

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК (ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ)

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

Рассмотрена программная реализация метода прогнозирования техногенных рисков в системах сельского электроснабжения на основе теории нечетких множеств. Введена пятибальная лингвистическая шкала интегрального риска с интервальными значениями. Предложена методика учета доли (веса) в совокупности причин возникновения рисков при разработке нечеткой системы прогнозирования техногенных рисков в системах сельского электроснабжения. Разработан алгоритм определения показателя интегрального риска электроустановок на основе экспертных и экспериментальных данных. Оценена погрешность определения показателя интегрального риска электроустановок.

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

Оценка и прогнозирование интегрального риска электрохозяйства агропромышленного комплекса представляет важную задачу стратегического управления техногенной безопасности отрасли.

Для оценки интегрального риска R_{Σ} введем пятибальную лингвистическую шкалу (таблица 1) с интервальными значениями согласно нормативно-технической документации [1], [2], [3].

Таблица 1 - Лингвистическая шкала оценки интегрального риска электроустановки

Вид интегрального риска R_{Σ}	Оценка риска [частота событий в год]
Очень малый	Пренебрежительный - $(10^{-7} - 10^{-9})$
Малый	Приемлемый - $(10^{-5} - 10^{-7})$
Средний	Допустимый - $(10^{-3} - 10^{-5})$
Высокий	Неприемлемый - $(10^{-2} - 10^{-3})$
Очень высокий	Катастрофический - $[>10^{-2}]$

Рассмотрим систему электроснабжения сельских населенных пунктов (СЭС) (сельских поселений). При этом ограничимся воздушными и кабельными линиями напряжением 0,4 кВ с заземлённой нейтралью, питающих непосредственно от трансформаторных подстанций потребители (производственные и общественные здания и сооружения, частные дома и др.). Сама система электроснабжения представляет электропроводку, предназначенную для транспортировки и поставки электроэнергии непосредственно приемникам, главным распределительным электрощитам, распределительным устройствам, электрическим щиткам, содержащим коммутационную и защитную аппаратуру, сети освещения – обобщенно, вместе потребителями электроэнергии и электрооборудованием - электроустановку.

На рисунке 1 изображена разработанная структурная схема оценки интегрального риска электроустановки (ИРЭ). Структурная схема оценки ИРЭ по рисунку 1 поясняется таб-

лицей 2. В таблице 2 представлены рискообразующие факторы (РФ) системы человек-электроустановка-среда (Ч – ЭУ – С). В таблице 2 ДПВР - доля (вес) в совокупности причин возникновения рисков. ДПВР* - то же самое, но после приведения $X_{13}=0,084$ как наибольшего по величине РФ в системе к 0,5 (0,5 – значение параметра в окне Membership Function Editor (рисунок 3) FuzziLogic системы Matlab, обеспечивающее линейность описания поверхности в системе нечеткой логики оценки ИРЭ).

Компонент системы «Человек» характеризуется РФ $X_1 - X_{12}$ (таблица 2). Они с помощью промежуточных сверток $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Y_1, Y_2, S_1$ позволяют получить оценку влияния человека на оценку ИРЭ, которая формируется на выходе S_1 .

Аналогично, компоненты системы «Электроустановка», «Среда», «Законодательная и нормативная база», «Макроэкономические показатели», «Инновационные показатели», характеризуются, соответственно,

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК (ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ)

РФ X13 – X19, X20 – X24, X25 – X27, X28 – X30 и X31 – X33 (таблица 2), которые при помощи сверток Y3, Y4, Y5, S2, Y6, Y7, S3, Y8, S4, Y9, Y10 позволяют получить оценку влияния ЭУ, среды, законодательной и нормативной базы, макроэкономических показателей и инновационных показателей на оценку ИРЭ.

На выходе W1 получается оценка влияния человека и ЭУ на ИРЭ, а на выходе W2 – оценка влияния среды, законодательной и нормативной базы, макроэкономических и инновационных показателей на ИРЭ.

На выходе Q формируется оценка ИРЭ, которая с помощью таблицы 1 преобразуется из оценки риска [частота событий в год] в вид интегрального риска. Таким образом, на выходе системы по рисунку 1 с помощью таблицы 1 получается вид интегрального риска R_{Σ} . Это позволяет применительно к реальным объектам оценивать ИРЭ, что является основанием принятия решения для оптимизации системы безопасности ЭУ.

