

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

О.К. Никольский, Н.П. Воробьев, Н.И. Черкасова, А.Ф. Костюков

Рассмотрена программная реализация метода прогнозирования техногенных рисков на основе теории нечетких множеств в системах сельского электроснабжения. Дано обоснование методу получения вероятностной средней недоотпущенной электроэнергии в системах сельского электроснабжения. Сформирована нечеткая модель для расчета ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в системах сельского электроснабжения. Разработан алгоритм оценки риска в системах сельского электроснабжения 10/0,4кВ.

Ключевые слова: риск, электроустановка, модель, нечеткие множества, техногенный.

Системы сельского электроснабжения (ССЭ) характеризуются большой протяженностью линий, разветвленностью, дефицитом информации о режимах нагрузок [1]. Для повышения экономического эффекта от оптимизации параметров ССЭ необходимо совершенствовать методы выбора лучшего варианта сети. При этом целесообразно применять главные показатели функционирования ССЭ: надежность, экономичность, безопасность, состояние нормативной базы, качество электроэнергии, пожароопасность ССЭ, электропатологию животных.

Проанализировав одну из работ в области оценки рисков системах электроснабжения [2], нами выявлены следующие недостатки изложенной в ней методики количественной оценки риска электроснабжения: вычисления по упомянутой методике чрезвычайно трудоемки, занимают много времени и сил и для реальных систем электроснабжения практически не реализуемы. Упомянутая работа к тому же посвящена оценке рисков электроснабжения городов, а работ по оценке рисков в системах сельского электроснабжения нами не выявлено.

С целью решения упомянутых проблем на основе [2] нами получены графики вероятностной частоты длительности аварийного перерыва электроснабжения и вероятностной частоты средней недоотпущенной мощности (рисунок 1 и рисунок 2).

Вероятностная недоотпущенная электроэнергия в ССЭ может быть получена путем перемножения данных по рисунку 1 на данные по рисунку 2 в Matlab (рисунок 3).

Найдем среднее значение недоотпущенной электроэнергии в ССЭ по рисунку 3. Для этого поделим объем недоотпущенной электроэнергии в ССЭ по рисунку 3 на 15 се-

чений по оси времени, найдем средние значения для каждого полученного сечения, а затем вычислим среднее значение от всех 15-ти средних сечений. Для этого по рисунку 4 находим среднее значение («mean») для каждой из 15-ти кривых (рисунок 5).

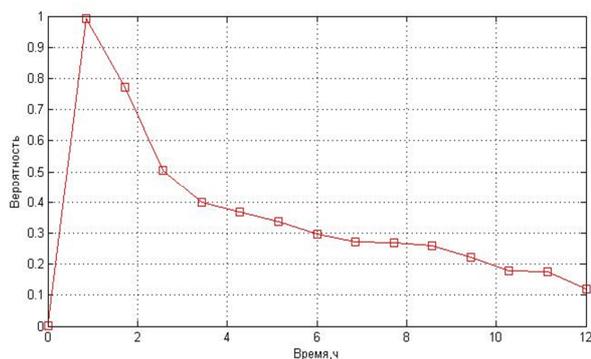


Рисунок 1 — Вероятностная частота длительности аварийного перерыва электроснабжения, построенная по коэффициентам аппроксимации

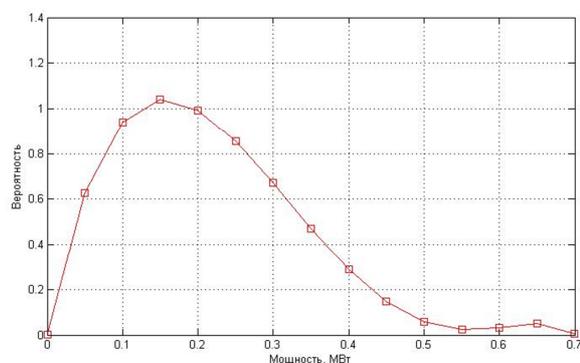


Рисунок 2 — Вероятностная частота средней недоотпущенной мощности, построенная по коэффициентам аппроксимации

