

На правах рукописи



ЧЖО МИН У

**РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЯКОРНОЙ ЛЕБЕДКИ СУДНА**

Направление 27.04.04 – «Управление в технических системах»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
магистра техники и технологии

Комсомольск-на-Амуре – 2018

Кортун Елена Борисовна
Проверено
27.06.2018 Зачтено Библиотека

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы- Расширение возможностей нечетких систем управления при реализации законов управления судовыми механизмами.

Целью работы -Разработка модели нечеткого логического регулятора с различным сочетанием алгоритмов вывода с учетом особенностей функционирования объекта регулирования.

Основные задачи магистерской диссертации _Моделирование структуры интеллектуальной системы управления на базе основных положений нечеткой логики и ее анализ с целью выработки рекомендаций по реализации таких систем.

Характеристика объекта и предмета исследования _Реализация управления судовым механизмом по средствам интеллектуальных процедур и алгоритмов нечеткого вывода.

Характеристика методологического аппарата _При исследовании используются основные положения теории автоматического регулирования а, так же методы и алгоритмы основанные на нечетком подходе.

Научная новизна магистерской диссертации _Разработка модели интеллектуального регулятора сложным технологическим объектом.

Практическая ценность магистерской диссертации _Реализация нечеткой системы управления электроприводом якорной лебедки.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, практическая ценность.

В первой главе приведен анализ технологического процесса, описаны назначение и основные элементы таких судовых механизмов как якорно-швартовочные устройства. Рассмотрена классификация и выделены особенности шпилей и брашпелей. Представлены требования, предъявляемые к якорным электроприводам и системам управления электроприводами якорно-швартовочных устройств. Проведен анализ систем и средств автоматизации якорных устройств, а также классификация. Отмечены наиболее эффективные и распространенные подходы к реализации систем управления подобного класса устройствами, среди которых можно выделить: релейно-контакторные схемы управления, электромашинные схемы управления, а также схемы тиристорного управления. Кроме того, рассмотрены возможности и предпосылки к применению интеллектуальных подходов для реализации систем управления якорно-швартовочными устройствами.

Во второй главе приведен обзор основных положений теории нечетких множеств, представлены понятия и определения: нечеткого множества, нечеткой переменной, лингвистической переменной, алгоритма нечеткого логического вывода, методов приведения к четкости и функции принадлежности.

В третьей главе приведен расчет параметров структурной схемы электропривода якорно-швартовочных устройств, представлены передаточные функции преобразователя частоты и основных элементов структурной схемы классической системы управления:

$$W_{пч}(p) = \frac{k_{пч}}{T_{пч}p + 1},$$

где $k_{пч}$ – коэффициент передачи частотного преобразователя;

$T_{пч}$ – постоянная времени частотного преобразователя, с.

Постоянная времени $T_{ПЧ}$ для частотного преобразователя составляет 0,001 с.

Электромагнитная постоянная времени якоря, с:

$$T_{\omega} = \frac{1}{2\pi f \cdot s_{КР}}; T_{\omega} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,204} = 0,016.$$

Механическая постоянная времени, с:

$$T_M = \frac{J}{\beta}, T_M = \frac{1,38}{283,3} = 0,0048.$$

где β – жёсткость механической характеристики.

$$\beta = \frac{2M_{КР}}{\omega_0 \cdot s_{КР}}; \beta = \frac{2 \cdot 4450}{154 \cdot 0,204} = 283,3;$$

Коэффициент ЭДС:

$$k_E = \frac{U_H - I_H \cdot R_{Я}}{\omega_H}; k_E = \frac{380 - 132 \cdot 0,063}{154} = 2,414.$$

Передаточный коэффициент по току:

$$k_T = \frac{U_{3Г}}{2,5 \cdot I_2}, k_T = \frac{10}{2,5 \cdot 81,2} = 0,049.$$

где $I_{Я}$ – ток ротора, А.

$$I_2 = \frac{P_H}{m \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta}; I_2 = \frac{70 \cdot 10^3}{3 \cdot 380 \cdot 0,89 \cdot 0,85} = 81,2;$$

