



Попова В. С., Соловьёв В. А.
V. S. Popova, V. A. Solovyev

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ СИНТЕЗА НЕЧЁТКОГО ИДЕНТИФИКАТОРА ПО ПРЯМЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF THE METHOD OF FUZZY IDENTIFIER SYNTHESIS USING DIRECT QUALITY INDICATORS

Соловьёв Вячеслав Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: keparu@knastu.ru.

Mr. Vyacheslav A. Solovyev – Dr. habil. in Engineering, Professor, Head of the Department of Electro Drive Engineering and Industrial Automation, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: keparu@knastu.ru.

Попова Валерия Сергеевна – студент Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: valeriya.guzhvina93@gmail.com.

Mrs. Valeriya S. Popova – Student, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: valeriya.guzhvina93@gmail.com.

Аннотация. В статье разработана система нечёткой идентификации процесса ледообразования. Представлены настройка нечёткого регулятора, отрабатывающего зависимость интенсивности стекловидно-слоистого гололёда от температуры воздуха, настройка нечёткого регулятора, отрабатывающего зависимость интенсивности стекловидного гололёда от температуры воздуха.

Summary. The article describes the system of fuzzy identification of the process of ice formation. The authors present the configuration of a fuzzy regulator that fulfills the dependence of the intensity of vitreous-layered ice on the air temperature, adjustment of a fuzzy regulator that fulfills the dependence of the vitreous ice intensity on the air temperature.

Ключевые слова: ЛЭП, удаление гололёда, электродинамический способ, численный эксперимент, нечёткий идентификатор.

Key words: power line, ice removal, electrodynamic method, numerical experiment, fuzzy identifier.

УДК 004.942

Введение

Человечество всегда осознавало необходимость предугадывать будущее. Но особенно сильно роль прогнозирования увеличилась в наши дни при достаточно быстрых темпах развития общества, науки и техники, производства и производственных отношений. Для того чтобы эффективно бороться с образованием гололёда на проводах ЛЭП, необходимо использовать системы прогнозирования гололёдообразования.

В последние годы новые методы метеомоделирования и прогнозирования атмосферных процессов позволяют с более высокой точностью и достоверностью оценивать как количественные параметры уже сформировавшихся гололедных отложений, так и ожидаемые свойства отложений льда на поверхностях различных объектов. Важным аспектом этих разработок является возможность интеграции моделей локального масштаба с глобальными системами метеорологического прогнозирования. Эффекта удалось достичь путем создания ряда переходных элементов моделирования, что позволило преодолеть технические сложности резкого перехода от глобальных моделей к локальному моделированию с масштабами в несколько сотен метров. Эти достижения имеют большое практическое значение, поскольку более раннее предупреждение о гололедной

опасности позволяет подготовить и реализовать ряд превентивных мер, направленных на уменьшение отрицательных последствий гололедообразования на ВЛ.

На сегодняшний день системы прогнозирования ледообразования разработаны в основном только для авиационной техники. Прямое использование таких систем применительно к проводам ЛЭП невозможно в связи с резко отличающимися атмосферными условиями и параметрами объекта. Поэтому задача разработки модуля прогнозирования процесса гололедообразования на проводах ЛЭП является востребованной.

Анализ технических источников по тематике ледообразования указывает на недостаток информации, отражающей выявление аналитических закономерностей ледообразования в зависимости от важнейших параметров: температуры, влажности, скорости ветра, погодных условий и т.д. Поэтому на сегодняшний день не существует подхода к математическому описанию образования ледяного покрова на проводах ЛЭП. В ряде источников за основу берётся ограниченное количество параметров, которые принимаются субъективно за важнейшие и на базе них по экспериментальным и эмпирическим зависимостям делается попытка создания математических моделей отложений льда на проводах ЛЭП.