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

К вычислению вероятностной средней недоотпущенной электроэнергии в системе сельского электроснабжения

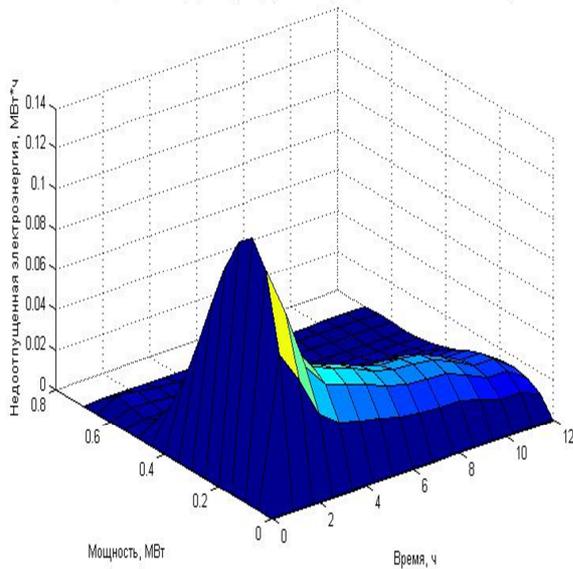


Рисунок 3 — К вычислению вероятностной средней недоотпущенной электроэнергии в ССЭ

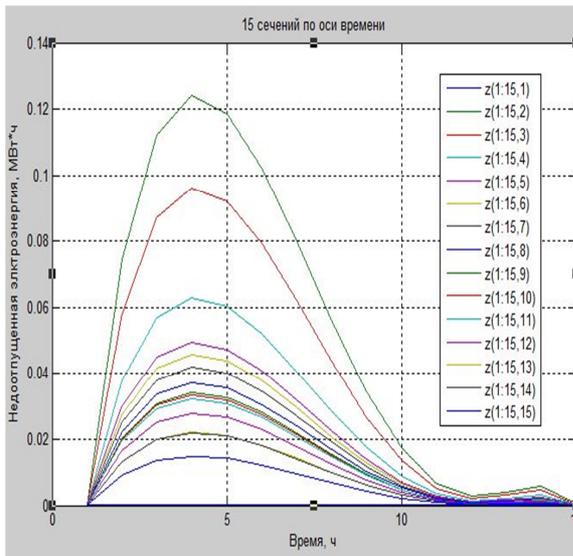


Рисунок 4 — 15 сечений по оси времени по рисунку 3

Переносим полученные средние значения для каждой из 15-ти кривых в «Excel» и находим их среднее значение (рисунок 5), соответствующее значению вероятностной средней недоотпущенной электроэнергии в ССЭ. То есть для рассматриваемого случая вероятностная средняя недоотпущенная электроэнергия в ССЭ по рисунку 6 равна 0,018305 МВт*ч.

В процессе обоснования рисков нами сформирована структурная схема системы оценки риска ССЭ 10/0,4кВ (рисунок 10).

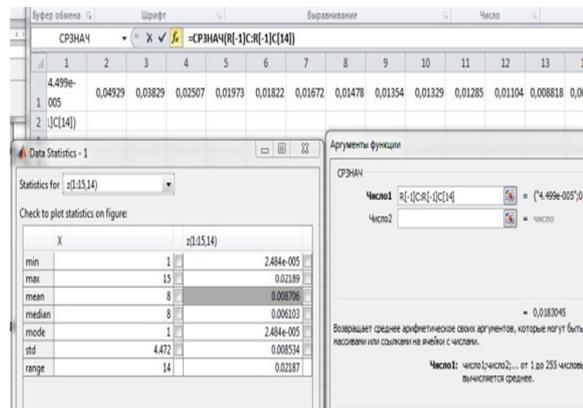


Рисунок 5 — Нахождение среднего значения для всех 15-ти кривых по рисунку 4 в «Excel»

