компенсации M_Z жидкость должна постоянно разгоняться. По мере приближения аппарата к программному значению угла ϑ_d угловая скорость $\dot{\vartheta}$ и возникшие при этом колебания должны демпфироваться. Уравнение движения КА имеет вид $I_{ZM}\ddot{\vartheta} = M_Z - M_D$, а маховика $I_M(\dot{\omega}_M - \ddot{\vartheta}) = M_D$. Сложив их получим:

$$(I_{ZM} - I_M)\ddot{\vartheta} + I_M\dot{\omega}_M = M_Z \quad (1)$$

В режиме стабилизации при нулевых начальных условиях и $M_Z = \text{const}$, интегрирование (1) дает $\dot{\vartheta} = \frac{1}{I_Z}(M_Z t - I_M \omega_M)$, где $I_Z = I_{ZM} - I_M$ – момент инерции аппарата без маховика.

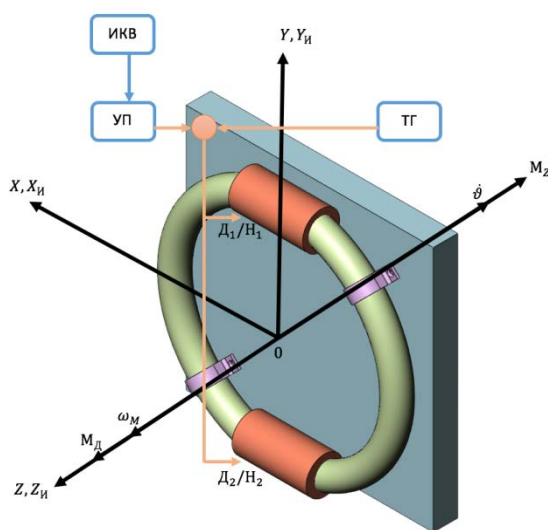


Рис. 1. Схема одного канала системы угловой стабилизации

Для этого режима необходимо $\dot{\vartheta} = 0$, тогда получим $\omega_M = \frac{M_Z}{I_Z} t$. Следовательно, для решения данной задачи необходимо постоянно увеличивать скорость маховика. Очевидно, что это может длиться до тех пор, пока $\omega_M \leq \omega_{MH}$, где ω_{MH} – угловая скорость маховика, соответствующая началу режима насыщения. При заданных M_Z и ω_{MH} из выражения $\omega_M = \frac{M_Z}{I_Z} t$ можно найти время насыщения $t_H = \frac{H_M}{M_Z}$.

Если внешний возмущающий момент изменяется по гармоническому закону $M_Z = M_{Z0} \sin at$, где M_{Z0} , a – амплитудное значение и круговая частота изменения внешнего момента, то решение уравнения (1) имеет вид $\dot{\vartheta} = \frac{1}{I_Z} \left(\frac{M_{Z0}}{a} \cos at + I_M \omega_M \right)$. Задав, как и ранее, $\dot{\vartheta} = 0$, получим $\omega_M = -\frac{M_{Z0}}{I_M a} \cos at$. Из этого выражения следует важный вывод: если $H_M/M_{Z0} < t_H$, то режим насыщения не опасен. Этим объясняется то обстоятельство, что маховики успешно работают при гармонических возмущениях.

Если $M_Z = 0$, то при тех же начальных условиях из (1) получим $\dot{\vartheta} = -\frac{I_M}{I_Z} \omega_M$. Так как $I_Z \gg I_M$, то всегда $|\dot{\vartheta}| \ll |\omega_M|$.

В режиме стабилизации кинетического момента КА, вращающегося с угловой скоростью $\dot{\vartheta}_0$, при отсутствии тормозящих факторов имеем $\dot{\vartheta}_0 = -\frac{I_M}{I_Z} \omega_{M0}$, где ω_{M0} – начальное значение угловой скорости маховика. Если в течение времени $t=t_1$ по оси собственного вращения аппарата действовал тормозящий момент $-M_{ZT}$, то интегрируя (1) при нулевых начальных условиях, получим $\dot{\vartheta}_0 - \Delta\dot{\vartheta} = -\frac{1}{I_Z} [M_{ZT}t_1 + I_M(\omega_{M0} - \Delta\omega_M)]$. Очевидно, что $\Delta\dot{\vartheta}$ будет равно нулю только в том случае, если $\Delta\omega_M = \frac{M_{ZT}}{I_M} t_1$, т. е. маховик должен уменьшить на эту величину скорость вращения и тем самым передать часть кинетической энергии аппарату.

Рассмотрим СОС с линейным законом управления. Допустим, что привод маховика позволяет осуществить закон управления:

$$\dot{\omega}_M = \frac{1}{I_M} k_{\vartheta} \vartheta \quad (2)$$

Подставив (2) в (1) и решая его при нулевых начальных условиях, получим:

$$\vartheta = \frac{W_Z}{\omega^2} (1 - \cos \omega t). \quad (3)$$

Из этого следует, что КА будет совершать незатухающие колебания относительно смещённого положения, представляющего собой статическую ошибку $\vartheta_{CT} = \frac{M_Z}{k_{\vartheta}}$. Период колебаний $T = 2\pi(I_Z/k_{\vartheta})^{1/2}$. Для определения характера изменения скорости маховика, подставив (3) в (2), получим $\dot{\omega}_M = \frac{M_Z}{I_Z} \left(t - \frac{1}{\omega} \sin \omega t \right)$.

Из (3) и полученного значения $\dot{\omega}_M$ очевидно, что при законе управления (2) и аппарат, и маховик совершают незатухающие колебания и это нежелательно. В этом режиме маховик и обслуживающая его аппаратура будут постоянно находиться в рабочем состоянии, что в конечном счёте может отрицательно повлиять на ресурс СОС. Введём в рассматриваемую систему демпфирование. Прежде всего в механической системе аппарат - маховик имеются диссипативные моменты, обусловленные наличием вязкого трения в гидрوليнии и различными электромагнитными процессами, протекающими в двигателе. В первом приближении считаем эти моменты пропорциональны угловой скорости $\dot{\vartheta}$.

Известно, что естественного демпфирования в системах такого рода недостаточно для того, чтобы получить быстросходящийся аperiodический переходный процесс. Поэтому введём в закон управления производную от стабилизируемого параметра, полагая, что она формируется при помощи датчика угловой скорости. Обозначив коэффициент суммарного демпфирования $k_{\dot{\vartheta}}$ уравнение движения системы запишем в виде:

$$I_Z \ddot{\vartheta} + k_{\dot{\vartheta}} \dot{\vartheta} + k_{\vartheta} \vartheta = M_Z.$$

Решение этого уравнения можно представить следующим образом:

$$\vartheta(t) = \frac{W_Z}{\omega^2} \left[1 + \frac{e^{-\mu\omega t}}{\sqrt{1-\mu^2}} \sin(\omega\sqrt{1-\mu^2}t + \tau) \right]$$

Первое слагаемое выражения определяет собой статическую ошибку. Подставив ее значение в закон управления и интегрируя, получим $\omega_M = \frac{W}{I_M \omega^2} k_{\vartheta} t$ или $\omega_M = \frac{M_Z}{I_M} t$.

Следовательно, внутреннее демпфирование системы КА—ДМ не в состоянии как-либо повлиять на режим насыщения.

Если на КА действует гармонический возмущающий момент $M_Z = M_{Z0} \cos at$ то, решая уравнение (3), получим $\vartheta(t) = \frac{W_{Z0}}{(\omega^2 - a^2)} (\cos at - \cos \omega t)$, а из формулы (2) $\omega_M(t) = \frac{k_\vartheta W_{Z0}}{I_M a \omega (\omega^2 - a^2)} (\omega \sin at - a \sin \omega t)$.

При $\omega \gg a$ амплитудное значение низкочастотной гармоники должно отвечать условию

$$\omega_{M0} \leq \omega_{MH} = \frac{k W_{Z0}}{I_M I_Z (\omega^2 - a^2) a}.$$

Определим энергетические затраты для рассмотренных режимов системы угловой стабилизации с двигателями-маховиками. Выражение для потребной мощности имеет вид:

$$P(t) = M_D(t) \omega_M(t).$$

Если $M_Z = \text{const}$, $M_D(t) = M_Z(1 - \cos \omega t)$ то, получим $P(t) = \frac{M_Z^2}{I_M} \left(t - \frac{1}{\omega} \sin \omega t \right) (1 - \cos \omega t)$.

Для того чтобы определить энергию, затрачиваемую маховиком на преодоление M_Z , необходимо проинтегрировать полученное выражение и вычислить значение интеграла на заданном отрезке времени: $E = \int_0^{t_0} P(T) dt$. Если $t_0 = \pi/\omega$, то $E = 12.18 \frac{M_Z^2}{I_M \omega^2}$. При гармоническом возмущающем моменте $P(t) = \frac{k_\vartheta^2 M_{Z0}^2}{I_M I_Z^2 a \omega (\omega^2 - a^2)} (\omega \sin at - a \sin \omega t)$.

Для достаточно жёсткой системы (k_ϑ велико) это выражение можно упростить: $P(t) \approx \frac{M_{Z0} \sin at}{I_M a} (\cos at - \cos \omega t)$. Энергия, затрачиваемая маховиком за время $t = \pi/a$, определяется формулой

$$E = \frac{M_{Z0}^2}{I_M a^2}.$$

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По результатам теоретических исследований, с учётом массо-габаритных характеристик конкретного СМКА, были выполнены расчёты геометрических параметров гидролинии «жидкого маховика», необходимого для работы системы ориентации и стабилизации. Определены необходимые параметры для проектирования двигателей-насосов, обеспечивающих вращение «жидкого маховика» с угловыми скоростями требуемыми для работы СОС.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что системы с двигателями-маховиками среди всех типов СОС отличаются очень сильными гироскопическими и инерционными перекрёстными связями. Поэтому совместное исследование трёх каналов не даёт возможности получить простых аналитических зависимостей, описывающих характер движения космического аппарата, снабжённого двигателями-маховиками. Однако такие задачи удобнее всего решать с применением вычислительной техники, имея конкретные параметры системы и объекта стабилизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Иваницкая В. В. Частные космические организации и коммерциализация космических проектов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2015. Т. 2. С. 300-302.
- [2] Каширин А. В., Глебанова И. И. Анализ современного состояния рынка наноспутников как подрывной инновации и возможностей его развития в России // Молодой учёный. 2016. № 7 (111). С. 855-867.
- [3] Малыгин Д. В. Универсальная платформа «Синергия» блочно-модульного исполнения // Решетневские чтения. 2011. С. 377-378.
- [4] Малыгин Д. В. Динамическая модель многоцелевой платформы «Синергия» // Сборник научных трудов Форума аспирантов и молодых учёных с международным участием «Космическое приборостроение». Томск, 2013. С. 41-44.
- [5] Инфраструктура малых космических аппаратов / Под ред. Проф. В. Ф. Фатеева. М., 2011.

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕМНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН

А. О. Кузьмин¹, В. В. Попов¹, С. М. Стажков¹, П. И. Валиков²

¹*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»*

им. Д. Ф. Устинова г. Санкт-Петербург, Россия

²*Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт «Сигнал»
(АО «ВНИИ «Сигнал»), Россия, Владимирская область, г. Ковров*

Аннотация – В настоящей статье рассматриваются способы улучшения характеристик аксиально-поршневых гидромашин с наклонным диском. Такие машины используются в мехатронных приводах, к которым предъявляются высокие требования по создаваемому усилию и точности. Преимущество аксиально-поршневых гидромашин с наклонным диском – в простоте и технологичности изготовления. Для данных машин стоит проблема увеличения диапазона регулирования до показателей аксиально-поршневых гидромашин с наклонным блоком. В статье проанализированы российские и зарубежные материалы по изучению гидромашин с наклонным диском и по возможной их модернизации.

Ключевые слова – Мехатроника, гидропривод, машиностроение, гидромашины, гидронасосы.

I. ВВЕДЕНИЕ

В высокоточных и энергоемких гидравлических приводах как правило применяются гидромашины объёмного действия: аксиально-поршневые гидромашины с наклонным блоком цилиндров (АПГНБ) и аксиально-поршневые гидромашины с наклонным диском (АПГНД). Преимущества АПГНБ – это более высокий объёмный КПД, сравнительно малая зона нечувствительности и, следовательно, более широкий диапазон устойчивой частоты вращения вала гидромашины. В свою очередь АПГНД обладают более высокими массогабаритными показателями и, соответственно, более высокими динамическими качествами, большей простотой конструкции, что особенно важно при их изготовлении в крупносерийном производстве.

Для АПГНД типа «Зауэр», лицензионный аналог которой на протяжении десятилетий выпускается российскими предприятиями, также присущи такие недостатки, как сравнительно большая зона нечувствительности и, как следствие, небольшой диапазон устойчивых частот вращения, что обусловлено высоким уровнем трения в поршневых механизмах и сравнительно большими объёмными потерями в процессе пуска и реверса гидропривода.

Учитывая указанные преимущества АПГНД, ряд исследователей ставит перед собой задачу снижения зоны нечувствительности данной гидромашины.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В диссертационной работе А.А. Черняковым (руководитель Я. А. Даршт) [1] описана конструкция поршня с уменьшенным «мёртвым» объёмом», снижение давления подпитки и разработана специальная тандемная насосная установка, что позволило получить схожую с АПГНБ зону нечувствительности.

Предложенные сотрудниками АО «ВНИИ «Сигнал» и ГОУ ВПО «КГТА им. В. А. Дегтярёва» [2] внедрение подпиточных клапанов и модификация опорных башмаков в

части разгрузочной камеры также позволили добиться характеристик, сходных с АПГНБ. Если у машин с наклонным блоком ошибка составила 16,14% от максимальной частоты вращения, то у машин с наклонным диском величина ошибки составила 16,56%.

Данные работы подразумевают как аппаратные, так и конструктивные модификации АПГНД, однако без внимания остаётся такой важный источник механических и объёмных потерь, как пара поршень – направляющая втулка. Yi Fang в своей статье [3] описал металлический контакт поршня с направляющей втулкой и условия смешанного трения при помощи коэффициента контакта и величины, характеризующей отношение гидродинамического давления к рабочему давлению в системе.

В работе N.D. Manring [4] описаны условия перехода от смешанного режима трения к жидкостному. Введён ряд допущений, что случай возможно рассматривать как одномерный (то есть давление изменяется по одной координате), что упрощает вычисления, но результат может быть более точным с учётом двух осей координат, по которым изменяется давление, и с использованием численных методов.

В статье U. Wieczorek и M. Ivantysynova [5] представлено программное обеспечение для моделирования течений в парах АПГНД и построение неизотермической модели расхода через зазоры в тех парах, где течение жидкости существенно влияет на объёмные потери гидромашин. Также были установлены силы трения в осевом и тангенциальном направлениях, действующие на поршень. Результаты, полученные при моделировании, оказались близки к полученным экспериментально.

Модель для непосредственно пары поршень – цилиндр была развита в материале M. Pelosi и M. Ivantysynova [6]. В модели, описывающей данную кинематическую пару, учтены не только силы давления рабочей жидкости и температурные эффекты, но и упругие деформации металлических поверхностей. Данная модель подходит для работы гидромашин на высоких скоростях, и направлена на высокоточное моделирование процессов. Доказывается, что упругие деформации металлических поверхностей играют важную роль в формировании гидродинамического давления в поршневой паре.

В статье M. Ivantysynova [7] описаны возможные варианты модернизации цилиндрической поверхности поршня АПГНД. Модернизация путём придания поверхности бочкообразного профиля и её развитие в виде придания поверхности волнистого профиля определённых геометрических параметров.

Что касается иных исследований, посвященных исследованию объёмных потерь АПГНД, то в своей работе [8] N. Manring, C. Wray и Z. Dong предложили модифицированный вариант шарнира поршень–опорный башмак, в котором предлагаются несколько вариантов внутренней поверхности башмака для увеличения несущей способности масляной плёнки и уменьшения утечек.

J. Haynes в своей работе [9] рассмотрел модель утечек в данной гидромашине и её экспериментальное подтверждение, акцентируя внимание на гидростатической разгрузке башмака и паре башмак – опорный диск и канавках на опорной поверхности башмака.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных источников показывает актуальность ведения научных исследований в области совершенствования АПГНД с целью улучшения их динамических характеристик и

расширения диапазона регулирования в составе высокоточных и энергоемких гидравлических приводов объемного действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Черняков А.А. Повышение чувствительности гидроприводов с регулируемыми аксиально-плунжерными насосами: дис. на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.02.02. Ковров 2014. 140 с.
- [2] Круглов В.Ю., Валиков П.И., Мусатов Р.Л. Моделирование силовой части объемного гидропривода с аксиально-поршневыми гидромашинами при малой амплитуде и частоте управляющего сигнала // Гидропневмоавтоматика и гидропривод. Ковров: ГОУ ВПО «КГТА им. В.А. Дегтярёва», 2010. 290 с.
- [3] Fang Y. and Shirakashi M. (1995) Mixed Lubrication Characteristics between the Piston and Cylinder in Hydraulic Piston Pump-Motor. *Journal of Tribology, Trans. ASME*, Vol. 117, pp. 80-85.
- [4] Manring N.D. The relative Motion between the Ball Guide and Slipper Retainer within an Axial-Piston Swash-Plate Type hydrostatic Pump, pp 531-537 // *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, September 1999. Vol. 121
- [5] Uwe Wiecezorek & Monika Iwantysynova (2002) Computer Aided Optimization of Bearing and Sealing Gaps in Hydrostatic Machines—The Simulation Tool Caspar, *International Journal of Fluid Power*, 3:1, 7-20, DOI: 10.1080/14399776.2002.10781124
- [6] Matteo Pelosi & Monika Iwantysynova (2012) A Geometric Multigrid Solver for the Piston–Cylinder Interface of Axial Piston Machines // *Tribology Transactions*, 55:2, 163-174. DOI: 10.1080/10402004.2011.639049
- [7] Iwantysynova, Monika, 2012, The piston cylinder assembly in piston machines – a long journey of discovery. *Ventil* [online]. 2012. Vol. 5, no. 18, p. 374–386.
- [8] Manring ND, Wray CL, Dong Z. Experimental Studies on the Performance of Slipper Bearings Within Axial-Piston Pumps // *ASME. J. Tribol.* 2004; 126(3). Pp. 511-518. DOI:10.1115/1.1698936.
- [9] Haynes, Jonathan Mark 2007. Axial piston pump leakage modelling and measurement. PhD Thesis, Cardiff University.

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

С. П. Машин¹, Д. А. Токарев¹, А. А. Кабанов¹

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»

Аннотация – Разработка робота-манипулятора для проведения хирургических операций позволяет улучшить качество проводимых работ. Использование робота для манипулирования существующими на сегодняшний день инструментами упрощает процедуру внедрения в больницах и снижает время обучения работе на новой технике. Среди существующих роботов есть как универсальные, так и узко специализированные. Универсализация приводит к усложнению и удорожанию конструкции. Поэтому разработка робота для проведения наиболее распространенных видов операций является актуальной задачей.

Ключевые слова – Робот, манипулятор, хирургические операции.

I. ВВЕДЕНИЕ

Проведение операций в некоторых случаях требует от хирургов и вспомогательного персонала значительной физической подготовки. Одним из примеров подобных операций являются трансуретральные операции с использованием резектоскопа. Во время операции хирург вынужден находиться в неудобном положении продолжительное время. Это приводит к усталости и снижению работоспособности. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование специальных роботизированных манипуляторов. Поскольку возможности предлагаемых роботов-манипуляторов не ограничиваются облегчением труда высококвалифицированных медицинских работников, но и позволяют расширить возможности и увеличить качество проводимых операций, предлагается рассматривать внедрение данных машин комплексно.

На сегодняшний день разработкой роботов-хирургов занимается достаточно большое количество исследователей и компаний. Передовые достижения в данной области являются предметом обсуждения и регулярно демонстрируются на различных научно-технических выставках [1, 2]. Приведем перечень рассмотренных в рамках данной статьи роботов:

- робот-хирург Da Vinci от компании Intuitive Surgical, состоящий из четырех манипуляторов и массивного пульта управления;
- робот MiroSurge от Германского центра авиации и космонавтики – выполнен в виде четырех манипуляторов, устанавливаемых на хирургический стол, управляется специальными джойстиками;
- хирургический робот манипулятор UPM – разработан высшей школой промышленной инженерии университета UPM и компанией Gliatech SL;
- робот-хирург IGAR от компании CSII – является программируемым автоматическим роботом, может работать без участия человека по заранее заданной программе;
- роботизированная система катетер Sensei X производства Hansen Medical Inc – является узкоспециализированной машиной, предназначенной для проведения электрофизиологических операций на сердце;

– роботизированная хирургическая система Mazor Renaissance – производится компанией Mazor Robotics и является узкоспециализированным инструментом для проведения операций на позвоночнике и головном мозге.

Рассмотренный перечень медицинских роботов является не полным и не включает роботов-ассистентов, которые существенно облегчают труд хирургов, но непосредственно с пациентами не взаимодействуют

Анализ конструкций существующих роботов-хирургов показывает, что в большинстве случаев робот оперирует специальными инструментами, которые являются его неотъемлемой частью и могут быть использованы только конкретной моделью робота. Каждый подобный инструмент проходит специальные клинические испытания. Поскольку данные инструменты и способ их применения не является общепринятым в медицине, то требуется специальная дополнительная подготовка хирургов. Специалист, прошедший обучение для работы на конкретной модели робота не сможет управлять роботом другой модели без дополнительного обучения. Это связано, в том числе с тем, что рабочее место хирурга-оператора по сложности не уступает самому роботу.

К самим роботам предъявляются достаточно жесткие требования по отказоустойчивости. Это связано с тем, что в случае поломки робота во время операции продолжить его работу классическими методами невозможно - данный вариант не предусмотрен конструктивно.

Таким образом, мы можем сделать вывод о том, что роботы-хирурги, которые способны использовать существующие на данный момент хирургические инструменты, на практике не применяются, хотя вполне естественной является идея создания робота, способного работать с имеющимися хирургическими инструментами.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В современной практике можно выделить целый ряд операций, которые выполняются ежедневно с использованием специфических хирургических инструментов и на первый взгляд не требуют автоматизации. На рис. 1 изображен один из наиболее распространенных инструментов при проведении урологических операций - резектоскоп. Этот инструмент составной и имеет универсальную внешнюю часть и достаточно большого числа возможных вариантов инструментов, которые вставляются во внешнюю часть. Конкретный вид инструмента определяется спецификой проводимой операции. Большинство проводимых операций связано с лечением аденомы простаты и мочекаменной болезнью. Подобные операции выполняются практически ежедневно, и результативность зависит от опыта хирурга, выполняющего оперативное вмешательство. При этом одним из недостатков применяемых инструментов в таких операциях следует отметить необходимость работы «на весу», так как отпустить инструмент во время операции не представляется возможным – это может привести к нежелательным последствиям.

На основании вышеприведенного, перейдем к непосредственной постановке задачи. Отметим требования к разрабатываемому роботу-хирургу:

- возможность работать существующими хирургическими инструментами для упрощения процедуры внедрения в действующие больницы;
- универсальность робота в плане возможной замены инструмента во время операции;
- возможность отключения робота и продолжения операции в обычном не роботизированном режиме;

- конструкция робота должна обеспечивать безопасность пациента в случае отказа приводов, либо отключения питания;
- рабочее место хирурга должно быть максимально простым в плане обучения.

Заметим, что перечень требований может быть расширен и не является заключительным. Приведены основные моменты, на которые необходимо обратить внимание при разработке робота.



Рис. 1. Резектоскоп – наиболее распространенный хирургический инструмент в урологии

III. ТЕОРИЯ

4. *Механика использования резектоскопа*

Рабочая часть инструмента в теле пациента движется в трехмерных координатах с возможным вращением относительно собственной оси. При этом «грубое» позиционирование осуществляется перемещением всего инструмента, а «точное» позиционирование осуществляется возвратно-поступательным смещением рабочей части инструмента. Таким образом, рабочая часть инструмента имеет три координаты положения и одну координату угла поворота.

Изменение координаты рабочей части инструмента осуществляется путем вращения резектоскопа относительно мембранозной ткани таза пациента. В данном случае мембранозная ткань может рассматриваться в качестве естественного шарнирного соединения, через которое проходит резектоскоп. Со стороны хирурга инструмент осуществляет вращательные движения относительно собственной оси и естественного шарнира, а так же возвратно поступательные движения. Количество учитываемых координат: три угловых и одна положения.

С учетом того, что преобразование координат со стороны хирурга в координаты рабочей части инструмента осуществляется через естественный шарнир, роботу необходимо учитывать пространственные координаты шарнира с заданной точностью.

5. *Конструкция робота*

При решении данной задачи можно пойти двумя путями реализации конструкции робота. В первом случае предлагается использовать антропоморфный подход. При этом конструкция робота будет копировать руку хирурга. Антропоморфные машины достаточно

сложные в плане проектирования и реализации. Управление такими машинами требует специальных пультов управления. В некоторых случаях управление роботизированной рукой нецелесообразно в виду того, что можно управлять напрямую хирургическим инструментом без посредников.

Второй подход связан с разработкой некоторой конструкции решающей поставленную задачу с перемещением инструмента. Данный подход имеет недостаток в виде узкой специализации полученного робота. Но с учетом того, что большинство операций имеют узкую специализацию, данный недостаток не является существенным.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С учетом особенностей проводимых операций и требований, предъявляемых к роботу-хирургу, предлагается реализовать конструкцию в виде двух шарнирного манипулятора. Примерный вид механической части изображен на рис. 2.



Рис. 2. Предлагаемая конструкция робота

Рабочий инструмент крепится к свободной части манипулятора. Строение крепления не показано на рисунке. Движения механизмов обеспечивают три сервопривода. Один сервопривод для смещения рабочего инструмента вдоль продольной оси и два сервопривода для вращения инструмента. Конструкция является уравновешенной относительно пересечения двух осей вращения сервоприводов. При отключении питания собственное движение механизмов отсутствует, что является гарантией безопасности для пациента и позволяет не расходовать энергию на поддержание текущего положения инструмента.

Разработанное крепление хирургического инструмента к роботу-манипулятору позволяет при необходимости остановить работу и перейти на проведение операции вручную.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предложенная конструкция робота имеет как ряд преимуществ, так и недостатков. В качестве преимуществ перед существующими роботами следует отметить следующее:

- относительная простота конструкции и соответственно низкая цена;
- управление роботом не требует специального пульта либо джойстика, но при необходимости они могут быть применены;
- эргонезависимое поддержание текущих координат рабочей части инструмента;
- возможность отключения робота и продолжение выполнения операции вручную;
- возможность включения робота во время операции и завершение работ в автоматизированном режиме.

Среди недостатков предложенной конструкции отметим:

- жесткая привязка конструкции в точке вращения инструмента в виде мембранозной ткани таза пациента. Перемещение пациента во время операции недопустимо, либо необходим дополнительный механизм компенсации перемещения;
- ручная работа с инструментом не исключается полностью. Установка рабочего инструмента в начале операции, замена инструмента во время операции, и извлечение инструмента предполагается производить вручную;
- точность позиционирования рабочей части инструмента обратно пропорциональная удалению от мембранозной ткани таза пациента;
- узкая специализация робота;
- управление роботом требует наличия специального программного обеспечения.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная в рамках данной статьи конструкция робота-манипулятора для работы с существующими хирургическими инструментами является оригинальной и не имеет аналогов. Предложенный вариант робота востребован в существующей системе оказания высокотехнологичной медицинской помощи. В основе конструкции лежит безопасность пациента при проведении операций. Установленные недостатки конструкции компенсируются отмеченными положительными качествами.

При управлении роботом логично использовать результаты сканирования пациента в виде трехмерных моделей, что позволит повысить качество проводимых операций.

Проведение дальнейших исследований следует выполнять с учетом результатов испытания данной конструкции на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ваше здоровье. Медицинская робототехника в наши дни. URL: https://robotics.ua/shows/modernity/3345-your_health_health_robotics_today. Дата обращения 13.02.2018.
- [2] Медицинская робототехника в наши дни. URL: <https://robot-ex.ru/ru/article/meditsinskaya-robototekhnika-v-nashi-dni> . Дата обращения 13.02.2018.

НАСОС ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДЕМПФЕРА

А. В. Михалев¹, В. И. Осипов¹, В. А. Королёв¹, А. В. Киев¹

¹*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д. Ф. Устинова г. Санкт-Петербург*

Аннотация – В работе проанализированы возможности использования насосов различного типа в гидродинамическом демпфере системы ориентации и стабилизации для обеспечения требуемого положения наноспутника на орбите за счёт применения «жидкого маховика», в котором в качестве инертного тела выступает гидролиния с ртутью. Выбран тип электродвигателя, обеспечивающий работу насоса на различных режимах.

Ключевые слова – Давление, вязкость, тороид, шнековый насос, контроллер.

I. ВВЕДЕНИЕ

Перед космической отраслью, на сегодняшний день, ставится широкий спектр задач и требований, диктуемых научными исследованиями, военными и гражданскими нуждами.

В течение последних десятилетий ведущие мировые университеты проводят научные исследования и эксперименты в космическом пространстве, создавая для этих целей собственные сверхмалые космические аппараты (СМКА) [1, 2]. Спектр решаемых ими задач достаточно широк.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для проведения различных исследований в космическом пространстве необходимо чтобы СМКА имели систему ориентации и стабилизации (СОС). На данный момент существуют различные варианты СОС [3]. В данном случае рассмотрена система с наличием инертного тела для вызова момента инерции, который позволяет стабилизировать и управлять угловым положением КА на орбите за счёт применения «жидкого маховика», представляющего собой гидролинию с ртутью в виде тора. Для движения ртути в гидролинии необходим гидравлический насос, преобразующий механическую энергию приводного двигателя в кинетическую энергию потока жидкости.

Основными параметрами насоса являются количество жидкости, перемещаемое в единицу времени, развиваемое давление или соответствующий ему напор, потребляемая мощность и КПД. Кроме того необходимо, чтобы насос компактно монтировался в гидролинию «жидкого маховика».

III. ТЕОРИЯ

Для определения типа и структуры насоса, на основе которого будет представлена спецификация СОС, опишем основные параметры и особенности применяемой вязкой среды: Плотность ртути равна 13540 кг/м^3 при комнатной температуре (в 13,5 раз больше плотности воды). Удельная теплоёмкость ртути равна $139 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{град)}$ при 300К и слабо зависит от температуры – при нагревании ртути ее теплоёмкость уменьшается.

Теплопроводность ртути при низких отрицательных температурах имеет высокое значение, при температуре 250 К теплопроводность ртути минимальна с последующим ее увеличением по мере нагрева. Зависимость вязкости и удельного электрического сопротивления ртути такова, что при росте температуры значения этих свойств ртути уменьшаются.

Коэффициент термического расширения ртути почти не зависит от температуры, и она же обладает сравнительно малой теплоёмкостью.

На основе представленных выше параметров вязкой среды (ртути) и опишем спецификацию на проектируемый микронасос. Для начала опишем особенности среды функционирования проектируемого изделия (таблица I).

ТАБЛИЦА I
ФАКТОРЫ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

№ п/п	Наименование фактора	Значение параметра	Примечание
1	глубокий вакуум	10^{-5} Па	
2	ускорения, перегрузки, микроудары	ускорение при запуске, 15 g вибрации при запуске, 2 (sin) g	
3	тепловое воздействие и, как следствие, тепловые удары	от -55 до +75 °C	
4	радиационное воздействие: быстрые протоны, тяжёлые частицы, и, как следствие, накопленная доза	37.4 Крад	

Затем построим модель расположения гидролинии относительно стенки КА (рис. 1). Гидролиния представляет собой тороид, вписанный в квадрат. Параметры гидролинии приведены в таблице II.

ТАБЛИЦА II
ПАРАМЕТРЫ ГИДРОЛИНИИ

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Значение параметра	Примечание
1	Большой радиус тора	R	50 мм	
2	Малый радиус тора	R	5 мм	
3	Толщина стенки	A	0,5 (1) мм	
4	Объем	V	22206,61 мм ³	

Важно отметить, что используется два насоса равноудалённо разнесённых относительно центра масс для того чтобы компенсировать возмущения, создаваемые вращением самого насоса (рис.1).

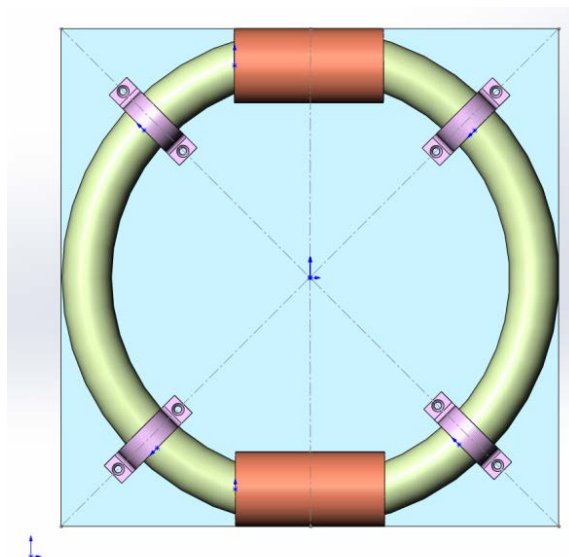


Рис. 1. Вариант расположения насоса – параллельно гидрелинии

Такому варианту конструкции хорошо соответствует винтовой или шнековый насос — гидроагрегат, в котором создание напора нагнетаемой жидкости осуществляется за счёт вытеснения жидкости одним или несколькими винтовыми роторами, вращающимися внутри статора соответствующей формы.

Шнек представляет собой стержень, снабжённый сплошной винтовой гранью вдоль его продольной оси. Именно он обеспечивает транспортировку жидких, высоковязких сред по винтовому конвейеру. Были выполнены расчёты геометрических параметров шнека на основе методик используемых для расчёта шнековых механизмов.

Для того чтобы избежать конструктивных излишеств решено совместить центральный винт со стенкой. Таким образом получим вариант шнекового насоса с одним внутренним винтом относительно оси (рис. 2). Электродвигатель (статор) будет тогда находится на внешней стороне шнека, что позволит передавать ему необходимый крутящий момент. Полученная конструкция представляет электропривод с полым валом или полым якорем.

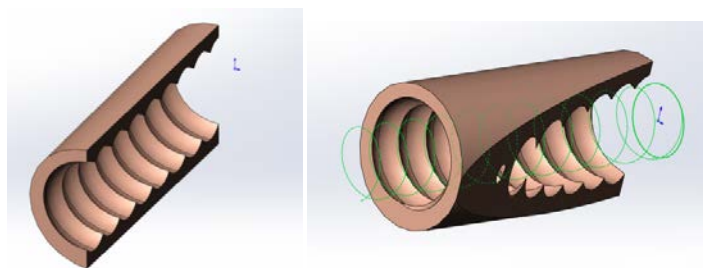


Рис. 2. Прототип проектируемого винтового (шнекового) насоса

Из первичных проведённых расчётов видно, что требуются высокие обороты (500-1000 об/мин), а также работоспособность в агрессивной среде за счёт бесконтактной коммутации при помощи полупроводниковых приборов.

Выбор сделан в пользу вентильного электродвигателя постоянного тока. Он представляет собой синхронное устройство, принцип работы которого основывается на самосинхронизированном частотном регулировании, благодаря чему происходит

управление вектором (отталкиваясь от положения ротора) магнитного поля статора. В англоязычной технической литературе вентильный электродвигатель называют PMSM или BLDC.

Для выбранного электродвигателя спроектирована плата управления, состоящая из силовой части и управляющего блока. Основное назначение такого силового модуля – управление синхронными бесколлекторными двигателями с трапецеидальной или синусоидальной формой напряжения, с сенсорами скорости-положения или без сенсоров.

Также модуль должен иметь небольшие габариты, достаточно широкий диапазон питающих напряжений, разнообразные каналы отладки, проводную и беспроводную системы связи. Мощность управляемых модулем двигателей допускается быть в пределах нескольких сотен ватт и напряжение до 30В.

Все эти свойства модуля получаются благодаря классической 3-х фазной полумостовой схеме с датчиками тока и напряжения и производительному микроконтроллеру. В качестве драйвера силовых ключей используется микросхема DRV8305. Некоторые поиски привели к выводу, что это одна из лучших микросхем драйверов для таких приложений.