Передаточная функция преобразователя частоты:

$$K_{ПЧ} = \frac{f}{U_{3С}}; K_{ПЧ} = \frac{50}{10} = 5.$$

Передаточный коэффициент по скорости определяется по выражению:

$$K_C = \frac{U_{3С}}{\omega_H}; K_{ПЧ} = \frac{10}{154} = 0,065.$$

Коэффициент обратной связи по потокосцеплению:

$$K_{II} = \frac{U_{3II}}{\psi_2},$$

где ψ_2 – выходное потокосцепление.

$$\psi_2 = L_2 \cdot I_2 + L_{12} \cdot I_1; \quad \psi_2 = 0,19 \cdot 81,2 + 0,18 \cdot 81,2 = 30,044.$$

$$K_{II} = \frac{10}{30,044} = 0,332.$$

Настройка контура тока, представленная на рисунке 1, проводилась по следующему стандартному алгоритму

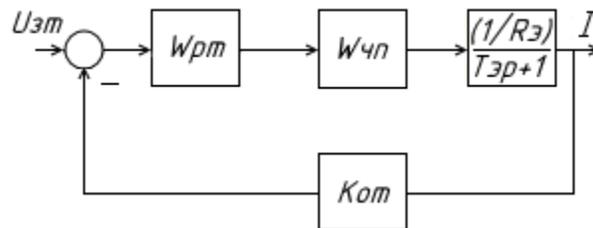


Рисунок 1 – Структурная схема контура тока

Синтез регуляторов производится при настройке контуров на технический оптимум. При этом некомпенсируемая малая постоянная времени контура тока $T_{\mu T}$ может быть принята равной $T_{\text{чп}}$. Для быстрого быстрогодействия и отсутствия перерегулирования контур тока настраивается на модульный оптимум. Объектом регулирования является якорная цепь двигателя.

Желаемая передаточная функция разомкнутого контура тока, настроенного на модульный оптимум имеет вид:

$$W_{\text{р.г.жел}} = \frac{1}{2 \cdot T_{\text{пч}} p \cdot (T_{\text{пч}} p + 1)}.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока:

$$W_{PT.зам} = W_{PT}(p) \cdot \frac{R_{\Sigma}(T_{\Sigma}p+1)}{2 \cdot T_{Пч} \cdot k_{Пч} \cdot k_{ДТ} \cdot p},$$

где R_{Σ} – эквивалентное сопротивление цепи статора двигателя, Ом.

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 \left(\frac{L_{12}^2}{L_2^2} \right); \quad R_{\Sigma} = 0,086 + 0,063 \cdot \left(\frac{0,18^2}{0,19^2} \right) = 0,143.$$

Передаточную функцию замкнутого контура тока приводим к виду:

$$W_{PT.раз}(p) = W_{PT}(p) \cdot \frac{k_{Пч}}{T_{Пч}p+1} \cdot \frac{1}{\frac{R_{\Sigma}}{T_{\Sigma}p+1}}.$$

Приравняв выражения, получим передаточную функцию регулятора тока:

$$W_{PT}(p) = \frac{R_{\Sigma}(T_{\Sigma}p+1)}{2 \cdot T_{Пч} \cdot k_{Пч} \cdot k_{ДТ} \cdot p},$$

$$W_{PT}(p) = \frac{R_{\Sigma} \cdot T_{\Sigma}p}{2 \cdot T_{Пч} \cdot k_{Пч} \cdot k_{ДТ} \cdot p} + \frac{R_{\Sigma}}{2 \cdot T_{Пч} \cdot k_{Пч} \cdot k_{ДТ} \cdot p}.$$

$$W_{PT}(p) = \frac{0,143 \cdot 0,0016 \cdot p}{2 \cdot 0,001 \cdot 5 \cdot 0,049 \cdot p} + \frac{0,143}{2 \cdot 0,001 \cdot 5 \cdot 0,049 \cdot p} = 0,46 + \frac{191,8}{p}.$$

Контур регулирования потока настраиваем на модульный оптимум. Так как ранее контур тока настроен на модульный оптимум, его передаточная функция:

$$W_{КТ.зам}(p) = \frac{1}{k_T(2 \cdot T_{Пч}^2 p^2 + 2 \cdot T_{Пч} \cdot p + 1)}.$$

Ввиду незначительной малости величины $2 \cdot T_{Пч}^2 p^2$, при расчётах ею можно пренебречь для упрощения дальнейших расчётов.