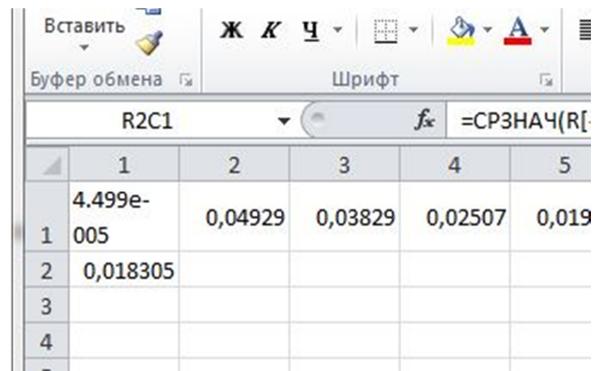


Рисунок 6 — Вероятностная средняя недоотпущенная электроэнергия в ССЭ

На рисунке 7 для примера представлена разработанная структурная схема уровня электропатологии животных в ССЭ.

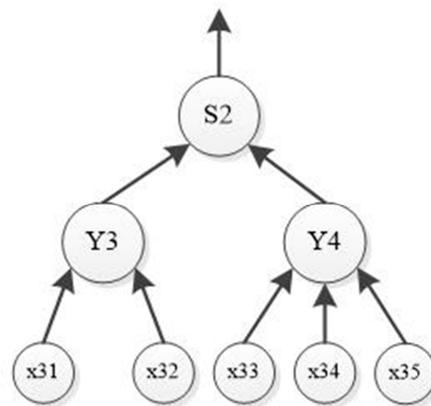


Рисунок 7— Уровень электропатологии животных в ССЭ

На рисунке 7 обозначение S2 – это уровень электропатологии животных в ССЭ. В соответствии с рисунком 7 составлена таблица 2, в которой учтены все влияющие факторы.

На рисунке 8 обозначение S3 – это пожары в электроустановках ССЭ.

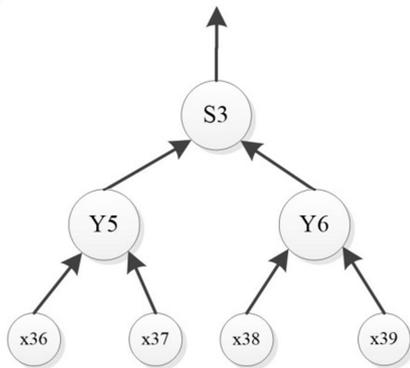


Рисунок 8 — Пожары в электроустановках ССЭ

В соответствии с рисунком 8 составлена таблица 3, в которой учтены все влияющие факторы.

На рисунке 9 представлена разработанная структурная схема первых составляющих показателя качества ССЭ. На рисунке 9 обозначение S4 – это первые составляющие по-

казателя качества ССЭ; Y7 – промежуточная логическая свертка.

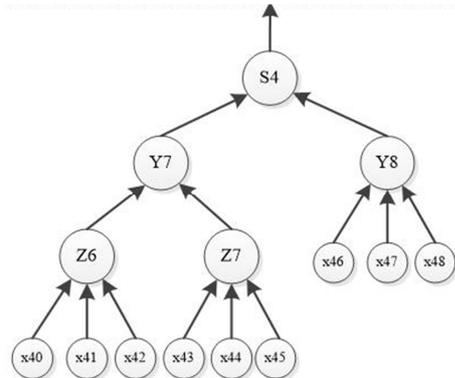


Рисунок 9 — Первые составляющие показателя качества ССЭ

В соответствии с рисунком 9 составлена таблица 4, в которой учтены все влияющие факторы.

На рисунке 10 представлена структурная схема вторых составляющих показателя качества ССЭ.