Так как необходимые для создания математической модели данные весьма ограничены и определяются в основном качественно, то напрашивается решение осуществить поиск зависимостей путём реализации интеллектуальных блоков. Например, с использованием нечёткой логики.

Разработка нечёткого идентификатора

В качестве примера рассмотрим зависимость интенсивности стекловидно-слоистого гололёда от температуры воздуха. Настроим нечёткий регулятор на основании данных табл. 1.

Таблица 1
 Зависимость интенсивности стекловидно-слоистого гололёда от температуры воздуха [2]
 в процентах

Температура		Интенсивность, мм		
от	до	Слабая (6...8)	Умеренная (9...16)	Сильная (>17)
0	-1	18	47	35
-2	-3	24	57	19
-4	-5	33	67	0
-6	-7	0	100	0

В качестве алгоритма нечеткого логического вывода выберем алгоритм Сугено как наиболее интуитивно доступный для составления базы правил. Функциональная схема регулятора приведена на рис. 1. При разработке прогнозирующего модуля будем учитывать 2 основных входных параметра, которые представлены в таблице: температура воздуха и интенсивность отложений льда в миллиметрах. В качестве выходных параметров используем интенсивность ледообразования в процентах.

На рис. 2...4 приведены экранные формы, отражающие распределение нечетких термов входных и выходной переменных (рис. 2 соответствует первой входной переменной, рис. 3 – второй входной переменной, рис. 4 – выходной переменной).

Диапазон значений входной переменной «температура» $-7...0$ °С. Переменная содержит 4 нечетких терма, описывающих диапазоны температур, при которых происходит образование гололёда. Каждый терм соответствует температурному диапазону табл. 1.

Диапазон значений второй входной переменной – $6...30$ мм.

Входная переменная «интенсивность (в мм)» содержит три терма, описывающих слабую (6...8), умеренную (9...16) и сильную (>17) интенсивность гололедообразования.

База правил, характеризующая формирование выходной переменной, показана на рис. 5. Каждая из трех выходных переменных содержит по четыре нечетких терма, значения которых соответствуют табл. 1.