Желаемая передаточная функция контура потока:

$$W_{ПП.жел} = \frac{1}{2 \cdot T_{Пч} p \cdot (T_{Пч} p + 1)}.$$

Так как постоянная времени $T_{П} = 2T_{Пч}$, передаточная функция примет вид:

$$W_{ПП.жел} = \frac{1}{4 \cdot T_{Пч} p \cdot (2 \cdot T_{Пч} p + 1)}.$$

Передаточная функция разомкнутого контура потока, имеет вид:

$$W_{PI}(p) = W_{PI,раз}(p) \cdot \frac{1}{k_T \cdot (2 \cdot T_{пч} p + 1)} \cdot \frac{L_{12}}{T_2 p + 1},$$

Тогда, приравняв желаемую функцию и функцию разомкнутого контура потока получим:

$$W_{PI,раз}(p) = \frac{k_T \cdot (T_2 p + 1)}{4 \cdot T_{пч} \cdot L_{12} \cdot p};$$

Раскрывая скобки получим:

$$W_{PI,раз}(p) = \frac{0,049 \cdot 0,1 \cdot p}{4 \cdot 0,001 \cdot 0,18 \cdot p} + \frac{0,049}{4 \cdot 0,001 \cdot 0,18 \cdot p} = 6,8 + \frac{68,05}{p}.$$

Для повышения жёсткости характеристик, контур скорости настроим на симметричный оптимум.

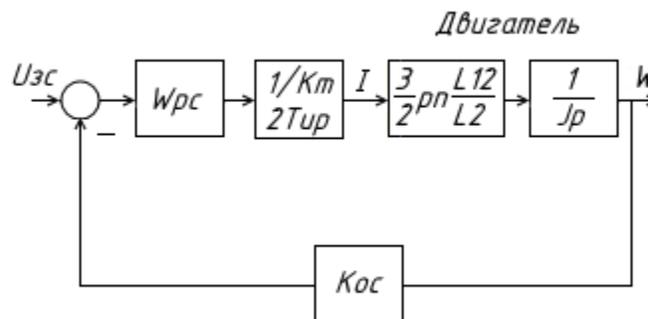


Рисунок 2 – Структурная схема контура скорости

Желаемая передаточная функция контура скорости:

$$W_{PC,жел}(p) = \frac{4 \cdot T_C \cdot p + 1}{8 \cdot T_C^2 \cdot p^2 \cdot (T_C \cdot p + 1)}.$$

Постоянная времени контура скорости, с:

$$T_C = 2 \cdot T_{пч}.$$

Передаточная функция разомкнутого контура скорости, настроенного на симметричный оптимум имеет вид:

$$W_{PC}(p) = W_{PI}(p) \cdot \frac{1}{k_T \cdot (2 \cdot T_{пч} \cdot p + 1)} \cdot \frac{3}{2} \cdot p_{II} \cdot \frac{L_{12}}{L_2} \cdot \frac{1}{J \cdot p} \cdot k_C,$$

где P_{Π} – число пар полюсов двигателя.

Приравнявая $W_{PC.жел}(p)$ и $W_{PC}(p)$, получим передаточную функцию регулятора скорости:

$$W_{PC}(p) = \frac{(8 \cdot T_{ПЧ} \cdot p + 1) \cdot J \cdot k_T \cdot (2 \cdot T_{ПЧ} \cdot p + 1) \cdot 2 \cdot L_2}{32 \cdot T_{ПЧ}^2 \cdot p^2 \cdot (2 \cdot T_{ПЧ} \cdot p + 1) \cdot k_C \cdot 3 \cdot p_{\Pi} \cdot L_{12} \cdot k_C};$$

$$W_{PC}(p) = \frac{2 \cdot 0,049 \cdot 1,38 \cdot 0,19}{4 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 0,18 \cdot 0,001 \cdot 0,065} + \frac{2 \cdot 0,049 \cdot 1,38 \cdot 0,19}{32 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 0,18 \cdot 0,001^2 \cdot 0,065 \cdot p} = 45,75 + \frac{57,28}{p}.$$

Четвертая глава посвящена синтезу нечеткой системы управления якорно-швотовочными устройствами. Основной спектр систем управления якорно-швартовочными устройствами представлен системами, реализующими классические алгоритмы регулирования. Условно такие системы можно разделить на два класса- это системы реализующие законы управления аналогового вида и, соответственно, реализующие цифровую форму. Для всех описанных выше систем присущи, в общем, аналогичные недостатки, связанные с существенным количеством допущений и неполнотой информации, которые определяются целым рядом факторов таких как вязкость грунта, глубина погружения, волнение и т.п.