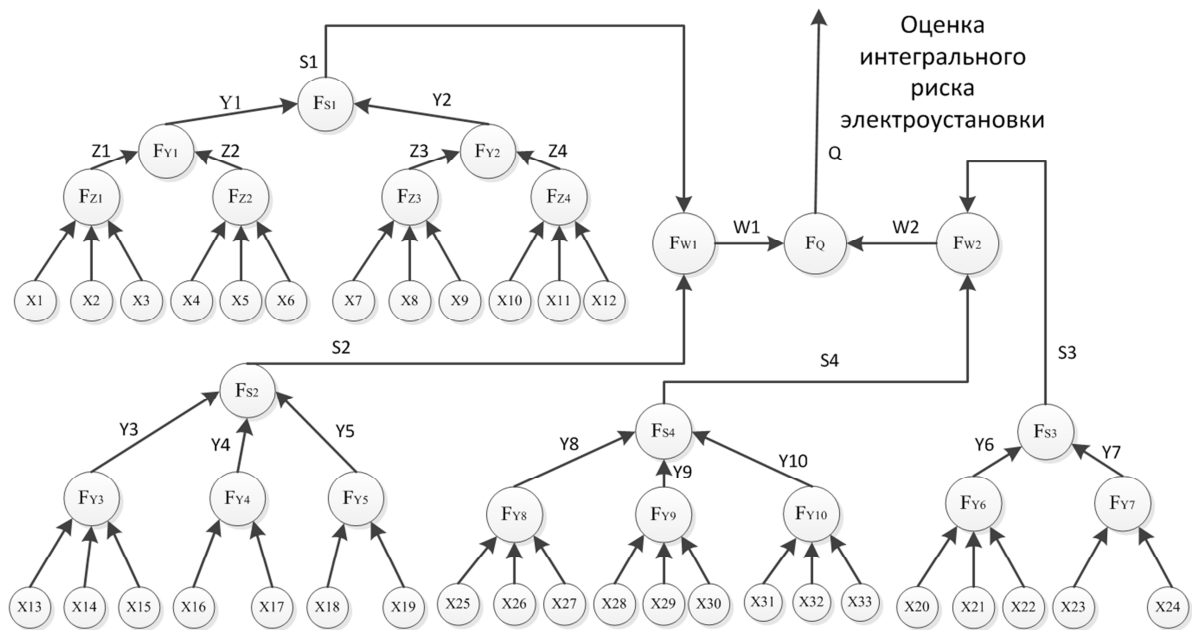


Рисунок 1 – Структурная схема оценки ИРЭ:

X1 – X33 – рискообразующие факторы; Y1 – Y7, Z1 – Z4, S4, W1 – W2 – промежуточные переменные, осуществляемые посредством логического вывода по нечетким базам знаний – нетерминальные вершины, то есть связь между входными и промежуточными переменными; S1, S2, S3, Y8, Y9, Y10 – промежуточные переменные формирования влияния на ИРЭ, соответственно, человека, электроустановки, среды, законодательной и нормативной базы, макроэкономических показателей и инновационных показателей в системе (Ч – ЭУ – С); Q – выходная переменная – интегральный риск электроустановки

Изложенный принцип построения имитационной модели экспертной системы оценки ИРЭ реализован в виде программного комплекса IntRisk на числовом примере, что дало возможность взвешенно подойти к оценке мер техногенной безопасности производственного объекта.

Всего в разработанной имитационной модели введено 33 РФ, что позволяет унифицировать качественные и количественные исходные данные для системы (Ч – ЭУ – С).

ДПВР* по таблице 2 использована нами при формировании графиков функций принадлежности нечетких термов.

На рисунке 2 изображены графики функций принадлежности нечетких термов "Отлично" (О), «Средний» (С) и "Плохой" (П) для влияющих факторов X31, X32, X33 нечеткой системы Y10.fis с учетом ДПВР*.

На рисунке 3 изображено окно формирования системы Сугено нечеткой системы Y10.fis с учетом ДПВР*.