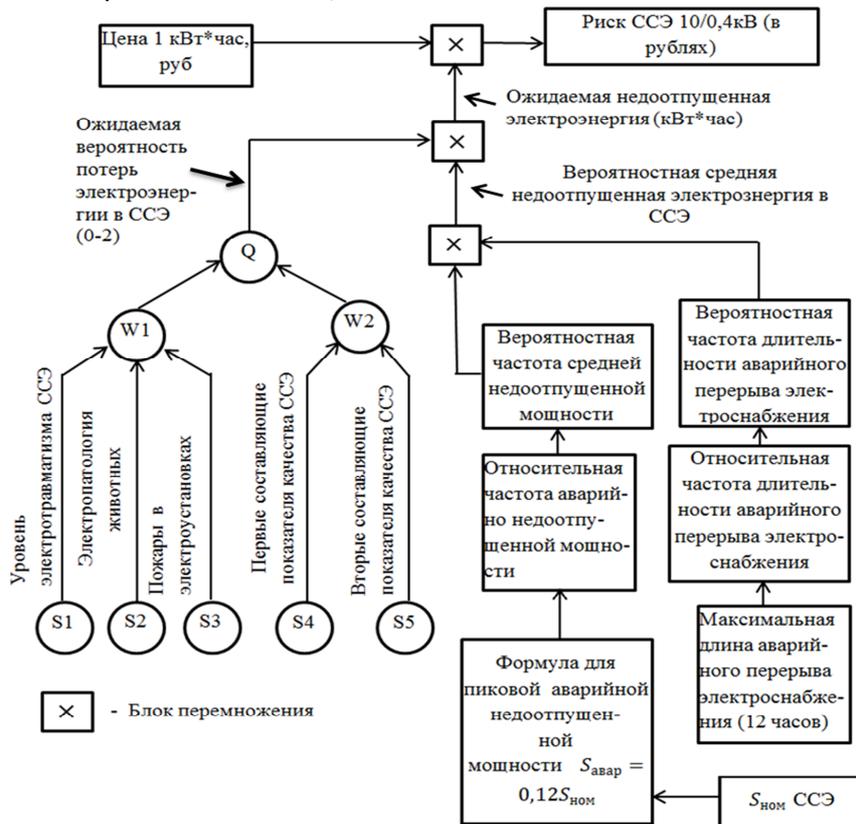


Рисунок 10 — Структурная схема системы оценки риска ССЭ 10/0,4кВ

На рисунке 10 обозначения: Q – ожидаемая вероятность потерь электроэнергии в системе сельского электроснабжения; W1 – оценка опасной техногенной ситуации в ССЭ;

W2 – оценка качества электроэнергии в ССЭ; S_{ном} - номинальная мощность; S_{авар} - недопоставки аварийной мощности.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Таблица 2 – Уровень электропатологии животных в ССЭ

Обозначение промежуточных логических сверток	Наименование промежуточных логических сверток	Обозначение влияющих факторов	Наименование графиков функций принадлежности нечетких термов влияющих факторов
У3	Потенциалы в сети 0,4 кВ	х31 Потенциал	н – 0 в
			с – 10 в
			в – 20 в
		х32 Выравнивание потенциалов	н – есть выравнивание
с – нет данных			
в – нет выравнивания			
У4	Свойства сети 0,4 кВ	х33 Разделение N, PEN проводников	н – есть разделение
			с – нет данных
			в – нет разделения
		х34 УЗО	н – установлено
			с – нет данных
			в – не установлено
		х35 Двойная изоляция	н – установлена
			с – нет данных
			в – не установлена
Примечание: в терминах нечеткой логики - н – низкий; с – средний; в – высокий			

Таблица 3 – Пожары в электроустановках ССЭ

Обозначение промежуточных логических сверток	Наименование промежуточных логических сверток	Обозначение влияющих факторов	Наименование графиков функций принадлежности нечетких термов влияющих факторов
У5	Свойства сети 0,4 кВ	х36 Зануление	н – установлено
			с – нет данных
			в – не установлено
		х37 УЗО	н – соответствует
с – нет данных			
У6	Токи в сети 0,4 кВ	х38 [3] В зависимости от конкретного исполнения электропроводки - либо Интпв / Ікз, либо Интр / Ікз, либо Интур / Ікз	н – 1/3
			с – 0,16
			в – 0
		х39 [3] Отношение верхнего значения тока срабатывания мгновенно действующего расцепителя (отсечки) к ожидаемому току однофазного КЗ	н – 0,9
			с – 0,45
			в – 0
			Примечание: в терминах нечеткой логики - н – низкий; с – средний; в – высокий; Интпв - номинальное значения тока плавкой вставки предохранителя, Интр - номинальное значение тока электромагнитного расцепителя автоматического выключателя, Интур - значение уставки по току срабатывания расцепителя автоматического выключателя; Ікз - ожидаемый ток однофазного КЗ.