Плата имеет специфическую круглую форму, в качестве управляющего элемента применён контроллер C2000 LaunchPad. К сожалению программное обеспечение предоставляется не полностью открытым в части библиотек управления моторами. C2000 LaunchPad выполнен на базе DSP процессора семейства F2802x Piccolo. Это семейство процессоров специализировано для разработки несложных преобразователей энергии, и не отличается большой универсальностью и объёмом ресурсов.

В проекте решено выполнить модуль в виде составной конструкции из двух плат. Основная плата содержит силовой драйвер, подсистему питания и некоторые периферийные функции. На основную плату устанавливается плата процессора. В качестве процессорной выбрана плата проекта K66BLEZ1 с микроконтроллером семейства Kinetis фирмы NXP на базе ядра ARM Cortex-M4. (180 МГц, 2 МБ Flash память, 256 КБ ОЗУ + micro SD карта, часы реального времени с автономным питанием, USB device/host high speed, отдельный чип Bluetooth LE 4/ZigBee). Модуль питается в диапазоне напряжений от 8.5 до 30 В. Несколько датчиков температуры, в микроконтроллере, вблизи силовых ключей и один внешний, предохраняют модуль и мотор от опасных перегревов. Вся элементная база подобрана для работы при температуре до -40 град.С.

Силовые ключи управления мотором рассчитаны на ток в импульсе до 20 А. Измерение тока производится резистивными шунтами с сопротивлением 0.001 Ом. Благодаря встроенным в микросхему драйвера DRV8305 регулируемым усилителям, модуль способен измерять токи от 30 А и до 0.1 А.

Шина CAN даёт возможность объединять множество подобных модулей в общую синхронизированную сеть.

Микросхема MPU-9250 полезна в случае если требуется управление ориентацией модуля в пространстве и инерциальная навигация, а также для мониторинга вибраций и ударов.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предложенная конструкция шнекового насоса является более эффективной и технологичной за счёт использования более простой конструкции насоса для осуществления рабочего процесса. Применение шнекового рабочего органа позволяет

упростить гидродинамическую схему насоса и исключить замкнутые полости из конструкции проточной части. Тем самым обеспечивается рост эффективности и надёжности насоса при перекачке высоковязких сред. Таким образом, представленная модель обеспечивает повышение технологичности при изготовлении и при эксплуатации системы.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для получения характеристик шнекового насоса при работе в различных режимах и при перекачке сред с различными физико-химическими свойствами (высоковязкие среды), а также для определения области эффективного использования подобных конструкций, необходимо разработать программу-методику проведения экспериментальных исследований, разработать гидродинамическую схему стенда для испытаний, провести экспериментальные исследования предложенной конструкции шнекового насоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Эффективность применения малых космических аппаратов в социально-экономических и научных целях. Отчёт по итогам круглого стола в аналитическом центре Российской Федерации. Информационный бюллетень. Ноябрь 2015. <https://leader-id.ru/upload/file/get/2973/>
- [2] Исследования солнечно-земных связей на микро-, нано- и пикоспутниках // Материалы научной сессии секции солнечно-земных связей Совета по космосу РАН. Серия «Механика, управление и информатика» ИКИ РАН. Москва, 2015. <http://iki.cosmos.ru/books/2015petrukovich.pdf> Пап
- [3] Инфраструктура малых космических аппаратов / под ред. проф. В. Ф. Фатеева. М., 2011.

ВЫБОР СПОСОБА ГОРИЗОНТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПЛАТФОРМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТРЕБОВАНИЙ ТОЧНОСТИ И НАГРУЗКИ

А. А. Тарасов¹, А. Г. Нефёдов¹, В. А. Цветков¹, В. В. Попов¹

¹ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «Военмех»
им. Д. Ф. Устинова», Санкт-Петербург

Аннотация – В статье проанализированы сравнительные характеристики гидравлического и шарико-винтового приводов в системах горизонтирования транспортных платформ, рассмотрены предпочтительные условия выбора приводов в зависимости от требований точности и нагрузки. Целью работы является обоснование выбора привода системы горизонтирования в зависимости от требований точности позиционирования и величины нагрузки. Представлен алгоритм предпочтительного выбора системы горизонтирования при различных сочетаниях требуемых параметров.

Ключевые слова – Горизонтирование, гидропривод, гидроцилиндр, актуатор, шарико-винтовой привод.

I. ВВЕДЕНИЕ

При транспортировке ряда специфических грузов, а также при эксплуатации высокоточного оборудования возникает проблема горизонтирования транспортных платформ. Горизонтирование представляет собой процесс совмещения платформы с горизонтальной плоскостью с последующим её удержанием в данном положении в течение всего времени работы установленного на платформе оборудования.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Большое число патентов в этой области [1] относится к так называемым системам ручного горизонтирования, в рамках которых оператор посредством гидрораспределителей вручную управляет выдвижением гидравлических опор, ориентируясь на показания кренометра. В последнее время получили распространение системы автоматического горизонтирования, для которых разработано множество алгоритмов управления [2], синтезируются различные технические решения и программные методы. Вместе с тем существуют и другие способы горизонтирования транспортных платформ, применимые при определённых условиях. Предметом данной работы является исследование сфер применения электроприводов и гидроприводов в аутригерах транспортных платформ.

III. ТЕОРИЯ

Основные свойства гидропривода в применении к использованию в опорах оснований характеризуются следующими параметрами:

1. Точность позиционирования. Обобщённую характеристику точности для приводов, включающих гидроцилиндры, представить сложно. Повышение точности позиционирования достигается за счёт применения пропорциональных гидрораспределителей. Хотя в отдельных [3, с. 1] источниках указывается достигнутая

точность исполнительных устройств станков 1 мкм, подобные устройства являются единичными и отнюдь не дешёвыми. В целом точность позиционирования исполнительного органа в приводах с использованием пропорционального распределителя достигает 50 – 100 мкм.

2. Общий КПД объёмного гидропривода с дроссельным регулированием при учете потерь в нерегулируемом насосе, гидроцилиндрах, гидролиниях и аппаратуре, а также потерь, связанных с процессом управления не превышает 50%.

3. Грузоподъёмность и быстродействие.

Одной из наиболее масштабных сфер применения систем горизонтирования являются автокраны. Рассмотрим взаимосвязь грузоподъёмности выдвижных опор и скорости их выдвижения на примере автокранов «КС-55735-6» завода «Автокран» [4] и «КС-55729В» завода «Галицкий автокрановый завод» [5].

Скорость выдвижения опоры автокрана зависит от мощности его гидронасоса и усилия нагрузки, создаваемого платформой крана:

$$v = \frac{N \cdot \eta}{F} \quad (1)$$

где N – мощность гидронасоса автокрана, η – КПД гидропривода (за исключением потерь насоса), принимаем равным 0,6; F – усилие нагружения одной опоры автокрана.

$$F = \frac{K \cdot F_0}{4} \quad (2)$$

где K – коэффициент запаса прочности, F₀ – усилие, создаваемое массой нагруженного крана.

Результаты расчётов по формулам (1) и (2) представлены в таблице I.

ТАБЛИЦА I
МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНЫЕ СКОРОСТИ ВЫДВИЖЕНИЯ ОПОР АВТОКРАНОВ

	Грузоподъёмность, тонн	Масса с грузом, кг	Усилие на одну опору, кН	Мощность насоса, кВт	Скорость выдвижения опор, см/с
КС-55735-6	35	62 500	235	46	11,7
КС-55729В	32	60 300	227	46	12,2

4. Управляемость.

Ручное управление гидравлической системой горизонтирования подробно описано в [1]. Недостатками данного способа является малое быстродействие, невысокая точность и потенциальная возможность перераспределения нагрузки с последующим отклонением платформы от заданного положения [2]. Описанная выше скорость выдвижения опор для систем ручного горизонтирования выдерживается не более 50% времени горизонтирования, в процессе вывешивания – выдвижения опор до момента касания поверхности. Остальное время занимает ручное горизонтирование по данным кренометра. Данный процесс происходит значительно медленнее.

Что касается автоматических систем горизонтирования, в настоящий момент наиболее распространено управление золотниковыми распределителями приводов при помощи промышленного контролера [2]. При увеличении массы горизонтируемой платформы значительно увеличивается время переходного процесса, что ухудшает характеристики

управляемости и увеличивает время отработки системой управляющего сигнала. Другим недостатком автоматического управления системой горизонтирования является её относительная дороговизна и сложность – система датчиков, 4 дорогостоящих распределителя, обслуживание (замена жидкости и фильтров, контроль состояния устройств). Кроме того, гидроцилиндры должны быть оснащены датчиками выдвижения, дополняющими сигналы обратной связи со стороны инклинометров. В настоящий момент наиболее перспективными являются магнитострикционные датчики, однако в целом широкого распространения такие системы пока не получили.

Наконец, вязкость самой рабочей жидкости в значительной степени зависит от температуры, что ограничивает применение гидропривода системы горизонтирования транспортных платформ в условиях нестабильных температур, например, в случае бурения в условиях морского климата с резкими сменами погодных условий.

Использование гидравлических цилиндров в качестве выдвижных опор транспортных платформ не является безальтернативным. Существует множество механизмов, обеспечивающих преобразование вращательного движения в поступательное. Наиболее эффективными из них являются шарико-винтовые механизмы и основанные на них устройства – актуаторы.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На Рис. 1 представлен график зависимости КПД винтовых пар от угла подъёма винтовой линии. Как видно из графика, КПД ШВМ в рабочей зоне составляет 90–97%, в то время как у обычной винтовой пары скольжения этот показатель в лучшем случае достигает 60%. Однако с учётом потерь в электродвигателе и передаточном механизме КПД актуатора достигает лишь 80%.



Рис. 1. Зависимость КПД винтовых механизмов от угла подъёма винтовой линии

Грузоподъёмность актуаторной системы горизонтирования определяется динамической грузоподъёмностью шарико-винтового механизма, то есть, максимально допустимой осевой нагрузкой в процессе работы привода, которая не деформирует шарики. Данная величина представлена в каталогах, она возрастает с увеличением диаметра винта. Взаимосвязь параметров ходового винта и динамической грузоподъёмности для различных видов актуаторов представлена в каталоге компании ТНК, одного из ведущих производителей шарико-винтовых механизмов [6, с. 70-98].

При сохранении выбранных показателей точности позиционирования выберем винты с шагом, не превышающим 5 мм. На основании анализа данных каталога [6] можно заключить, что при данном диаметре и выбранной точности позиционирования винтов наибольшая динамическая нагрузка на один актуатор – 2,66 тонны. Примером подобного привода может являться ТНК ЕВА-40 05. Его характеристики представлены в таблице II.

ТАБЛИЦА II
ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТУАТОРА ТНК ЕВА-40 05 [6, С. 88]

Наружный диаметр резьбы винта, мм	Шаг резьбы, мм	Диаметр шарика, мм	Межцентровое расстояние для шариков, мм	Динамическая грузоподъёмность, кН
40	5	3,175	40,75	26,6

Наконец, необходимо рассмотреть скорость работы актуаторного привода выдвижения опор транспортной платформы и возможности экономии мощности двигателя. Скорость выдвижения опоры с актуаторным приводом связана с частотой вращения вала винта следующим образом:

$$v = \frac{P\omega}{2\pi} \quad (3)$$

где Р – величина шага винтовой резьбы, м; ω – частота вращения винта, рад/с. При использовании рассматриваемого шага резьбы 5 мм, по формуле (3) при частоте вращения ЭД 1500 об/мин и передаточном числе редуктора $i = 5$ скорости выдвижения опор равна 2,5 см/с; при частоте вращения 3000 об/мин – 5 см/с.

В то же время мощность электродвигателя определяется по формуле:

$$N = M * \omega \quad (4)$$

Таким образом, при отсутствии требований к высокой скорости выдвижения опор появляется возможность значительно снизить мощность электродвигателя путём выбора высокомоментных двигателей с меньшей частотой вращения, а также применения маломощных двигателей совместно с зубчатыми передачами с высоким передаточным отношением.

Точность позиционирования актуаторов значительно превосходит точность позиционирования гидроцилиндров. В таблице III представлены погрешности позиционирования актуаторов в зависимости от рабочего хода [6, с. 13].

ТАБЛИЦА III
ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АКТУАТОРОВ

Заданное положение, мм	0	100	150	200	300	350	400	500
Погрешность длины хода, мкм	0	1	4	5	11	15	17	16

Таким образом, на полуметровом ходу погрешность позиционирования актуатора не превышает 20 мкм. При использовании в качестве приводных двигателей шаговых и сервомоторов точность позиционирования привода может быть повышена за счёт повышения точности самого двигателя.

Важнейшим преимуществом актуаторов является простота и дешевизна управления – для него достаточно обыкновенного контролера на базе процессора Atmel или Cortex и усилительных устройств. Кроме того, при использовании шарико-винтовых механизмов, не являющихся самотормозящимися, сравнительно легко организовать электромагнитное торможение привода.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам исследования сфер применения различных способов горизонтирования транспортных платформ можно составить следующий алгоритм выбора способа горизонтирования.

ТАБЛИЦА IV
АЛГОРИТМ ВЫБОРА СПОСОБА ГОРИЗОНТИРОВАНИЯ

№ п/п	Требуемое свойство	Критическая величина	Выбор способа горизонтирования
1	Точность	50 мкм	В случае, если требуемая точность позиционирования выше критической (меньше 50 мкм), необходимо использовать электромеханический актуаторный привод (при условии удовлетворения требований п. 2), в противном случае необходимо исследовать дальнейшие пункты.
2	Нагрузка	10 тонн	В случае, если масса горизонтируемой транспортной платформы выше критической, необходимо использовать гидропривод, в противном случае необходимо исследовать прочие пункты.
3	Скорость выдвижения опор	5 см/с	В случае, если требуемая скорость приведения транспортной платформы в горизонтальное положение больше критической, необходимо выбрать гидропривод, либо актуаторный электромеханический привод сходной мощности, однако в этом случае необходимо убедиться, что он удовлетворяет требованиям п. 1.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования рассмотрены основные свойства гидравлических систем горизонтирования, выделены недостатки, сужающие сферу их применения. В качестве

альтернативы предложено использование систем горизонтирования с опорам на основе шарико-винтовых механизмов – актуаторов. По результатам исследования представлен алгоритм выбора способа горизонтирования при тех или сочетаниях требуемых параметров системы – точности, грузоподъёмности и быстродействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Патент №2196893 // URL: <http://www.findpatent.ru/patent/219/2196893.html>
- [2] В. С. Щербаков, М. С. Корытов, М. Г. Котькин. Алгоритм работы системы автоматического горизонтирования опорной платформы строительной машины / В. С. Щербаков, М. С. Корытов, М. Г. Котькин // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. № 3. С. 13-17.
- [3] Каталог компании Beckhoff // URL: http://www.beckhoff.ru/ru/pdf/applicat/Hydraulic%20controller%20ensures%20precise%20positioning_ru.pdf
- [4] Каталог компании «Автокран» // URL: http://www.avtokran.ru/produkcija/kran_35_tonn/73/
- [5] Каталог компании «Галицкий автокрановый завод» // URL: <http://www.gakz.ru/rus/catalog/32tonn/model59/params/>
- [6] Каталог компании ТНК // URL: <https://www.motion-products.ru/upload/iblock/5f5/5f537d7895ed1537e28b988e575d8771.pdf>

ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

Б. Н. Фешин¹, Л. Г. Шпакова¹

¹*Карагандинский государственный технический университет*

Аннотация – Статья носит аналитический характер. В статье описываются проблемы, цели и задачи оптимального управления приводами электроприводами мехатронных объектов. Рассмотрены возможности оптимизации системы управления классическими методами и методами интеллектуализации систем. Приведен обзор работ критериев оптимального управления. Приведены ссылки на результаты применения интеллектуальных систем в робототехнике.

Ключевые слова – Робот-манипулятор, электропривод, оптимизация, система управления.

I. ВВЕДЕНИЕ

Применение роботов обеспечивает технико-экономический эффект, связанный с повышением производительности труда. В то же время важны вопросы энергопотребления. Проблемы реализации и оптимизации систем управления роботов манипуляторов привлекают к себе широкое внимание специалистов. Вопросы качества систем управления робототехническими комплексами освещены в многочисленных публикациях, например, в [1-3]. В то же время малоизучены вопросы оптимизации энергопотребления роботами-манипуляторами. Отсутствует сравнительный анализ энергопотребления электроприводами при использовании различных систем и методов управления. В результате выбор той или иной системы управления основан на достижении максимальных, зачастую без чрезмерной необходимости, показателей точности и быстродействия, в ущерб энергетической эффективности.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Оптимизация не ставит своей целью создание идеальной системы управления, а лишь приближает систему к наиболее выгодному решению. Целевыми функциями оптимального управления мехатронным объектом могут быть:

1. энергопотребление, связанное с понесенными экономическими затратами на совершение заданной работы. Остро вопрос оптимизации энергопотребления стоит при разработке автономных систем;
2. точность и быстродействие, связанные с отысканием оптимальной траектории достижения исполнительного органа.

Сложность реализации оптимального управления мехатронным объектом заключается в том, что необходимо учитывать кинематические свойства объекта управления в совокупности с вопросами оптимального управления электроприводами робота-манипулятора. В работе [3] отмечено, что нелинейность кинематической схемы, свойственная большинству роботов, и значительный рост динамических ошибок электроприводов координат при повышении скорости движения, накладывают существенные ограничения на величину скоростей и ускорений в различных точках рабочего пространства. Очевидно, что оптимизация работы систем электроприводов робота-манипулятора должна учитывать особенности кинематических и динамических

свойства мехатронного объекта и ограничений, определяемых рабочим процессом и окружающей средой.

Цели оптимального управления электроприводами робота-манипулятора можно сформулировать как минимизация ошибок позиционирования в условиях повышения быстродействия и ограничения на энергетические ресурсы. Поиск «лучшего» управления возможен путем сравнения различных вариантов управления. Наличие конкретного объекта исследования позволяет решить проблему средствами математического моделирования. Не исключается возможность и физической реализации различных систем управления.

III. ТЕОРИЯ

Объектом анализа и исследования является робот-манипулятор, созданный НПИ «Уралучтех» (Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск) [4]. Механический манипулятор можно рассматривать как разомкнутую цепь, которая состоит из нескольких твёрдых звеньев, последовательно соединённых вращательными или поступательными сочленениями, приводимых в движение силовыми приводами [2, 3]. Исследуемый робот-манипулятор четырехзвенный с пятью степенями свободы.

Робот оснащен пятью шаговыми двигателями серии FL42ST модель FL42STH47-1206A и мотор-редуктором. Датчиками положения звеньев служат щелевые оптроны и потенциометры.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Традиционное построения оптимальных управлений электроприводами роботов-манипуляторов рассматриваемого класса может быть достигнуто методами аналитического конструирования регуляторов для многосвязных объектов, а при существенной стохастичности внешних возмущений и помех (предполагаемых гауссовыми), в соответствии с теоремой разделения [5, 6] как систему управления многосвязного объекта (робота-манипулятора с многими степенями свободы) с оптимальным регулятором по квадратичному критерию качества

$$J = M[(Z_3(t) - Z(t))^T \cdot Q \cdot (Z_3(t) - Z(t) + \mu^T(t) \cdot R \cdot \mu(t)], \quad (1)$$

где M – символ математического ожидания.

При этом стохастический регулятор представляет собой последовательное соединение оптимального линейного фильтра для оценки состояния объекта и детерминированного оптимального регулятора. Оптимальный фильтр может быть построен как фильтр Калмана-Бьюси, формирующий оценку вектора координат робота-манипулятора $X(t)$ на основе анализа вектора реально измеряемых координат выхода $Z(t)$ [7].

В технологических схемах, содержащих многие роботы-манипуляторы (например, сварочные – на линиях сборки автомобилей), необходимы иерархические супервизорные [7] структуры систем управления с локальными (полевыми) устройствами управления отдельными роботами-манипуляторами.

Современное развитие теории автоматического управления наряду с применением традиционных методов оптимального управления и с учетом программно-аппаратной мощности вычислительных и телекоммуникационных сетей, открывает возможность применение методов теории интеллектуальных систем управления. Например, методов адаптивного управления и/или fuzzy-регулирования.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Задача повышения быстродействия решалась в работах [8, 9], где создавались и изучались результаты оптимизации системы управления приводами робота–манипулятора по критериям быстродействия и точности позиционирования методом создания интеллектуального блока, в основе которого лежит fuzzy-регулятор.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение необходимо отметить, что для реализации новой системы управления электроприводами была создана программная среда с моделью существующего роботизированного комплекса. Модель позволила отрабатывать алгоритмы управления, в том числе и в отсутствие реального объекта управления, анализировать полученные результаты и внедрить программно-аппаратный комплекс в учебный процесс.

Результаты исследования показали, что разработанный алгоритм интеллектуального ориентирования робота-манипулятора на основе интеллектуального fuzzy-регулятора способен значительно улучшить точность и быстродействие перемещения исполнительных устройств робота-манипулятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шаповалов А.А., Курмашев А.Д. Контурная система управления промышленным роботом // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. № 1 (25), часть 2.
- [2] Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е издание. Санкт-Петербург «БХВ-Петербург». 2005. 416 с.
- [3] Шаньгин Е.С. Управление роботами и робототехническими системами. Конспект лекций. 30 лекций. Уфа, 2005. – 190 с.
- [4] Инструкция по эксплуатации и паспорт: учеб. робот с компьютерной системой управления. «Уралучтех» Челябинск, 2005. 20с.
- [5] Казаков И.Е. Статистическая теория систем управления в пространстве состояний. М.: Наука, 197. 432 с.
- [6] Медич Дж. Статистические оптимальные линейные оценки и управления / Пер. с англ. / Под ред. А.С. Шаталова. М.: Энергия, 1973. 440 с.
- [7] Фешин Б.Н. Супервизорные многосвязные системы управления электротехническими комплексами горных предприятий. Алматы: Гига Трейд, 2011. 232с.
- [8] Аниськина Ю.Н., Шпакова Л.Г., Роговой М.С. Разработка алгоритмов интеллектуального управления электропривода солнечных панелей // Сборник трудов VIII международной научной конференции: «Системный анализ, управление и обработка информации». Т. 1 / Донской гос. тех. университет, Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2017. 350 с.
- [9] Breido I., Shpaskova L., Analysis of the application of fuzzy logic methods for the robot-manipulator control system, DAAAM international scientific book 2017 pp. 121-132 Chapter 10, Publisher DAAAM International Vienna, Vienna, 2017 г.

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ «ЧИСТЫХ» ПОВЕРХНОСТЕЙ И УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ СПОСОБОМ В КРИОГЕННОЙ СРЕДЕ

Ю. В. Титов¹, Д. С. Реченко¹, Д.Г. Балова¹, А. Ю. Андрейчук¹

¹*Омский государственный технический университет*

Аннотация – Для получения порошка из любых многокомпонентных твердых материалов необходимо создание универсальной высокоскоростной установки. Данная установка представляет большой интерес для науки. При получении ультрадисперсного порошка учитываются их особенности структуры, определяемые методами их получения, и оказывает воздействие на их различные свойства. Для достижения поставленных задач была сконструирована установка для получения многокомпонентного порошка высокоскоростным способом. Так же были приведены практические примеры получения чистых порошков в криогенной среде и без нее, с последующим применением высокоскоростного метода обработки.

Ключевые слова – Ультрадисперсный порошок, высокоскоростной способ, криогенная среда, лабораторная установка.

I. ВВЕДЕНИЕ

На данный момент не существует универсального способа получения ультрадисперсных порошков из любых твердых материалов высокоскоростным способом обработки. Поставлена задача в разработке и создании лабораторной установки для получения «чистых», близких к ювенильным поверхностям и «чистого» ультрадисперсного порошка высокоскоростным способом в криогенной среде. [1]

Порошки применяются для изготовления объемных материалов, твердых сплавов, а так же помогают улучшить характеристики различных материалов все эти свойства делают их привлекательными в машиностроительной и авиационной отраслях. [2]

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Необходимо получить опытные партии многокомпонентных порошков, из любых твердых материалов, которые получают применения в создании материалов с улучшенными физико-механическими свойствами. Разработка высокоскоростного способа получения ультрадисперсного порошка из любых многокомпонентных твердых материалов является актуальной задачей, которая может быть осуществлена за счет лабораторной высокоскоростной установки, способной обрабатывать материалы с высокой скоростью с использованием небольшого количества мелющих тел при высоких окружных скоростях. [3]

III. ТЕОРИЯ

Благодаря данной разработанной высокоскоростной установке с применением криогенной среды, возможно, получать большой ассортимент порошков и высокой

пригодностью для дальнейшего применения. Для этого разберём установку на составляющие.[4]

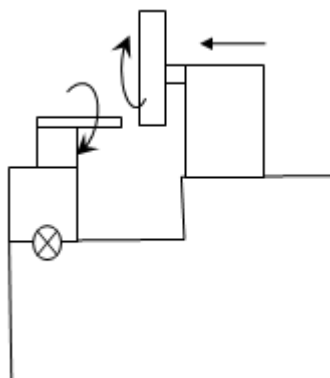


Рис 1. Обоснование схемы и параметров установки, реализующей высокоскоростной способ

Данная конструкция позволяет реализовать необходимые параметры: возможность обеспечения угла между осями ШК и заготовки до 15° ; окружная скорость вращения мелющего диска должна быть около 300 м/с. Конструкция станка должна позволять проводить его модернизацию и размещать на нем необходимые узлы и дополнительное оборудование.[5]

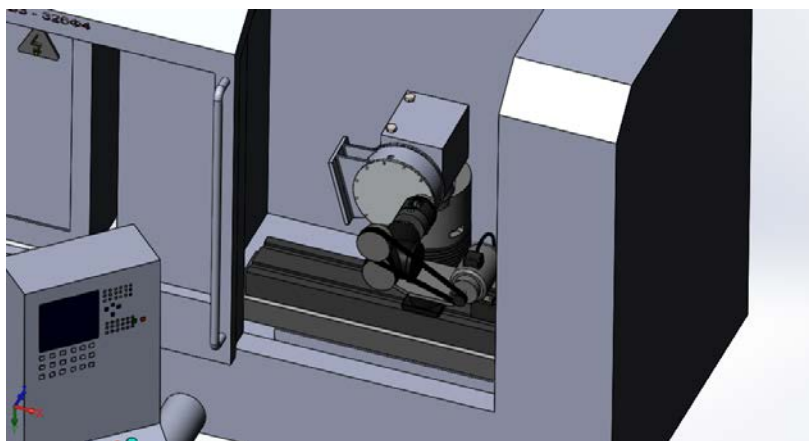


Рис 2. 3D-модель лабораторной высокоскоростной установки диспергирования многокомпонентных материалов в криогенной среде

Были получены патенты: на полезную модель «Устройство для получения металлических порошков» RU 146 455 U1; на изобретение «Способ получения металлического порошка механической обработкой цилиндрической заготовки» RU 2 621 204 C2.

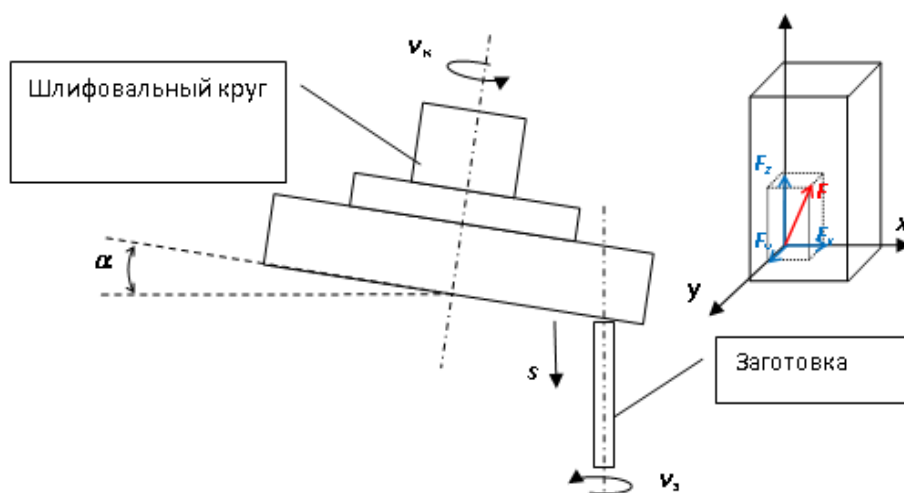


Рис 3. Схема обработки высокоскоростного способа

Разворот шпиндельного узла на 15–20° позволяет распределить суммарную силу резания F по оси OX на 20...30%. [6]

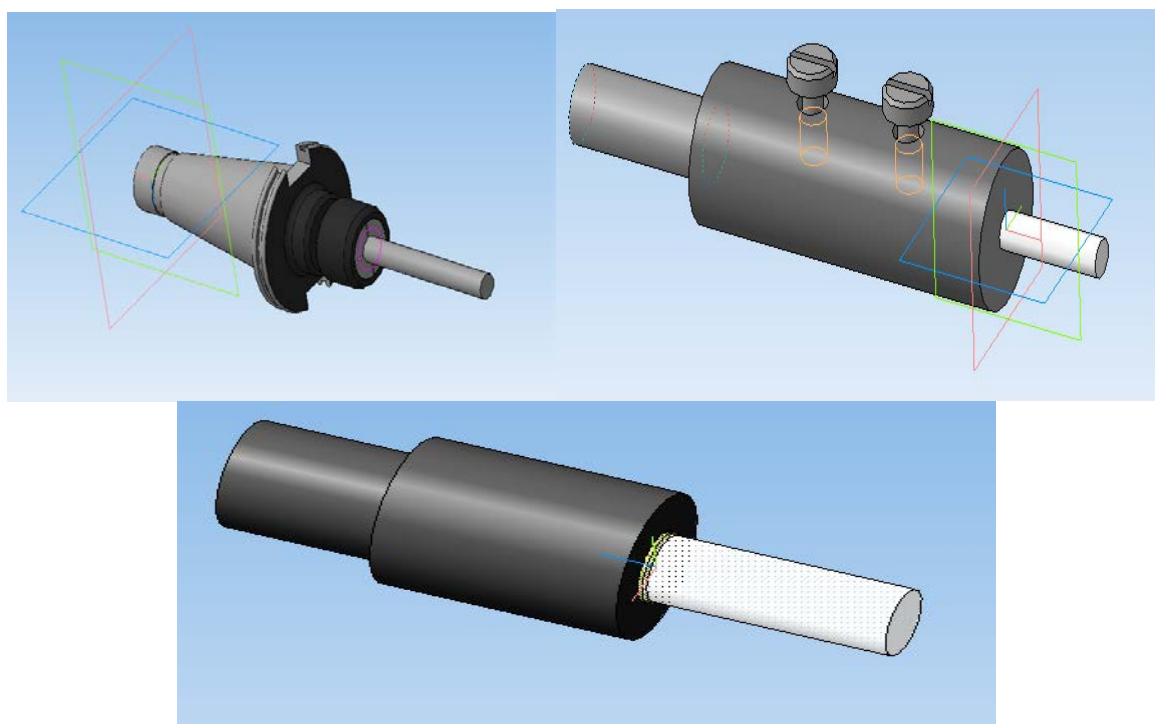


Рис 4. Способы закрепления и оценка напряжений заготовки, при ее обработке

На рисунке 4 представленные следующие виды закреплений:

- Цанговая оправка
- Крепление с применением болтов
- Вклеенная

В качестве хладагента был выбран жидкий азот. На первоначальном этапе работ для хранения и подачи азота в зону диспергирования был использован сосуд Дьюара (рис. 5).

Герметизация сосуда происходила с помощью деревянной пробки и прижимной металлической крышки, притягиваемой хомутами к рукояткам сосуда. Для подачи азота к заготовке использовалась система из двух шлангов, по одному из которых в сосуд Дьюара подавался воздух от компрессора, а по другому – из сосуда выходил азот (рис. 5). Многочисленные эксперименты, проведенные с данной системой подачи азота, показали ее работоспособность и доказали принципиальную ее необходимость.

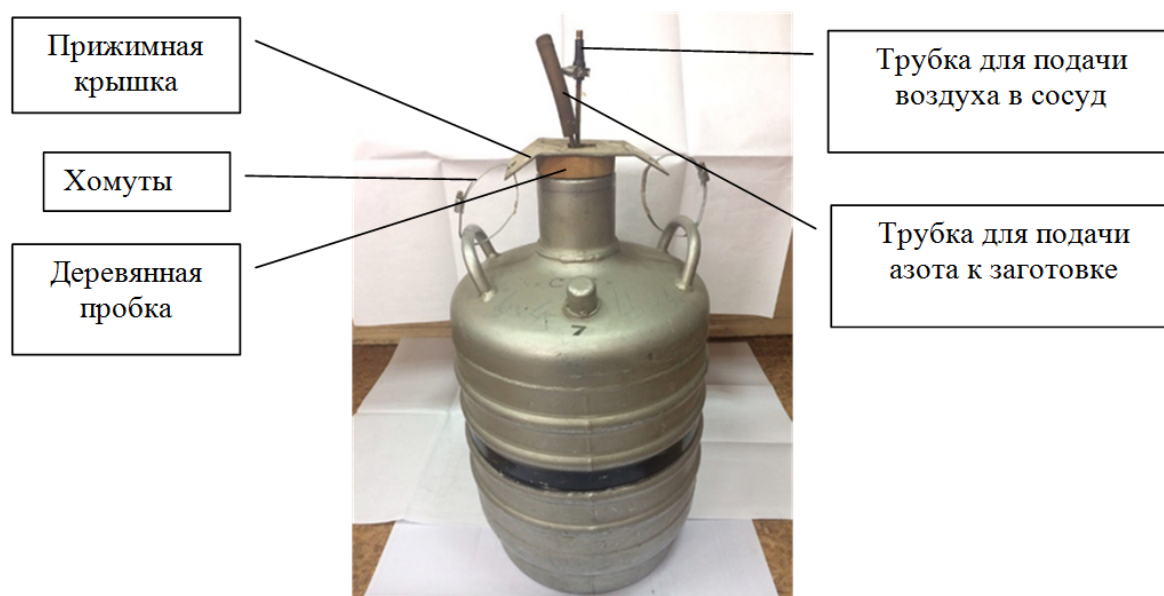


Рис. 5. Система подачи хладагента на начальном этапе исследований

Однако были выявлены недостатки в ее работе. К ним следует отнести:

- небольшой объем сосуда (20 литров), что приводило к необходимости частой заправки;
- отсутствие герметичности сосуда, что приводило к большим расходам жидкого азота;
- отсутствие возможности контроля и регулирования расхода жидкого азота.

Эти обстоятельства потребовали проведения работ по усовершенствованию системы хранения и подачи жидкого азота. После модернизации система подачи хладагента состоит из резервуара криогенного XRP 60 S производства фирмы Cryo Diffusion (Франция), где хранится азот, шланга и трубки с фазовым сепаратором на конце для подачи азота в зону диспергирования заготовки.

Аргументом в пользу выбора данной конструкции резервуара является то, что для подачи жидкого азота он оборудован автономной системой подачи давления, что исключает необходимость использования баллонов сжатого газа и иных систем подачи давления. Кроме того контейнеры серии XRP имеют повышенную вакуумную изоляцию, позволяющую минимизировать тепловые передачи и, снизить коэффициент испарения жидкости.[7]

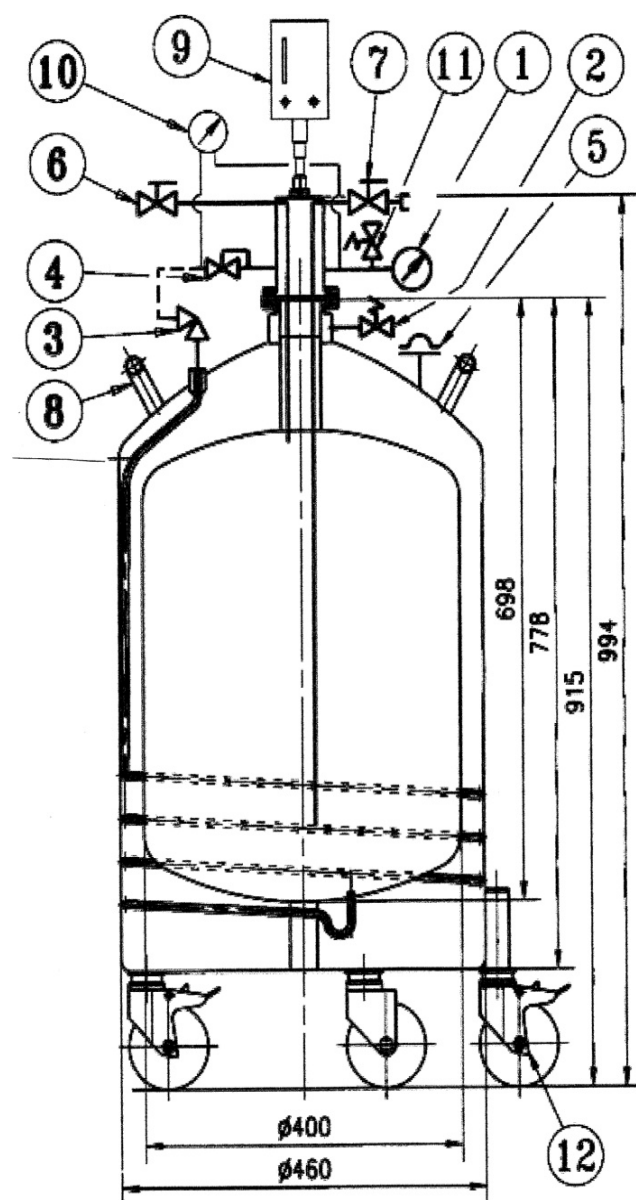


Рис 5.1. Принципиальная схема резервуара XRP 60 S. (1 – манометр; 2 – разгрузочно-предохранительный клапан; 3 – клапан восстановления давления; 4 – стабилизатор давления; 5 – разгрузочное отверстие; 6 – спускной клапан; 7 – заправочно-сливной клапан; 8 – ручки; 9 – емкостный уровнемер; 10 – измеритель уровня жидкости перепада давления; 11 – разгрузочная головка вентильная; 12 – 5 роликов Ø100 (3 поворотных + 2 запорных)).