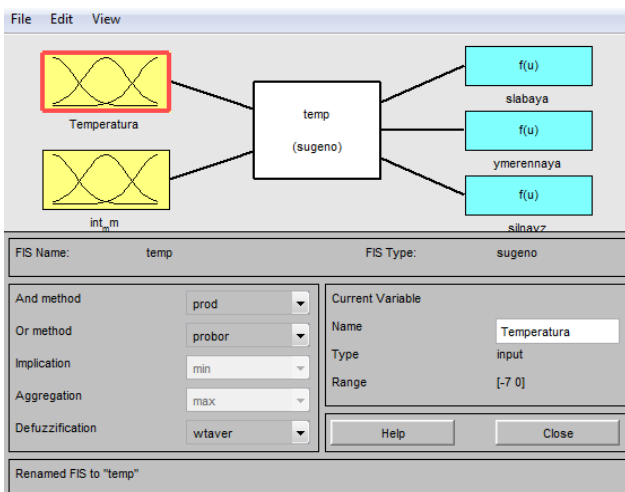


Рис. 1. Функциональная схема полученного нечёткого прогнозирующего модуля

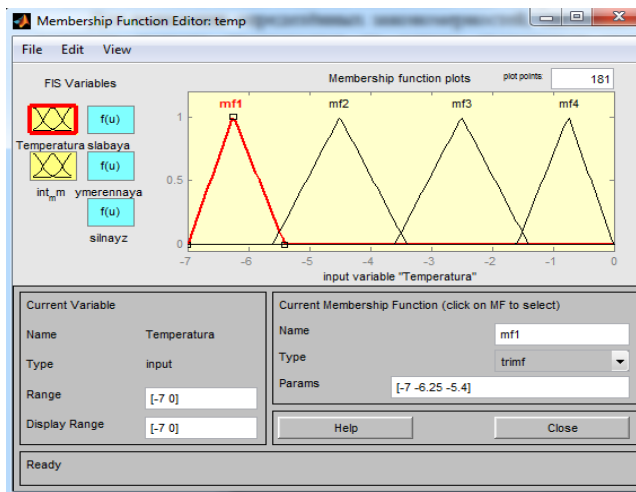


Рис. 2. Распределение нечётких термов первой входной переменной

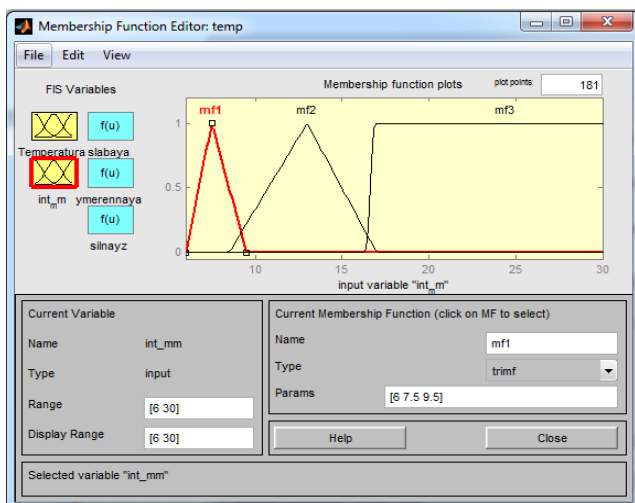


Рис. 3. Распределение нечётких термов второй входной переменной

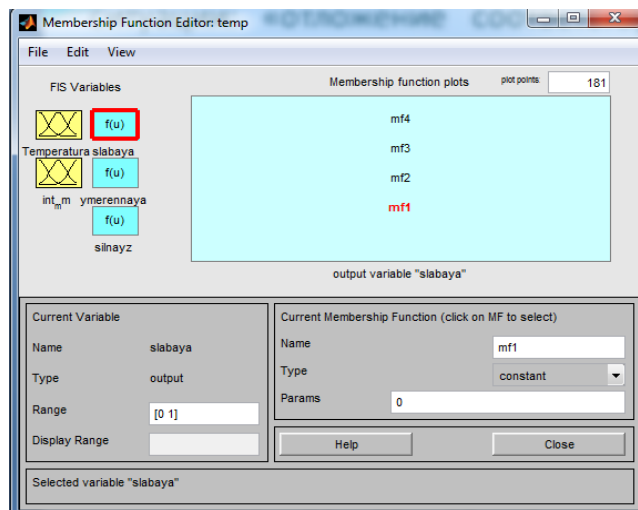


Рис. 4. Распределение нечётких термов первой выходной переменной

1. If (Temperatura is mf1) and (int_mm is mf1) then (slabaya is mf1) (1)
2. If (Temperatura is mf2) and (int_mm is mf1) then (slabaya is mf2) (1)
3. If (Temperatura is mf3) and (int_mm is mf1) then (slabaya is mf3) (1)
4. If (Temperatura is mf4) and (int_mm is mf1) then (slabaya is mf4) (1)
5. If (Temperatura is mf1) and (int_mm is mf2) then (ymerennaya is mf1) (1)
6. If (Temperatura is mf2) and (int_mm is mf2) then (ymerennaya is mf2) (1)
7. If (Temperatura is mf3) and (int_mm is mf2) then (ymerennaya is mf3) (1)
8. If (Temperatura is mf4) and (int_mm is mf2) then (ymerennaya is mf4) (1)
9. If (Temperatura is mf1) and (int_mm is mf3) then (silnaysz is mf1) (1)
10. If (Temperatura is mf2) and (int_mm is mf3) then (silnaysz is mf2) (1)
11. If (Temperatura is mf3) and (int_mm is mf3) then (silnaysz is mf3) (1)
12. If (Temperatura is mf4) and (int_mm is mf3) then (silnaysz is mf4) (1)

Рис. 5. База правил полученного нечеткого прогнозирующего модуля, связывающая набор входных и выходных параметров

Проверим базу правил на модели, представленной на рис. 6.