На рисунке 4 приведен пример описания поверхности в системе нечеткой логики оценки ИРЭ при изменении Y10 в функции x31 и X32.

Таблица 2 - Рискообразующие факторы системы (Ч – ЭУ – С)

Компонент системы	Обозначение РФ	Наименование РФ	ДПВР	ДПВР*	Лингвистическая оценка ИРЭ
Человек (Ч)	X1	Производственная дисциплина	0,042	0.25	низкая средняя высокая
	X2	Контроль за процессом производства	0,041	0.244048	низкий средний хороший
	X3	Соблюдение безопасных приемов труда	0,036	0.214286	плохое удовлетвор. хорошее
	X4	Уровень профессионализма	0,034	0.202381	низкий средний высокий
	X5	Самообладание в экстремальных ситуациях	0,034	0.202381	неудовлетвор. удовлетвор. хорошее
	X6	Ритмичность производства	0,031	0.184524	низкая средняя высокая
	X7	Обученность действиям в нестандартных ситуациях	0,031	0.184524	неудовлетвор. удовлетвор. хорошая
	X8	Навыки выполнения работы	0,022	0.130952	плохие средние хорошие
	X9	Выполнение технологического процесса	0,018	0.107143	плохое удовлетвор. хорошее
	X10	Физическое состояние	0,001	0.005952	плохое удовлетвор. хорошее
	X11	Психологические показатели	0,001	0.005952	плохие удовлетвор. хорошие
	X12	Профессиональная мотивация	0,001	0.005952	слабая удовлетвор. высокая
Электроустановка (ЭУ)	X13	Возможность отказа (неназванных) мер электрической защиты	0,084 (0,5/0,084 = = 5.95238)	0,084*5,952 38=0.5	низкая средняя высокая
	X14	Длительность воздействия опасных и вреднодействующих факторов	0,072	0.428571	малая средняя большая
	X15	Степень физического износа электропроводки и электрооборудования	0,068	0.404762	низкая средняя высокая
	X16	Наличие (укомплектованность) мер безопасности электроустановки	0,054	0.321428	неудовлет. удовлет. хорошее
	X17	Степень морального износа узлов электроустановки	0,047	0.279762	низкая средняя высокая
	X18	Уровень воздействия в системе источников опасных и вреднодействующих факторов	0,041	0.244048	низкий средний высокий
	X19	Надежность (безотказность) узлов и конструкций электроустановки	0,039	0.232143	низкая средняя высокая

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК (ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ)

Окончание таблицы 2

Компонент системы	Обозначение РФ	Наименование РФ	ДПВР	ДПВР*	Лингвистическая оценка ИРЭ
1. Среда (С)	X20	Качество текущего ремонта электротехнологического оборудования и электропроводки	0,049	0.291667	плохое удовлет. хорошее
	X21	Возможность техногенных опасных воздействий РФ	0,045	0.267857	низкая средняя высокая
	X22	Периодичность диагностики и технического состояния электроустановок	0,042	0.202381	редкая эпизодическая достаточная
	X23	Уровень комфортности рабочей среды (по физическо-химическим параметрам)	0,034	0.202381	плохой средний хороший
	X24	Возможность техногенных вредных воздействий РФ	0,028	0.166667	низкая средняя высокая
Законодательная и нормативная база	Степень соответствия качества федеральных нормативных документов современным требованиям техногенной безопасности электроустановок человеко-машинных систем				
	X25	Нормативно-технологические документы (ПУЭ, ПТЭиБ, СНИПы, НПБ)	0,025	0.148809	неудовлет. удовлет. хорошая
	X26	Федеральное законодательство (в т.ч. технические регламенты)	0,018	0.107143	неудовлет. удовлет. хорошая
	X27	ГОСТы	0,005	0.029762	неудовлет. удовлет. хорошая