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В эксперименте использовалась установка для получения порошка высокоскоростным способом.[8]

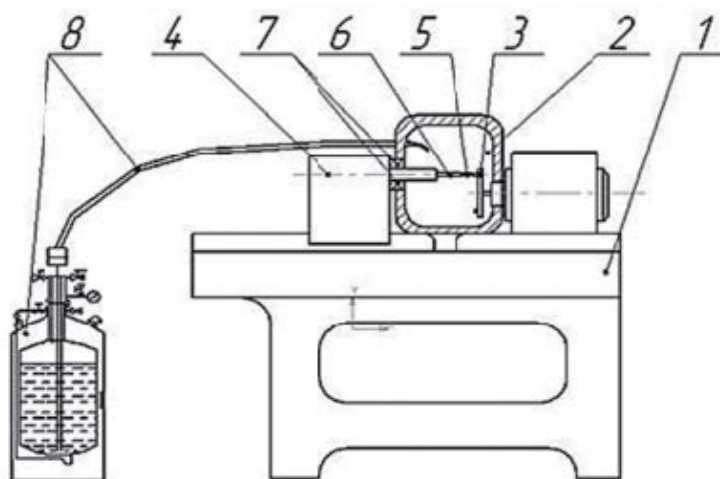


Рис 6. Установка для получения порошка высокоскоростным способом (1– рама, 2 – камера для сборки, 3 – мелющий диск, 4 – устройство подачи. 5 – заготовка, 6 – оправа, 7 – защитные элементы, 8 – устройство подачи жидкого азота в зону обработки)

Заготовку закрепили в зажимном устройстве, соосно одной из абразивных головок. В процессе получения порошка использовались абразивные головки диаметром 12мм. После достижения круга заданной частоты вращения, заготовка охлаждается жидким азотом, который подаётся из криогенного резервуара, через термошланг, в течение всего процесса истирания. Мелющий диск подаётся к заготовке до обеспечения контакта. В результате чего происходит измельчение материала истиранием. Образовавшийся порошок остаётся в камере для сборки и хранения. После истирания заготовки, устройство отключают, и измельчённый материал извлекается из устройства для сбора. [9] [10]

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время существует несколько сотен различных способов получения порошка. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, но почти все эти способы имеют ограничения на обрабатываемый материал (физические, химические и т.д.). Поэтому созданная универсальная высокоскоростная лабораторная установка для обработки любых твердых материалов – реализованная задача, является важной составляющей в современном мире порошковой металлургии. Применение данной установки в авиа и ракетостроении – приоритетная задача. При обработке различных материалов, для последующего нанесения покрытия необходимо достижение определенной «чистоты» поверхности, чего можно добиться, используя данный способ обработки.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По полученным данным можем сделать вывод, что высокоскоростная обработка с применением криогенной среды, а именно подачи азота, даёт положительное влияние на получение ювенильного «чистого» нанопорошка, а так же дает возможность получения «чистых», близких к ювенильным поверхностей. Использование высокоскоростного способа, с применением криогенной среды в значительной степени уменьшает процент возникновения оксидов на обработанной поверхности, а так же в продукте износа – нано и ультрадисперсном порошке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Изгородин, А. Наноиндустрия и подготовка специалистов / А. Изгородин, Г. Чистобородов // В мире оборудования. 2008. № 5 (80). С. 9–13.
- [2] Б.М. Балоян, А.Г. Колмаков, М.И. Алымов, А.М. Кротов. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения. Москва, 2007. 125 с.
- [3] Титов Ю.В., Реченко Д.С., Алексеев И.С., Логачева А.И. Определение химического и дисперсного анализов порошка, полученного высокоскоростным способом // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. Т. № 1. С. 224 – 229.
- [4] Титов Ю.В., Реченко Д.С., Кисель А.Г., Попов А.Ю., Титов А.В. Получение ультрадисперсного порошка ферромагнетиков на мельнице тонкого помола с охлаждением жидким азотом // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров для авиакосмической отрасли: материалы VIII Всероссийской научн. конф., посвященной памяти гл конструктора ПО "Полёт" А.С. Клинышкова, Омск, 2013. Омск: ОмГТУ, 2013. С. 165-168.
- [5] Титов Ю.В., Ежов А.А., Каменов Р.У., Госина К.К., Никитина А.В. Получение ультрадисперсного многокомпонентного порошка высокоскоростным способом // Материалы докладов 48 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной 50-летию университета. В 2 т. Витебск: Витебский государственный технологический университет. 2015. С. 373-376.
- [6] Патент. 55665 РФ, МПК В24D 17/00. Шлифовальный круг для алмазно-абразивной обработки. / Реченко Д.С., Нуртдинов Ю.Р., Попов А.Ю.; Омский государственный технический университет. № 2006111080/22; Заявл. 05.04.06; Оpubл. 27.08.06. Бюл. № 24. 2 с.: ил.
- [7] Ультрадисперсные и наноразмерные порошки: создание, строение, производство и применение / Под ред. В. М. Бузника. Томск: Изд-во НТJ, 2009. 192 с.
- [8] Патент.– 146455 РФ, МПК В22F 9/04. Устройство для получения металлических порошков / Попов А.Ю., Реченко Д.С., Титов Ю.В., Госина К.К., Каменов Р.У. / Омский государственный технический университет. № 2014119229/02, Заявл. 13.05.14; Оpubл. 10.10.14. Бюл. № 28. 3 с.: ил. 1
- [9] Зависимость дисперсности получаемого порошка высокоскоростным способом от выбора шлифовального инструмента и различных материалов / Ю. В. Титов, Д. С. Реченко, Н. В. Хмарина, А. В. Никитина // Письма о материалах. 2015. Т. 5. № 4 (20). С. 428–431.
- [10] Кисель А.Г., Реченко Д.С., Попов А.Ю., Титов В.Р. Получение ультрадисперсного порошка механическим методом с применением жидкого азота // Нанотехника. № 1 (37). 2014. С. 73-74.

Секция 3.

ПРОГРАММНОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 355.54

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ АУТОНОМНЫМ ТРЕНАЖЕРОМ «МТО»

И. Ю. Шевченко¹, С. С. Поярков¹

¹Омский автобронетанковый инженерный институт, г. Омск

Аннотация – Рассмотрены основные этапы формирования программного обеспечения адаптивной системы управления автономным тренажёром «мастерской технического обслуживания» для обучения военных специалистов-ремонтников. Для описания функционирования алгоритма программы, в частности связей между элементами разработанной адаптивной системы, описаны с помощью метода передаточных функций. Разработанное программное обеспечение учебно-тренировочного средства является главным компонентом в системе его управления. Реализация разработанных алгоритмов, в процессе обучения экипажей мастерских технического обслуживания, позволит приобрести навыки процедуры подготовки и управления техникой для ремонта и обслуживания военных машин. В статье сформулированы правила разработки программного обеспечения управления тренажером. Целью настоящей статьи является рассмотрение основных этапов создания структуры программного обеспечения, использованного при разработке учебно-тренировочного средства «МТО».

Ключевые слова – Учебно-тренировочное средство, алгоритм, система управления, тренажер.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России особо актуальной является задача создания тренажеров для подготовки экипажей военной техники. [1]. Во-первых, использование учебно-тренировочных средств (далее УТС) позволяет процесс подготовки сделать управляем. Во-вторых, УТС дают возможность проводить частичную имитацию учений без привлечения реальной техники, что в свою очередь упрощает процесс подготовки экипажей. В-третьих, использование УТС повышает безопасность операторов за счет снижения риска получения тяжелых травм при подготовке на реальной технике из-за низкой профессиональной подготовки обучаемых [2, 3]. На основе проведенного анализа современных тенденций развития тренажерных средств и предложенных к ним требований, было принято решение о самостоятельной разработке интерфейса, алгоритмического и программного обеспечений для УТС «МТО» [4].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Учитывая, что деятельность экипажа при работе на мастерской технического обслуживания состоит из ряда этапов, то программное обеспечение УТС можно разделить на соответствующее количество взаимосвязанных программных блоков. Данный аспект позволяет реализовать принцип блочного построения программы, что в свою очередь дает

разработчику возможность вносить корректировки или заменять полностью отдельные блоки программы, не затрагивая остальные составные части. Таким образом, необходимо структуру алгоритма представить в виде блоков и описать ее передаточной функцией, которая позволит программному средству достаточно реалистично смоделировать заданные процессы.

III. ТЕОРИЯ

Тренажеры предназначены для подготовки специалистов к выполнению операций управления сложными техническими системами, в свою очередь число структурных компонентов, а так же их параметров которой не является величиной постоянной [1]. Таким образом, системы, автоматически изменяющие значения своих параметров или структур при непредвиденных изменениях внешних условий на основании анализа состояния или поведения системы в целях сохранения заданного качества ее работы [5], требует описания структуры тренажера в каждом рассматриваемом случае.

Решение задач макропроектирования требует синтеза исходных данных для разработки математической модели, в целях определения эффективности работы УТС МТО, а решение задач микропроектирования – формализацию исходных данных в смысле их декомпозиции, т.е. представление процесса функционирования УТС в виде алгоритмизированной последовательности элементарных процедур, которые могут быть сформулированы на алгоритмических языках программирования [6]. Таким образом используя известные методы приводимые в теории управления в технических системах [7, 8, 9]

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Таким образом, на основе приведенных принципов, сформулирована четкая структура, которая позволила разработать схему функционирования УТС «МТО» в общем ее случае (рис. 2).

Модуль управления и контроля (МУК), как средство обработки и отображения информации, связан с рабочим местом обучаемого (РМО) через систему ввода–вывода. РМО может состоять как из моторного поля рабочего места оператора, так и информационного поля рабочего места оператора. В большинстве случаев физические свойства РМО соответствуют конкретному моделируемому процессу. Программное обеспечение, используемое в МУК, отображает взаимодействие компонентов и систем моделируемого процесса. Это наиболее важная часть тренажерной системы, от степени реализации и контроля этого процесса зависит качество получаемых навыков. Рабочее место обучаемого (РМО) позволяет обучающемуся манипулировать органами управления способом, идентичным используемому в реальном процессе. В связи с тем, что реальный процесс работы ПСТОР не только имитируется как на реальном объекте, но отслеживается и контролируется, в связи с этим динамический отклик тренажера максимально приближен к отклику систем и компонентов реального объекта. Рабочее место инструктора (РМИ) позволяет управлять работой тренажера, выбирать сценарий тренировки, изменяя внешние факторы посредством выбора из имеющихся наборов алгоритмов в сочетании с необходимым режимом. Часть функций инструктора может автоматически выполнять и сам имитационный компьютер – МУК. Периферийное оборудование включает в себя принтеры, панели аварийной сигнализации и другое оборудование, необходимое для повышения реалистичности моделируемой окружающей обстановки или документирования процесса тренировки, может отсутствовать в тренажерной системе.

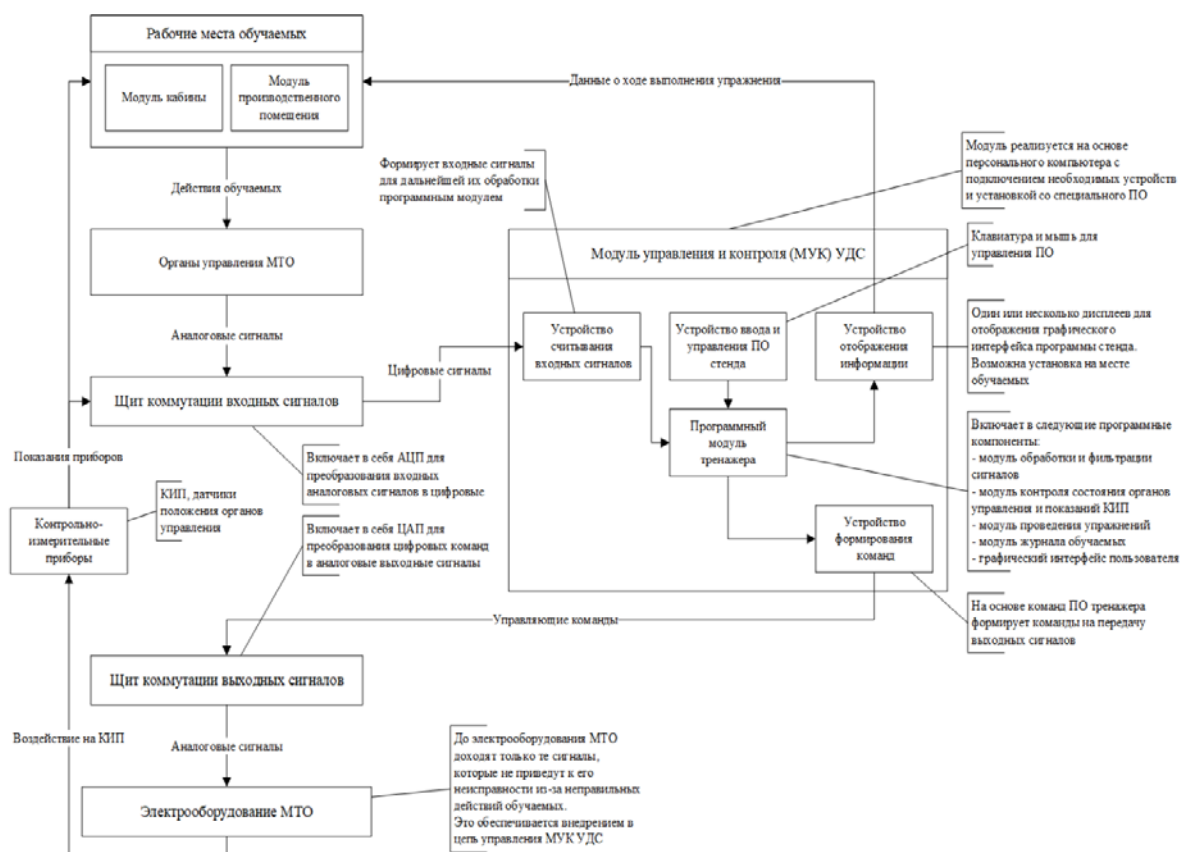


Рис. 1. Схема функционирования тренажера «МТО»

Центральным звеном работы тренажера является МУК, в него включен основной блок – программный модуль тренажера, в котором заключены алгоритмы работы программного обеспечения УТС «МТО» на различных режимах.

Цифровой сигнал так или иначе проходит в виде передаточной функции через основной процесс заложенного в программный модуль УТС «МТО», т.е. сигнал обрабатывается по средствам приведенного на рис. 2 алгоритма в зависимости от выбранного режима. В свою очередь данный алгоритм имеет три режима, а именно режим «ОБУЧЕНИЕ» при котором производится информирование о каждом следующем шаге обучаемого. Режим «САМОКОНТРОЛЬ» при данном режиме производится информирование о следующем шаге с подсчетом ошибок и выводением итогового временного показателя на устройство отображения информации. В режиме «КОНТРОЛЬ» производится подсчет ошибок с итоговым временным показателем и выставлением оценки оператору, на рис. 3 приведено алгоритмическое описание передаточной функции.

При выборе режима «Самоконтроль», подразумевается самостоятельное выполнение задания, с предоставлением по требованию подготавливаемого необходимых инструкций. При этом обращения за помощью, как и допущенные ошибки, фиксируются, заносятся в оценочную ведомость и влияют на снижение оценки, но при этом итоговый временной показатель на устройство отображения информации не выводится.

При выборе режима «Контроль», подразумевается так же самостоятельное выполнение задания. При этом обращения за помощью исключается, а допущенные ошибки, фиксируются, заносятся в оценочную ведомость и влияют на снижение оценки, с учетом итогового временного показателя выводимого на устройство отображения информации.

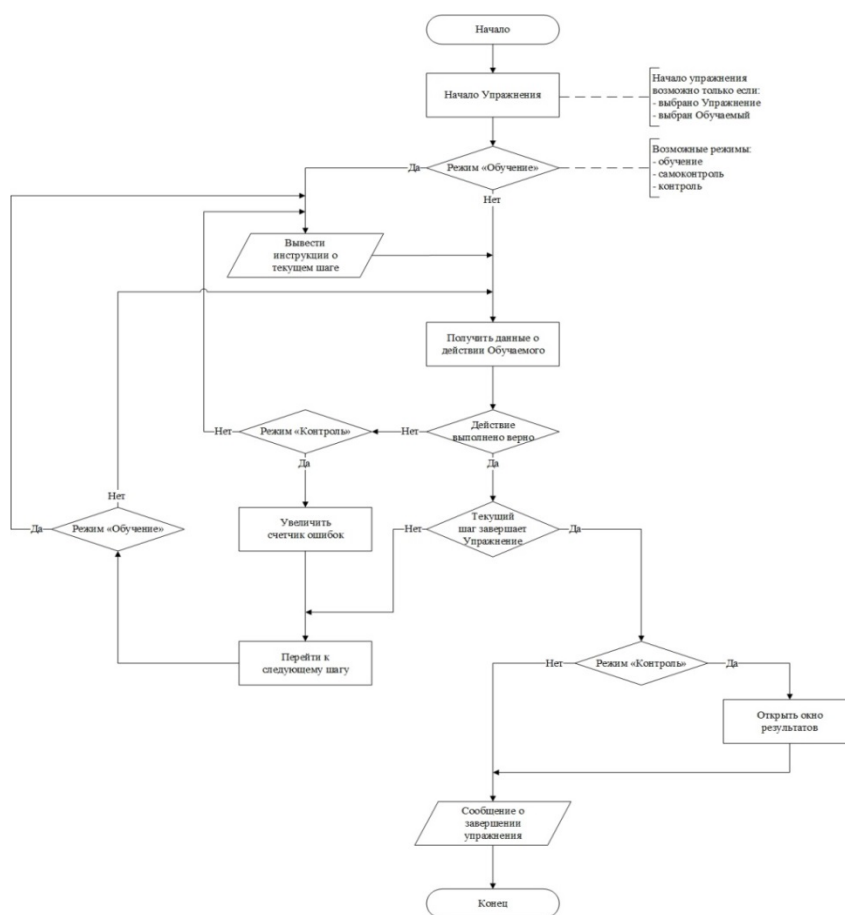


Рис. 2. Схема алгоритма программы на различных режимах

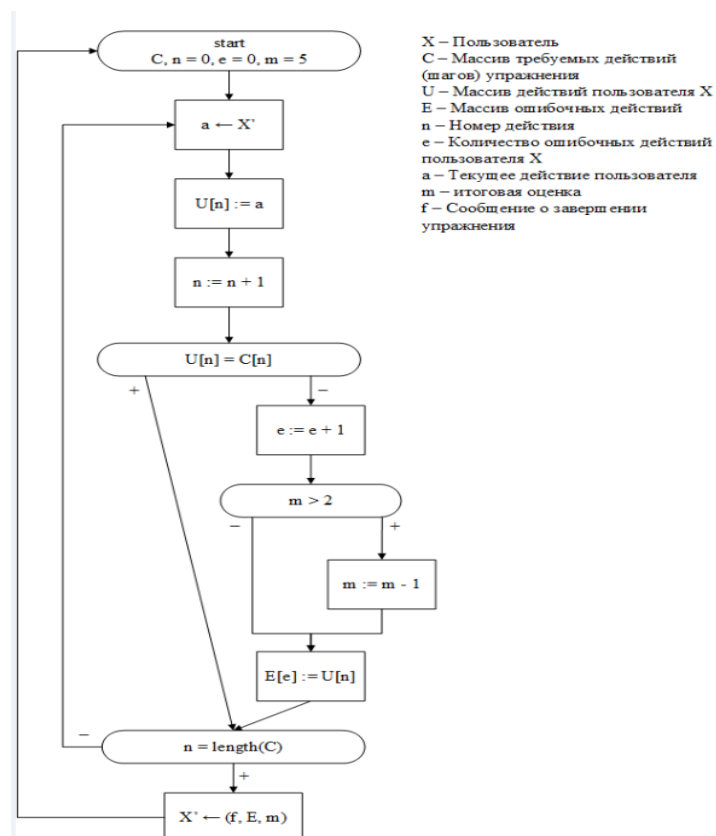


Рис. 3. Алгоритмическое описание передаточной функции

V. ВЫВОДЫ

Программное и алгоритмическое обеспечение тренажера «МТО» используются в качестве прототипа мастерской технического обслуживания, состоящие на вооружении в ВС РФ, разработаны с целью упрощения процессов составления функциональных спецификаций, принятия проектных решений, разработки пользовательского интерфейса и программной реализации. Приводимые архитектурные решения, функции и схемы взаимодействия составных частей тренажера «МТО», организация информационных потоков протекающих по средством автоматизированной системы – алгоритма программы УТС, могут использоваться в процессе принятия проектных решений при создании аналогичных по назначению тренажеров.

Новизна и оригинальность идей настоящей статьи определяются тем, что в ней содержится описание, впервые предлагаемого программного и алгоритмического обеспечения, что подтверждается свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611483 от 02 февраля 2018 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бюшгенс А. Г. Современные тренажерные технологии в России / Аэрокосмический курьер. 2010. № 5. С. 10 – 14.
- [2] Лискин В. М. Разработка и производство учебно-тренировочных средств для боевых расчетов, эксплуатирующих вооружение и военную технику ПВО. М.: НО «Ассоциация «Лига содействия оборонным предприятиям», 2011. 504 с.
- [3] Шевченко И.Ю., Поярков С.С. Проблема выбора тренажера для подвижных средств технического обслуживания военной техники и пути ее решения // Вестник СибАДИ». 2017. С. 105-110.
- [4] Духно, А.В. Содержание интерфейса функционального тренажера по управлению ремонтным производством / С.С. Кутовой, А.В. Духно, К.С. Перегудов // Сборник научно-технических работ кафедры ремонта автомобильной техники. Вып. 1. М.: Издательство «Спутник +», 2008. С. 50.
- [5] Деменков Н.П., Васильев Г.Н. Управление техническими системами: учебник. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 341 с.
- [6] Печников А. Н., Шиков А. Н. Проектирование и применение компьютерных технологий обучения. СПб.: Монография, 2014. 393 с.
- [7] Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5 т. 2-е изд., перераб. и доп. Т. 4. Теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 239 с.
- [8] Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5 т. 2-е изд., перераб. и доп. Т. 5. Методы современной теории автоматического управления / под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 258 с.
- [9] Красовский А.А. Основы теории авиационных тренажеров. М.: Машиностроение, 1995. 304 с.

ОПТИМИЗАЦИИ ПОДБОРА ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА MATLAB SIMULINK

А. А. Новиков¹, В. В. Заводов¹, М. С. Пешко¹

¹Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В статье рассмотрены методы реализации математических моделей датчиков термосопротивления в среде MATLAB/Simulink. В качестве основного источника информации для построения моделей был использован ГОСТ 6651-2009 ГСИ. В результате составлены математические модели в графической среде имитационного моделирования Simulink, используя интерполяционные уравнения, позволяющие определить НСХ датчиков термосопротивления и их допустимые погрешности в пределах определенного диапазона измерений.

Ключевые слова – Моделирование, датчики термосопротивления, допустимые погрешности измерений.

I. ВВЕДЕНИЕ

С развитием промышленности и технологического процесса значимость измерений заметно возросла, так как контроль качества продукции, безопасность производства, экономическая эффективность и производительность предприятия являются наиболее важными аспектами в процессе выпуска конкурентоспособного и высококачественного продукта, соответствующего всем требованиям государственного стандарта. Измерение такого параметра как температура составляет более 50% всех измерений, опережая определение значений других немаловажных физических величин, доля которых по статистики значительно меньше: расход ~ 15%, давление ~ 10%, уровень ~ 5% и остальные.

Когда встает вопрос о выборе датчиков температуры, то исследуются ряд наиболее важных характеристик и параметров таких как: вид, материал исполнения, диапазон измеряемых температур, габаритные размеры, срок службы, линейность выходных характеристик, время отклика, тип выходного сигнала и допускаемая погрешность. В зависимости от применения датчиков каждый параметр в процессе выбора может быть рассмотрен как более или менее важный.

В данной статье подробно исследуется один раздел характеристик, привлекающих внимания инженеров наиболее часто: допускаемая погрешность, точность и номинальная статическая характеристика (НСХ). В качестве датчиков температуры были взяты термометры сопротивления различных типов: платиновые (Pt100; 500; 1000), медные (М) и никелевые (Н). Целью данной работы является поиск методов оптимизации подбора датчиков температуры (термометров сопротивления) в соответствии с требуемыми классами точности, описанных в ГОСТ 6651-2009 ГСИ [1]. В роли основного инструмента реализации поставленной задачи используется программный пакет MATLAB, в частности графическая среда имитационного моделирования Simulink [2].

Для достижения поставленных целей стоят следующие задачи:

1. Исследовать существующие типы датчиков термосопротивления, их допустимые погрешности и законы изменения сопротивления от температуры;
2. Составить схемы в MATLAB/Simulink на основе интерполяционных уравнений;
3. Произвести моделирование НСХ датчиков и их допустимые погрешности.

II. ТЕОРИЯ

Согласно ГОСТ 6651-2009 ГСИ для составления НСХ для платинового чувствительного элемента (ЧЭ) термометра сопротивления (ТС) при $\alpha = 0,00391 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, где α – температурный коэффициент термопреобразователя сопротивления, формула для диапазона измерений от 0 $^\circ\text{C}$ до 850 $^\circ\text{C}$ имеет вид [1]:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2), \quad (1)$$

где R_t – сопротивление ТС, Ом, при температуре t , $^\circ\text{C}$; R_0 – номинальное сопротивление ТС, Ом, при температуре 0 $^\circ\text{C}$.

Значения постоянных следующие:

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}; B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}.$$

Для медного (ЧЭ) и (ТС), $\alpha = 0,00428 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Для диапазона температур от 0 $^\circ\text{C}$ до 200 $^\circ\text{C}$ [1]:

$$R_t = R_0(1 + At), \quad (2)$$

где R_t – сопротивление ТС, Ом, при температуре t , $^\circ\text{C}$; R_0 – номинальное сопротивление ТС, Ом, при температуре 0 $^\circ\text{C}$.

Значения постоянных следующие:

$$A = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Никелевые ТС и ЧЭ, $\alpha = 0,00617 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Для диапазона измерений от минус 60 $^\circ\text{C}$ до 100 $^\circ\text{C}$ [1]:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2), \quad (3)$$

где R_t – сопротивление ТС, Ом, при температуре t , $^\circ\text{C}$; R_0 – номинальное сопротивление ТС, Ом, при температуре 0 $^\circ\text{C}$.

Значения постоянных следующие:

$$A = 5,4963 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}; B = 6,7556 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}.$$

Для ТС, имеющих номинальное сопротивление R_0 , отличное от 100 Ом, табличные значения НСХ могут быть рассчитаны по формуле [1]:

$$R_{\text{НСХ}}(t) = \frac{R_{\text{таб}}(t)R_0}{100}, \quad (4)$$

где $R_{\text{НСХ}}(t)$ – значение сопротивления ТС по НСХ при температуре t , $^\circ\text{C}$; $R_{\text{таб}}$ – значение сопротивления по таблицам А.1-А.5 приложения А [1] (НСХ для 100 Ом) при температуре t , $^\circ\text{C}$; R_0 – номинальное сопротивление ТС при температуре 0 $^\circ\text{C}$.

Классы допусков для конкретных чувствительных элементов представлены в таблице I. Данные допуски должны быть выполнены для ТС и ЧЭ с любым номинальным значением сопротивления.

ТАБЛИЦА I
КЛАССЫ ДОПУСКОВ И ДИАПАЗОНЫ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ [1]

Класс допуска	Допуск, °C	Диапазон измерений, °C			
		Платиновый ТС, ЧЭ		Медный ТС, ЧЭ	Никелевый ТС, ЧЭ
		Проволочный ЧЭ	Пленочный ЧЭ		
AA W 0.1 F 0.1	$\pm(0,1 + 0,0017 t)$	От -50 до +250	От 0 до +150		
A W 0.15 F 0.15	$\pm(0,15 + 0,002 t)$	От -100 до +450	От -30 до +300	От -50 до +120	
B W 0.3 F 0.3	$\pm(0,3 + 0,005 t)$	От -196 до +660	От -50 до +500	От -50 до +200	
C W 0.6 F 0.6	$\pm(0,6 + 0,01 t)$	От -196 до +660	От -50 до +600	От -180 до +200	От -60 до +180
Примечание: $ t $ – абсолютное значение температуры, °C, без учета знака					

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Моделирование зависимости сопротивления от температуры в среде MATLAB/Simulink

Используя блоки умножения, сложения, вычитания и элементов констант были воссозданы в среде Simulink выражения, приведенные ранее из [1]. Создана модель для платинового (рис. 1) и никелевого (рис. 2) чувствительного элемента датчика в MATLAB Simulink по формуле (1) и (3) соответственно. Далее похожим образом по формуле (2) была создана схема для медного ТС (рис. 3) и по формуле (4) для платиновых ТС с номинальными сопротивлениями $R_0 = 500$ Ом (рис. 4) и $R_0 = 1000$ Ом (рис. 5), при температуре 0 °C. Значения констант изменяются средствами маскирования [3] (Subsystem mask) и название постоянных в схемах соответствует их обозначениям в формулах (1–4).

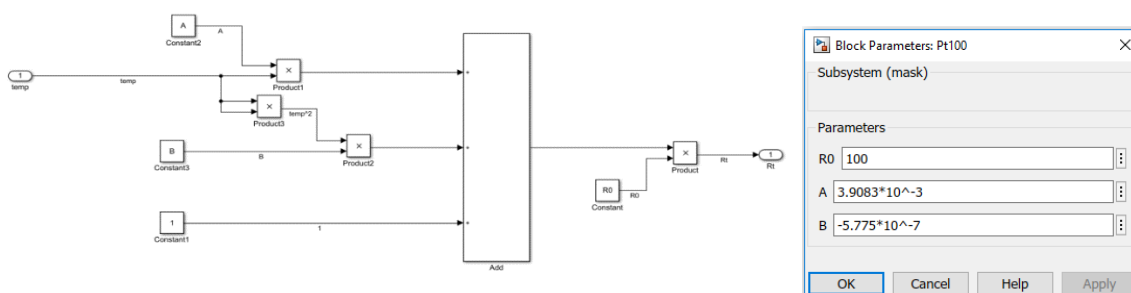


Рис. 1. Схема НСХ для Pt 100

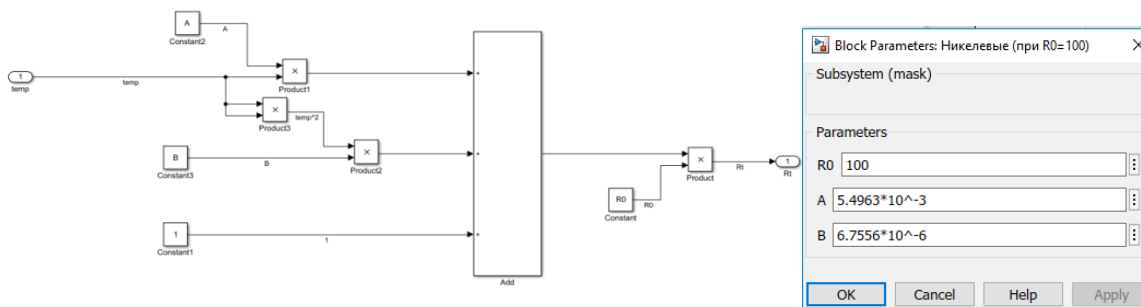


Рис. 2. Схема НСХ для никелевого ТС

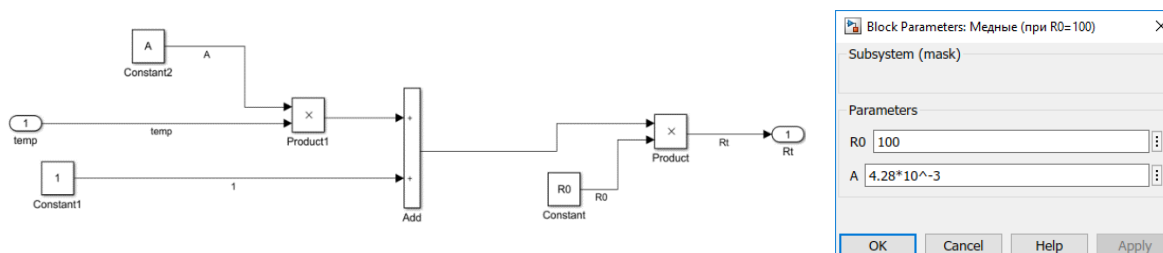


Рис. 3. Схема НСХ для медного ТС

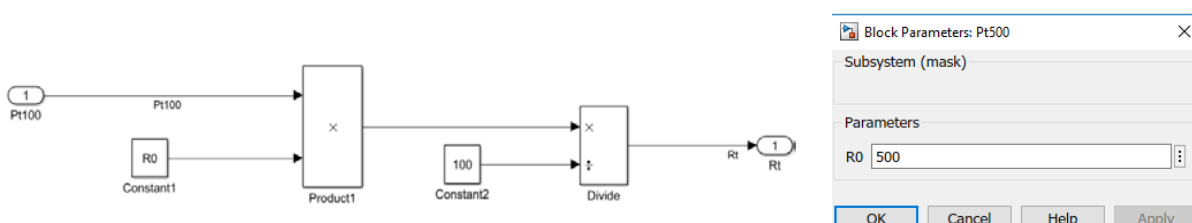


Рис. 4. Схема НСХ для Pt500

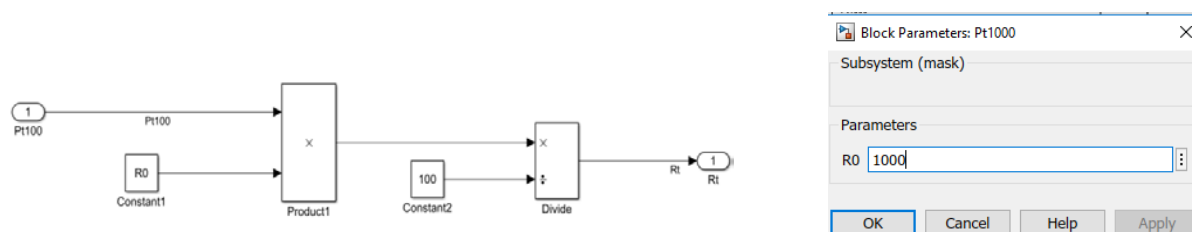


Рис. 5. Схема НСХ для Pt1000

Результатом моделирования составленных выше схем является получение НСХ для каждой рассматриваемой ТС. После компиляции были получены графики (рис. 6-8), наглядно отображающие зависимость температуры t (ось абсцисс) от сопротивления R_t (ось ординат).