На рисунке 3 представлена структурная схема нечеткой системы управления электроприводом якорно-швартовочного устройства. На представленной структурной схеме проведена замена классического регулятора реализующего ПИ-закон управления на нечеткий логический регулятор. Нечеткий логический регулятор построен с применением алгоритма вывода Сугено и имеет на своем входе три лингвистические переменные.

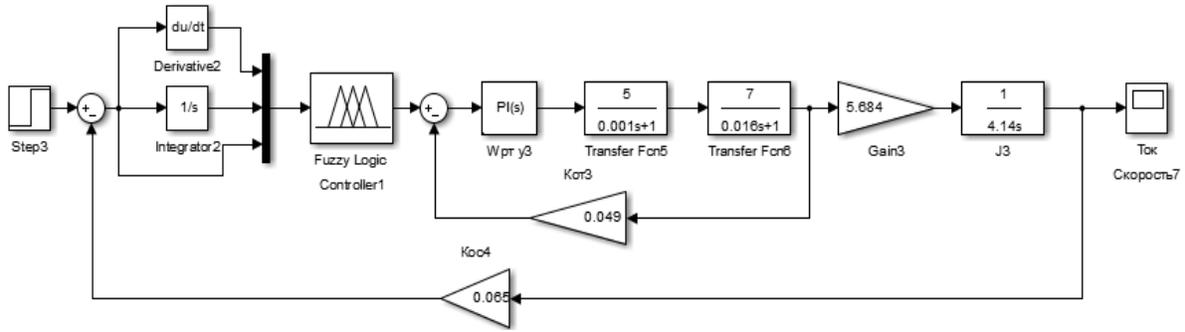


Рисунок 3 – Интеллектуальная система управления электроприводом якорно-швартовочного устройства.

Первый вход описывается лингвистической переменной соответствующей понятию «производная ошибки регулирования». Базовое терм-множество этой переменной представлено пятью нечеткими переменными треугольного вида и соответствующим диапазоном регулирования. Второй вход нечеткого регулятора формализуется лингвистической переменной «интегральная составляющая ошибки регулирования», пятью нечеткими термами в базовом терм-мноестве и заданной областью определения. Третья лингвистическая переменная соответствует непосредственно понятию «ошибка регулирования» и описывается аналогичным набором параметров.

Выход нечеткого регулятора реализует набор из пяти констант в соответствии с алгоритмом вывода Сугено нулевого порядка. База знаний интеллектуального модуля описывается набором из 5 нечетких продукционных правил, полнота и непротиворечивость которых проверяется стандартами способами.

1. Если «ошибка по скорости дифференциального» (X_1) есть $mf1$, тогда «сигнал управления» (U)=-450 есть $mf1$.
2. Если «ошибка по скорости дифференциального» (X_1) есть $mf2$, тогда «сигнал управления» (U)=-225 есть $mf2$.

3. Если «ошибка по скорости дифференциального» (X_1) есть $mf3$, тогда «сигнал управления» (U)=0 есть $mf3$.
4. Если «ошибка по скорости дифференциального» (X_1) есть $mf4$, тогда «сигнал управления» (U) =225 есть $mf4$.
5. Если «ошибка по скорости дифференциального» (X_1) есть $mf5$, тогда «сигнал управления» (U) =450 есть $mf5$.

Анализ результатов моделирования для нечеткой и классической систем управления представлен на рисунке 4.