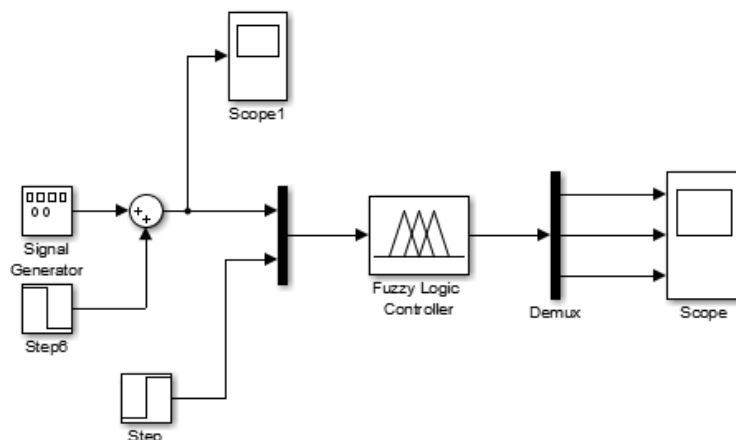


Рис. 6. Функциональная схема системы с нечётким регулятором

Чтобы проверить адекватность составленной модели, подадим на вход «температура» пилообразный сигнал с частотой 0,1 Гц, амплитудой 3,5, вид которого приведен на рис. 7. На вход «интенсивность» подадим ступенчатый сигнал, равный 7, что соответствует слабой интенсивности. В таком случае будет задействован выход № 1. Результат реакции системы приведен на рис. 8.