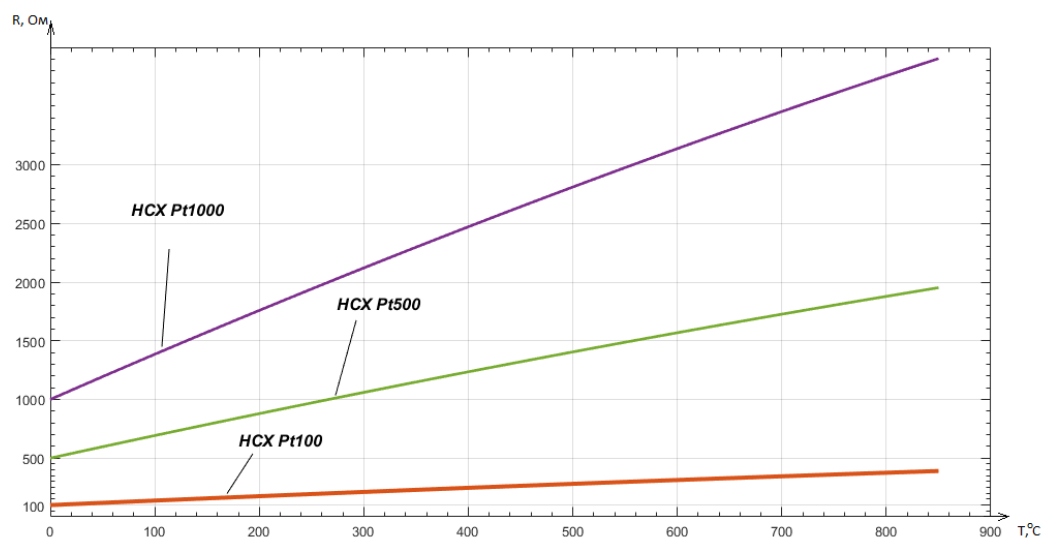


Рис. 6. НСХ для платиновых ТС

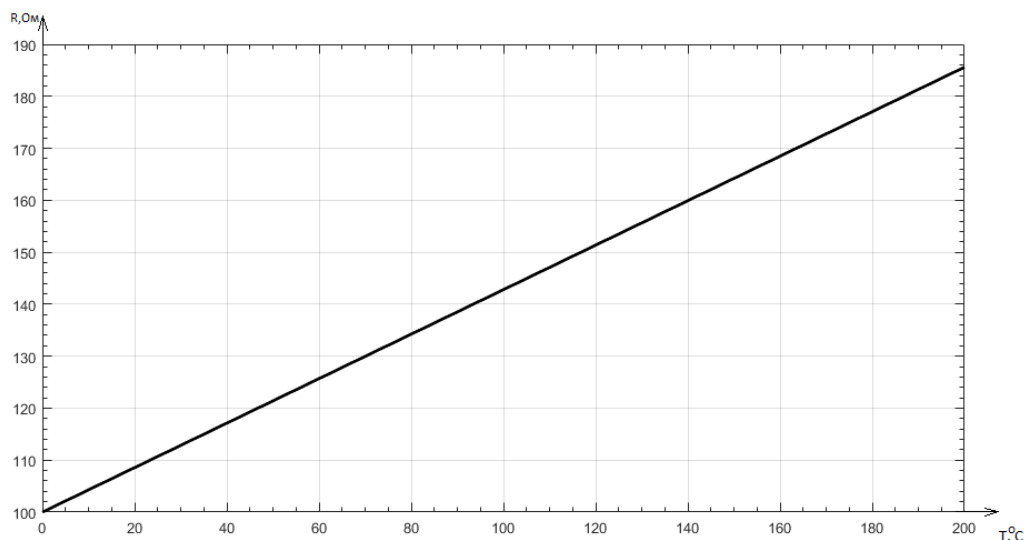


Рис. 7. НСХ для медных ТС

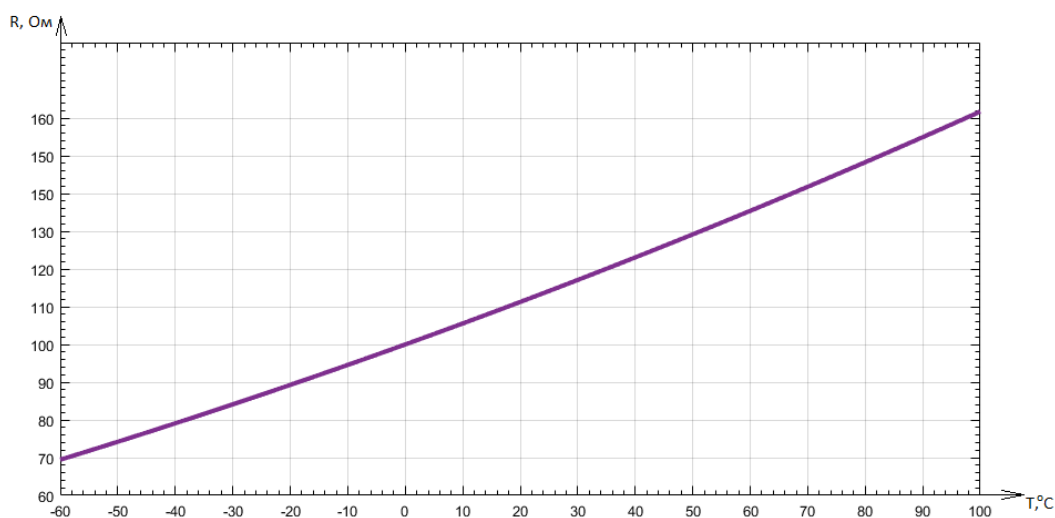


Рис. 8. НСХ для ТС из никеля

Следующим этапом моделирование является составление схем, позволяющих получить допускаемые погрешности. В соответствии с таблицей I были созданы схемы аналогичным методом, который был продемонстрирован ранее на примере моделирования НСХ. Были составлены схемы для всех допусков, которые приведены в таблице I и соответствуют рассматриваемому диапазону температур из формул (1–3). При исследовании допусков измерений был взят положительный диапазон температур для платиновых и медных ТС, а для никелевых – от -60 до 200 °С. В качестве примера на рис. 9 приводиться схема допустимой погрешности класса АА для платинового ЧЭ (Pt100), где low и high – нижний и верхний допуск, а константами А и В являются значение 0,0017 и 0,1 соответственно [1]:

$$\pm(0,1 + 0,0017|t|),$$

где $|t|$ – коэффициент чувствительности $\frac{dR}{dt}$, Ом/°С, при температуре t , определенный по интерполяционному уравнению (1).

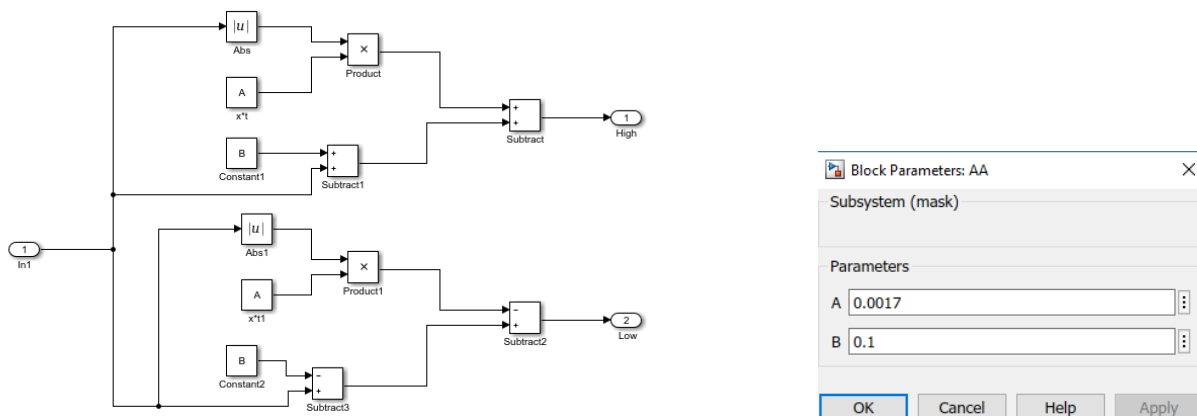


Рис. 9 .Схема допуска AA для ТС Pt100

Похожим образом составляются другие классы допусков для различных ТС. На рис. 10 изображены подсистемы(Subsystems), внутри которых располагаются схемы соответствующие классам допуска AA, A, B, C для ЧЭ Pt100.

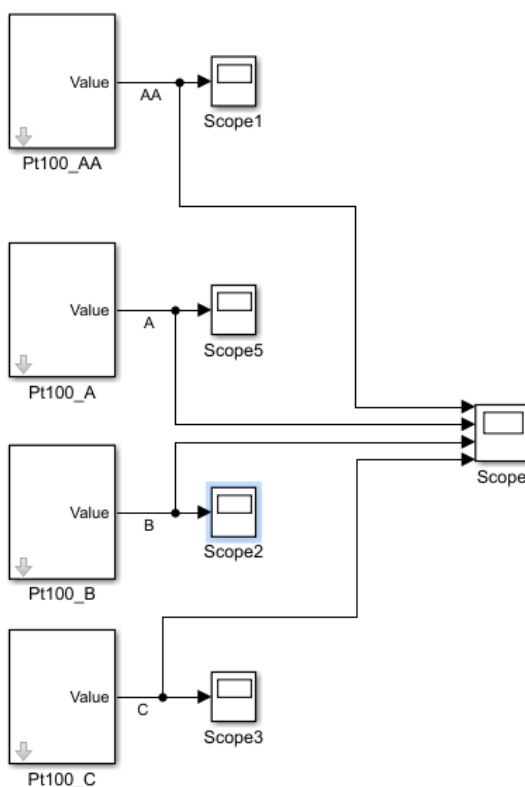


Рис. 10.Подсистемы классов допуска в среде разработки MATLAB Simulink

Похожим образом были составлены схемы классов допуска с необходимыми коэффициентами применительно к другим ТС, описываемых в данной работе. В качестве платинового ТС был взят датчик проволоочного типа. Результат моделирования представлен на рис. 11 – 13.

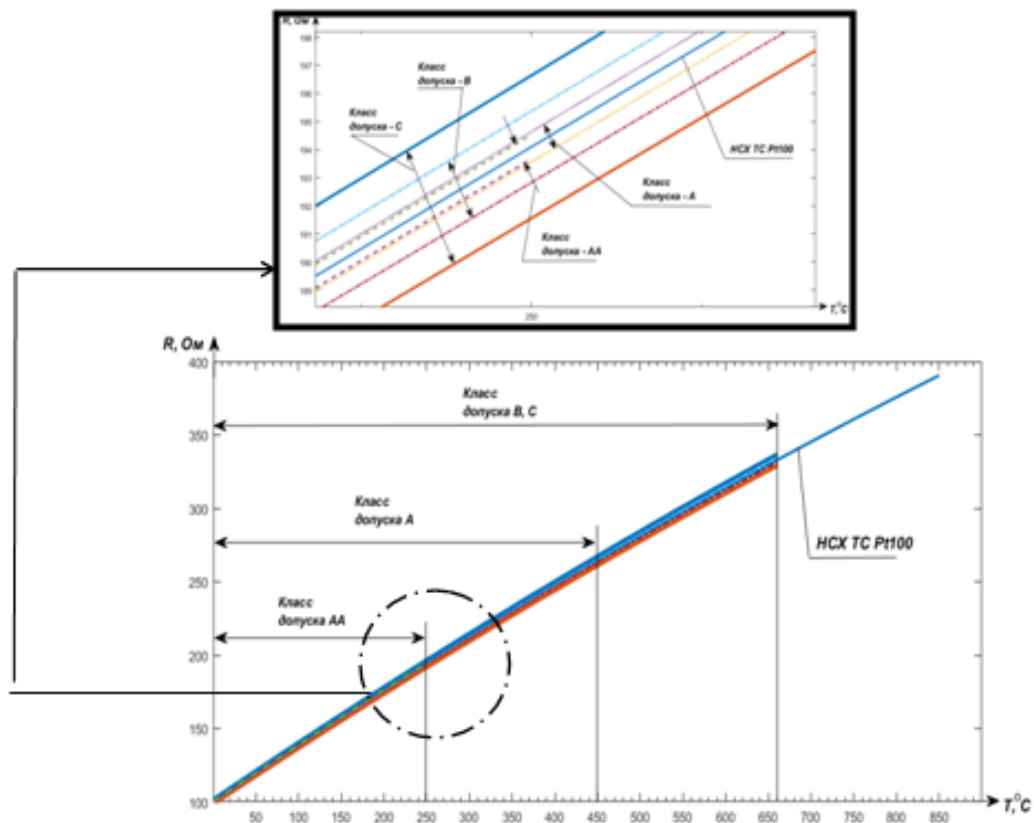


Рис. 11. Результат моделирования допусков для ТС Pt100

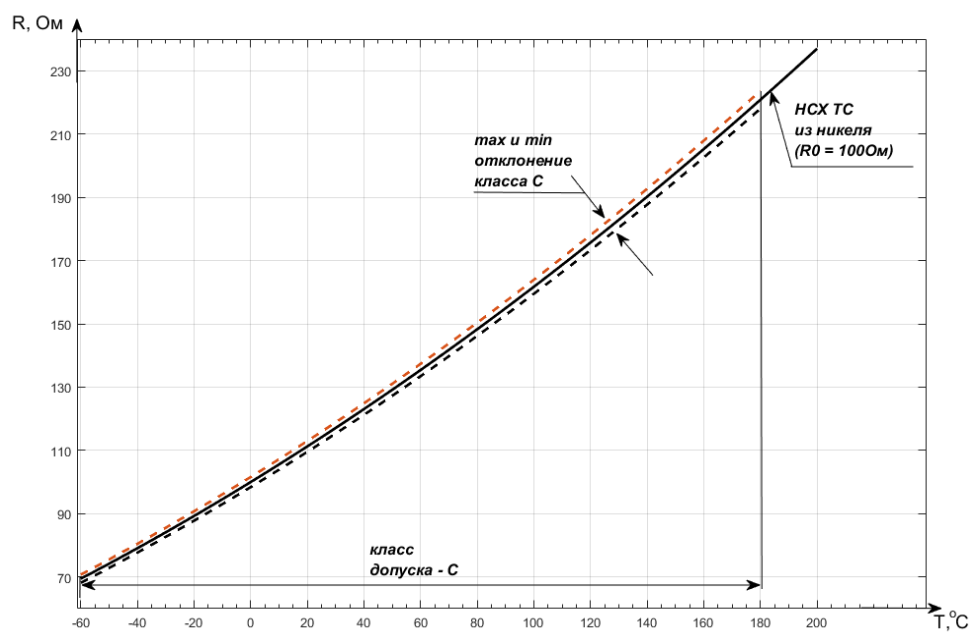


Рис. 12. Результат моделирования допуска для ЧЭ из никеля

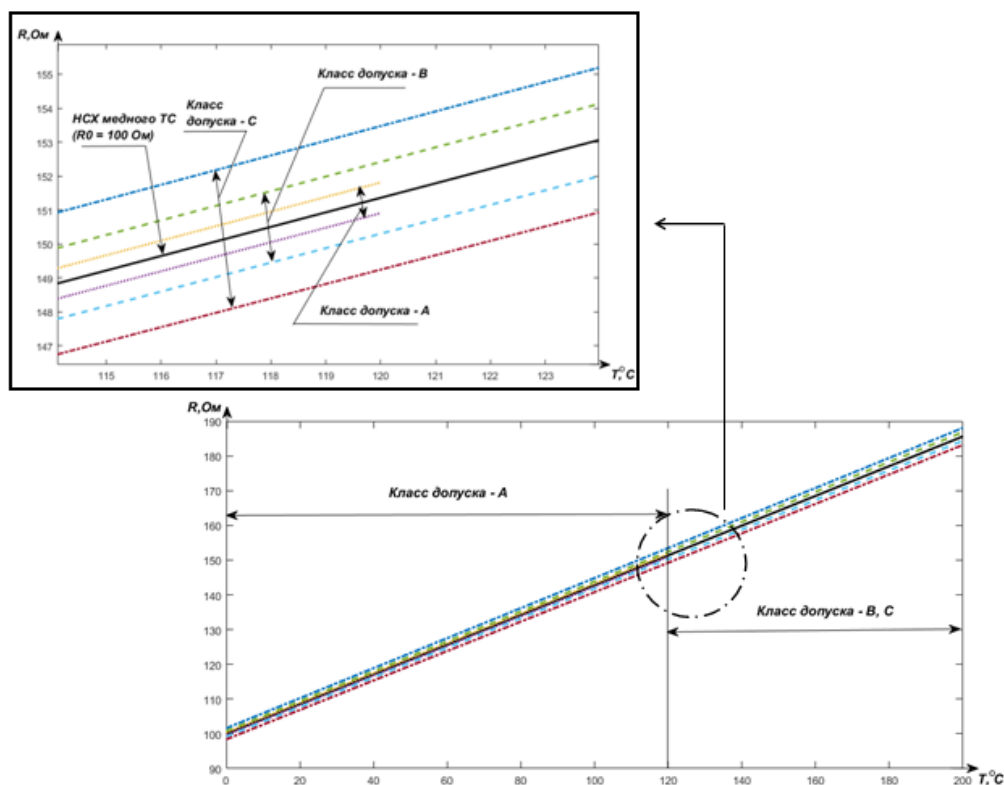


Рис. 13. Результат моделирования допуска для ЧЭ из меди

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная работа позволяет определить НСХ для таких типов термометров сопротивления, как платиновые, медные и никелевые. Наглядное изображение допустимых погрешностей температуры для классов точности АА, А, В, С чувствительного элемента позволяет осуществить наиболее точный подбор необходимого датчика в соответствии с предъявляемыми требованиями, что в свою очередь, в случае производства окажет благоприятное воздействие на точность измерения, экономические затраты, построения системы управления, качество конечного продукта и другие важные показатели и составляющие современной промышленности. В продолжение исследования планируется разработка интерфейса оператора для автоматизированного подбора оптимального термосопротивления по типу, классу допуска и рабочим температурам в условиях поставленной задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний. Взамен ГОСТ 6651-94; введ. 2011-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2011.
- [2] S.A.R. Kashif M. A. Saqib. The use of Simulink and PSpice as educational tools in the teaching of power electronics // Australian Journal of Electrical and Electronics Engineering. 2008. Vol. 4. Pp. 55–61.
- [3] Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. СПб.: Издательский Дом ПИТЕР, 2007. 288 с.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ С ИЗБЫТОЧНЫМИ СТЕПЕНЯМИ ПОДВИЖНОСТИ

В. Ф. Филаретов^{1,2}, А. С. Губанков^{1,2}, И. В. Горностаев^{2,3}

¹*Институт автоматики и процессов управления (ИАПУ) ДВО РАН, г. Владивосток*

²*Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), г. Владивосток*

³*Институт проблем морских технологий (ИПМТ) ДВО РАН, г. Владивосток*

Аннотация – В работе рассматриваются особенности решения обратной задачи кинематики для многостепенных манипуляторов с кинематической схемой типа PUMA, имеющих механические ограничения всех степеней подвижности. Показано, что при перемещении рабочего инструмента манипулятора по траектории в некоторых степенях подвижности многосвязников возникают нежелательные реверсы приводов, приводящие к нарушению технологических операций. Предложен способ, который за счет использования избыточных степеней подвижности манипулятора не допускает появления заранее непредсказуемого выхода всех степеней подвижности на ограничения, приводящие к резкому снижению динамической точности.

Ключевые слова – Промышленный робот, ограничения, избыточные степени подвижности.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время применение многосвязных манипуляторов (ММ) в различных отраслях промышленности может значительно осложняться в связи с имеющимися кинематическими ограничениями в их степенях подвижности. Часто даже при движении рабочего инструмента (РИ) внутри рабочей зоны ММ некоторые степени подвижности входят в ограничения, и для продолжения движения РИ по заданным траекториям требуется обеспечить реверсы в соответствующих степенях подвижности.

Если в некоторых степенях подвижности ММ начинается отработка этих реверсов, требующих затрат времени на их завершение, остальные степени подвижности продолжают отрабатывать программные сигналы без задержек. В результате РИ сходит с задаваемой траектории, а выполнение технологической операции останавливается.

Для устранения этого недостатка возможно задание ММ дополнительного движения в горизонтальной плоскости, которое позволит полностью исключить появление реверсов в его степенях подвижности в процессе работы. Но это приведет к созданию избыточных степеней подвижности и к необходимости нового решения обратных задач кинематики (ОЗК) для конкретных кинематических схем многосвязников.

Для ММ с избыточными степенями подвижности известен ряд методов решения ОЗК [1]. Но все они либо слишком вычислительно затратны и не позволяют выполнять расчеты непосредственно в процессе манипуляционных операций, либо не учитывают ограничения, накладываемые на степени подвижности ММ.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данной работы является сохранение требуемой динамической точности движения РИ ММ вдоль пространственной траектории за счет обхода манипулятором таких положений, в которых в отдельных его степенях подвижности происходят нежелательные реверсы. Для этого предлагается использовать новый подход, основанный на использовании избыточных степеней подвижности.

III. ТЕОРИЯ

На рис. 1 схематично представлен шестистепенный ММ с наиболее распространенной кинематической схемой типа PUMA, установленный на подвижное основание. На рисунке введены следующие обозначения: $Oxyz$ – неподвижная (абсолютная) прямоугольная система координат (СК); $O'x'y'z'$ – подвижная прямоугольная СК, жестко связанная с основанием ММ, закрепленным в точке O' ; q_i – обобщенная координата i -ой степени подвижности ММ ($i = \overline{1,6}$); L_j – длины соответствующих звеньев манипулятора ($j = \overline{1,4}$); РТИ – рабочая точка инструмента; $a = [a_x \ a_y \ a_z]^T$ и $b = [b_x \ b_y \ b_z]^T$ – единичные векторы определяющие его ориентацию в СК $O'x'y'z'$; e_i – единичные векторы, совпадающие с осями шарниров i -ых степеней подвижности ($i = \overline{1,6}$); $r = [r_x \ r_y \ r_z]^T$, $R = [R_x \ R_y \ R_z]^T$ – соответственно, векторы, задающие положения РТИ и точки W пятого шарнира ММ в СК $O'x'y'z'$; q_7 и q_8 – величины смещения O' вместе с основанием ММ вдоль осей Ox и Oy в СК $Oxyz$, соответственно.

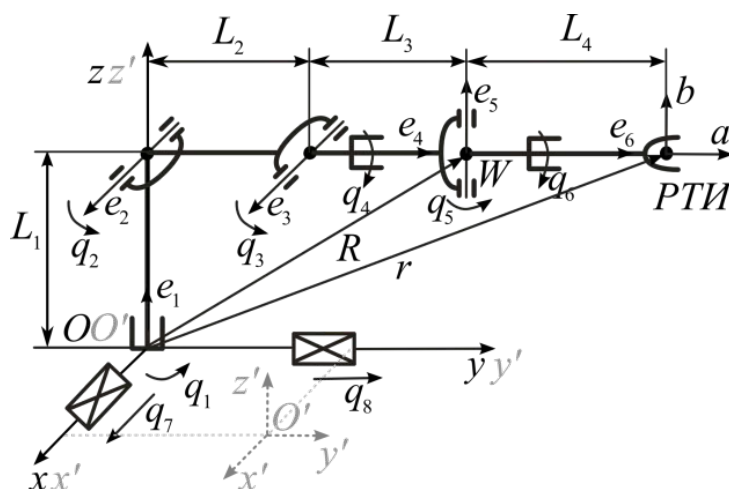


Рис. 1. Кинематическая схема шестистепенного ММ, установленного на подвижное основание

В момент начала движения РИ СК $Oxyz$ и $O'x'y'z'$ совпадают, а в дальнейшем СК $O'x'y'z'$ параллельно переносится на расстояния q_7 вдоль оси Ox и q_8 вдоль оси Oy .

На q_i накладываются ограничения $q_{i \min} \leq q_i \leq q_{i \max}$ ($i = \overline{1,6}$), где $q_{i \min}$ и $q_{i \max}$ – минимальное и максимальное значения q_i , определяемые конструкцией ММ и закрепленным на нем оборудованием. Ограничения на перемещения O' по координатам q_7 и q_8 определяются устройством соответствующих степеней подвижности.

Отсчет всех координат начинается из положения ММ, показанного на рис. 1. Движение против часовой стрелки считается положительным, а по часовой стрелке – отрицательным.

Направление вращения определяется относительно соответствующих векторов e_i , если взгляд направлен от стрелки к основанию каждого вектора e_i .

Для указанного ММ с неподвижным основанием известно аналитическое решение ОЗК [2] и логические условия для однозначного определения всех его обобщенных координат с учетом ограничений и текущего положения и ориентации РИ. При этом $q_{i \min} = -\pi/2$ и $q_{i \max} = \pi/2$, $i = \overline{1,6}$. Это решение ОЗК можно переписать в виде:

$$\begin{aligned} q_1^* &= \text{atan2}(r_x^* - a_x^* L_4, r_y^* - a_y^* L_4), \\ q_2^* &= \arcsin(g_3 / \sqrt{g_1^2 + g_2^2}) - \arctg(f_3 / f_1), \\ q_3^* &= \arcsin(f_1 + f_2 \sin q_2^*) - q_2^*, \\ q_4^* &= \text{sign}(\alpha) \text{sign}(k) \arccos((-a_x^* \cos q_1^* - a_y^* \sin q_1^*) / (\sin q_5^*)), \\ q_5^* &= \text{sign}(\alpha) \arccos(-a_x^* \sin q_1^* \cos \varphi + a_y^* \cos q_1^* \cos \varphi + a_z^* \sin \varphi), \\ q_6^* &= \text{sign}(\beta) \arccos[b_x^* (\cos q_1^* \sin q_4^* + \sin q_1^* \sin \varphi \cos q_4^*) + \\ &+ b_y^* (\sin q_1^* \sin q_4^* - \cos q_1^* \sin \varphi \cos q_4^*) + b_z^* \cos \varphi \cos q_4^*], \end{aligned} \quad (1)$$

где q_i^* – программный (желаемый) сигнал q_i , $i = \overline{1,8}$; $f_1 = (r_x^* - a_x^* L_4 - L_1) / L_3$, $f_2 = -2L_2 / L_3$, $f_3 = (r_y^* - a_y^* L_4) / (L_3 \cos q_1^*)$; $g_1 = 2f_1 f_2$, $g_2 = 2f_2 f_3$, $g_3 = 1 - f_1^2 - f_2^2 - f_3^2$; $\varphi = q_2^* + q_3^*$; $a^* = [a_x^* \ a_y^* \ a_z^*]^T$, $b^* = [b_x^* \ b_y^* \ b_z^*]^T$, $r^* = [r_x^* \ r_y^* \ r_z^*]^T$ – векторы программных значений a , b и r , где $r_x^* = x^* - q_7^*$, $r_y^* = y^* - q_8^*$, $r_z^* = z^*$ в СК $O'x'y'z'$, смещенной на расстояние q_7^* вдоль оси Ox и q_8^* вдоль оси Oy в СК $Oxyz$; x^* , y^* , z^* – желаемые координаты РТИ в СК $Oxyz$; $\alpha = -\arctg(a_x^* / a_y^*) - q_1^*$, $k = a_z^* - \sin \varphi \cos q_5^*$, $\beta = \gamma_x a_x^* + \gamma_y a_y^*$, где $\gamma_x = (-\cos q_1^* \sin \varphi \cos q_4^* + \sin q_1^* \sin q_4^*) b_z^* - \cos \varphi \cos q_4^* b_y^*$, $\gamma_y = \cos \varphi \cos q_4^* b_x^* - (\sin q_1^* \sin \varphi \cos q_4^* + \cos q_1^* \sin q_4^*) b_z^*$.

Функции $\text{sign}(\alpha)$, $\text{sign}(\beta)$ и $\text{sign}(k)$ не позволяют значениям q_i ($i = \overline{4,6}$) выходить из заданного диапазона, но при этом могут возникать описанные выше реверсы. Исключить их появление можно с помощью избыточных степеней подвижности.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для демонстрации особенностей решения ОЗК (1) были рассмотрены законы изменения обобщенных координат q_i^* ($i = \overline{1,6}$) при различных положениях основания ММ при перемещении РТИ по пространственной траектории (см. [3]), представленной на рис. 2. Параметры ММ: $L_1 = 0.4$ м, $L_2 = L_3 = 0.7$ м, $L_4 = 0.1$ м.

РТИ начинает движение в точке 1 (см. рис. 2), последовательно проходит точки 2, 3 и 4, затем через точку 3 приближается к конечной точке 5. Векторы $a^* = [0 \ 1 \ 0]^T$ и $b^* = [0 \ 0 \ 1]^T$ постоянны. Скорость перемещения РТИ вдоль траектории равна 0.6 м/с [4].

В первом случае (см. рис. 3) основание ММ находится в положении $O' (0; 0; 0)$ в СК $Oxyz$, а углы q_4^* , q_5^* и q_6^* неоднократно меняются скачком, что происходит из-за смены знака переменной α (см. (1)). В результате в соответствующих степенях подвижности происходят нежелательные реверсы.

Во втором случае (см. рис. 4.а) основание ММ смещено на расстояние $q_7^* = -0.25$ м вдоль оси Ox . При этом не происходит скачкообразного изменения программных сигналов, но в момент времени 3.5 с в степенях подвижности q_4^* и q_6^* возникают реверсы, приводящие к резкому падению динамической точности. При любых других значениях q_7^* эти реверсы сохраняются, и для их исключения требуется дополнительно использовать вторую избыточную степень подвижности.

Если же основание ММ смещено одновременно вдоль двух осей Ox и Oy (см. рис. 4.б), то указанные реверсы не возникают.

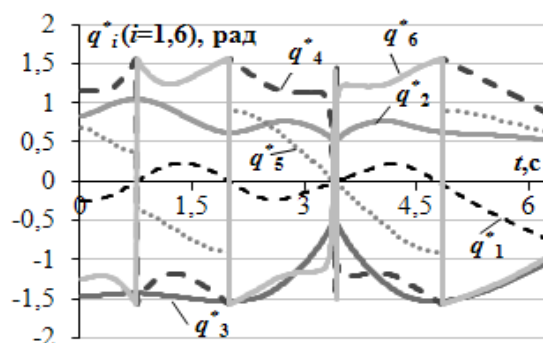
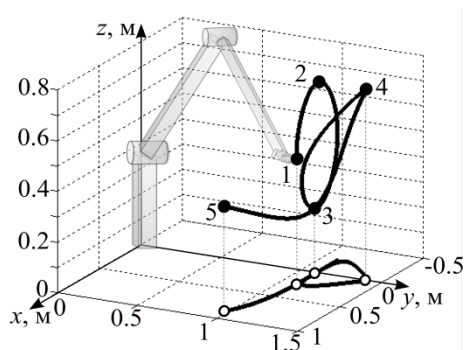
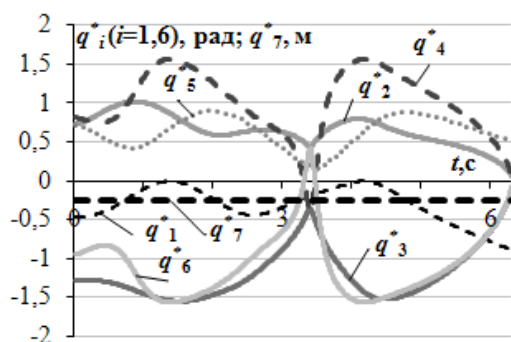
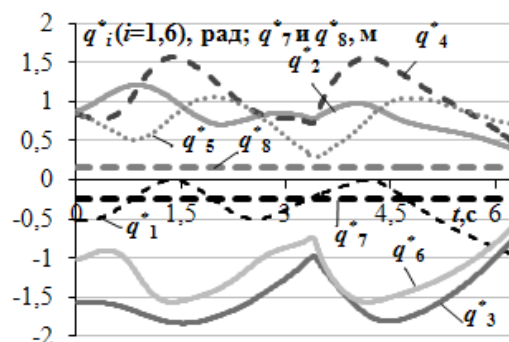


Рис. 2. Программная траектория движения РТИ Рис. 3. Законы изменения q_i^* , $i = \overline{1,6}$, при $q_7^* = q_8^* = 0$



а)



б)

Рис. 4. Законы изменения q_i^* ($i = \overline{1,8}$) при а) $q_7^* = -0.25$ м и $q_8^* = 0$ м; б) $q_7^* = -0.25$ м и $q_8^* = 0.15$ м

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, за счет использования двух избыточных степеней подвижности ММ в процессе движения РИ вдоль желаемой траектории исключено появление нежелательных реверсов во всех его приводах. Это позволяет сохранить требуемую точность манипуляционных операций при сохранении высокой скорости движения РИ. В дальнейшем будет разработана система, обеспечивающая автоматическое формирование программных сигналов для избыточных степеней подвижности.

Работа поддержана грантами РФФИ (16-07-00300, 16-37-60025) и грантом президента РФ (СП-620.2016.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Samer Yahya, M Moghavvemi, Haider AF M. Redundant manipulators kinematics inversion // Scientific Research and Essays. 2011. Issue 26. Vol. 6. P. 5462-5470.
- [2] Филаретов В.Ф., Алексеев Ю.К., Лебедев А.В. Системы управления подводными роботами // Под ред. В.Ф. Филаретова. М.: Круглый год, 2001. 288 с.
- [3] Filaretov V.F., Gubankov A.S., Gornostaev I.V. The Formation of Motion Laws for Mechatronics Objects Along the Paths with the Desired Speed // Proc. of International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications (IC3INA 2016), Jakarta, Indonesia, 03-05 October 2016. P. 93-96.
- [4] Филаретов В.Ф., Губанков А.С. Система формирования предельно высокой скорости движения рабочего органа многостепенного манипулятора по произвольной траектории // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. Т. 11. № 4. С. 19-25.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНТЕЗА СХЕМ ВНЕШНИХ КАБЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ НА ОРТОГОНАЛЬНОМ ПОЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛНОВОГО АЛГОРИТМА

А. О. Строев ¹, А. Н. Кужель ², И. М. Зуга ², В. Г. Хомченко ¹

¹ Омский государственный технический университет,

² ОНХП

Аннотация – Предложен алгоритм автоматизированного синтеза оптимальных по длине кабельных трасс на основе волнового подхода с представлением территории предприятия окрестностями фон Неймана. Разработана вычислительная программа. Решен ряд численных примеров, подтвердивших работоспособность предложенных алгоритма и расчетной программы.

Ключевые слова – Волновой алгоритм, окрестность фон Неймана, оптимизированные схемы расположения внешних кабельных проводов

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее значение приобретает рациональное расположение трасс внешних кабельных проводов [1, 2]. Это связано с высокой стоимостью кабельной продукции, а также с желанием наиболее полного использования создаваемых для прокладки кабелей сооружений (эстакад, траншей, кабель-каналов и т.д.).

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной статье получение оптимизированных схем расположения кабельных трасс из условия минимизации их длины предлагается вести на основе волнового алгоритма с использованием окрестностей фон Неймана [3].

III. ТЕОРИЯ

Территорию предприятия будем представлять в виде дискретного рабочего поля с клетками четырех видов (Рис.1):

- клетка выхода кабеля от объекта-источника;
- клетка входа кабеля в объект-приемник;
- клетки-препятствия, занятые зданиями и сооружениями предприятия;
- клетки площади территории предприятия, свободные от препятствий.

Будем считать, что клетки выхода и входа принадлежат соответственно объекту-источнику и объекту-приемнику. Остальные клетки объекта-источника и объекта-приемника отнесем к клеткам-препятствиям (рис.1).

Предлагается следующий алгоритм автоматизации синтеза оптимизированных схем внешних кабельных проводов:

- создание дискретного рабочего поля с нанесением на нем клеток четырех упомянутых видов;
- размещение дискретного рабочего в целочисленной системе координат, в которой координаты каждой клетки, выражаются целыми числами;

- присваивание клеткам каждого вида соответствующего идентификатора;
- запуск широкой «волны» от клетки-источника до клетки-приемника;
- запуск обратной узкой «волны» («ручья») от клетки-приемника до клетки-источника;

Клеточная траектория «ручья» на территории дискретного поля и будет являться хорошей (близкой к оптимальной) схемой расположения внешних кабельных проводок, обеспечивающей их длину, мало отличающуюся от минимально возможной. Придавая в последующем метрические размеры клеткам, можно рассчитать так называемое манхэттенское расстояние между выходами и входами соответствующих объектов.