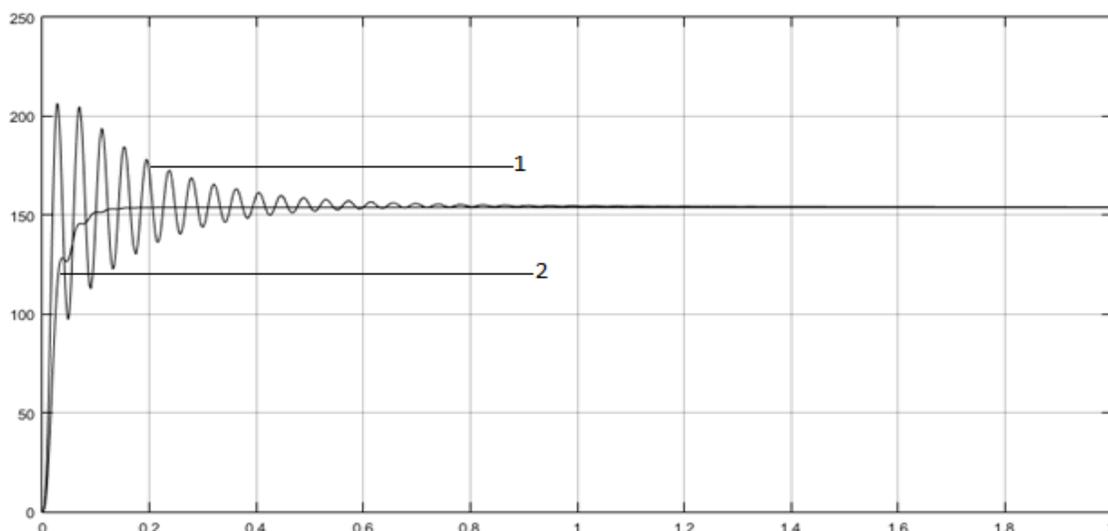


Рисунок 4- Переходные характеристики системы по скорости.

1-классическая система управления

2-система управления нечетким регулятором Сугено.

Графики переходных процессов по скорости для классической системы управления и интеллектуальной системы с нечётким логическим регулятором наглядно иллюстрируют целесообразность применения интеллектуальной технологии управления. Нечеткая система позволяет существенно сократить амплитуду колебаний, снизить величину перерегулирования и как следствие сократить время регулирования.

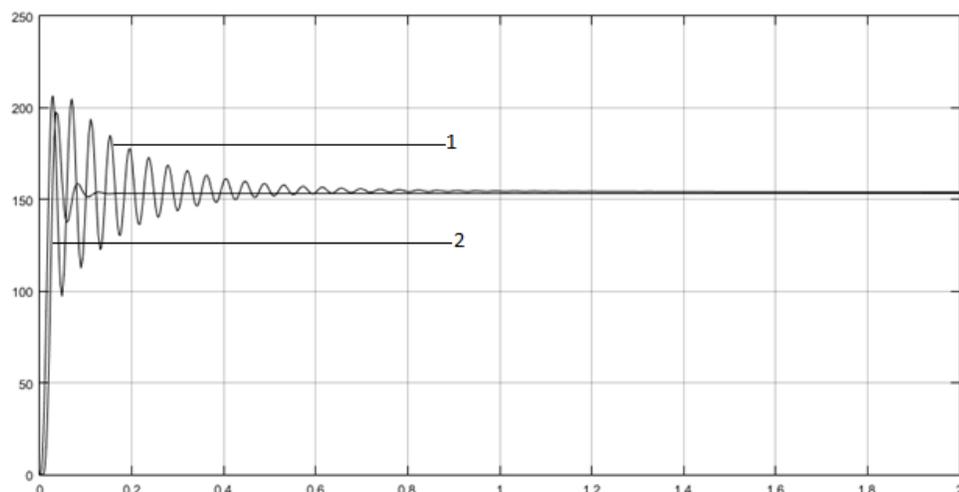


Рисунок 5- Переходные характеристики системы по скорости. 1-классическая система управления 2-система управления нечетким регулятором Мамдани

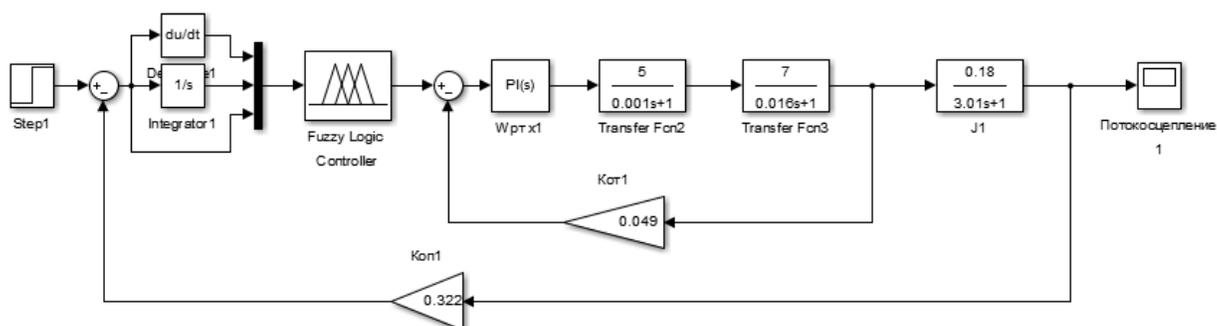


Рисунок 6– Интеллектуальная система управления электроприводом якорно-швартовочного устройства