Таблица 4 – Первые составляющие показателя качества ССЭ

Обозначение промежуточных логических сверток	Наименование промежуточных логических сверток	Обозначение влияющих факторов	Наименование графиков функций принадлежности нечетких термов влияющих факторов
У8	Аварийность	x40 Просеки	н - не выявлено отклонений по всей длине
			нс – не выявлено отклонений на 1/4 длины
			с - не выявлено отклонений на половине длины
			вс – не выявлено отклонений менее чем на 3/4 длины
		x41 Стрела провеса	в - (не выявлено отклонений менее чем на 1/4 длины)
			н - не выявлено отклонений
			нс – выявлено 0,5s
			с - соответствует среднегодовому числу пролетов с не стандартными стрелами провеса – s
		x42 Дефекты изоляции	вс – выявлено 2s
			в - выявлено более 2s
			н - не выявлено дефектов
			нс – выявлено 0,5п
Z6	x43 Экономическое сечение провода	с - соответствует среднегодовому количеству дефектных изоляторов - п	
		вс – выявлено 2п	
		в - выявлено более 2п	
		н - 0,5 от эконом. сечения	
	x44 Место подключения КУ	нс – 0,6 от эконом. сечения	
		с - 0,65 от эконом. сечения	
		вс – 0,7 от эконом. сечения	
		в - 1,1 от эконом. сечения	
	x45 Величина КУ	н - соответствует результатам технико-экономического сравнения вариантов	
		нс – ниже среднего	
		с - средний	
		вс – выше среднего	
Z7	x46 Технические потери	в - не соответствует результатам технико-экономического сравнения вариантов	
		н - соответствует нагрузке	
		нс – ниже среднего	
		с - среднее	
	x47 Коммерческие потери	вс – выше среднего	
		в - не соответствует нагрузке	
		н - отсутствуют	
		нс – ниже среднего	
	x48 Потери учета	с - средний	
		вс – выше среднего	
		в - нет информации	
		н - отсутствуют	

Примечание: в терминах нечеткой логики - н – низкий; нс – ниже среднего; с – средний; вс – выше среднего; в – высокий; п - среднегодовое количество дефектных изоляторов; s – среднегодовое число пролетов с не стандартными стрелами провеса.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Таблица 5 – Вторые составляющие показателя качества ССЭ

Обозначение промежуточных логических сверток	Наименование промежуточных логических сверток	Обозначение влияющих факторов	Наименование графиков функций принадлежности нечетких термов влияющих факторов
Y9	Управление качеством ССЭ	X49 Режим АПВ	н - включено постоянно
			с – включено временно
			в - не включено
		X50 Система контроля качеством ССЭ	н - имеется РПН
			с – недостаточный диапазон регулирования
			в - имеется ПБВ
Y10	Система контроля качеством ССЭ	X51 Отклонение напряжения	н – 0%
			нс – +/-2,5%
			с - +/-5%
			вс – +/-7,5%
			в - +/-10%
		X52 Несимметрия напряжений	н - отклонений от ГОСТа не выявлено
			нс – выявлено полуторакратное отклонение от ГОСТа
			с - выявлено двукратное отклонение от ГОСТа
			вс – выявлено трехкратное отклонение от ГОСТа
			в - выявлено более чем трехкратное отклонение от ГОСТа
		X53 Несинусоидальность напряжения	н - отклонений от ГОСТа не выявлено
			нс – выявлено полуторакратное отклонение от ГОСТа
			с - выявлено двукратное отклонение от ГОСТа
			вс – выявлено трехкратное отклонение от ГОСТа
			в - выявлено более чем трехкратное отклонение от ГОСТа
Примечание: в терминах нечеткой логики - н – низкий; нс – ниже среднего; с – средний; вс – выше среднего; в – высокий.			