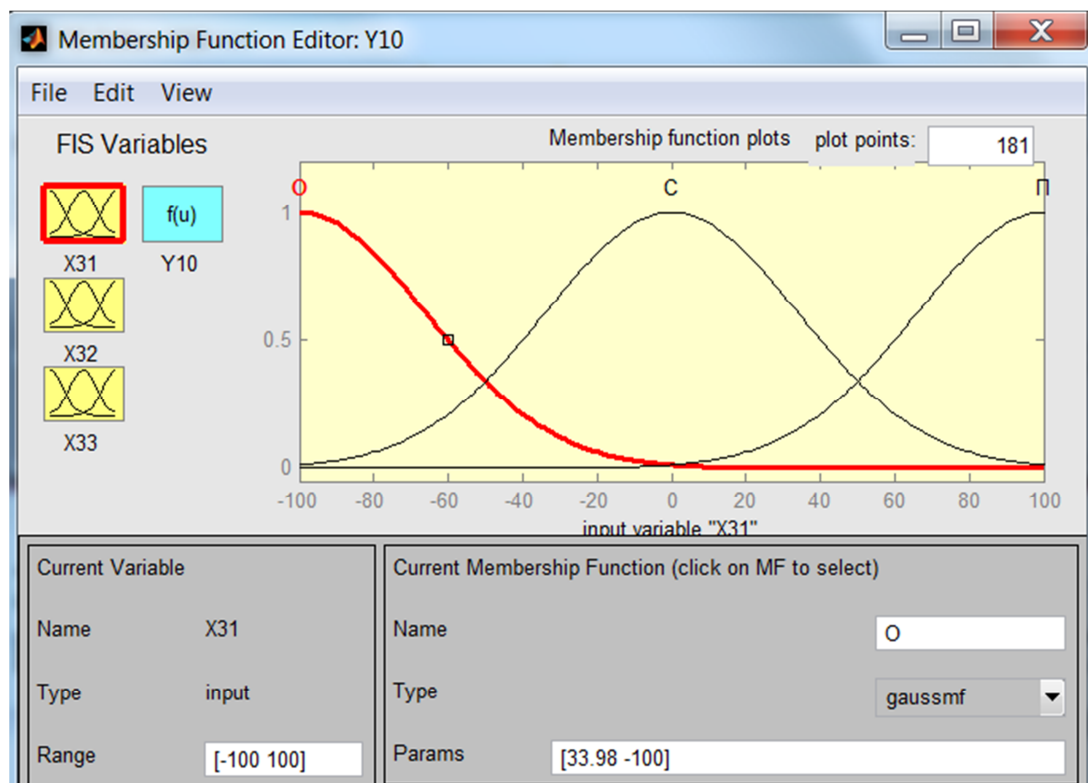


Рисунок 2 – Графики функций принадлежности нечетких термов "Отлично" (О), «Средний» (С) и "Плохой" (П) для влияющих факторов X31, X32, X33 нечеткой системы Y10.fis с учетом ДПВР*

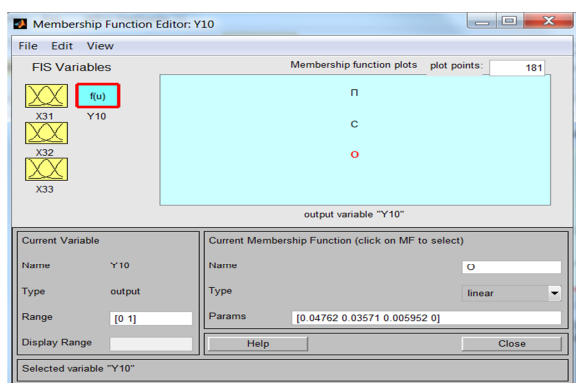


Рисунок 3 – Окно формирования системы Сугено нечеткой системы *Y10.fis* с учетом ДПВР*. В окне *Params* введены ДПВР* для влияющих факторов *X31*, *X32*, *X33*

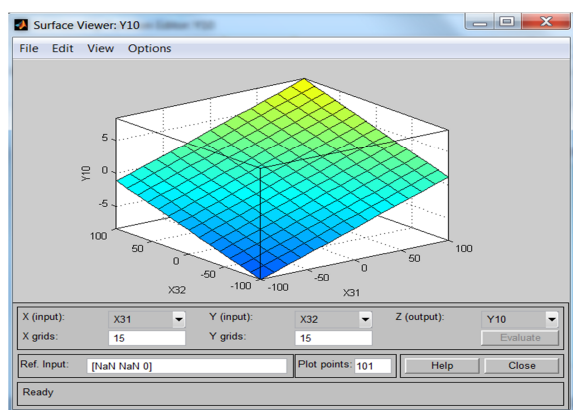


Рисунок 4 - Пример описания поверхности в системе нечеткой логики оценки ИРЭ при изменении *Y10* в функции *x31* и *X32*