В соответствии с предложенным алгоритмом разработана расчетная программа и решен ряд тестовых задач.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве примера приведем решение двух задач оптимизированного расположения кабельных трасс для двух дискретных рабочих полей, представленных на рисунках 1а и 1б, отличающихся расположением промежуточного объекта В. На рисунках 2а и 2б серым цветом показаны кратчайшие (одни из возможных) соединения объектов А и С кабелями. Из этих рисунков видно, что для соединения кабелем объекта-источника А с объектом-приемником С потребовалась длина кабеля, равная в первом случае 46 клеткам, а во втором – 42 (клетки выхода и входа кабеля от объекта-источника А к объекту-приемнику С на рисунках 1 и 2 выделены штриховкой; на рисунке 2 цифрами отмечены последовательные фронты волны). Такие длины являются минимальными из возможных при использовании окрестностей фон Неймана.

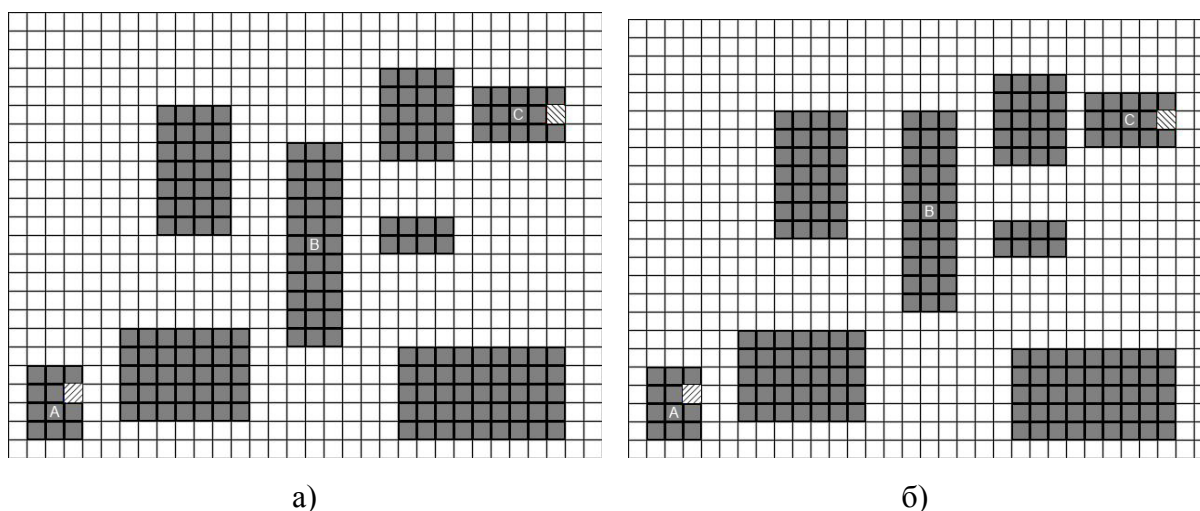


Рис.1. Дискретные рабочие поля: а) к задаче 1; б) к задаче 2

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение тестовых примеров показало, что предложенный алгоритм и его программная реализация обеспечивают возможность получения устойчивых результатов проводки кабельных трасс минимальной протяженности. Время, затрачиваемое на получение таких трасс, колеблется в зависимости от сложности задачи в пределах сотых и тысячных долей секунды.

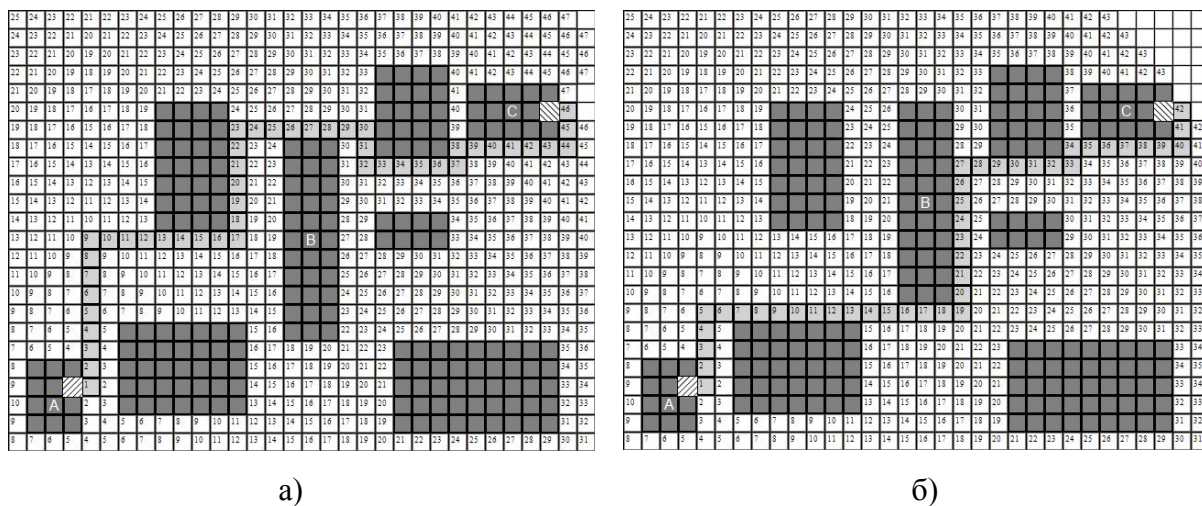


Рис. 2. Траектории кратчайших (по одной из возможных) кабельных трасс: а) задача 1; б) задача 2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Абаев Р. К. Об оптимизации план-трасс каналов связи автоматизированных систем управления / Р. К. Абаев, Х. К. Албегов, В. А. Дзиов // Технологии техносферной безопасности. 2012. Вып. № 4.
- [2] Абаев Р. К. Анализ методик оптимизации маршрутов прокладки кабельных трасс при проектировании распределенной системы управления // VIII Всероссийская научн.-технич. конф.: сборник статей. Пенза, 2008. 277 с.
- [3] Абрайтис Л. Б. Автоматизация проектирования топологии цифровых интегральных микросхем. М.: Радио и связь, 1985. 200 с.

СИНТЕЗ СХЕМ ВНЕШНИХ КАБЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ ВОЛНОВОГО АЛГОРИТМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКРЕСТНОСТИ МУРА

А. О. Строев ¹, А. Н. Кужель ², И. М. Зуга ², В. Г. Хомченко ¹

¹*Омский государственный технический университет,*

²*ОНХП*

Аннотация – На основе волнового алгоритма с использованием окрестностей Мура разработана расчетная программа и проведены вычислительные эксперименты по проектированию оптимизированных схем расположения кабельных трасс применительно к распределенным системам управления. Приведен пример синтеза таких схем, подтвердивший хорошую сходимость вычислительного процесса.

Ключевые слова – Волновой алгоритм, окрестности Мура, кабельные трассы, оптимизация

I. ВВЕДЕНИЕ

Прокладка кабелей на территории предприятия между отдельными технологическими и вспомогательными объектами при создании распределенных систем управления требует достаточно больших затрат, обусловленных как высокой стоимостью самой кабельной продукции, так и сопутствующих строительных и монтажных работ [1, 2]. В связи с этим возникает задача синтеза таких схем трасс внешних кабельных проводов, при которых бы их длина была как можно меньшей. Проблема трассировки проводов широко обсуждается применительно к проектированию печатных плат [3]. Вопросам же трассировки внешних трубных и кабельных проводов стали уделять внимания сравнительно недавно [1, 2, 4].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной статье рассматривается задача синтеза оптимизированных схем расположения трасс кабельных проводов из условия минимизации их длины для распределенных систем управления.

Одними из распространенных методов синтеза оптимизированных схем трасс является методы, базирующиеся на волновом алгоритме [3], использующем понятия окрестностей фон Неймана и Мура. Использование окрестностей фон Неймана обеспечивает проводку трасс под прямыми углами, что хорошо согласуется со строительными регламентами. Однако часто это приводит к несколько удлиненным трассам.

III. ТЕОРИЯ

В предлагаемой статье рассматривается метод синтеза трасс на основе использования окрестностей Мура [3], в которых соседними с рассматриваемой точкой-клеткой оказываются восемь точек-клеток (Рис. 1). Окрестности Мура возможно использовать в том случае, когда допустима прокладка кабельных трасс как параллельно осям координат, так и под углами, кратными 45 угловым градусам.

Первый этап алгоритма трассировки в этом случае сводится к последовательному анализу восьми точек-клеток, соседних с рассматриваемой (начиная от клетки, имитирующей выход кабеля) и продвижению по свободным точкам-клеткам до встречи с клеткой, представляющей вход кабеля в соответствующий объект. Траектория трассы, обладающая минимальной (или близкой к минимальной) длиной, определяется при обратном продвижении от клетки-приемника к клетке-источнику.

Придавая клеткам на дискретном поле определенные размеры, можно рассчитать расстояние Чебышёва от объекта-источника до объекта-приемника, которое и будет являться длиной кабеля, необходимой для соединения данных объектов.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с рассматриваемой в данной статье модификацией волнового алгоритма создана расчетная программа и решен ряд примеров. На рис. 1 представлено дискретное рабочее поле, на котором расположено десять объектов (темные клетки). При этом объекты А и В являются соответственно источником и приемником, между которыми должен быть проложен кабель (клетки этих объектов, соответствующие местам выхода кабеля из объекта А и его входа в объект В на рисунке 1 выделены штриховкой). Результаты решения данной задачи представлены на рисунке 2. Анализируя полученную схему трассы кабеля (серые клетки) можно убедиться, что она обеспечивает его минимальную длину, равную в данном примере 31 клетке (цифрами на рис. 2 отмечено распространение волны).

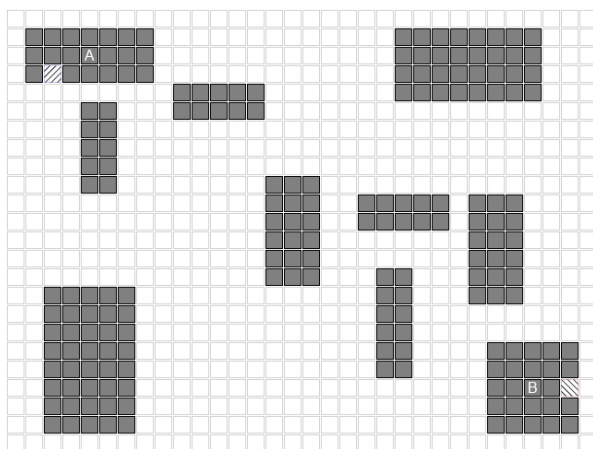


Рис. 1. Дискретное рабочее поле

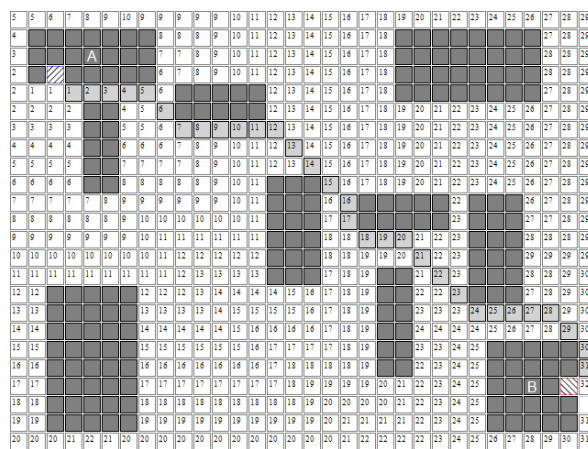


Рис. 2. Траектория трассы (клетки серого цвета)

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты численных экспериментов, проведенные с использованием расчетной программы, составленной в соответствии с применяемой в данной статье модификацией волнового алгоритма (окрестностей Мура), показали хорошую сходимость при достаточно сложном расположении препятствий и объектов, которые должны быть соединены кабельной трассой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Абаев Р. К. Об оптимизации план-трасс каналов связи автоматизированных систем управления / Р. К. Абаев, Х. К. Албегов, В. А. Дзиов // Технологии техносферной безопасности. 2012. Вып. 4.
- [2] Абаев Р. К. Анализ методик оптимизации маршрутов прокладки кабельных трасс при проектировании распределенной системы управления // VIII Всероссийская научн.-технич. конф.: сборник статей. Пенза, 2008. 277 с.
- [3] Абрайтис Л. Б. Автоматизация проектирования топологии цифровых интегральных микросхем. М.: Радио и связь, 1985. 200 с.
- [4] Егоров С. Я. Разработка алгоритмов трассировки технологических соединений с использованием микропроцессоров / С. Я. Егоров, И.С. Фурсов, С. Ю. Бойков, П. В. Плехов, С. В. Абрамов // Вестник ТГТУ. 2012. Т. 18. № 3. С. 583 – 587. Transactions NSNU.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННОГО МЕХАНИЗМА

И. И. Малахов¹, Е. И. Моренко¹, К. А. Лузарев¹, М. А. Семиколенов¹

Омский государственный технический университет

Аннотация – В статье рассматривается модельно-ориентированный подход, основанный на проектировании 3D-модели механической модели в САПР SolidWorks с последующим составлением кинематической модели в среде Matlab Simulink. Построена и исследована кинематическая модель кривошипно-ползунного механизма.

Ключевые слова – Кривошипно-ползунный механизм, кинематический анализ, моделирование, расчет.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в кузнечнопрессовом оборудовании широко применяются рычажные механизмы, которые состоят из жестких звеньев, соединенных между собой кинематическими парами, преимущественно V класса. В частности, в оборудовании, содержащем гидравлические или пневматические устройства широко используются кривошипно-ползунные механизмы. Кинематический анализ механизмов данного типа, обычно проводят на основе графических методов, для оценки нагрузки на механизм [1]. Считается, что этот метод нагляден, но достаточно трудоемок и поэтому применимы для определения кинематических характеристик лишь при ограниченном количестве положений ведущего звена. Впрочем, основным недостатком данного метода является погрешность результатов за счет неточности измерений линейных размеров и динамических характеристик (при определении скоростей и, особенно, ускорений). Современная инженерная и конструкторская практика позволяет значительно облегчить многие этапы опытно-конструкторской деятельности путем широкого применения компьютерного моделирования в среде специализированных пакетов прикладных программ. В России распространено использование библиотеки SimMechanics, входящей в состав системы математического моделирования Matlab Simulink. SimMechanics – это библиотека пакета Simulink математической среды MATLAB, которая служит для моделирования механического движения твердых тел. Главное ее назначение – это моделирование пространственных движений твердотельных механизмов и машин на этапе инженерного проектирования, применяя законы теоретической механики.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На основе кинематической схемы необходимо провести кинематический анализ механизма. Путём разработки кинематической модели кривошипно-ползунного механизма в среде Matlab. Результатом данного метода должны получиться характеристики перемещения, скорости и ускорения от времени.

III. ТЕОРИЯ

Рассмотрим основной графический метод кинематического анализа кривошипно-ползунного механизма.

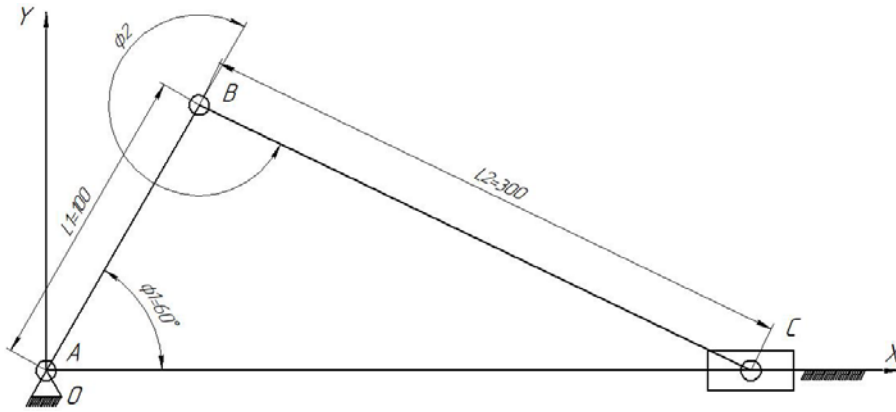


Рис. 1. Схема кривошипно-ползунного механизма

На Рис. 1 можно видеть замкнутый векторный контур OABCO, и определить по нему положение, скорость и ускорение ползуна с помощью метода замкнутых векторных контуров. Составим векторное уравнение, сохраняя единообразие отсчета углов, формирующих положение отсчета углов [2].

Найдем положение ползуна:

$$\vec{L1} + \vec{L2} = \vec{Xc} \quad (1)$$

Спроецируем на координатные оси X и Y:

$$\begin{cases} L1 \times \cos(\Phi1) + L2 \times \cos(\Phi2) = Xc; \\ L1 \times \sin(\Phi1) - L2 \times \sin(\Phi2) = 0; \end{cases} \quad (2-3)$$

Определим функции положения $Xc(\Phi1)$ и шатуна $\Phi2(\Phi1)$. Из (3) получаем: $\sin(\Phi1) = \frac{L2 \times \sin(\Phi2)}{L1}$, откуда $\Phi2 = \arcsin\left(\frac{L2 \times \sin(\Phi2)}{L1}\right)$, следовательно $Xc = L1 \times \cos(\Phi1) + L2 \times \cos\left(\arcsin\left(\frac{L2 \times \sin(\Phi2)}{L1}\right)\right)$

Для того чтобы определить скорость ползуна необходимо продифференцировать уравнение (2) и (3):

$$\begin{cases} -L1 \times \sin(\Phi1) - L2 \times \sin(\Phi2) \times \frac{d\Phi2}{d\Phi1} = \frac{dXc}{d\Phi1}; \\ L1 \times \cos(\Phi1) - L2 \times \sin(\Phi2) \times \frac{d\Phi2}{d\Phi1} = 0; \end{cases} \quad (4-5)$$

Для определения ускорений шатуна и ползуна продифференцируем уравнения (4) и (5) по $d\Phi1$.

$$\begin{cases} -L1 \times \cos(\Phi1) - L2 \times \cos\left(\frac{d\Phi2}{d\Phi1}\right)^2 - L2 \times \sin\left(\frac{d^2\Phi2}{d\Phi1^2}\right) = \frac{d^2Xc}{d\Phi1^2} \\ L1 \times \sin(\Phi1) + L2 \times \sin\left(\frac{d\Phi2}{d\Phi1}\right)^2 - L2 \times \cos\left(\frac{d^2\Phi2}{d\Phi1^2}\right) = 0 \end{cases} \quad (6-7)$$

Анализируя полученные уравнения, можно сделать вывод, что кинематический анализ данного механизма методом замкнутых векторных контуров является очень трудоемким и требует определенных навыков. Альтернативным методом является моделирование механизма с помощью специального программного обеспечения, такого как система Matlab с дополнительными пакетами Simulink и SimMechanics, которая имеет простую интеграцию с CAD-системами.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для моделирования кривошипно-ползунного механизма в математической среде Matlab была создана трехмерная модель механизма в CAD системе SolidWorks [3], которая представлена на Рис. 2. Модель включает в себя 4 тела с 7 наложенными ограничениями (3 концентричности и 4 совпадения).

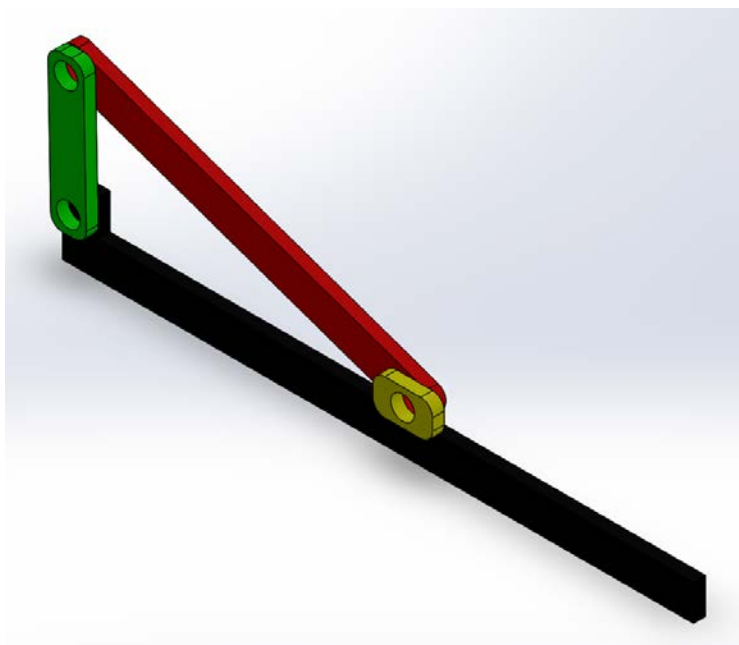


Рис. 2. Трехмерная модель механизма

После создания модели, на ее основе была создана кинематическая модель в MatlabSimulink. В процессе проектирования геометрической 3D-модели в кинематическую модель осуществляется преобразование сопряжений между геометрическими деталями в степени свободы между телами. Полученную кинематическую модель необходимо доработать в соответствии с поставленной задачей исследования в части реализации управляющего воздействия, обеспечивая взаимодействие между телами, регистрируя результаты моделирования.

После проектирования основных кинематических звеньев 3D-модели в среде MatlabSimulink получена кинематическая модель Рис. 4, состоящая стандартных блоков библиотеки SimMechanics и Simulink [4], а именно:

- Machine Environment – блок задающий внешние условия, действующие на механизм, такие как ускорение свободного падения;
- Ground – блок представляющий собой неподвижное основание, жестко связанное с абсолютной инерциальной системой координат Земли. Этот блок необходим для задания неподвижных точек механизма относительно глобальной системы координат;
- Revolute – блоки, реализующие вращательные кинематические пары 5-го класса;
- Prismatic – блоки, реализующие поступательные кинематические пары 5-го класса;
- Weld – блок представляющий собой соединение без степеней свободы;
- Joint Actuator – блоки, задающие движение одного звена относительно другого;
- Joint Sensor – блоки для измерения характеристик движения;

- Body – блоки, реализующие звенья механизма, движение которых моделируется.

Данная модель состоит из 5 блоков данного типа:

- Root part – блок описывает корневую часть а именно звено О которое соединено с блоком Ground и блоком Body Ground;
- Body Ground моделирует неподвижную часть механизма, данный блок соединяется с блоком Body L1 посредством блока Revolute (к данному блоку подключено управляющие воздействие, которое реализовано с помощью блока Constant, а именно постоянная скорость с которой будет вращаться звено А вокруг своей оси) реализующим вращательную кинематическую пару, и блоком Body Piston посредством блока Planar1 реализующим совместную вращательную и поступательную кинематическую пару;
- Body L1 моделирует звено АВ, данный блок соединен с блоком Body L2 блоком Revolute реализующий вращательную кинематическую пару;
- Body L2 описывает звено ВС, данный блок связан с блоком Body Piston посредством блока Revolute;
- BodySensor – блоки служащие для получения различных параметров характерных точек тела.

При запуске процесса расчета SimMechanics автоматически преобразует структурное изображение механизма во внутреннюю, эквивалентную математическую модель Рис. 3.

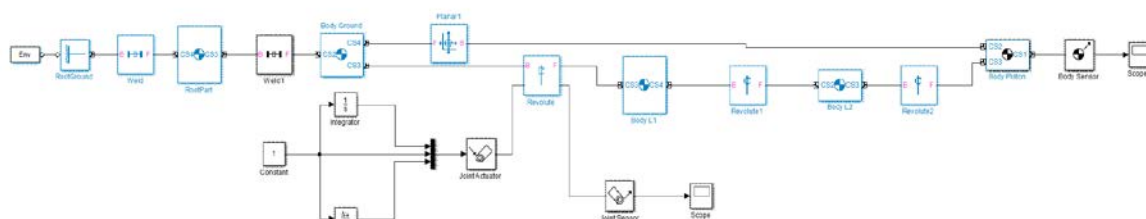


Рис. 3. Математическая модель механизма в Matlab Simulink

После окончания процесса расчета, используя сохраненные данные, строятся диаграммы перемещения, скорости и ускорения ползуна С в зависимости от угла поворота кривошипа Рис. 4.

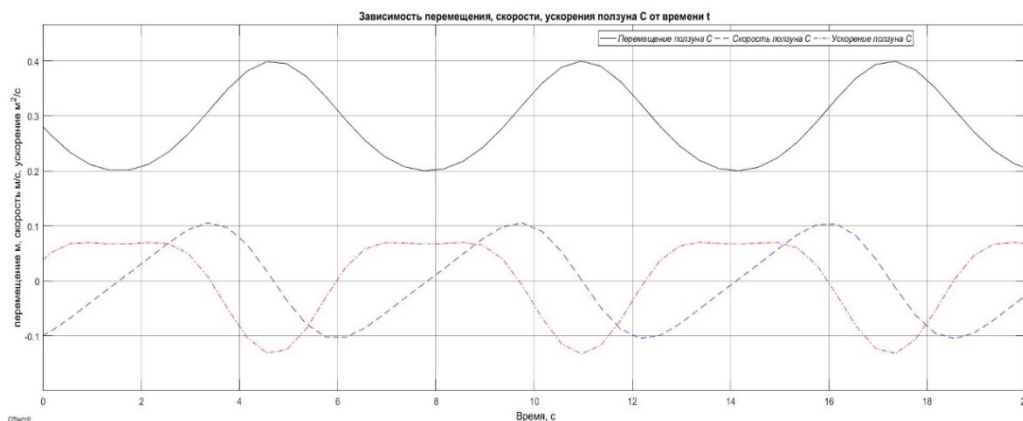


Рис. 4. Диаграмма перемещения, скорости, ускорения ползуна С

Также возможно визуализировать движение механизма в процессе расчета осуществляется встроенными инструментальными средствами визуального наблюдения SimMechanics Рис. 5.

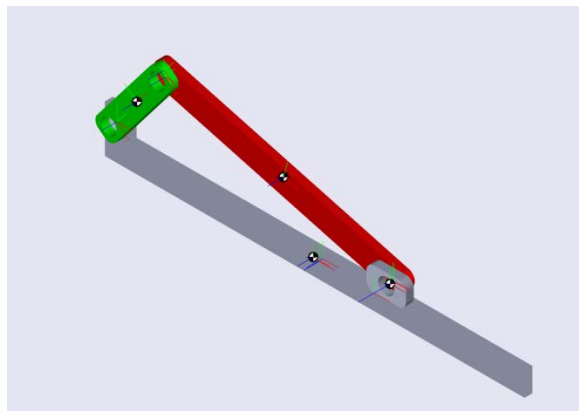


Рис. 5. Визуализация движения кривошипно-ползунного механизма

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате данного эксперимента были получены графики зависимости перемещения, скорости и ускорения от времени. Данный подход модельно-ориентированного проектирования механизмов в CAD-системе SolidWorks с последующим созданием кинематической модели оказался работоспособным и может быть рекомендован к исследованию механизмов данного типа.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью пакета MatlabSimulink можно моделировать и исследовать движение рабочего органа механизма при возможном изменении положения исполнительного звена. Также стоит отметить, что использование пакета прикладных программ MATLAB при разработке компьютерных моделей кинематики исследуемых механизмов в значительной степени сокращает время проведения расчетов и облегчает труд конструкторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Теория механизмов и механика машин: учеб. для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.: под ред. К.В. Фролова. М.: Высш. шк., 1998. 496 с.
- [2] Каримов И. Ш. Теория машин и механизмов. Лекция 3. Кинематический анализ механизмов. URL: <http://www.teormach.ru/lect3.htm>
- [3] Руководство для учащихся по изучению программного обеспечения SolidWorks®. URL: https://www.solidworks.com/sw/docs/student_wb_2011_rus.pdf
- [4] Черных И.В. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем. URL: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/>

Секция 4.

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 621.313.33

КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Г. С. Нурмаганбетова¹

¹*Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда*

Аннотация – Рассмотрена система косвенной температурной защиты асинхронного электродвигателя. Предложен метод наложения синусоидальных сигналов на фазные напряжения. Рассмотрен метод определения сопротивления и температуры обмоток асинхронных электродвигателей.

Ключевые слова – асинхронный, электродвигатель, защита, температура, статор.

I. ВВЕДЕНИЕ

Асинхронный электродвигатель (АД) с короткозамкнутым ротором является наиболее распространенным типом электрической машины. В силу ряда своих достоинств АД в настоящее время составляют около 80% всего парка электродвигателей электропривода. Кроме того, на практике наблюдается сравнительно высокий процент их выхода из строя, основной причиной является разрушение изоляции из-за перегрева [1].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Тепловая защита обмотки статора АД опирается в первую очередь на измерение или определение температуры обмотки. Достоверность и своевременность полученной системой защиты информации о температуре соответствующих элементов и узлов двигателя – это ключевой фактор предотвращения повреждений изоляции из-за перегрева для продления срока ее службы [2].

Существуют различные виды защиты электродвигателей. В настоящее время известны устройства защиты от превышения температуры статорных обмоток асинхронного электродвигателя. Реализация этих устройств заключается непосредственно в измерении температуры обмоток статора с помощью специального датчика температуры либо с использованием температурной токовой защиты на базе биметаллической пластины [3].

В таких устройствах используются датчики непосредственного измерения температуры, встроенные в корпус двигателя и требующие дополнительного информационного кабеля, соединяющего датчик со шкафом управления. Кроме того, встроенные датчики температуры применяются только во вновь выпускаемых АД.

Интерес представляют бездатчиковые методы, в основе которых лежит использование косвенного определения температуры посредством измерения активного сопротивления обмотки статора.

Известен способ определения активного сопротивления статора АД с введением постоянной составляющей в фазные напряжения. В этом случае по обмоткам одновременно с переменным током протекает измерительный постоянный ток гораздо меньшей величины (порядка 2–5% от номинального), чтобы не вызвать дополнительного повышения температуры обмотки и насыщения магнитопровода [4].

Недостатком данного способа является отрицательное влияние на режимы работы АД, которое меняет его характеристики намагничивания.

Для исключения указанных недостатков предлагается другой принцип температурной защиты АД.

III. ТЕОРИЯ

Для определения сопротивления статора предложен метод наложения синусоидального сигнала с амплитудой 0.02...0,05 от напряжения питания статорной обмотки и частотой 1000 Гц. Математическое выражение, описывающее синусоидальное напряжение, имеет вид:

$$U = U_1 \sin[w_1 t + \theta_1] + (U_0 + U_2 \sin[w_2 t + \theta_2])$$

где

U_1 – амплитудные значения напряжения питания, [A];

U_2 – амплитудные значения наложенного сигнала, [A];

U_0 – постоянная составляющая [B];

w_1 – частота сети, [Гц];

w_2 – частота модуляции, [Гц];

T – период, [с];

θ_1, θ_2 – начальная фаза напряжения [рад].

На фазу U_{SA} подается модулированный высокочастотный синусоидальный сигнал. В этой фазе измеряется стандартным датчиком ток, а задающее напряжение накладывается. Высокочастотные сигналы фильтруются и затем подаются на фильтр нижних частот для подавления сетевого напряжения частотой 50 Гц.

Смесь высокочастотного сигнала и сетевого напряжения, в связи с электромагнитной инерционностью статорной обмотки, воспринимается АД как идеальное синусоидальное напряжение.

Соотношение между постоянными составляющими напряжения и тока по закону Ома определяет активное сопротивление обмотки статора:

$$R_s = \frac{U_{dc}}{I_{dc}} \quad (1)$$

где:

R_s – сопротивление статора, [Ом];

U_{dc} – постоянная составляющая напряжения, [B];

I_{dc} – постоянная составляющая тока, измеренная датчиком тока [A].

Зависимость температуры от сопротивления, найденного из уравнения (1):

$$T = \frac{\frac{R_s}{R_0} - 1}{a} \quad (2)$$

где:

R_s – сопротивление статора, [Ом];

R_0 – сопротивление статорных обмоток при температуре 20°C, [Ом];

a – температурный коэффициент сопротивления, [1/K];

T – температура, °C.

Выражение (2) определяет температуру обмотки статора. Полученная погрешность сопротивления определенная по имитационной модели составляет менее 2%.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Имитационные эксперименты выполнялись для АД с номинальной скоростью 1500 об/мин., мощностью 3 кВт для температуры 80 °C. На рис. 1 представлены переходные процессы выделения постоянной составляющей напряжения. При выделении синусоидального напряжения используется постоянная составляющая U_0 .

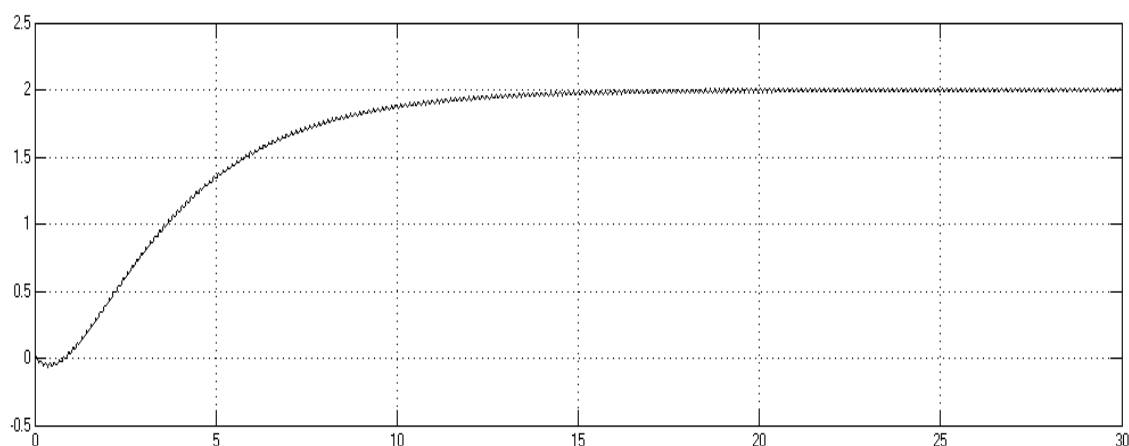


Рис.1. Переходный процесс выделения постоянной составляющей напряжения

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Фильтр нижних частот выбран с частотой среза в районе 0,1 Гц, а процессы нагрева двигателя идут намного медленнее. Температурная постоянная АД в зависимости от мощности и конструктивного исполнения применяется в диапазоне 20...120 мин.

Метод определения активного сопротивления и температуры обмотки статора АД является достаточно точным и может быть использован для температурной защиты АД.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый метод может быть использован не только для температурной защиты, но и для построения защиты от асимметрии фаз. Также данная разработка используется для дистанционного мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гетманенко В. М., Иваница М. А. Устройство для защиты асинхронного электродвигателя // Научный журнал КубГАУ. 2011. № 73(09).
- [2] Воробьев В.И., Космодамианский А.С., Пугачев А.А. Определение сопротивления и температуры обмотки статора асинхронного двигателя по постоянной составляющей тока // Наука и техника транспорта. 2016. № 3.
- [3] Брейдо И.В., Нурмаганбетова Г.С. Косвенная защита статорной обмотки асинхронного электродвигателя от превышения температуры нагрева // Автоматика и информатика. 2013. № 2(33).
- [4] Каширских В.Г., Нестеровский А.В., Гаргаев А.Н., Нурмагамбетова Г.С. Косвенное определение температуры обмоток асинхронного двигателя для создания тепловой защиты // Электротехника. 2016. Вып. № 10. С. 23–27.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕНИЯ В ЛИНЕЙНОМ ПРИВОДЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕКСАПОДОМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ю. А. Жуков¹, М. И. Надежин¹

¹БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Аннотация – Представлена имитационная модель динамики гексапода с линейными приводами на основе шаговых двигателей, реализованная в среде MATLAB® и SIMULINK®. Дано математическое описание составных частей модели: механической части гексапода, электромагнитной части шагового двигателя, модели трения ЛягуГре. Отражены результаты моделирования позиционного управления гексаподом, отмечены особенности модели, перспективы и пути развития имитационной модели гексапода.

Ключевые слова – гексапод, линейный привод, трение ЛягуГре, шаговый двигатель.

I. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа проведена в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 № 218 (ПРОЕКТ 218) в рамках НИОКТР, выполняемой при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (договор от 01.12.2015 г. № 02.G25.31.0160). Работы выполняются в организации Головного исполнителя НИОКТР ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

В БГТУ «ВОЕНМЕХ» и АО «ИСС» им. М.Ф. Решетнева ведется совместная работа по созданию ряда многостепенных механизмов с параллельной кинематикой для обеспечения точного позиционирования и стабилизации бортовых приборов и устройств космического назначения.

Успешное создание подобных систем невозможно без предварительного компьютерного моделирования, позволяющего качественно оценить возникающие в процессе конструирования структурные, функциональные, алгоритмические решения.

Система управления гексаподом должна осуществлять позиционное и контурное управление подвижной платформой, в процессе которого на основании решения обратной задачи кинематики [1] вычисляются задающие воздействия для линейных приводов и по сигналам с датчиков обратной связи минимизируется ошибка управления. Кроме того, система управления должна решать прямую задачу кинематики [1] для оценки текущего положения и ориентации платформы [2].