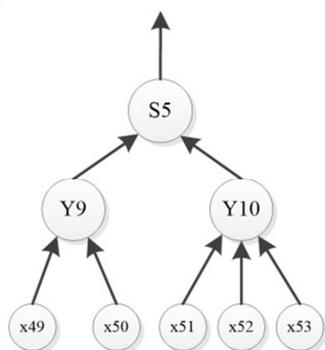


Рисунок 11 — Вторые составляющие показателя качества ССЭ

На рисунке 11 обозначение S5 – это вторые составляющие показателя качества ССЭ. В соответствии с рисунком 11 составлена таблица 5, в которой учтены все влияющие факторы.

Графики некоторых функций принадлежности нечетких термов разработанной системы представлены на рисунках с 12 по 17.

В соответствии с рисунками 10 по 11 и таблицами с 1 по 5 нами сформирован пакет программ на основе FuzzuLogic по расчету ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ – «ОВРЕ».

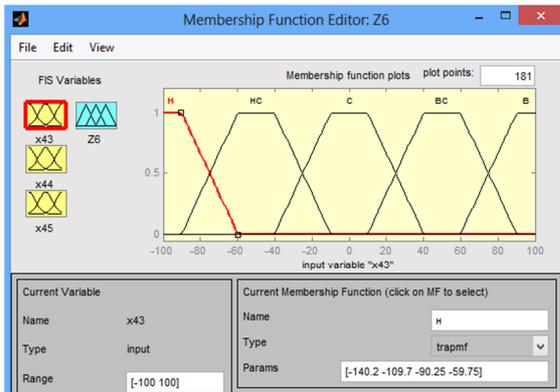


Рисунок 12 - Графики функций принадлежности нечетких термов "Низкий" (H), «Ниже среднего» (HC), «Средний» (C), «Выше среднего» (BC) и "Высокий" (B), для влияющего фактора x43 экономическое сечение провода нечеткой системы Z6.fis

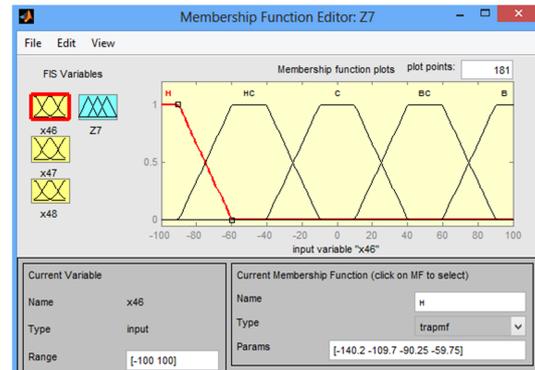


Рисунок 15 - Графики функций принадлежности нечетких термов "Низкий" (H), «Ниже среднего» (HC), «Средний» (C), «Выше среднего» (BC) и "Высокий" (B), для влияющего фактора X46, X47, X48 потери учета электроэнергии нечеткой системы Z7.fis

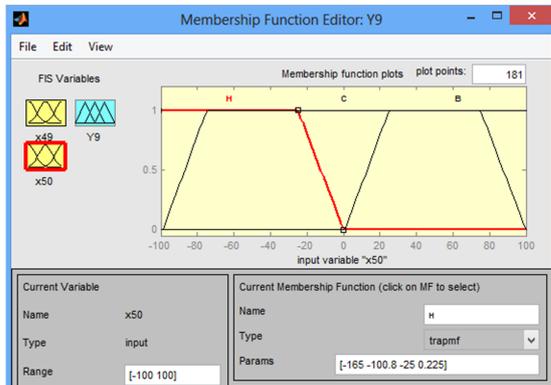


Рисунок 13 - Графики функций принадлежности нечетких термов "Низкий" (H), «Средний» (C), и "Высокий" (B), для влияющего фактора X50 система контроля качеством ССЭ нечеткой системы Y9.fis