База знаний интеллектуального модуля описывается набором из 5 нечетких продукционных правил, полнота и непротиворечивость которых проверяется стандартами способами.

1.Если «ошибка по положением дифференциального» (X_1) есть $mf1$, **тогда** «сигнал управления» (U)=-110 есть $mf1$.

2.Если «ошибка по положением дифференциального» (X_1) есть $mf2$, **тогда** «сигнал управления» (U) =-55есть $mf2$.

3.Если «ошибка по положением дифференциального» (X_1) есть $mf3$, тогда «сигнал управления» (U)=0 есть $mf3$.

4.Если «ошибка по положением дифференциального» (X_1) есть $mf4$, тогда «сигнал управления» (U)=55 есть $mf4$.

5.Если «ошибка по положением дифференциального» (X_1) есть $mf5$, тогда «сигнал управления» (U)=110 есть $mf5$.

Анализ результатов моделирования для нечеткой и классической систем управления представлен на рисунке 7 и 8.

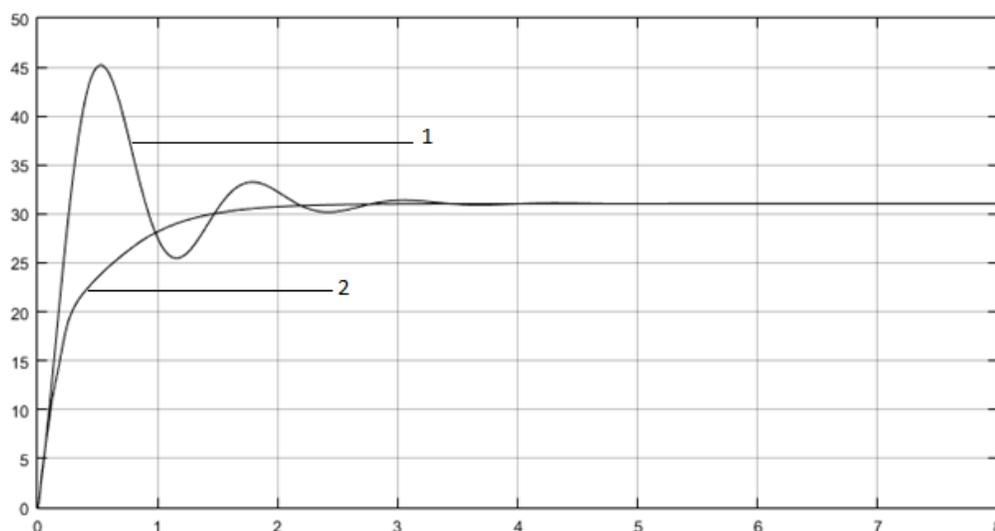


Рисунок 7- Переходные характеристики системы по положением.

1-классическая система управления

2-система управления нечетким регулятором Сугено.