Управление должно осуществляться с учетом эффектов трения, возникающих в механической передаче винт–гайка. Для анализа трений в механизме используется динамическая модель ЛягуГре [3].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Объектом исследования является цифровая система управления механизмом с параллельной кинематикой с шестью степенями свободы («Гексапод»). Гексапод, изображенный на Рис.1, состоит из неподвижного основания 2 и подвижной платформы 1,

которые механически соединены посредством шести идентичных звеньев – ног (штанг, стоек). Каждая нога представляет собой линейный привод и состоит из двух полуштанг 3 и 4, соединенных с основанием и платформой двухосевыми шарнирами 6 и 5 соответственно. Шаговый двигатель в каждой ноге формирует линейное перемещение полуштанги 3 относительно полуштанги 4. Это движение реализуется за счет механической передачи редуктор-«винт-гайка» в конструкции ноги, преобразующей вращательное движение вала шагового двигателя в линейное (поступательное) движение полуштанги 3.

В конструкции линейного привода с целью увеличения точности позиционирования предусмотрены люфтовыбирающие механизмы, которые являются сильными источниками трений. Для устройства с высокой кинематической точностью необходимо учитывать эти эффекты и их влияние на динамику системы.

Основной целью настоящей работы является разработка имитационной динамической модели системы управления гексаподом с учетом нелинейностей шагового двигателя и потерь на трение в линейных приводах ног, позволяющей оценить влияние параметров составных частей устройства и алгоритмов управления приводами на качество функционирования гексапода.

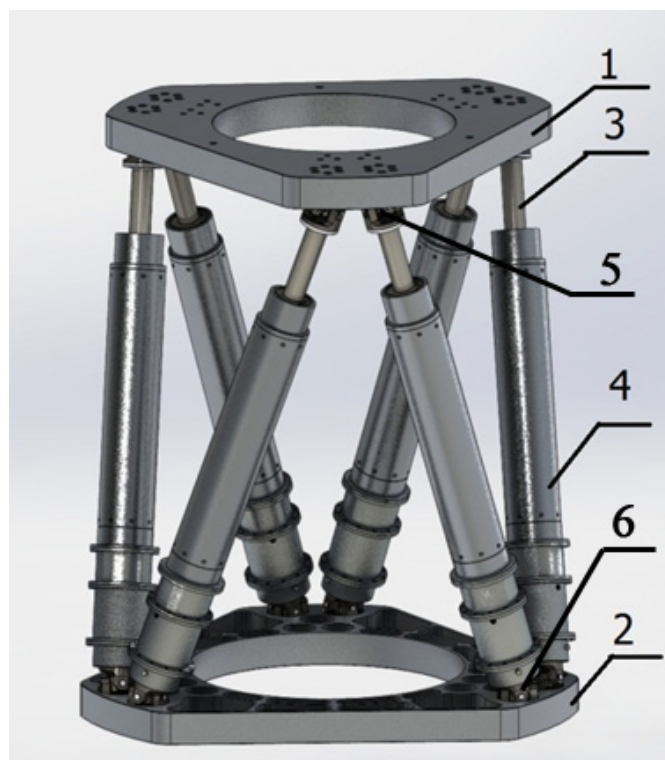


Рис. 1. Эскиз гексапода

III. ТЕОРИЯ

Для высокой точности и дискретности перемещения в линейном приводе применяется гибридный шаговый двигатель. Использование в составе привода датчика положения ротора позволяет решить проблему пропуска шагов.

Математическая модель электромагнитной части двухфазного ШД описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} L\dot{I}_a = U_a - I_a R + \omega K_m \sin(p\theta) \\ L\dot{I}_b = U_b - I_b R - \omega K_m \cos(p\theta) \\ T_e = -K_m I_a \sin(p\theta) + K_m I_b \cos(p\theta) - T_{dm} \sin(2p\theta) \end{cases},$$

где I_a, I_b – токи в обмотках статора, U_a, U_b – напряжения питания на обмотках статора, R – сопротивление обмотки статора, L – индуктивность обмотки статора, K_m – постоянная момента, создаваемая магнитом, p – число пар полюсов, θ – угловое положение вала двигателя, ω – скорость вращения вала двигателя, T_{dm} – остаточный электромагнитный тормозящий момент двигателя, T_e – создаваемый электродвигателем выходной электромагнитный момент на валу.

Достаточно полно смоделировать эффект трения в линейном приводе возможно благодаря динамическим моделям трения. В [4] проводится их сравнительный анализ и экспериментальные исследования. Среди исследователей и разработчиков мехатронных систем наибольшую популярность получила модель ЛуГре, описываемая системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} F &= \sigma_0 z + \sigma_1 \frac{dz}{dt} + \sigma_2 v \\ \frac{dz}{dt} &= v - \frac{|v|}{g(v)} z \\ \sigma_0 g(v) &= F_C + (F_S - F_C) e^{-\left(\frac{v}{v_S}\right)^2}, \end{aligned}$$

где F – сила трения, v – скорость между двумя соприкасающимися поверхностями, z – переменная, характеризующая отклонение микронеровностей, расположенных между соприкасающимися поверхностями, σ_0 – коэффициент упругой жесткости, характеризующий пружиноподобное поведение системы с трением для малых смещений, σ_1 – коэффициент диссипации/демпфирования, σ_2 – коэффициент вязкого трения для высоких скоростей, F_C – уровень Кулонова трения, F_S – уровень статического трения (сила отрыва), v_S – параметр, называемый скоростью Штрибека и характеризующий скорость перехода от статического трения к Кулонову трению, функция $g(v)$ учитывает эффект прилипания и эффект Штрибека.

На Рис. 2 представлена схема трения ЛуГре.

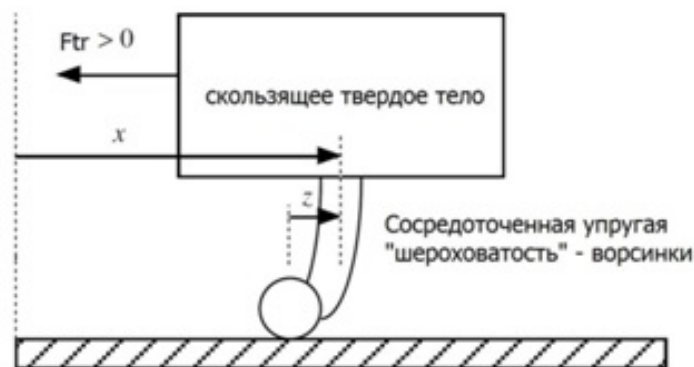


Рис. 2. Схема трения ЛуГре

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В среде MATLAB® и SIMULINK® разработана имитационная модель гексапода (Рис.3). К основанию Base, неподвижно закрепленному блоками Ground и Weld, и платформе Plate присоединяются ноги (Leg1...Leg6). Блок Body Sensor является элементом информационной системы и фиксирует положение платформы. Блок Machine Environment определяет параметры симуляции (вектор гравитации, режим анализа, линеаризацию, визуализацию, допустимые отклонения при расчетах).

Управление гексаподом осуществляется следующим образом: задается требуемое положение и ориентация платформы, по которому вычисляются необходимые изменения длин ног, а далее рассчитывается необходимый угол поворота для каждого двигателя. Таким образом, управление гексаподом реализуется посредством раздельного управления каждым приводом в цифровой следящей системе.

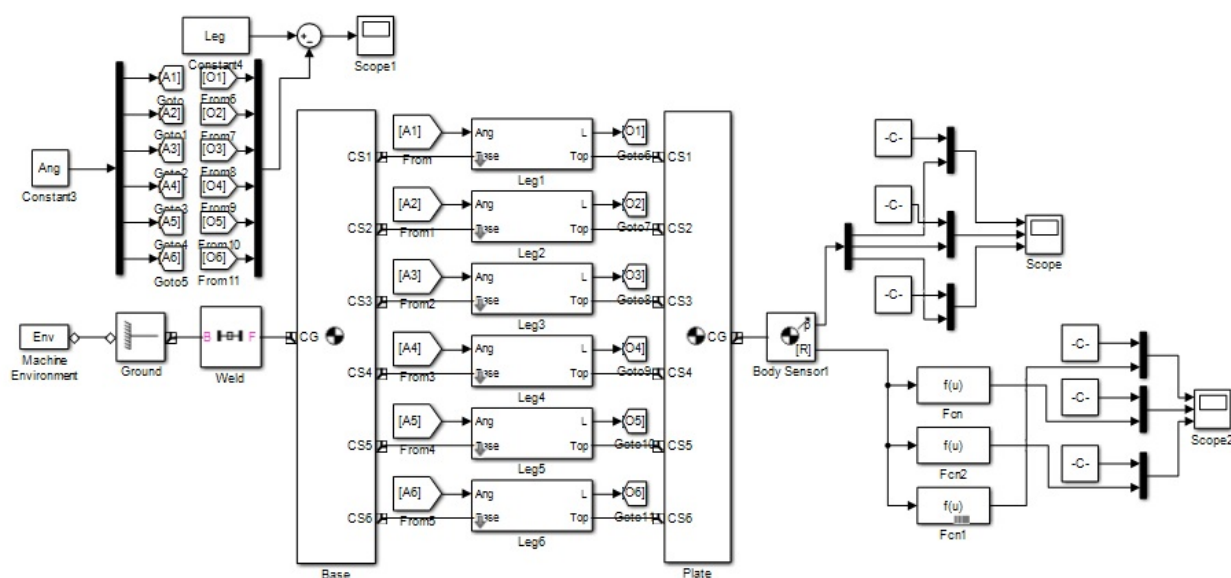


Рис. 3. Имитационная модель гексапода

На Рис. 4 представлена модель ноги гексапода, включающая в себя модели шагового привода и трения Лунге, реализованные по их математическим моделям.

Модель шагового двигателя состоит из двух подсистем: «Обмотки» (Рис.5) и «ЭМ» (Рис.6).

Блок «Обмотки» (Рис.5) имитирует обмотки электродвигателя. В блок приходит напряжение питания, значения текущего противо-ЭДС, потокосцепления, формируемого зубцами статора и угла. Далее происходит поэтапное преобразование напряжения в фазные токи и дальнейший их переход в электромагнитный момент, который через редуктор поступает на гайку.

В блоке «ЭМ» (Рис.6) происходит распределение управления по фазам, формируется ЭДС и считается значение по шагам электродвигателя на основании углов, положения и частоты вращения.

Регулятор реализован с помощью блока s-function. На вход блока приходит текущее значение ошибки обработки задающего сигнала, в соответствии с которым происходит формирование управляющих напряжений для фаз электродвигателя. Блок использует скрипт sfun.m, в котором написан алгоритм управления электродвигателем.

Квантователи имитируют цифровое преобразование задающего сигнала и обратной связи. Шаг квантования равен одному шагу двигателя и меняется в зависимости от вида управления (для полношагового управления шаг = $2\pi/(200 \cdot i_p) = 0.000628$ рад).

Механическая часть ноги была составлена с использованием библиотеки SimMechanics.

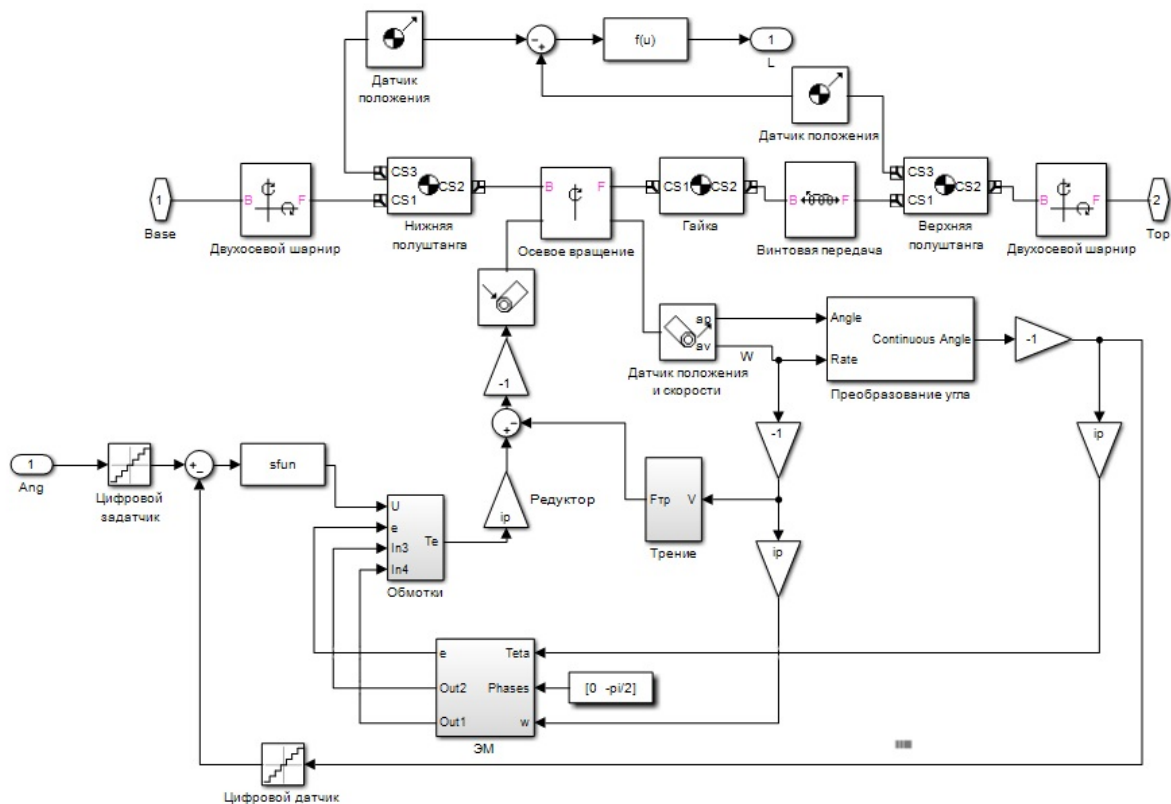


Рис. 4. Имитационная модель ноги гексапода

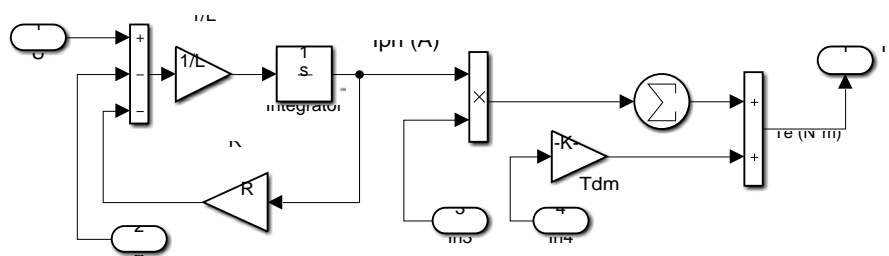


Рис. 5. Устройство блока Обмотки

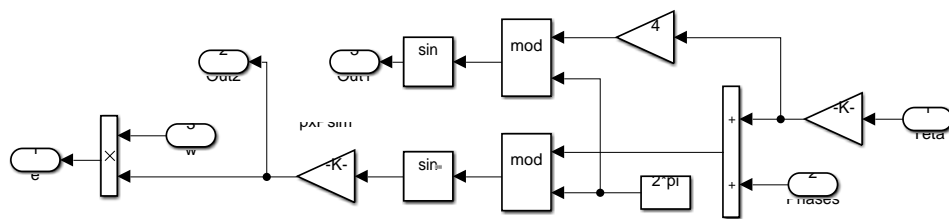


Рис. 6. Устройство блока ЭМ

В подсистеме «Трение» реализована модель ЛуГре (Рис.7). На вход блока поступает скорость вращения гайки, на выходе – сила трения, возникающая между гайкой и винтом.

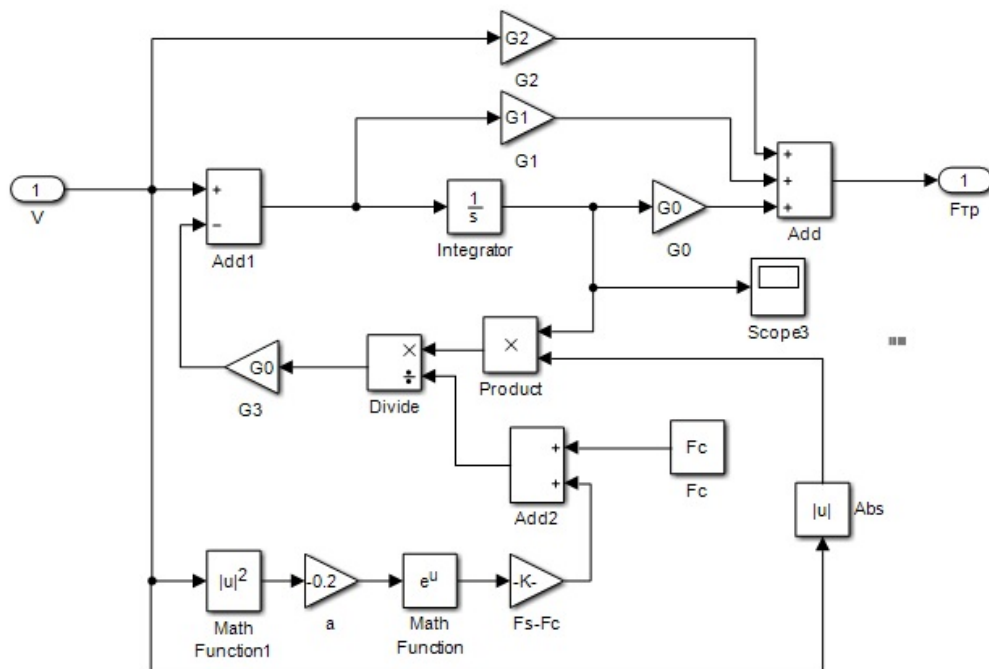


Рис. 8. Подсистема, реализующая трение ЛуГре.

Привод развивает усилие 50 Н, исходя из этого, выберем $F_S = 10 \text{ Н}$ и $F_C = 5 \text{ Н}$.

С точки зрения высокоточного управления приводом необходимо, чтобы отклонение щетинок, расположенных между соприкасающимися поверхностями, было меньше, чем необходимая точность позиционирования. Например, если необходима микронная точность позиционирования линейного привода, тогда отклонение щетинок должно быть порядка 10^{-7} м, поэтому выберем коэффициенты:

$$\sigma_0 = 1 \cdot 10^7 \text{ Н/м}, \sigma_0 = 0, \sigma_0 = 10 \text{ Н*сек/м}, v_s = 2500 \text{ м/сек}.$$

С целью проверки работоспособности модели ноги гексапода было проведено моделирование процесса отработки гайкой заданного положения (Рис.9). Управление двигателем микрошаговое с дроблением шага 1/8. Ошибка управления – $1,881 \cdot 10^{-5}$ рад.

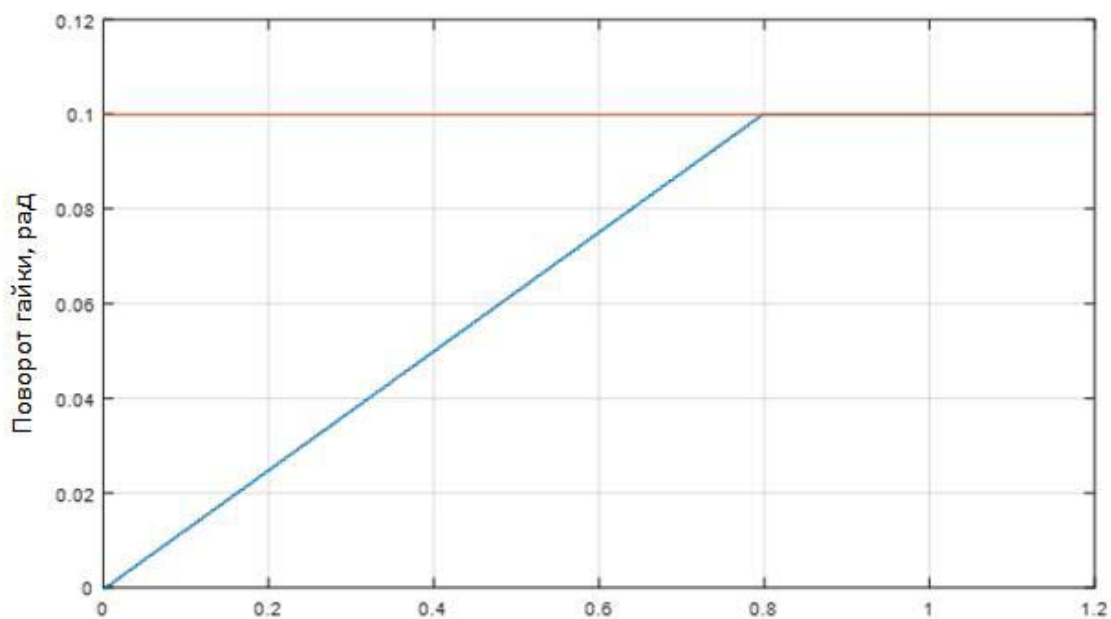


Рис. 9 – График отработки гайкой требуемого положения

Как видно из Рис.9 гайка отрабатывает требуемое положение с учетом эффектов трения в передаче винт–гайка, следовательно, модель составлена верно, а коэффициенты подобраны корректно.

Следующим этапом является исследование модели всего механизма. Анализируется гексапод со следующими параметрами механики: начальная высота $h=0.4$ м, диаметр основания 0.4 м, диаметр платформы – 0.3 м, расстояние между точками крепления смежных шарниров в основании и платформы – 0.05 м, масса платформы с инерционной нагрузкой – 100 кг, главные моменты инерции платформы $J_{xx}=4900$ кг*м², $J_{yy}=4900$ кг*м², $J_{zz}=6300$ кг*м². Массоинерционные параметры полуштанг вычисляются из представления их цилиндрами, зная плотность материала и размеры полуштанг.

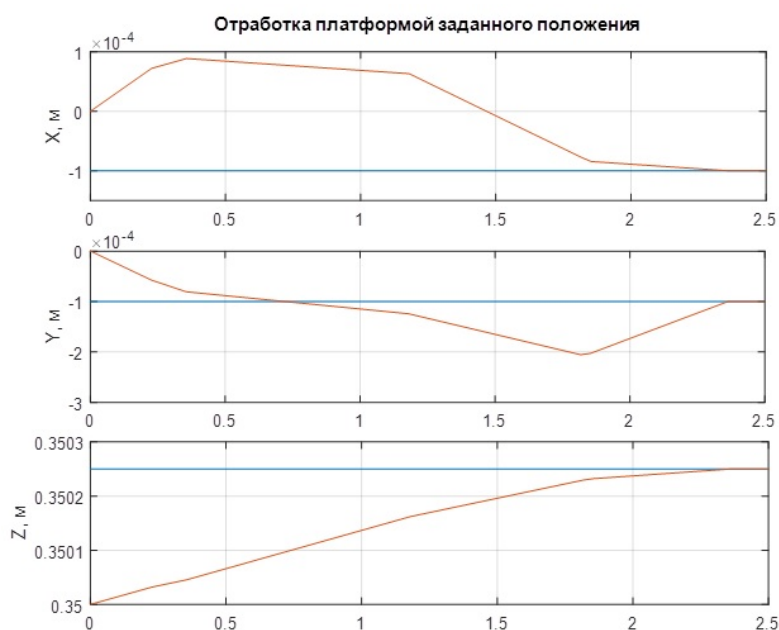


Рис. 9. График отработки положения платформой гексапода

Шаговый двигатель с параметрами по паспортным данным модели FL57STH56: $p=50$, $R=1.8 \text{ Ом}$, $L=0.0025 \text{ Гн}$, $K_m=0.5 \text{ Нм/А}$, $U=30 \text{ В}$, $T_{dm}=0.05 \text{ Нм}$. Коэффициент передачи редуктора с винтовой парой – $K_w=1.57 \cdot 10^5 \text{ рад/м}$.

Передаточное число редуктора $i_p = 50$.

На Рис.8 представлен график отработки платформой заданного положения. Управление двигателями микрошаговое с дроблением шага $1/8$.

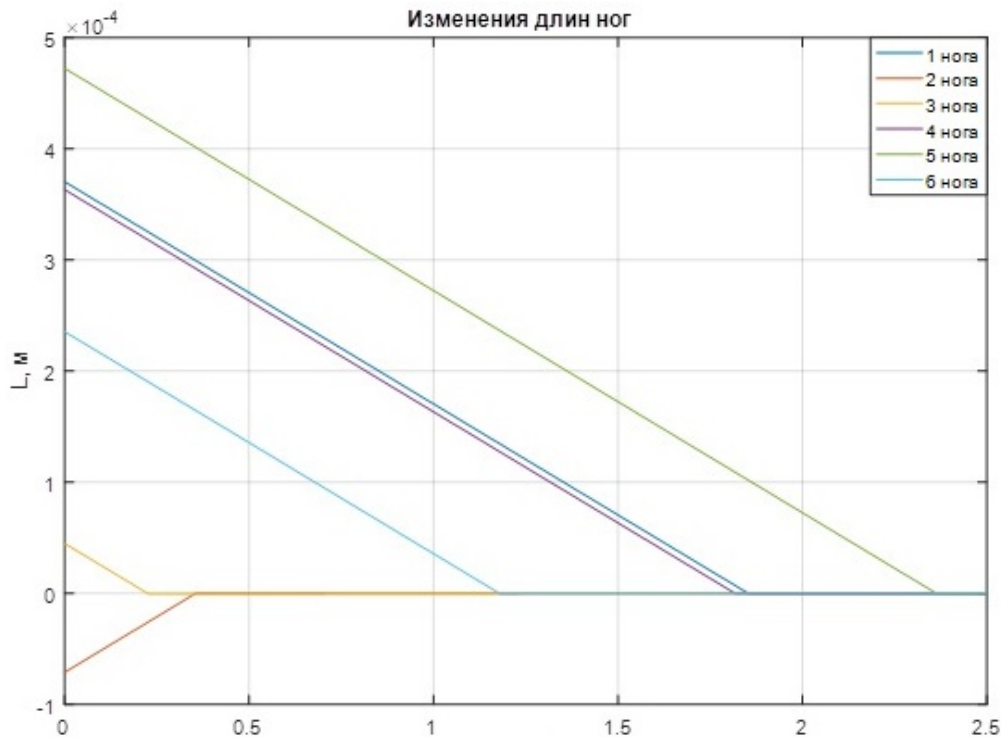


Рис. 10. График изменения длин ног гексапода

По графикам можно сделать вывод о полной работоспособности модели.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты моделирования отражают корректность разработанных имитационных моделей. В ходе исследований найдены параметры модели трений ЛуГре. Система управления решает задачу точного позиционирования и ориентации платформы в микрошаговом режиме регулирования шаговыми приводами. Погрешность позиционирования и ориентации не выходит за допустимые пределы.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана имитационная модель гексапода с цифровой системой управления, в которую были интегрированы модели шагового привода и трения ЛуГре. По результатам исследований модель оказалась полностью работоспособна и позволяет оценить режимы управления шаговыми линейными приводами, влияние конструктивных параметров, инерционной нагрузки и нелинейных сил трения на качество переходных процессов.

В перспективе планируется провести идентификацию параметров модели трения по данным испытаний линейного привода на специальном испытательном стенде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гавриленко В.А., Жуков Ю.А., Мороз А.В. Реализация задач кинематики на микропроцессоре ARM-архитектуры для мехатронных систем управления гексаподом // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №8. С. 92–98.
- [2] Жуков Ю.А., Коротков Е.Б., Мороз А.В. Имитационная модель цифровой системы управления гексаподом с линейными приводами на базе шаговых двигателей// Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 7. С. 35–42.
- [3] Karl Johan °Aström, Carlos Canudas de Wit. Revisiting the LuGre friction model. IEEE Control Systems Magazine, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008, 28 (6), pp.101-114.
- [4] Захаров Ю.А. Анализ динамики гироскопов в карданных подвесах с учетом эффекта предварительного смещения в трении: дис. к. техн. н. СГТУ, Саратов 2010.

НЕЧЕТКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В АСУТП ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Р. Ю. Сухарев¹, Е. И. Пастухова²

¹Сибирская государственный автомобильно-дорожный университет

²Омский государственный технический университет

Аннотация – В статье рассматриваются вопросы нечеткого регулирования (регулирование на основе методов теории нечетких множеств). Проведен анализ результатов регулирования давления и уровня нестабильного дизельного топлива в сепараторе гидроочистки с помощью нечеткой логики и ПИД-регулятором.

Ключевые слова – АСУТП, нечеткое регулирование, регулятор, технологический процесс, структурная схема, контур регулирования, нефтепродукт, гидроочистка топлива.

I. ВВЕДЕНИЕ

Гидроочистка нефтяных фракций является одним из наиболее широко распространенных и важных процессов как для получения базовых компонентов для компаундирования моторных топлив, так и в качестве предварительной стадии подготовки сырья для последующих процессов облагораживания нефтяных фракций. Процесс гидроочистки проводится на Со-Мо- или Ni-Мо-катализаторе в присутствии водорода. В зависимости от качества перерабатываемых фракций и требований к качественным показателям получаемой продукции процесс гидроочистки может проводиться на стационарном слое катализатора, в одном или двух реакторах, в интервале давлений 1,8...5,5 МПа и в интервале температур от 280 до 390 оС. Показателем эффективности процесса является степень очистки сырья от серо- и азотосодержащих соединений [2,6].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одним из важных параметров, который необходимо регулировать – это уровень нестабильного дизельного топлива в сепараторе гидроочистки с помощью регулирующих клапанов, находящихся на трубопроводах, по которым нестабильное дизельное топливо поступает в колонну. При снижении уровня может произойти попадание водородосодержащего газа в систему низкого давления, а при увеличении – переполнение сепараторов, попадание дизельного топлива с систему очистки газов. Так же для безопасности ведения процесса и обеспечения четкости разделения газопродуктовой смеси нужно держать под контролем и сигнализировать давление [3].

III. ТЕОРИЯ

Контур регулирования давления и уровня нестабильного дизельного топлива в сепараторе гидроочистки показаны на рис. 1.

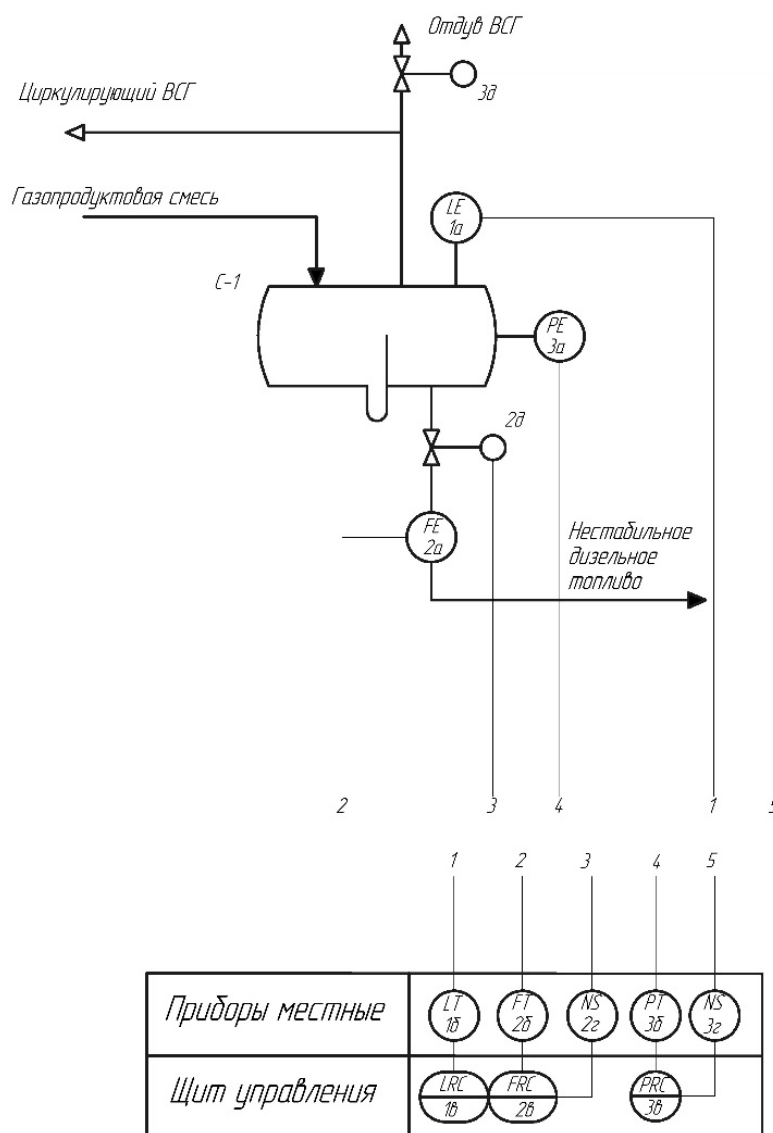


Рис. 1. Контур регулирования давления и уровня нестабильного дизельного топлива в сепараторе гидроочистки

В сепараторе гидроочистки С-1 газопродуктовая смесь разделяется на циркулирующий ВСГ, нестабильное дизельное топливо и кислую воду. Давление в сепараторе С-1 регулируется выводом части ВСГ (отдува) на системы реакторного блока гидроочистки. Отдуваемый ВСГ направляется на очистку от сероводорода вместе с углеводородным газом отпарки в абсорбер К-2 [5].

На основе контуров регулирования давления и уровня нестабильного дизельного топлива в сепараторе гидроочистки, указанном на рис. 1, была составлена структурная блок-схема контуров регулирования (рис. 2) [7].

В структурную схему контура контроля температуры сырьевой смеси входят (рис. 2): ЗУ – задатчик уровня; У – уровень; АР1 – автоматический регулятор; ИМ1 – исполнительный механизм; РО1 – регулируемый орган; ТОУ1 – технологический объект управления; ДУ – датчик уровня; ДР – датчик расхода; f – помеха; ЗД – задатчик давления; АР2 – автоматический регулятор; ИМ2 – исполнительный механизм; РО2 – регулируемый орган; ТОУ2 – технологический объект управления; ДД – датчик давления.

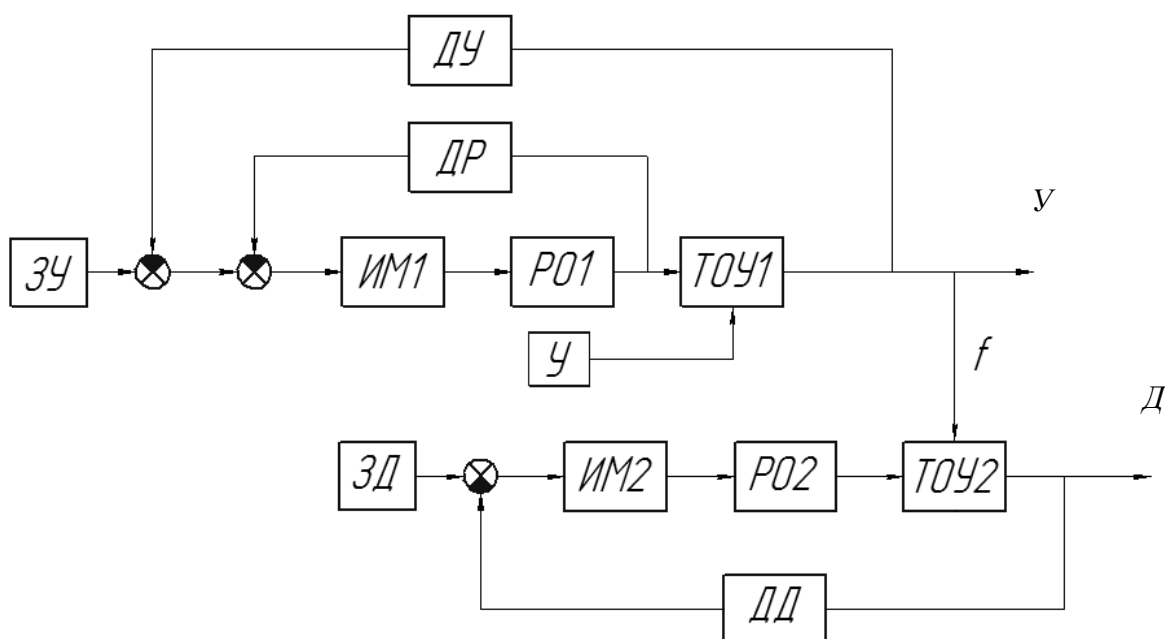


Рис. 2. Схема структурная контуров регулирования давления и уровня нестабильного дизельного топлива в сепараторе гидроочистке

Наиболее распространенным и используемым на сегодняшний день способом эффективного регулирования технологических параметров является использование ПИД-регуляторов. Однако развитие промышленных контроллеров дает возможность использовать более сложные и эффективные алгоритмы для управления технологическими процессами.