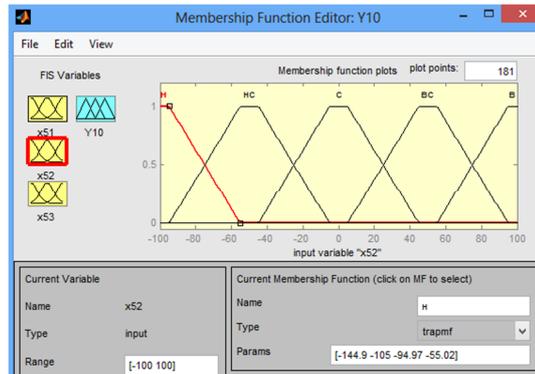


Рисунок 16 - Графики функций принадлежности нечетких термов "Низкий" (H), «Ниже среднего» (HC), «Средний» (C), «Выше среднего» (BC) и "Высокий" (B), для влияющего фактора X52 несимметрия напряжений нечеткой системы Y10.fis

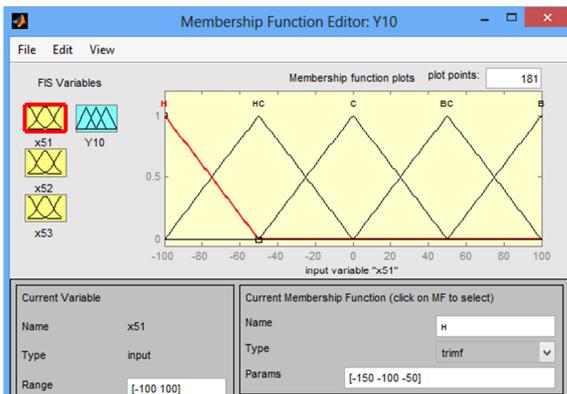


Рисунок 14 - Графики функций принадлежности нечетких термов "Низкий" (H), «Ниже среднего» (HC), «Средний» (C), «Выше среднего» (BC) и "Высокий" (B), для влияющего фактора X51 отклонение напряжения нечеткой системы Y10.fis

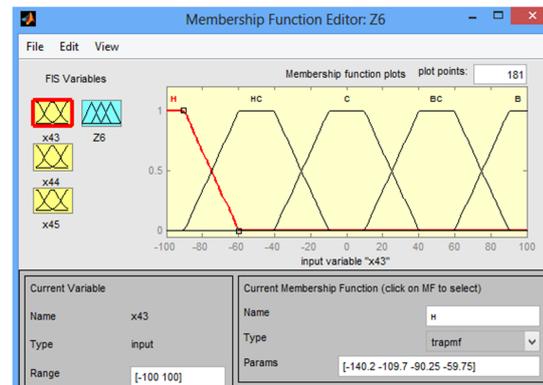


Рисунок 17 - Графики функций принадлежности нечетких термов "Низкий" (H), «Ниже среднего» (HC), «Средний» (C), «Выше среднего» (BC) и "Высокий" (B), для влияющего фактора X45 величина КУ нечеткой системы Z6.fis

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Поверхности, соответствующие некоторым промежуточным логическим сверткам разработанной системы, представлены на рисунках с 18 по 21.

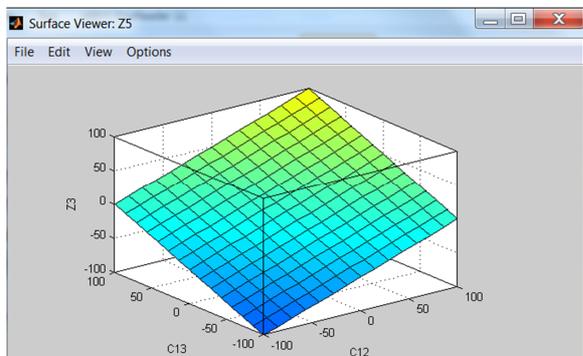


Рисунок 18 - Поверхность, соответствующая промежуточной логической свертке нечеткой системы Z5.fis