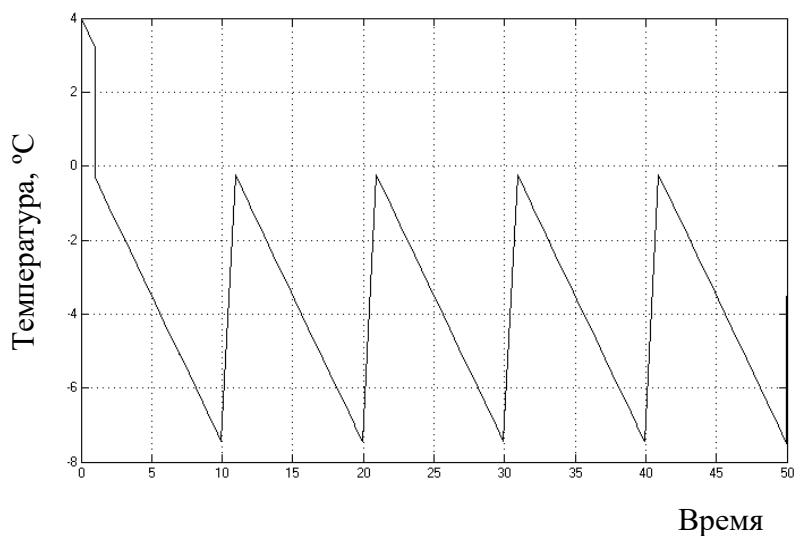


Рис. 7. Сигнал, поданный на вход первой входной переменной нечёткого регулятора

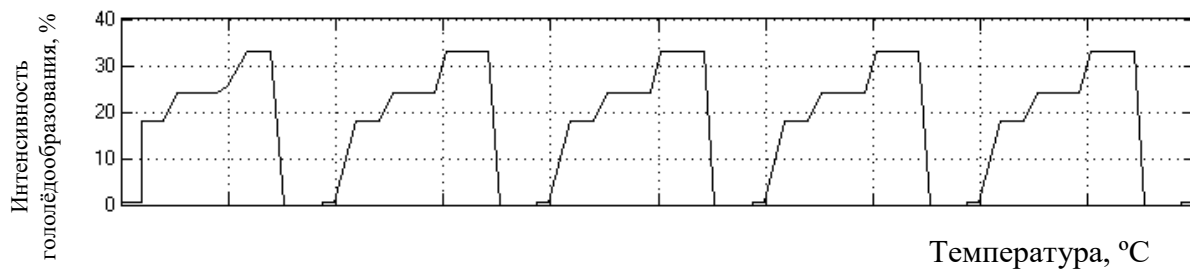


Рис. 8. График переходного процесса при входном сигнале с частотой в 0,1 Гц

Как видно из рис. 8, регулятор практически полностью обрабатывает все табличные значения. Изменим частоту на 0,01 Гц, затем на 1 Гц. Результаты реакции системы приведены на рис. 9 и 10.

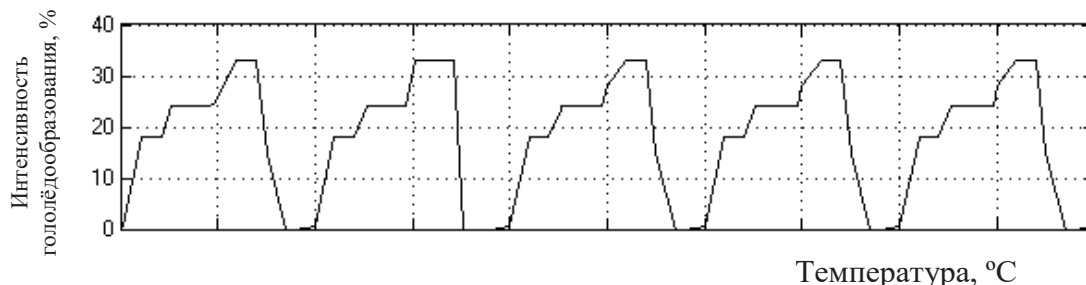


Рис. 9. График переходного процесса при входном сигнале с частотой в 0,01 Гц

Как видно из рис. 9 и 10, форма сигнала, координаты основных точек, а также долевое участие рабочей зоны не изменились.

Исследуем второй выход. Подадим на вход «интенсивность» ступенчатый сигнал, равный 13, что соответствует умеренной интенсивности. Результаты сведём в табл. 2.

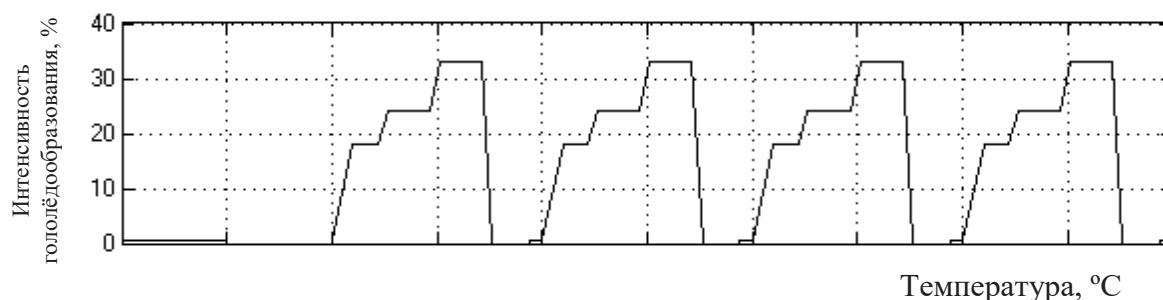


Рис. 10. График переходного процесса при входном сигнале с частотой в 1 Гц

Таблица 2

Долевое участие рабочей зоны в зависимости от частоты

в процентах

Интенсивность, мм	Частота, Гц		
	1	0,1	0,01
47	10	10	11
57	23	23	24
67	15	16	15
100	18	20	18

Исследуем третий выход. Подадим на вход «интенсивность» ступенчатый сигнал, равный 20, что соответствует сильной интенсивности. Результаты сведём в табл. 3.