Нечеткое регулирование (регулирование на основе методов теории нечетких множеств) используется при недостаточных знаниях об объекте управления, но с учетом того, что имеется опыта управления, в нелинейных системах, со слишком сложной идентификацией, и в случаях, когда необходимо использовать знания эксперта по условию поставленной задачи. [4]

Так как полученная от оператора информация, выражена в словесной форме, для того, чтобы ее применять, в регуляторах используют лингвистические переменные и аппарат теории нечетких множеств, разработанный в 1965 году Л. Заде. Главные аспекты данной теории: если в теории четких множеств элемент либо может принадлежать множеству, либо не ему принадлежать, то в теории нечетких множеств применяется понятие функции принадлежности, характеризующая степень принадлежности данного элемента множеству. Функцию принадлежности можно приблизительно определить как вероятность того, что данный элемент принадлежит множеству [8].

Процесс обработки нечеткой логики состоит из трех частей [8] (рис. 3):

- Утверждение (фаззификация) (также известное, как предположение или условие) является комбинацией предположений и операторов AND, OR, NOT.
- Нечеткий логический вывод представляет собой упрощение более общего механизма, который базируется на “нечетком выводе” и обобщенном правиле дедукции.
- Результат (дефаззификация) нечеткого правила представляет собой комбинацию предложений объединенных операторами AND.

Инструкция “OR” не используется при формировании предложений результата, потому что она вносит неоднозначность в правило. Отрицание также не применяется предложений результата поскольку это представляет собой еще один вариант неопределенности [8].

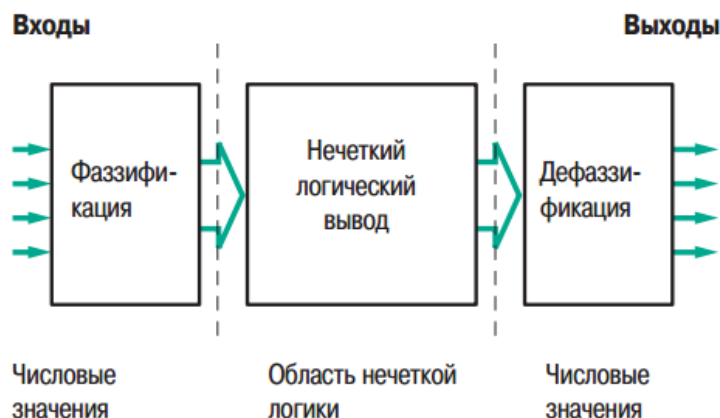


Рис. 3. Процесс обработки нечеткой логики

Для записи комбинаций логических понятий нечеткой логикой применяются стандартные логические операторы AND, OR и NOT. Степень истинности предположения A записывается как $\mu(A)$ [1].

Логическим оператором пересечения множеств является оператор AND. Степенью истинности предположения “A AND B” является минимум из степеней истинности A и B [4]:

$$\mu(A \text{ AND } B) = \text{MIN}(\mu(A), \mu(B)). \quad (1)$$

Логическим оператором объединения множеств является оператор OR. Степенью истинности предположения “A OR B” является максимум из степеней истинности предположений A и B [4]:

$$\mu(A \text{ OR } B) = \text{MAX}(\mu(A), \mu(B)). \quad (2)$$

Логический оператор отрицания обозначается NOT [20].

$$\mu(\text{NOT } A) = 1 - \mu(A). \quad (3)$$

Целью базовых правил нечеткой логики является формализация и применение человеческого умозаключения. Таким образом, нечеткая логика является частью искусственного интеллекта. Базы правил нечеткой логики являются наиболее часто используемым инструментом в приложениях с нечеткой логикой. Базы правил нечеткой логики представляют собой набор правил, которые обычно используются параллельно, но в некоторых приложениях могут быть объединены [8].

Применяются правила типа: IF «утверждение» THEN «результат» [4].

База правил в нечеткой логике, формируется на базе знаний, построенной на основе опыта человека [4].

Для применения контроллера, основанного на нечеткой логике, необходимо для начала описать входные значения для контроллера (переменные), выходное конечное значение и составить базу правил.

Процесс настройки нечеткого регулятора

Настройка будет проводиться с помощью Fuzzy Logic Controller и рабочего поля FIS Editor (рис. 4). В FIS Editor выбирается количество входных и выходных переменных.

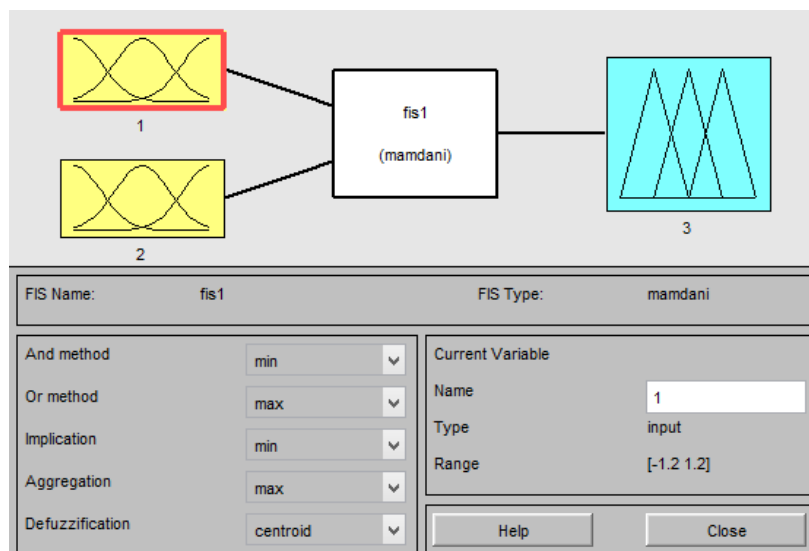


Рис. 4. Рабочее поле FIS Editor

На первом этапе (фазификация) необходимо подобрать функции принадлежности и интервалы значений для этих функций (рис. 5)

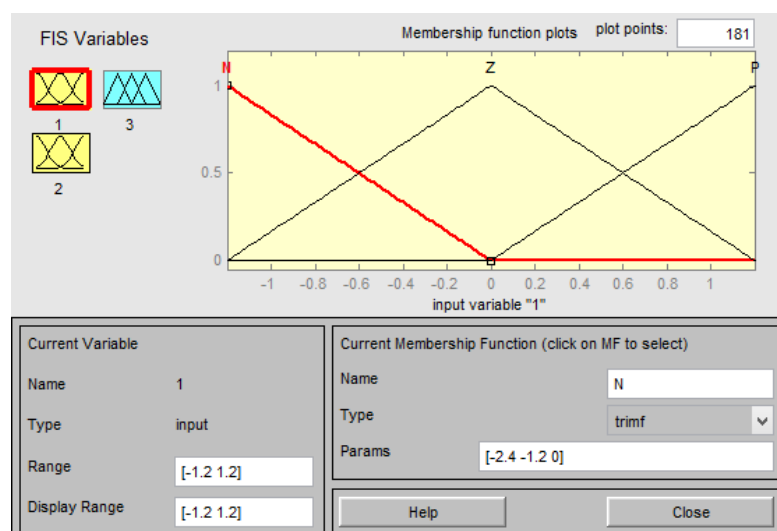


Рис. 5. Этап фазификации

Следующим этапом настройки нечеткого регулятора является разработка нечетких правил. Для начала составляется таблица с правилами (таблица 1).

ТАБЛИЦА 1
НЕЧЕТКИЕ ПРАВИЛА

Сигналы		Скорость изменения значения		
		P	Z	N
Изменение уровня, ΔL	N	Z	PM	PL
	Z	NM	Z	PM
	P	NL	NM	Z

где N (Negative) – отрицательное значение (NM – среднее отрицательное значение, NL – наибольшее отрицательное значение);
 Z (Zero) – нулевое значение;
 P (Positive) – положительное значение (PM – среднее положительное значение, PL – наибольшее положительное значение).

Далее эти нечеткие правила вводятся в регулятор (рис. 6).

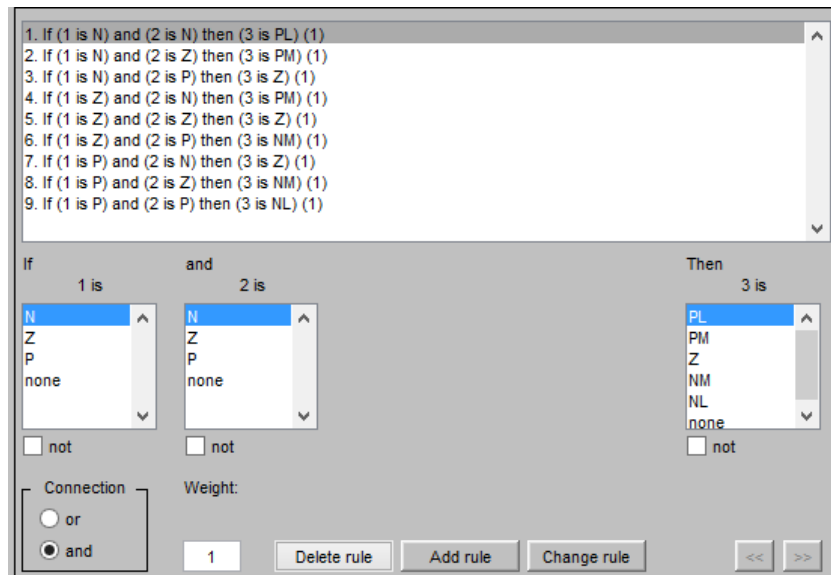


Рис. 6. Ввод нечетких правил

Затем находится нечеткое значение управляющей переменной. Для того, чтобы исполнительное устройство могло отработать полученную команду, нужен этап управления, на котором избавляются от нечеткости и который именуется дефазификацией.



Рис. 7. Этап дефазификации

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

После настройки регулятора были получены результаты работы математической модели с ПИД-регулятором и нечетким регулятором (рис. 8).

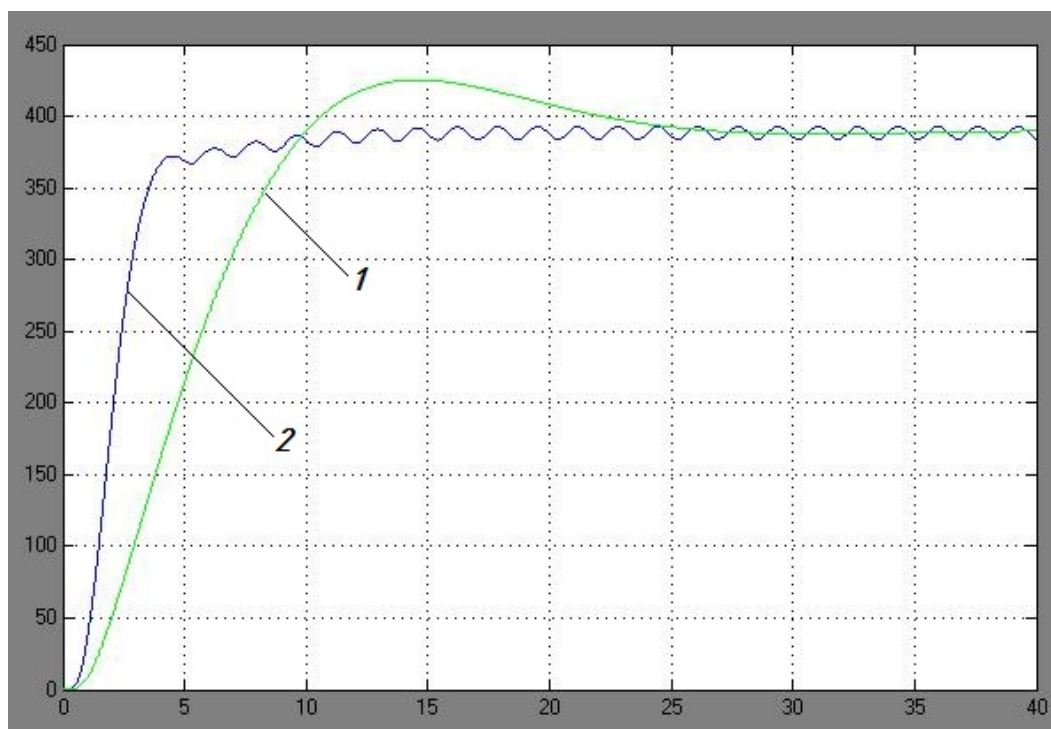


Рис. 8. Переходные временные характеристики системы с ПИД-регулятором (1) и с регулятором, основанным на нечеткой логике (2)

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнения двух видов регулирования, можно сделать вывод, что регулирование давления и уровня нестабильного дизельного топлива в сепараторе гидроочистки с помощью нечеткой логики существенно превосходит регулирование ПИД-регулятором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [4] Автоматизация процессов нефтепереработки, учебн.-справ. пособие. / Ермоленко А.Д., Кашин О.Н., Лисицин Н.В. и др.; под ред. В.Г. Яхаразова. – СПб.: Профессия, 2012. 350 с.
- [5] Баннов П.Г. Процессы переработки нефти: учеб. пособие/ П.Г. Баннов. М.: Химиздат, 2009. – 365 с.
- [6] Гидроочистка моторных топлив. /Аспель Н.Б., Дёмкина Г.Г. М.: Химия, 1977 . – 407с.
- [7] Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах: учеб. пособие. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. 200 с.
- [8] Каминский Э. Ф. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты/ Э.Ф. Каминский, В.А. Хавкин. М.: ООО «ТУМА ГРУПП», 2010. 384 с.

- [9] Леффер У.Л. Переработка нефти: учеб. пособие/ У.Л. Леффер. М.: Олимп-Бизнес, 2010. 227 с.
- [10] Щербаков В.С. Основы моделирования систем автоматического регулирования и электротехнических систем в среде Matlab и Simulink: учеб. пособие / В. С. Щербаков, А. А. Руппель, В. А. Глушец; СибАДИ. Омск: СибАДИ, 2003. 160 с.
- [11] Яхъяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: учебн. пособие. М.: Бином, 2006.

ОБОБЩЁННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ С ЦИКЛОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В. А. Королёв¹, А. В. Киев¹, Б. Н. Воротынцев¹

¹*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д. Ф. Устинова г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация – В работе рассмотрена обобщённая математическая модель пневмопривода с учётом движения рабочего органа в прямом и обратном направлении, а также учитывающая процесс пневмоторможения. Использование предложенной модели позволяет при проектировании решать задачи, связанные с повышением технологических возможностей автоматизации промышленных комплексов.

Ключевые слова – модель, пневмопривод, управление, цикл, автоматизация.

I. ВВЕДЕНИЕ

Существующие расчёты пневматических приводов с цикловым управлением используют систему управления, описывающих процесс выдвижения рабочего органа пневмодвигателя. При анализе пневмопривода с цикловым движением той или иной направленности и пневмоторможением необходимо составлять систему уравнений для каждого направления движения рабочего органа. Нами предлагается обобщённая математическая модель, позволяющая её использовать при проектировании пневмопривода для решения задач, связанных с цикличностью любого направления движения или пневмоторможения пневмопривода, что особенно важно при разработке промышленных роботизированных комплексов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Принятый метод расчета, пневмопривода с цикловым управлением (Рис. 1) из условия адиабатического термодинамического процесса разработанный учеными ИМАШ основывается на системе уравнений (1):

$$\begin{aligned}\dot{p}_1 &= \frac{k f_i^3 k p_m \sqrt{RTm}}{F_1 (x_{01} + x)} \varphi(\sigma_1) - \frac{k p_1}{(x_{01} + x)} \dot{x} \\ \dot{p}_2 &= \frac{k f_i^3 k \sqrt{RTm} P_2^{\frac{3k-1}{2k}}}{F_2 (S+x_{02}-x) P_m^{\frac{k-1}{k}}} \varphi(\sigma_2) - \frac{k p_2}{(S+x_{02}-x)} \dot{x} \\ \ddot{x} &= \frac{1}{m_{np}} (P_1 F_1 - P_2 F_2 - G)\end{aligned}\quad (1)$$

где: f_i^3 – эффективная площадь проходного сечения; $\sigma_1 = \frac{P_i}{P_m}$ – относительное давление; $\varphi(\sigma)$ – функция расхода воздуха, зависит от режима истечения воздуха.

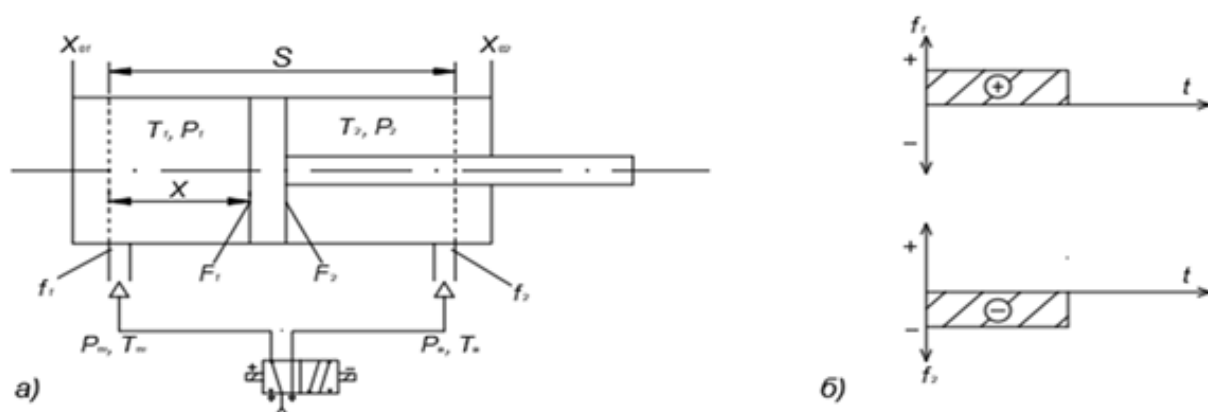


Рис.1. Пневмопривод с цикловым управлением

Приведенная система описывает частный случай движения, определенного подачей воздуха в одну из полостей пневмодвигателя с одновременным выхлопом из другой.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время используемый в современных условиях пневмопривод с цикловым управлением обеспечивает более широкие функциональные возможности и практически строится по принципиальной блок-схеме, представленной на Рис.2, где пневмораспределитель обеспечивает не только прямое и возвратное перемещение рабочего органа, но и формирует процесс его пневмоторможения и остановки.

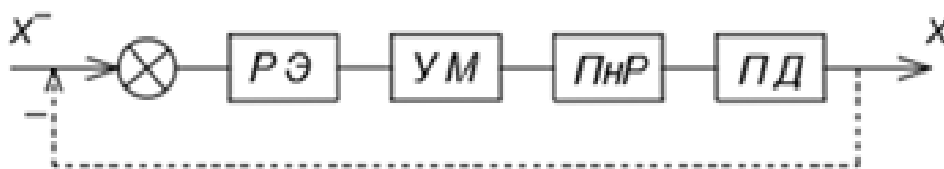


Рис.2. Принципиальная блок-схема управления

Принципиальная блок-схема (Рис. 2) пневмопривода включает релейный элемент (РЭ), усилитель мощности (УМ), пневмораспределитель (ПнР) и пневмодвигатель (ПД). В этом случае направленность и режимы движения рабочего органа можно обеспечить алгоритмом управления за счет объема управляющих воздействий (Рис. 3), где (-), (+) и (0) соответствуют управляющим воздействиям, при которых полость пневмодвигателя соединена с выходной магистралью, напорной или перекрыта. Система уравнений для каждого сочетания управляющих воздействий имеет определенный вид. Для исключения такого многообразия запишем обобщенную систему уравнений, где в уравнениях изменения давления (1) введем дополнительные члены, учитывающие возможные случаи, определенные заданным алгоритмом управления пневмопривода. Непосредственный учет того или иного члена обеспечит меру оператора управления «Н» (нагнетания) или «В» (выхлоп), которые в соответствии с алгоритмами управления пневмопривода принимают значения 0 или 1 (Рис.3).

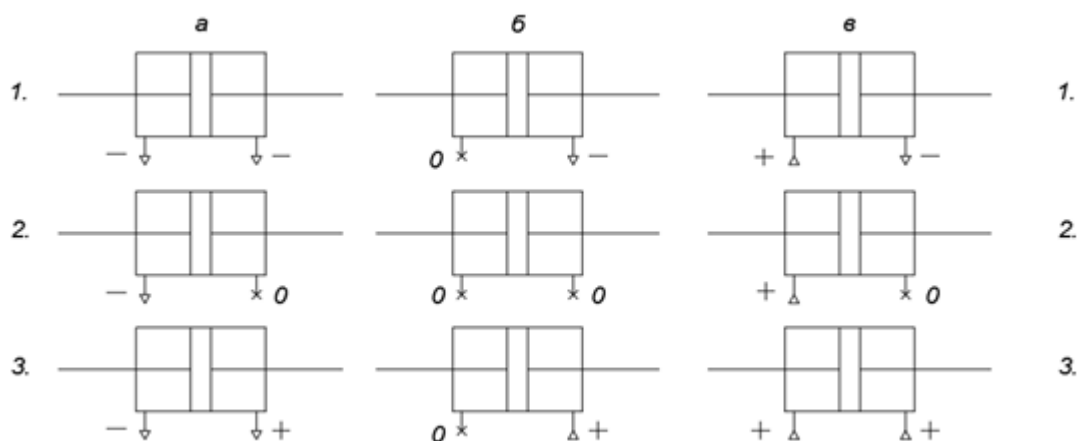


Рис. 3. Алгоритмы управляющего воздействия

В этом случае применительно к пневмоприводу с цикловым управлением обобщенная система уравнений в физических параметрах будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \dot{p}_1 &= \frac{kk\sqrt{RTm}f_{1H}^3P_m\varphi(\sigma_1)}{F_1(x_{01}+x)}H_1 - \frac{kk\sqrt{RTm}f_{1B}^3P_1^{\frac{3k-1}{2k}}\varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_1}\right)}{F_1(x_{01}+x)P_m^{\frac{2k-1}{k}}}B_1^-; \\ \dot{p}_2 &= \frac{kk\sqrt{RTm}f_{2H}^3P_m\varphi(\sigma_2)}{F_2(x_{02}+s-x)}H_2 - \frac{kk\sqrt{RTm}f_{2B}^3P_2^{\frac{3k-1}{2k}}\varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right)}{F_2(x_{01}+5-x)P_m^{\frac{2k-1}{k}}}B + \frac{kP_2\dot{x}}{(s+x_{02}-x)}; \\ \ddot{x} &= \frac{1}{m_{тр}}(P_1F_1 - P_2 - F_2 - G_2 - G_{q|x=x_T}) \end{aligned} \quad (2)$$

где x_T — координата пневмоторможения.

Значения операторов H_i , B_i при различных параметрах управления пневмораспределителя приведены в таблице 1

ТАБЛИЦА I
ЗНАЧЕНИЕ ОПЕРАТОРОВ

Вариант схем	1			2			3		
	а	б	в	а	б	в	а	б	в
Операторы	-;-	0;-	+;-	-;0	0;0	+;0	-;+	0;+	+;+
H1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
B1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
H2	0	0	0	0	0	0	1	1	1
B2	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Сила «сухого» трения, составляющая G_{Σ} , может определяться коэффициентом $f_{тр}$ уплотнений, который аппроксимируется выражением $f_{тр} = \begin{cases} 0,6 - 1,25|\dot{x}|, & \dot{x} < 0,4\text{м/с} \\ 0,1 & \dot{x} \geq 0,4\text{м/с} \end{cases}$

В относительном виде с учетом базовых параметров предложенных в (1) систему (2) можно записать так:

$$\begin{cases} \dot{\sigma}_1 = \frac{k}{\varepsilon_{01} + \varepsilon} \left[\varphi(\sigma_1) H - \sigma_1^{\frac{3k-1}{2k}} \varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_1}\right) B_1 - \sigma_1 \dot{\varepsilon} \right] \\ \dot{\sigma}_2 = \frac{k}{\varepsilon_{02} + 1 - \varepsilon} \left[\frac{\Omega}{\pi_{2,1}^F} \varphi(\sigma_2) H_2 - \sigma_2^{\frac{3k-1}{2k}} \frac{\Omega}{\pi_{2,1}^F} \sigma\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) B_2 + \sigma_2 \dot{\varepsilon} \right] \\ \dot{\varepsilon} = \frac{1}{N^2} (\sigma_1 - \pi_{2,1}^F \sigma_2 - x - x_{g|\varepsilon=\varepsilon_r|}) \end{cases} \quad (3)$$

Заметим, что системы уравнений (1) и (2) описывают динамику циклового пневмопривода с линейными двигателями. Полученные результаты могут быть распространены на неполноповоротные пневмодвигатели формальной заменой параметров линейного пневмодвигателя на соответствующие параметры неполноповоротного. Система (3) правомерна как для линейного, так для неполноповоротного циклового пневмодвигателя при значениях базовых параметров приведенных в [1].

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование предложенной обобщенной математической модели пневматического привода с цикловым управлением позволяет решать задачи, связанные с повышением его технологических возможностей при создании роботизированных комплексов и при автоматизации производственных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. М.: Машиностроение, 1985.

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

П. С. Мачулин¹

Омский государственный технический университет

Аннотация. В данной статье рассматривается дополнительная ступень резервирования, а именно работа привода в генераторном режиме при выходе из строя каналов управления. При отказе системы управления привод обесточивается и продолжает работать в генераторном режиме. В этот момент выполнение функций устройства производится за счёт упругих элементов встроенных в конструкцию модуля. Электропривод в такой ситуации работает в генераторном режиме и ограничивает максимальную скорость выходного вала двигателя.

Ключевые слова: Привод, резервирование, генераторный режим.

I. ВВЕДЕНИЕ

При разработке сложных электромеханических устройств, применяемых в космической отрасли, требуется соблюдение жестких требований по надежности и стабильности как системы в целом, так и отдельных её элементов.

Одним из таких электромеханических устройств является модуль раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей. В этом устройстве применяется автоматическая система управления приводом, ограничивающая максимальный момент развиваемый двигателем и стабилизирующая скорость раскрытия [1]. В целях повышения надёжности устройства, блок электроники имеет два канала управления двигателем, таким образом, система управления дублируется. Основной канал анализирует свою работоспособность и при выявлении неисправности (выход из строя выходных транзисторов, датчиков положения ротора и т.п.), передает управление резервному каналу. Резервный канал так же анализирует работоспособность основного канала, и при обнаружении признаков неработоспособности (отказ ВИП, пробой предохранителя), берёт управление двигателем на себя [2].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В качестве дополнительной ступени резервирования применяется работа привода генераторном режиме. При отказе первого и второго канала управления, привод обесточивается и продолжает работать в генераторном режиме. В этот момент раскрытие рабочего элемента производится за счёт пружин встроенных в конструкцию модуля. Электропривод в такой ситуации, ограничивает максимальную скорость выходного вала двигателя. Превышение скорости вращения вала двигателя приведёт к дестабилизации модуля раскрытия рабочего элемента, и возникновению колебаний способных привести к разрушению модуля. Так же необходимо исключить возможность чрезмерного торможения, иначе это может привести к не выполнению задачи раскрытия рабочего элемента.

III. ТЕОРИЯ

В процессе раскрытия модуля увеличивается скорость вращения вала двигателя, в этот момент необходимо создать момент сопротивления, для этого применяется генераторный режим работы привода. В генераторном режиме работы, статорные обмотки двигателя соединены между собой через выпрямительные диоды и добавочное сопротивление резисторов. В качестве выпрямительных диодов обычно используют обратные диоды выходных полевых транзисторов.

При отключенном питании под действием внешнего момента привод начнет вращаться, в обмотке двигателя возникнет ЭДС и течет ток, вал привода начнет набирать скорость.

Суммарный тормозящий момент двигателя при этом будет [3]:

$$M_T = C_M \cdot I + M_{ст} + K_{вт} \cdot W_{дв}, \quad (1)$$

где:

C_M – механическая постоянная двигателя, $H \cdot m / A$;

$M_{ст}$ – постоянный момент сопротивления движению двигателя, $H \cdot m$;

$K_{вт}$ – Коэффициент вязкого трения, $H \cdot m \cdot c$;

$W_{дв}$ – скорость двигателя, рад/с;

I – Ток в обмотке, А.

При равенстве тормозящего момента и внешнего момента скорость привода стабилизируется. Допустимое значение скорости в этом режиме можно обеспечить, подобрав добавочное сопротивление такое, чтобы равенство моментов тормозящего и внешнего наступило именно при этом значении скорости.

Условие равенства моментов тормозящего и внешнего на валу двигателя:

$$M_{вндв} = M_T, \quad (2)$$

или с учетом (1):

$$M_{вндв} = C_M \cdot I + M_{ст} + K_{вт} \cdot W_{дв}, \quad (3)$$

где:

$$I = (E - E_D) / R_c, \quad (4)$$

где:

E – ЭДС двигателя;

E_D – падение напряжения на диодах, равное 2.1 В;

$$R_c = R + R_{доб}, \quad (5)$$

где:

R – сопротивление двух фаз двигателя, Ом;

$R_{доб}$ – добавочное сопротивления, Ом.

Следовательно:

$$M_{вндв} = C_M \cdot (E - E_D) / R_c + M_{ст} + K_{вт} \cdot W_{дв}, \quad (6)$$

откуда:

$$R_c = C_M \cdot (C_e \cdot W_{дв} - E_D) / (M_{вндв} - M_{ст} - K_{вт} \cdot W_{дв}) \quad (7)$$

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пользуясь выражением (7) построим графики скорости, при которой наступает равенство тормозящего и внешнего моментов, в зависимости от суммарного сопротивления R_c , при значениях внешнего момента 0.054 Нм и 0.040 Нм, приняв, что $M_{ст} = 0.005 \text{ Н*м}$, $K_{в.т.} = 0.6 \cdot 10^{-5} \text{ Н*м*с}$.

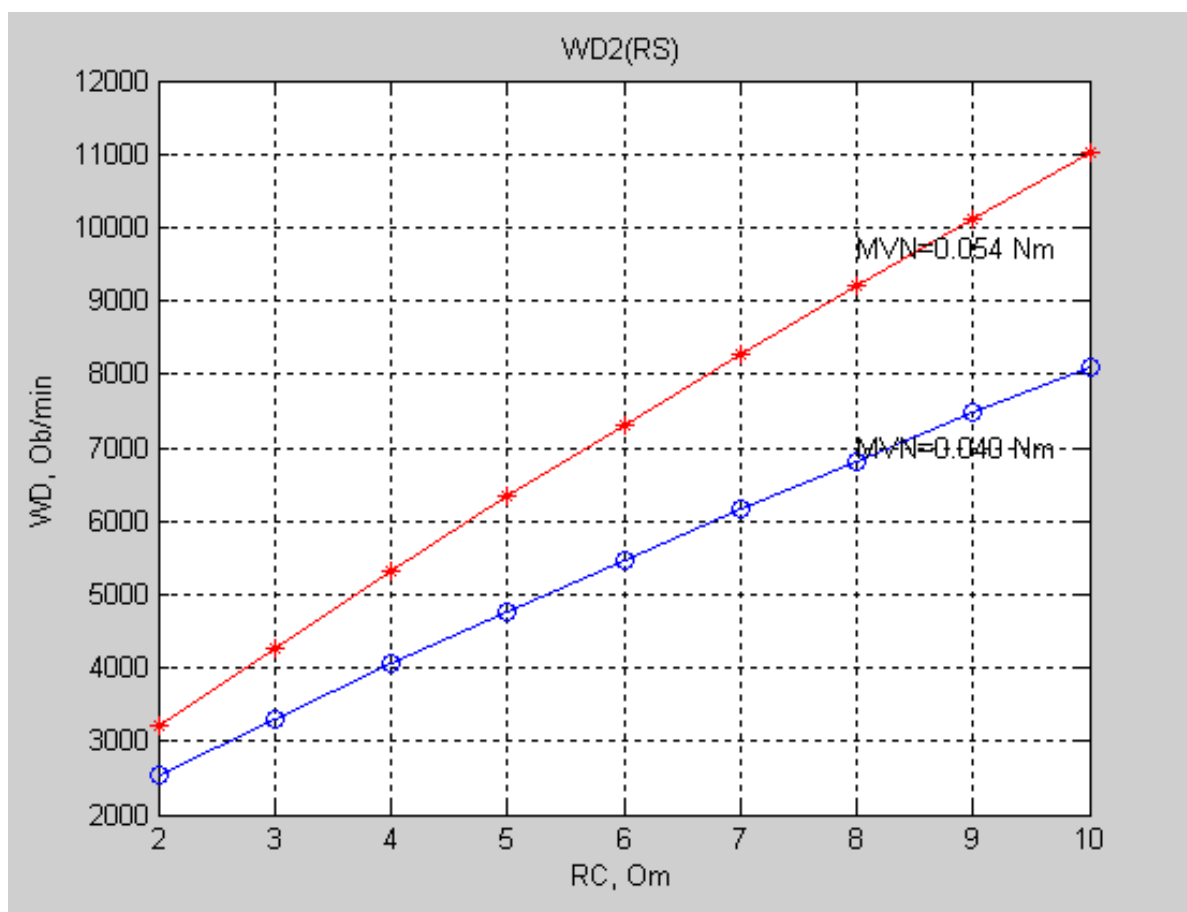


Рис. 1. Зависимость скорости стабилизации от сопротивления R_c

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

С помощью графиков показанных на Рис. 1 можно выбрать сопротивление добавочного резистора в зависимости от заданного ограничения максимальной развиваемой скорости и внешнего момента при работе привода в генераторном режиме.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пользуясь приведённой выше методикой можно эффективно рассчитывать добавочное сопротивление привода работающего в генераторном режиме. Это позволит скорректировать скорость вращения привода в генераторном режиме и избежать не расчетного режима работы модуля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Титов Г.П. Выбор приборного состава системы определения геометрии крупногабаритной трансформируемой антенны // Решетневские чтения: материалы XV Междунар. науч. конф. (10–12 ноября 2011, г. Красноярск): в 2 ч. / Под общ. ред. Ю. Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011. С. 98–99.
- [2] Мачулин П.С. Электромеханические устройства раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей // Молодой ученый. 2017. № 1 (135). С 63–64.
- [3] Подлесный Н. И, Рубанов В.Г. Элементы систем автоматического управления и контроля, 1982 г.

ЗАМЕНА КОНТРОЛЛЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОВЫМИ ЗАМЕРНЫМИ УСТАНОВКАМИ НА НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ «ВОСТОЧНЫЙ МОЛДАБЕК» АО «ЭМБАМУНАЙГАЗ»

Р. К. Саткангулов¹, К. К. Смагулова¹

¹*Карагандинский государственный технический университет*

Аннотация – В статье приводится обоснование актуальности разработки системы управления групповыми замерными установками на нефтяном месторождении «Восточный Молдабек» АО «Эмбаунайгаз» в Атырауской области Республики Казахстан. Подробно описана система управления и концепция ее работы. Представлено описание объектов управления и мониторинга системы. Определен состав передаваемых данных по сети. Определены требования к контроллерному оборудованию. Произведен выбор подходящего ПЛК для разрабатываемой системы управления.

Ключевые слова – Нефть, измерение, учёт, геологоразведка.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для контроля производительности нефтяных скважин, учета добычи нефти и газа и выяснения экономических показателей работы бригад и всего промысла необходимо организовать точный замер и тщательный учет продукции. Производительность нефтяных скважин замеряют периодически путем поочерёдного подключения каждой скважины к мернику. Мерником измеряется количество извлеченной из скважины жидкости или газа в единицу времени. Такой параметр называется дебитом скважины. Своевременное и правильное измерение дебита нефтяных скважин представляет собой важнейшую и в то же время сложнейшую задачу, от решения которой зависят оперативный контроль за добычей нефти [1]. Также данная информация используется для планирования геолого-технических мероприятий, проведения систематического контроля режима разработки месторождения с нефтью.