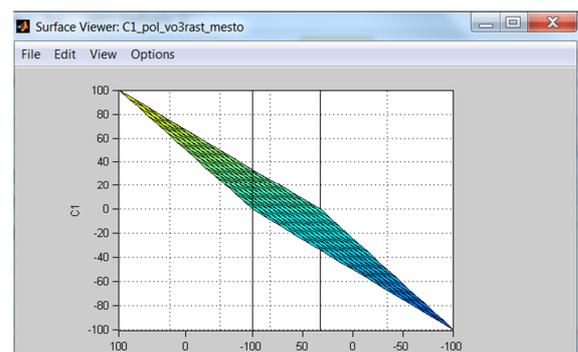


Рисунок 19 - Поверхность, соответствующая промежуточной логической свертке нечеткой системы C1_pol_vo3rast_mesto.fis

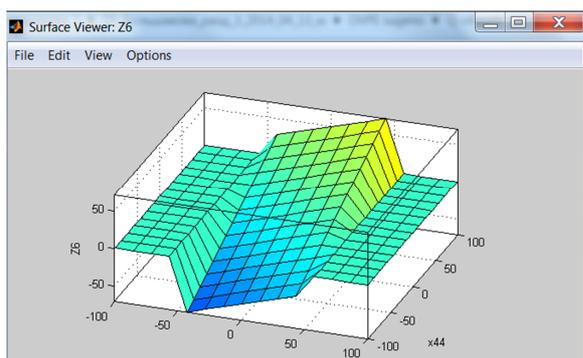


Рисунок 20 - Поверхность, соответствующая промежуточной логической свертке нечеткой системы Z6.fis

При наилучших значениях влияющих факторов (ВФ) результатом Q_{min} работы системы нечеткой логики по определению ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ будет, например:

$$Q_{max}=168.7500. \quad (1)$$

При наихудших значениях РФ результатом Q_{max} работы системы нечеткой логики по определению ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ будет, например:

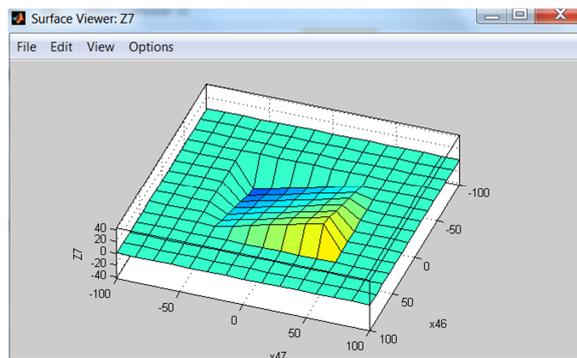


Рисунок 21 - Поверхность, соответствующая промежуточной логической свертке нечеткой системы Z7.fis

$$Q_{min}=-168.7500 \quad (2)$$

Так как полученные минимальное и максимальное значения ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ отличаются от требуемого значения (2 и 0), то уравнение для нормирования (приведения к нижней границе ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ) в конце скрипта `comp.m` будем искать в виде:

$$Q=(Q_{тек}+168.7500), \quad (3)$$

где $Q_{тек}$ – текущее значение ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ;

Q – ожидаемая вероятность потерь электроэнергии в ССЭ.

При этом в выражении (3) при нижней границе диапазона ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ будет сформировано $Q = 0$, а при верхней границе диапазона будет сформировано некоторое Q , которое будет отличаться от требуемого максимального значения (равного 2).

Следовательно, необходимо умножить выражение для Q (3) на соответствующий коэффициент x и приравнять к максимальному значению ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ, для которого считаем целесообразно принять не общеупотребительное значение 1, а 2, что обеспечивает возможность корректировки вероятностной средней недоотпущенной электроэнергии в ССЭ в диапазоне $\pm 100\%$ в зависимости от качества ССЭ:

$$(Q_{тек}+ 168.7500)*x=2. \quad (4)$$

То есть:

$$(37.4240+168.7500)*x=2. \quad (5)$$