Вывод: при изменении частоты графики остаются адекватными и выходят на изначально заданные значения. Система работает адекватно, задействует правильные выходы при различных значениях второй входной переменной. Долевое участие рабочей зоны для каждого графика практически не изменяется.

Таблица 3

Долевое участие рабочей зоны «сильная интенсивность» в зависимости от частоты в процентах

Интенсивность, мм	Частота, Гц		
	1	0,1	0,01
35	10	10	11
19	20	22	21
0	50	50	50

При произвольно выбранном распределении термов, как видно из графиков (см. рис. 8...10), выходная величина выходит на заданные значения ступенчато. В реальных условиях резкого изменения входных параметров происходить не может, т.е. переход от одного фиксированного значения на другое должен происходить плавнее. Задачи нечёткого идентификатора должны включать в себя функцию исключения влияния темпа входного воздействия. Это можно осуществить путём повышения интеллектуальных свойств идентификатора, например, рациональным изменением функций принадлежности. Для этого изменим распределение термов первой входной переменной «температура». При этом изменение будем производить в сторону увеличения их интенсивности в районе диапазона температур $-2...-5$ °С. Варианты такой коррекции показаны на рис. 11...13.

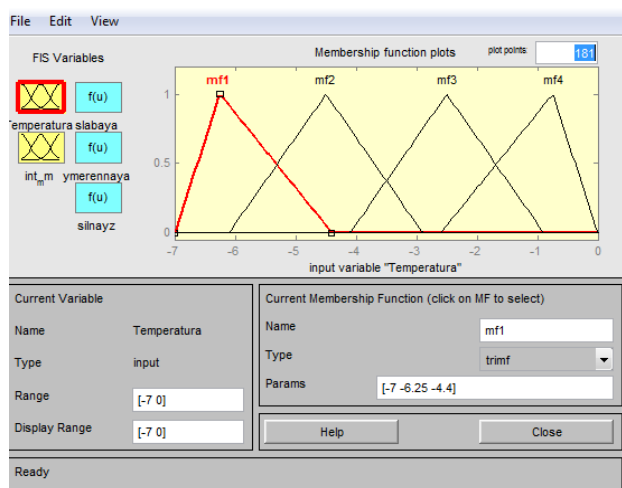


Рис. 11. Распределение нечётких термов первой входной переменной (вариант 2)

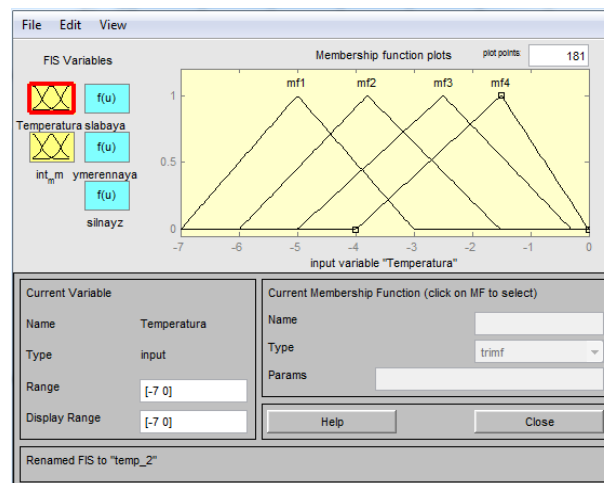


Рис. 12. Распределение нечётких термов первой входной переменной (вариант 3)