Для оперативности получения данных по дебиту используются групповые замерные установки (ГЗУ), осуществляющие учет количества жидкости и газа, добываемых из нефтяных скважин с последующим определением дебита скважины. При постепенном развитии любого нефтяного месторождения, количество нефтяных скважин постоянно растет. Как следствие растет и количество групповых замерных установок. В связи с этим появляется необходимость в централизованной системе сбора данных, особенно в случаях, когда нефтяное месторождение имеет большую территорию, а ГЗУ разбросаны по ней на немалые расстояния. Одно из таких месторождений «Восточный Молдабек» находится в Атырауской области Республики Казахстан, принадлежащее компании АО «Эмбаунайгаз», где насчитывается более 40 таких установок.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Групповые замерные установки на месторождении «Восточный Молдабек» устанавливались с 1999 года и управляющие устройства не имели интерфейсов связи для

внешней передачи данных. В связи с чем, для реализации централизованной системы управления и сбора данных с ГЗУ необходимо решить задачу, связанной с совместимостью устройств.

Для решения данной задачи необходимо будет подобрать устройства, которые будут осуществлять информационное взаимодействие всей нашей системы. А для этого нужно определить перечень передаваемых данных, поддерживаемые интерфейсы связи на всех уровнях системы, а также условия ее эксплуатации.

III. ТЕОРИЯ

Разрабатываемая система управления групповыми замерными установками предназначена для автоматизации удаленного сбора, обработки и вывода информации по 29 газозамерным установкам нефтяного месторождения «Восточный Молдабек» АО «Эмбаунайгаз». Кроме сбора информации, будет осуществляться управление гидроприводом многоходового переключателя скважин (ПСМ).

На данный момент система управления ГЗУ организована локально и состоит из двух уровней. Информация с датчиков полевого уровня поступает на нижний уровень управления локальному контроллеру (ПЛК).

При разработке система управления ГЗУ будет состоять уже из следующих уровней:

- 1) 0-й уровень – Возникновение информации;
- 2) 1-й уровень – Сбор информации о технологическом процессе;
- 3) 2-й уровень – Магистральная сеть;
- 4) 3-й уровень – Человеко-машинные интерфейсы (НМИ).

На уровне возникновения информации формируется первичная информация, поступающая в систему. Данный уровень включает в себя: полевые приборы и средства автоматизации, локальные контроллеры, шкафы с установленным в них оборудованием (барьеры искрозащиты, нормирующие преобразователи, реле, источники питания и пр.). Все эти устройства, являются существующими.

Уровень сбора информации о технологическом процессе предлагается создать как достаточно-автономный, который при отсутствии связи с верхним уровнем способен работать достаточно время без потери информации и осуществлять автономный сбор информации – в обычном и в аварийном режимах. Данный уровень включает в себя: подсистемы контроллеров системы ГЗУ, с блоками ввода/вывода, преобразователями, источников бесперебойного питания (ИБП).

На втором уровне (уровне магистральной сети), учитывая условия структуры месторождения [2], будет предусмотрен каналобразующий беспроводный канал связи на базе технологий Wi-Fi, WiMax, AirMax и пр. Расстояния между объектами системы может достигать 7–10 км.

Последний третий уровень будет включать в себя интерфейсы НМИ, куда будут собираться информация со всех ГЗУ месторождения «Восточный Молдабек». Управление установками будет вестись также с данной НМИ-системы, удаленно.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим данные, которые нам необходимо будет получать с ГЗУ. Для определения параметров жидкости, необходимо знать такие параметры как, расход жидкости, ее

плотность, а также номер скважины с которой проводится замер этой жидкости. Помимо этого, необходимо знать и о состоянии самой установки.

Температура, давление и плотность поступают в качестве токовых значений от 4 до 20 мА. Данные о расходе получаем с помощью дискретного сигнала. Расходомер формирует импульс, после прохождения через него каждые $0,05 \text{ м}^3$ жидкости. Информацию о номере скважины, стоящей на замере контроллер получает в виде совокупности четырех дискретных сигналов. О состоянии ГЗУ можно судить по дискретным датчикам: открытие дверей 1 и 2 технического блока, открытие двери аппаратного блока, открытие двери шкафа управления, предупредительная сигнализация газоанализатора, аварийная сигнализация газоанализатора, отказ газоанализатора, состояние контактора гидропривода ПСМ, состояние автоматического выключателя гидропривода ПСМ, отсутствие напряжения в шкафу управления. Также нужен будет управляющий сигнал, для команды на переключение гидропривода.

Следует отметить, что для достижения совместимости всех узлов системы необходимо подобрать ПЛК с соответствующими интерфейсами связи. Так как планируется использовать сетевое оборудование на базе технологий Wi-Fi, WiMax, AirMax и пр., нужны будут ПЛК поддерживающие протокол TCP/IP.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Итак исходя из вышесказанного, можно сформировать следующие требования к контроллерному оборудованию: не менее 3 аналоговых входных сигналов, 15 входных и 1 выходного дискретного сигналов, наличие интерфейса Ethernet. ПЛК должно обеспечивать сбор и обработку данных, выдачу управляющего воздействия по команде и в автоматическом режиме. Недорогим решением может послужить универсальный модуль M932C2 фирмы TREI. Данный модуль выполняет одновременно функцию процессора ПЛК и функции устройств ввода-вывода. Модуль очень гибок и благодаря съемным юнитам может конфигурироваться в любом соотношении аналоговых к дискретным, входных к выходным сигналам. В общей сложности на одном таком модуле может быть до 32 сигналов, что является достаточным для нашей задачи.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом решить вопрос совместимости в разрабатываемой системе можно установив контроллер TREI M932C2. Выбор в пользу данного устройства сделан главным образом исходя из требования к ПЛК, а также экономичности решения. Еще одним положительным фактором служит, то, что контроллеры собираются в Казахстане, что также влияет на стоимость оборудования, быстроту поставки запасных частей в будущем и оперативность технического обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Фатхутдинов А.Ш., Слепян М.А., Ханов Н.И. Автоматизированный учет нефти и нефтепродуктов при добыче, транспорте и переработке. М.: Недра, 2002. 416 с.

Секция 5.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИКЛАДНЫХ ОБЛАСТЯХ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 658.310.823.5-051.177

КОМПЛЕКСНОЕ ПРОГРАММНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СБОРА И ОБРАБОТКИ ПЛАНОВОЙ И ОТЧЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЦЕЛЯХ ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДВЕДОМСТВЕННЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

А. Е. Зверев¹, А. В. Куликова¹, М. М. Полотнов¹, К. В. Фомин¹

¹ФГБУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Аннотация – Задача исследования и разработки: повышение эффективности и оперативности решения задач сбора и обработки плановой и отчётной информации, реализация адаптивности системы к решению новых задач мониторинга по средствам перехода к единой комплексной программной платформе сбора и обработки отчётности.

Ключевые слова – Информационные системы, сбор данных, централизованные хранилища

I. ВВЕДЕНИЕ

Для решения задач бюджетного планирования в системе Минобрнауки России, необходимы исходные данные, формируемые путём сбора первичной плановой и отчётной информации от подведомственных организаций, её последующей верификации и интеграции в комплексе предметно ориентированных баз данных. В условиях сформированного единого информационного пространства – специализированного интернет портала информационного взаимодействия (СИП ИВ) структурных подразделений Департамента финансов министерства с учреждениями, подведомственными Минобрнауки России [1], актуальной задачей явилась задача разработки единой централизованной информационной системы сбора данных, интегрируемой в концепцию СИП ИВ, унифицирующей технологии сбора и обработки отчётности.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработка комплексного программного решения должна быть ориентирована на полную интеграцию в инфраструктуру СИП ИВ. Развитие системы сбора отчётности в концепции построения единого информационного пространства позволяет использовать Internet как основное средство коммуникации и ведения документооборота. В этой связи основными направлениями и задачами модернизации явились: унификация технологической платформы, форматов хранения данных и средств их обработки; организация данных, обеспечивающая независимость модели хранения данных от состава и структуры

показателей в рамках отдельных предметных задач; обеспечение единообразного интерфейса и единого принцип работы с данными, ориентированный на полное применение web-интерфейсов; обеспечение единой точки входа для всех предметных задач и периодов.

III. ТЕОРИЯ

Модернизированная архитектура системы состоит из двух уровней (рис. 1): уровень портала и уровень пользователя. Двухуровневая система позволяет сконцентрировать все функции внутри портала, минимизировать потоки данных. В зависимости от уровня пользователя доступен различный функционал.

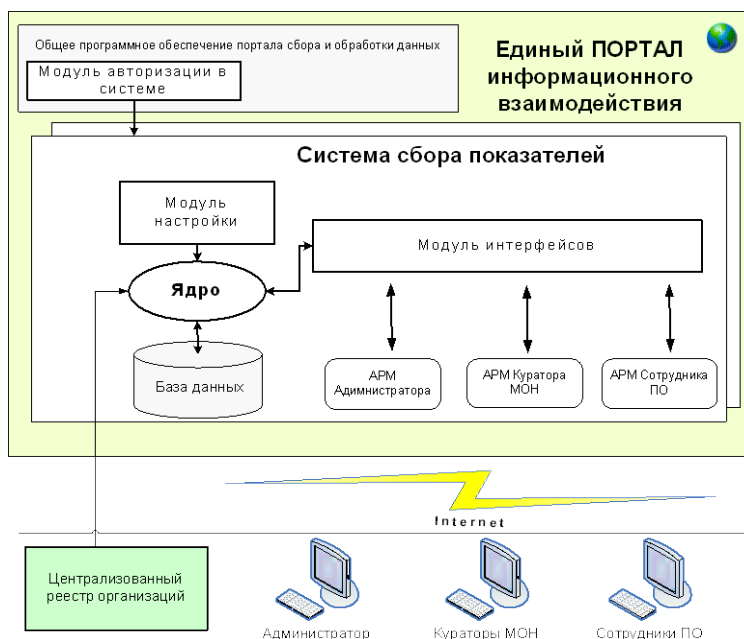


Рис. 1. Архитектура информационной системы сбора и обработки данных

Клиентские приложения реализованы как «тонкие» клиенты, отображаемые в браузере, установленном на компьютере пользователей. Браузер отображает веб-страницы, обеспечивает формирование запросов к программным средствам портала, отображает формируемые страницы ответов и предоставляет интуитивно понятный пользователю интерфейс. Логика узла сбора при этом сосредоточена на сервере, а функция браузера заключается в отображении информации, загруженной по сети с сервера, и передаче обратно данных пользователя. Предоставляемые сервисы, таким образом, являются межплатформенными. Разработанная информационная среда строится по модульному принципу.

Модель данных логически отделена от значений параметров, при этом физически хранение осуществляется в рамках одного хранилища. При работе с хранилищем используются встроенные объекты и инструменты, такие как хранимые процедуры, view-представления, триггеры, система безопасности и управления схемами доступа к данным. Разделение данных и логики их обработки, обеспечение максимальной независимости централизованных баз данных и программного обеспечения их обработки от состава и структуры собираемых и обрабатываемых показателей.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Интегрированное комплексное программное решение для реализации процессов сбора, консолидации и анализа отчетной информации представляет собой раздел аналитического портала, имеющий следующие основные функциональные возможности и сервисы:

- авторизованный доступ к системе на основе ролей пользователей;
- взаимодействие между нижним и верхним уровнями информационной системы в режиме реального времени (онлайн);
- заполнение соответствующих пакетов отчетных форм пользователями нижнего уровня системы с применением проверки целостности вводимой информации;
- мониторинг процесса предоставления отчетности подведомственными организациями на любом этапе сбора;
- автоматическое формирование сводных аналитических данных;
- передача сформированного электронного пакета отчетности на верхний уровень (министерство) для проверки, обратных директив и последующего приёма данных;
- управление статусами отчетных документов и ввод замечаний пользователями верхнего уровня;
- хранение и возможность обращения к информации любого периода.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

При реализации программного обеспечения используется модульный подход, что обеспечивает возможность многократного применения компонентов, упрощает решение задач модернизации и обслуживания системы. Система сбора отчетности обеспечивает механизмы идентификации пользователей с последующим контролем и записью действий. На всех уровнях функционирования системы используется унифицированная платформа, а также кроссплатформенные решения. Унификация программных реализаций предопределяет единообразие форматов хранения, принципов работы и средств обработки данных, а также интерфейсов взаимодействия с пользователем. Реализация компонентов сбора отчетности на основе клиент-серверной архитектуры использует возможности сети Интернет по интеграции пользователей и данных.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрённые концепции и технологии сбора и обработки экономической отчетности в системе Минобрнауки России гарантируют высокую адаптивность всех её компонентов к изменяющимся требованиям и возникающим новым производственным задачам. Обеспечивается высокая надёжность и оперативность решаемых задач, готовность всех компонентов информационной системы для поддержания непрерывности выполняемых ими операций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Зверев А.Е., Куликова А.В., Мочалова Л.А., Полотнов М.М. Реализация единого информационного пространства выполнения задач сбора и обработки данных для задач бюджетного планирования подведомственных Минобрнауки России организаций. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: труды XXV Междунар. научн.-техн. конф., (14–20 сентября 2016 г., Алушта). М.: Технология, 2016. С. 29-30.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ОКАЗАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ УСЛУГ В ЧАСТИ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ

А.Е. Зверев¹, А.В. Куликова¹, М.М. Полотнов¹

¹ФГБУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Аннотация – Предметом исследования и разработки является научно-методическое и информационно-аналитическое сопровождение конкурсных процедур распределения контрольных цифр приема граждан по направлениям подготовки в части подготовки кадров высшей квалификации

Ключевые слова – Распределение ресурсов, аналитические системы, системы поддержки принятия решений

I. ВВЕДЕНИЕ

Программы аспирантуры, ординатуры и ассистентуры-стажировки являются основными институтами подготовки высококвалифицированных научных кадров. Распределение контрольных цифр приёма (далее – КЦП) в аспирантуру для обучения за счет средств федерального бюджета по объёму и структуре подготовки научно-педагогических кадров по соответствующим укрупнённым группам направлений подготовки (далее – УГН) должно создавать условия для эффективной подготовки кадров. Эффективность управление системой распределения подготовки кадров высшей квалификации в значительной мере зависит от развитого научно-методического и информационно-аналитического обеспечения, реализованного с использованием научных методов и современных информационных технологий [1].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проведение конкурсных процедур, учёт показателей эффективности деятельности образовательных учреждений в рамках участия в конкурсе, а также непосредственно процедуры и алгоритмы распределения КЦП – всё это потребовало разработки научно-методической и информационно-аналитической поддержки указанных процессов. Встала задача по созданию экспертно-аналитической системы поддержки процессов принятия решений с использованием информационной инфраструктуры, а также проектирование структуры и реализации баз данных.

III. ТЕОРИЯ

Для распределения КЦП используется единая формализованная процедура, в основу которой легла математическая модель, основными параметрами которой явились потенциал образовательной организации, востребованность той или иной образовательной программы, а также предложения образовательных организаций в виде заявок на распределение КЦП в разрезе УГН подготовки.

Объем контрольных цифр приёма по УГН подготовки для образовательной организации, участвующей в конкурсе, рассчитывается исходя из функциональной зависимости:

$$\text{КЦП} = F(PPV, Z, b),$$

где: КЦП – объём контрольных цифр приёма по УГН подготовки для образовательной организации, участвующей в конкурсе; Z – объём предложений по установлению контрольных цифр приёма по соответствующей УГН подготовки в заявке образовательной организации; PPV – потенциал образовательной организации по соответствующему направлению подготовки; b – коэффициент, который определяется из условия:

$$\sum \text{КЦП} = Q.$$

Суммирование КЦП проводится по объёму заявок всех образовательных организаций, заявившихся на участие в конкурсе по данной УГН подготовки.

Q – объём контрольных цифр приёма по соответствующей УГН подготовки, распределяемый в ходе проведения конкурса.

Таким образом, задача распределения КЦП в рамках одного направления подготовки сводится к решению следующей задачи целочисленной оптимизации:

$$\left| \sum_{i=1}^k F_i(PPV, Z, b) - Q \right| \xrightarrow{b} \min,$$

при выполнении ограничения $F_i(PPV, Z, b) \geq 0$. Здесь k – количество образовательных организаций, подавших заявку на участие в конкурсе по данной УГН.

Задача целочисленной оптимизации, описанная выше, может быть решена методом деления отрезка пополам.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сбор, агрегация и хранение конкурсной информации, а также реализация на основе этой информации разработанных методов и алгоритмов распределения КЦП по программам аспирантуры, ординатуры и ассистентуры-стажировки, прежде всего, потребовали проектирования структуры базы данных с её последующей физической реализацией. Разработанная база данных предусматривает возможность хранения полного объёма конкурсной информации, включая результаты её обработки, сгруппированные в таблицы таким образом, чтобы обеспечить оптимальную производительность при последующей выборке и агрегировании данных программными средствами web-сервисов для получения аналитических отчетов в любых заданных информационных срезах.

Для оптимизации процессов на всех этапах проведения конкурсного отбора по установлению КЦП разработаны концепция и архитектура информационно-аналитической системы, автоматизирующей обработку конкурсной информации и обеспечивающей оперативную поддержку процессов принятия управленческих решений с её последующей программной реализацией. ИАС была спроектирована и реализована на основе функционирующей базы данных проекта, современных web-технологий и технологий оперативной аналитической обработки данных. В её составе можно выделить следующие основные функции:

- программная реализация описанных алгоритмов и механизмов распределения КЦП;
- доступ к текущей конкурсной информации в разрезе установленных форм отчетов;
- формирование отчётов и справок в любых информационных разрезах, задаваемых и настраиваемых пользователем;

- оперативное редактирование данных;
- загрузка информации из внешних источников;
- выгрузка информации для дальнейшей обработки и использования внешними источниками.

Таким образом, ИАС предоставляет оперативный дистанционный доступ к данным уполномоченным категориям пользователей с возможностью получения информации в любых задаваемых и настраиваемых информационных разрезах, позволяет производить автоматизированную обработку информации по распределению КЦП.

Доступ к функциям ИАС осуществляется через интерфейс специализированного Интернет-сайта, доступного по адресу <https://kcp18.cbias.ru/>.

Обработка и объединение информации достигается применением инструментов извлечения, преобразования и загрузки данных.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Используемые технологии оперативной обработки данных и ориентация на её web-представление открывают пользователям удобный доступ к многомерной информации, предназначенной для просмотра, формирования отчетов и проведения анализа. Инструменты ИАС, позволяющие в режиме реального времени получать и конструировать отчёты в различных информационных разрезах, дают возможность исследовать данные под разными углами зрения, обеспечивая многомерный анализ данных, что, несомненно, способствует выработке эффективных и оперативных управленческих решений в рамках конкурса на распределение КЦП по программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), ординатуре и ассистентуре-стажировке.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация и внедрение ИАС, по сути, представляющей собой адаптивную систему информационных сервисов в технологической среде экспертно-аналитической системы, позволило создать единое информационное пространство для автоматизированного решения сложных математических и аналитических задач распределения контрольных цифр приёма в аспирантуру, и оперативного мониторинга результатов на всех этапах проведения конкурса, что в значительной послужило основой для принятия эффективных управленческих решений, направленных на реализацию стратегии развития системы высшего образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Мосичева И.А., Мочалова Л.А., Полотнов М.М., Фомин К.В. Информационно-аналитическая система по функционированию сети аспирантур и докторантур в системе Минобрнауки России // Тр. XXI межд. конф. «Информационные средства и технологии», 19-21 ноября 2013 г. В 3-х т. Т. 2. М.: Изд. дом МЭИ 2018. С. 129–134.

СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АРМАТУРЫ

К. А. Лузарев¹, Е. С. Гебель¹

¹*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

Аннотация – В статье предположена система показателей технического состояния запорно-регулирующей арматуры. На основе математической модели динамики работы устройства проведено имитационное моделирование различных поломок в пневматической и механической частей, анализ полученных коэффициентов функций. Методика распознавания вида поломки при проведении функциональной диагностики. В результате составлена таблица показателей, соответствующих наиболее распространенным типам поломок запорно-регулирующей арматуры.

Ключевые слова – Запорно-регулирующая арматура, поломка, пневматическая часть, механическая часть.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время обслуживание запорно-регулирующих клапанов на большинстве промышленных предприятий осуществляется в виде периодического визуального мониторинга технического состояния. Периодичность обслуживания осуществляется в соответствии с регламентированным графиком и объемом, установленным эксплуатационной и нормативной документацией. Практика показала, что существующая система обслуживания и ремонта запорно-регулирующей арматуры имеет ряд недостатков, в частности выполнение трудно затратных операций по техническому обслуживанию происходит без учета фактического состояния оборудования и функциональных возможностей современной техники. Высока вероятность пропуска дефектного оборудования, что в процессе эксплуатации АСУ может привести к серьезным финансовым и материальным потерям, а в крайнем случае к техногенным и экологическим катастрофам. Различными авторами были рассмотрены возможности диагностики запорно-регулирующих клапанов.

Автором С.В. Адаменко [1] сформулирован комплекс оценочных критериев качества и эксплуатационной надежности запорной арматуры, а также разработана методика вероятностной оценки показателей надежности. Возможность диагностики клапанов на базе регулирующих SMART-клапанов нового поколения описывали М.О. Зипонов, А.Д. Шевченко [2]. В частности диагностика регулирующих клапанов с помощью интеллектуальных цифровых позиционеров была рассмотрена Й. Кисбауэр [3].

Таким образом, становится актуальным переход на предиктивную систему технического обслуживания регулирующей арматуры, в которой объем и периодичность работ определяются по результатам непрерывной диагностики технического состояния оборудования. Использование предполагаемой системы обслуживания способствует не только к оптимизации затрат на текущее обслуживание, прогнозированию объема требуемого ремонта оборудования, но и уменьшению финансовых потерь, связанных с внезапными отказами.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для тестовой модели запорно-регулирующего клапана в соответствии с паспортными техническими характеристиками построены теоретические математические модели, описывающие зависимость перемещения штока от времени. По результатам анализа физических явлений, приводящих к появлению поломок арматуры, необходимо провести имитационное моделирование с целью выявления соответствующих количественных признаков в поведении модели.

Целью статьи является разработка системы показателей запорно-регулирующей арматуры для определения технического состояния при проведении диагностики.

III. ТЕОРИЯ

При проведении функциональной диагностики, система показателей запорно-регулирующей арматуры должна позволять выявлять поломки различных видов, как в механической части, так и в пневматической части клапана.

Для определения поломки в пневматической части (требуется калибровка позиционера, повреждение мембраны) по полученным экспериментальным данным проведена аппроксимация линейной функцией

$$f(x) = p_1 \cdot x + p_2, \quad (1)$$

при этом коэффициент корреляции составил 0.99. В результате серии численных экспериментов установлено, что значение коэффициента p_1 может быть использовано как признак поломки в пневматической части.

Для аппроксимации экспериментальных численных данных использовался полиномом шестой степени, так как при уменьшении приводной силы происходит изменение вида результирующей функции:

$$f(x) = p_1 \cdot x^6 + p_2 \cdot x^5 + p_3 \cdot x^4 + p_4 \cdot x^3 + p_5 \cdot x^2 + p_6 \cdot x + p_7. \quad (2)$$

Установлено, что значения коэффициентов p_4 и p_5 наиболее сильно варьируются для различных типов поломки механической части (неудовлетворительное состояние плунжерной пары, износ или перетянутый сальника).

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

С помощью математической модели запорно-регулирующего клапана определены коэффициенты линейной функции (1) при исправном состоянии пневматической части. В соответствии с документацией на запорно-регулирующую арматуру, время полного хода при давлении питания позиционера 1,4 бара составляет 4 секунды [4]. Допустимые отклонения по линейности не должны превышать $\pm 1\%$, а в зоне нечувствительности $-0,1\%$. Количество исходных статистических данных составляет 115 точек (рис. 1).

В результате аппроксимации линейной функцией в среде MatLab с помощью программного пакета Curve Fitting Tool при уровне доверительной вероятности 95% значение коэффициента составило $p_1 = 12.5$.

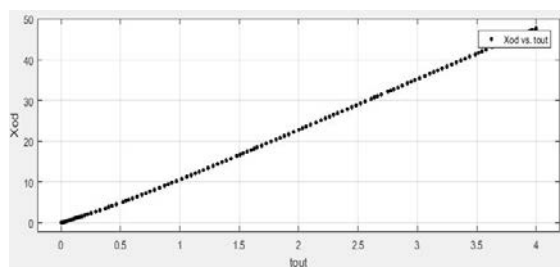


Рис. 1. Поле корреляции эталонных данных работы клапана

Меняя параметры математической модели описывающие динамику работы пневматической составляющей клапана, собрана статистика для расчета значений параметра p_1 при различных поломках (рис. 3).

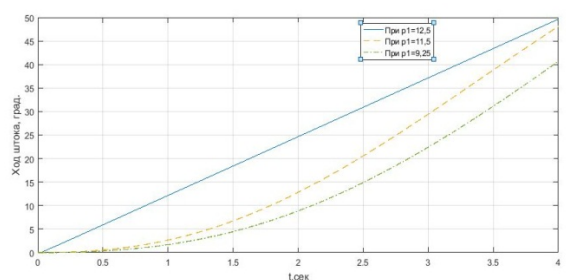


Рис. 2. Графики перемещения при различных коэффициентах p_1

Для эталонных данных работоспособного клапана проведена аппроксимация полиномом шестой степени и определены значения коэффициентов уравнения регрессии:

$$p_1 = 0.005879 \quad (0.005571, 0.006187)$$

$$p_2 = -0.07663 \quad (-0.08033, -0.07293)$$

$$p_3 = 0.3875 \quad (0.3705, 0.4045)$$

$$p_4 = -0.9545 \quad (-0.9919, -0.9171)$$

$$p_5 = 1.173 \quad (1.134, 1.213)$$

$$p_6 = 12.48 \quad (12.43, 12.53)$$

$$p_7 = -0.2283 \quad (-0.2308, -0.2257)$$

Проведено численное исследование для различных наборов параметров динамической модели, описывающей работу механической составляющей клапана, с целью выявления тенденций изменения коэффициентов и установления связи между характером поломки и их варьированием (рис. 3).

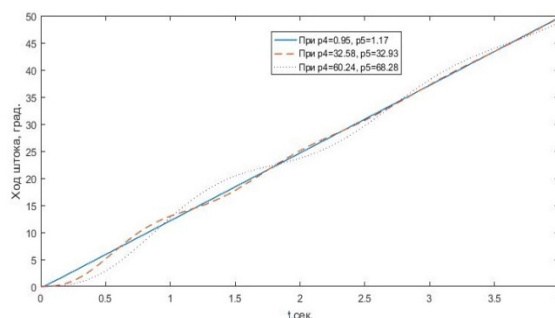


Рис. 3. Графики перемещения при различных коэффициентах p_4 , p_5

V. ОБСУЖДЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе выполнения исследования пневматической части получены следующие результаты:

1. При коэффициенте $p_1=11.5$, открытие клапана составляет 92.31% за номинальное время открытия, что свидетельствует о необходимости провести калибровку позиционера.
2. При коэффициенте $p_1=9.25$, открытие клапана составляет 81.10% за номинальное время открытия, что с высокой вероятностью свидетельствует об повреждении мембраны в пружинном привода или пропуске воздуха в пневматической линии.
3. При коэффициенте $p_1=6,38$ происходит критическое увеличение времени открытия запорно-регулирующего клапана на 2 секунды, что свидетельствует о повреждении мембраны в пружинном приводе.

В ходе исследования механической части были получены следующие результаты:

1. При увеличении коэффициентов $p_4=32.58$, $p_5=32.92$ более чем в 30 раз по сравнению со значениями, рассчитанными для эталонного варианта, характеристика открытия становится нелинейной, возникает колебательный переходный процесс в связи с небольшим увеличением трения, что свидетельствует неудовлетворительном состоянии плунжерной пары.
2. При увеличении коэффициентов $p_4=60.24$, $p_5=68.28$ более чем в 60 раз диаграмма хода штока клапана становится значительно нелинейной, колебательный переходный процесс обусловлен значительным увеличением трения, что свидетельствует об износе или неправильной затяжке сальника.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования составлена сводная таблица I коэффициентов аппроксимирующих функций для пневматической и механической составляющих запорно-регулирующей аппаратуры и характеристик технического состояния, которая позволяет определить тип поломки при проведении функциональной диагностики.

ТАБЛИЦА I
ТАБЛИЦА КОЭФФИЦИЕНТОВ ФУНКЦИЙ И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Техническое состояние	Область поломки	Тип поломки	Коэффициент p_1	Коэффициенты p_4 , p_5
Исправное	Отсутствует	Отсутствует	$12.5 \pm 9\%$	$0.9545 \pm 10\%$, $1,173 \pm 10\%$.
Неудовлетворительное	Пневматическая	Необходима калибровка позиционера	11.5 – 9.25	Не исследуется
Неисправное	Пневматическая	Повреждение мембраны	<9.25	Не исследуется
Неудовлетворительное	Механическая	Повреждение плунжерной пары	Не исследуется	32.58, 32.92
Неисправное	Механическая	Чрезмерная затяжка сальника	Не исследуется	60.24, 68.28

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Адаменко С.В. Совершенствование методов оценки качества и эксплуатационной надежности запорной арматуры в условиях магистральных газопроводах (на примере ООО «Севергазпром»): дис. к.т.н. Ухта: Ухтанский гос. техн. университет. 2005.
- [2] Зилонов М.О., Шевченко А.Д. Диагностика на базе регулирующих SMART-клапанов нового поколения // Автоматизация в промышленности. 2016. № 10. С. 4–6.
- [3] Диагностика регулирующих клапанов с помощью интеллектуальных (цифровых) позиционеров / Йорг Кисбауэр // Автоматизация в промышленности. 2011. № 11. URL: <https://avtprom.ru/article/diagnostika-reguliruyushchikh-kl>
- [4] Технический каталог. Запорно-регулирующий клапан «Камфлекс» URL: <http://www.dscontrols.ru/data/catalogue/t/series35002.pdf>

GSM-СЕТИ В РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

В.А. Иванов¹, Е.С. Котов¹, И.В. Брейдо¹

¹*Карагандинский Государственный технический университет*

Аннотация – Рассматриваются различные технологии и основные характеристики GSM – сетей, анализируются их достоинства и недостатки и приводятся основные области применения при использовании в качестве канала связи для реализации распределённых систем контроля технологических процессов.

Ключевые слова – GSM-сети, технологии GSM, GSM/GPRS модем

I. ВВЕДЕНИЕ

Потребность в распределенных системах контроля и управления особенно велика на предприятиях, функционирование которых связано с повышенным риском либо требует постоянного контроля за состоянием оборудования или параметрами системы, таких как, коммуникациями большой протяженности: газо- и нефтепроводами, линиями электропередач и другими территориально крупными объектами.

Построения распределенных систем контроля невозможно без обеспечения канала связи для передачи технологической информации между элементами системы.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Выбор канала связи осуществляется из доступного «набора возможностей», поэтому задачей работы является анализ различных технологий реализации GSM канала.

III. ТЕОРИЯ

Возможны различные варианты организации GSM – связи для передачи сообщений:

- 1) Технология CSD. (Circuit Switched Data)
- 2) Технология SMS (функция SMS Tunnel).
- 3) Технология GPRS. т.е. передавать данные со скоростью гораздо большей, чем в режиме CSD.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проверки характеристик GSM – канала связи был использован модем фирмы ГЕОЛИНК.

GSM/GPRS модем «Невод» представляет собой программно-управляемое приемно-передающее устройство, преобразующее сигналы стандартных последовательных интерфейсов RS-232 или RS-485 в радиочастотные послышки и обратно.

GSM/GPRS модем Невод имеет три режима работы:

- SMS (пакетный режим передачи данных).
- CSD (поточковый режим передачи данных).
- GPRS (поточковый режим передачи данных).

В ходе испытаний посылался тестовый сигнал и проверялось время доставки и достоверность принятого сообщения для различных способов организации канала связи. Функциональная схема стенда для испытания GSM – канала приведена на рис.1. Стенд содержит: ИТС -источник A1 тестового сигнала, преобразователь A2 сигнала в код RS-232 или RS-485, GSM – модемы A3, A4, устройство A5 хранения данных, АРМ оператора A6.

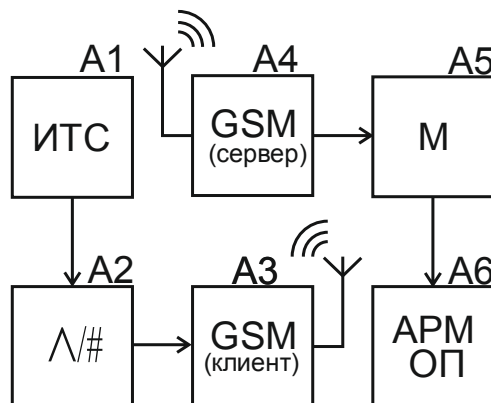


Рис.1. Функциональная схема лабораторного стенда

Результаты испытаний приведены в таблице I.

ТАБЛИЦА I
ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ GSM

Параметр	Технология CSD	Технология SMS	Технология GPRS (клиент-сервер)
Задержка канала (минимальная/максимальная), с	0,5/0,9	5,9/9,4	0,1/3,9
Задержка канала (средняя), с	0,6	7,6	1,3
Пропускная способность канала (минимальная/максимальная), байт/с	940/1120	-	42/1190
Пропускная способность канала (средняя), байт/с	1021	-	613

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

1) Использование CSD — наиболее простой с точки зрения реализации способ построения системы передачи данных. Технология CSD обеспечивает прозрачный канал передачи данных, но требует предварительной установки соединения. Это накладывает определенные ограничения на применение CSD: оборудование, использующее этот канал связи, должно поддерживать функции работы с модемами и в нужный момент выдавать команды на установку/разрыв соединения. Тарификация передачи данных производится на повременной основе.

Важным преимуществом применения CSD является гарантированная стандартном GSM пропускная способность канала – 9,6 Кбит/сек. Такая технология подходит при необходимости передавать информационные пакеты с низкой периодичностью. Передача данных одновременно может происходить только между двумя объектами.

Для осуществления передачи необходимо использовать радиомодем на обоих концах канала связи. Наличие GPRS сети не является обязательным условием при работе в данном режиме.

Приведенные результаты позволяют использовать CSD – канал в задачах оперативного управления – для удаленной настройки оборудования, консольного управления, консольного управления, программирования контроллеров, опроса данных с удаленных датчиков, устройств УСПД.

2) Технология SMS проста в настройке и обеспечивает канал передачи данных без необходимости предварительной установки соединения. При использовании технологии передачи SMS происходит установка соединения каждый раз, когда нужно передать данные. Тарификация происходит по количеству отправленных сообщений, каждое сообщение может вмещать до 140 байт информации. Ограничения на использование этой технологии связаны с особенностями передачи SMS-сообщений: не гарантированная доставка сообщения, данные большого объема (т.е. не уместяющиеся в одно SMS-сообщение) будут разбиты на несколько сообщений. Среди возможных вариантов применения режима SMS можно выделить использование в системах контроля и мониторинга медленно меняющихся процессов, таких как: сигнализации и предупреждения персонала: при выходе контролируемого параметра за пределы допустимого значения.

3) При использовании технологии GPRS соединение с диспетчерским пунктом (сервером) происходит в момент включения модема и сохраняется до потери связи либо до его отключения. Такая технология подходит при необходимости передавать информационные пакеты с частой периодичностью. Передача данных одновременно может происходить только между несколькими клиентами и сервером, имеющим статический IP-адрес, что позволяет достаточно быстро производить опрос большого количества пунктов сбора данных. Для осуществления передачи радиомодем необходимо использовать только в пунктах сбора данных. В диспетчерском пункте достаточно иметь выход в интернет. Технология связи GPRS может применяться при удаленном мониторинге длительно текущих процессов: опрос счетчиков, мониторинг температуры и влажности окружающей среды, контроль уровня жидкостей, слежение за процессом и т.д..

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сотовые технологии удовлетворяют требованиям, предъявляемым задачам телеметрии и удаленного управления технологическими процессами и GSM – сети возможно использовать в качестве канала для передачи технологической информации. Однако, сама по себе GSM-сеть, уступает проводным сетям по критериям надежности, скорости и коррекции ошибок и для повышения надежности и достоверности передачи информации требуется принимать дополнительные меры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] И.В. Дианов. M2M: использование GSM-сетей для передачи данных в территориально распределенных технологических системах // Вестник связи. 2009. № 10. С. 14 – 18.
- [2] Масленкова И., Команцев А. GSM/GPRS технологии в системах промышленной автоматизации – «CONTROL ENGINEERING РОССИЯ» НОЯБРЬ-ДЕКАБРЬ 2008, с.2–6.
- [3] Моисеенко Д. Оптимизация работы модемов в режиме передачи данных по сети GSM / Д. Моисеенко // Компоненты и технологии. 2003. №° 4.