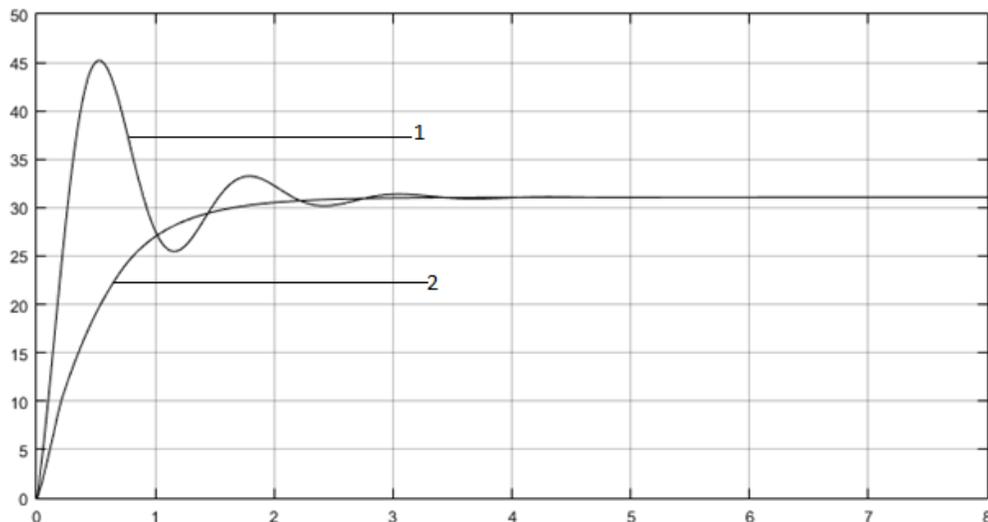


Рисунок 8 - Переходные характеристики системы по положением.

1-классическая система управления

2-система управления нечетким регулятором Мамдани.

Анализ полученных динамических характеристик наглядно иллюстрируют целесообразность применения интеллектуальных систем управления с применением теории нечетких множеств.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе был проведен синтез нечетких регуляторов Сугено и Мамдани для систем управления якорно-швартовочными устройствами. Нечеткая система позволяет существенно сократить амплитуду колебаний, снизить величину перерегулирования и как следствие сократить время регулирования. Классические системы управления приводами якорно-швартовочных механизмов чаще всего представляют собой разомкнутые системы, в редких случаях применяются местные обратные связи. По условиям работы якорно-швартовочных механизмов их электропривода должны

работать в кратковременном режиме, обеспечивая подъем и спуск якоря с разными скоростями, плавный пуск при полной нагрузке и торможение, стоянку исполнительного двигателя под током в течение 0,5 мин.

Все представленные ранее схемы реализации управления якорно-швартовочным механизмом не лишены своих недостатков. Кроме того, для более эффективного функционирования таких систем существует возможность использования более сложных законов управления с учетом достаточно обширного ряда недетерминированных возмущений, к которым можно отнести изменение скорости вращения с учетом волнения, изменение момента отрыва якоря с учетом структуры грунта и т.п.

Снизить влияние таких факторов возможно при использовании интеллектуальных систем управления основанных на мягких вычислениях. Применение нечетких систем управления позволяет нивелировать недостатки и неполноту информации в описании, как исходной модели объекта управления, так и с учетом различного рода возмущающих воздействий. Вместе с тем, необходимо отметить, что решение задачи управления с применением подобного рода подходов сопряжена с рядом проблем, например, выбором алгоритма нечеткого логического вывода, выбора необходимого количества входных лингвистических переменных, построения полной и непротиворечивой базы знаний, выбора количества, формы и распределения функций принадлежности в заданном диапазоне регулирования.

Таким образом, применение систем управления основанных на теории нечетких множеств позволит решить задачу регулирования якорно-швартовочным устройством с учетом всех возлагаемых на подобные механизмы требований, а также ввести в рассмотрение целый ряд факторов и

параметров формализация которых в обычном математическом смысле представляет собой существенную сложностью.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Чжо Мин У. Система управления электроприводом якорной лебедки с использованием мягких вычислений / Мин У Чжо, С.П. Черный - Материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре ФГБОУ ВО «КнАГУ» 10-21 апреля 2017 г. С 1189-1191

2. Максимова Н.А. Исследование возможности аппаратной реализации нечётких регуляторов / Н.А. Максимова, Мин У Чжо, С.П. Черный. Гагаринские чтения – 2017: XLIII Международная молодёжная научная конференция: Сборник тезисов докладов: М.; Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), С 471-472

3. Черный С.П. Анализ влияния параметров объекта управления на основные характеристики нечеткого регулятора / С.П. Черный, А.В. Бузикаева, Е.О. Полей, Чжо Мин У - Ученые записки КнАГУ, Комсомольск-на-Амуре, 2018, №1-1(33), «Науки о природе и технике». - С.28-33

4. Чжо Мин У. Синтез нечеткой системы управления якорно-швартовочным устройством / Мин У Чжо, С.П. Черный - Материалы 48-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре ФГБОУ ВО «КнАГУ» 10-21 апреля 2018 г.