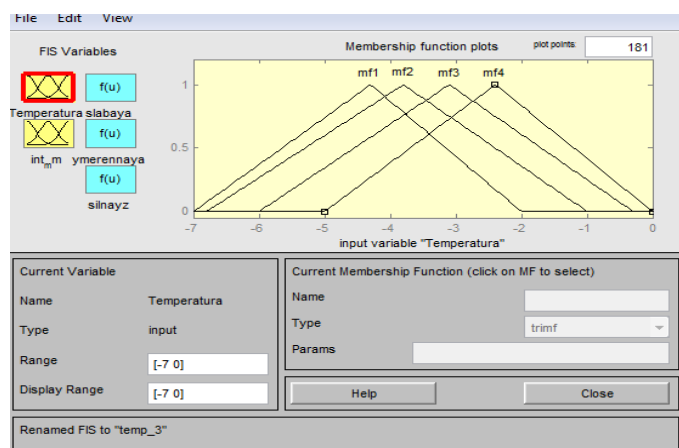


Рис. 13. Распределение нечётких термов первой входной переменной (вариант 4)



Систематизированные результаты реакции системы для рассмотренных вариантов распределения нечетких термов входа «температура» приведены в табл. 4...6.

Таблица 4

Долевое участие рабочей зоны в зависимости от распределения нечетких термов для второго варианта

в процентах

Интенсивность, мм (слабая – 7)	Вариант распределения термов			
	1	2	3	4
18	10	7	Значения рабочей зоны не соответствуют заданным в таблице	
24	20	6		
33	20	3		
0	23	20		

Таблица 5

Долевое участие рабочей зоны в зависимости от распределения нечетких термов для третьего варианта

в процентах

Интенсивность, мм (умеренная – 13)	Вариант распределения термов			
	1	2	3	4
47	10	7	10	Значения рабочей зоны не соответствуют заданным в таблице
57	23	5	3	
67	15	3	3	
100	18	3	10	

Таблица 6

Долевое участие рабочей зоны в зависимости от распределения нечетких термов для четвертого варианта

в процентах

Интенсивность, мм (сильная – 20)	Вариант распределения термов			
	1	2	3	4
35	10	2	Значения рабочей зоны не соответствуют заданным в таблице	
19	20	2		
0	50	32		

Вывод: наиболее подходящим и адекватным является второй вариант настройки регулятора, т.к. третий и четвертый не обеспечивают выход графика переходного процесса на заранее заданные табличные величины, а у первого варианта настройки чрезмерно долевое участие рабочей зоны, равной 0.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухоруков, С. И. К оценке возможностей удаления льда с проводов ЛЭП электродинамическим способом / С. И. Сухоруков, В. А. Соловьёв, К. Е. Костин // Информатика и системы управления. – 2014. – № 3(41). – С. 148-158.
2. Бучинский, В. Е. Гололед и борьба с ним / В. Е. Бучинский. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 192 с.
3. Бургсдорф, В. В. О физике гололедно-изморозевых явлений / В. В. Бургсдорф // Труды ГГО. – 1947. – Вып. 3. – С. 3-12.

4. Нечёткое управление системами автоматизированного электропривода / В. А. Соловьёв, А. Г. Владыко, В. И. Суздорф, С. П. Черный // Электромеханические преобразователи энергии: материалы докл. междунар. науч.-техн. конф. – Томск, 2001. – С. 79-80.
5. Соловьёв, В. А. Алгоритм и программная реализация синтеза НЛР по прямым показателям качества / В. А. Соловьёв, А. В. Кончин // Сб. науч. трудов междунар. науч.-техн. конф. – ЭЭЭ-2003. – Комсомольск-на-Амуре, 2003. – С. 55-59.
6. Дьяков, А. Ф. Системный подход к проблеме предотвращения и ликвидации гололедных аварий в энергосистемах / А. Ф. Дьяков. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 161 с.
7. Засыпкин, А. С. Интегральная оценка эффективности схем плавки гололеда на воздушных линиях электропередачи / А. С. Засыпкин, А. Н. Щуров // Известия вузов. Электромеханика. – 2013. – № 4. – С. 42-45.
8. Мазин, И. П. Физические основы обледенения самолетов / И. П. Мазин. – М.: Гидрометеиздат, 1957. – 120 с.