С целью получения на выходе системы нечеткой логики показателей степени лингвистической оценки ИРЭ по таблице 1 (например, 10^{-7} , где -7 и есть показатель степени лингвистической оценки ИРЭ) проведем настройку системы нечеткой логики, включающую следующие действия.

При наилучших значениях РФ ('о' – отлично) (при этом показатель степени лингвистической оценки ИРЭ по таблице 1 будет минимальным, то есть равным -9) результатом Q_{min} работы системы нечеткой логики по определению ИРЭ будет, например:

$$Q_{min} = 40.5564.$$

При этом в выражении (3) при верхней границе диапазона ИРЭ будет сформировано $Q = 0$, а при нижней границе диапазона ИРЭ будет сформировано некоторое Q , которое будет отличаться от требуемого максимального значения ИРЭ ($Q_{min} = -9$).

При наихудших значениях РФ ('п' – плохое) результатом Q_{max} работы системы не-

четкой логики по определению ИРЭ будет, например:

$$Q_{max} = 63.7315. \quad (2)$$

Так как полученные минимальное и максимальное значения ИРЭ отличаются от требуемого значения (например, показателя степени по таблице 1, -9 и -2), то уравнение для нормирования (приведения к нижней границе ИРЭ) в конце скрипта *cons.m* будем искать в виде:

$$Q = (Q_{тек} - 63.7315), \quad (3)$$

где $Q_{тек}$ – текущее значение ИРЭ;

Q – ИРЭ.

Следовательно, необходимо умножить выражение для Q (3) на диапазон изменения ИРЭ T , который равен: $T = -9$, и разделить на разность ($Q_{min} - Q_{max}$).

Окончательно уравнение в конце скрипта *cons.m* запишем в виде:

$$Q = ((Q_{тек} - 63.7315) * (-9)) / ((40.5564 - 63.7315)), \quad (4)$$

или обобщенно в виде:

$$Q = ((Q_{тек} - Q_{max}) * T) / ((Q_{min} - Q_{max})), \quad (5)$$

где Q – ИРЭ;

T – диапазон изменения ИРЭ;

$Q_{тек}$ – текущее значение ИРЭ;

Q_{max} и Q_{min} – значения ИРЭ, соответственно, при наихудших и наилучших значениях РФ.

Результат работы системы нечеткой логики определения ИРЭ при наихудших ('п' – плохое) лингвистических оценках РФ приведен на рисунке 5 при

`cons('п','п')`

и равен $Q = 1.3797e-014$.

Результат работы системы нечеткой логики определения ИРЭ при средних ('с' – среднее) лингвистических оценках РФ равен -4.5000 .

Результат работы системы нечеткой логики определения ИРЭ при наилучших ('о' – отлично) лингвистических оценках РФ равен -9.0000 .

Результат работы системы нечеткой логики определения ИРЭ при промежуточных лингвистических оценках РФ при `cons('с','с','п','с','п','с','п','с','п','с','п','с','п','с','п','п','п','п','п','п','п','п','с','п','п','п','п','п','с','п')` равен -0.9351 .

Результаты измерений показателя ИРЭ для некоторых лингвистических оценок РФ с учетом ДПВР* приведены в таблице 3. В таблице 4 приведены результаты измерений ИРЭ для нескольких лингвистических оценок РФ, отличающихся от наихудших.

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК (ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ)

Таблица 3 – Результаты измерений показателя ИРЭ для некоторых лингвистических оценок РФ с учетом ДПВР*

Значение РФ	Наихудшее	Среднее	Наилучшее	Промежуточное
Показатель ИРЭ	1.3797e-014	-4.5000	-9.0000	-0.9351

Таблица 4 - Результаты измерений показателя ИРЭ для нескольких лингвистических оценок РФ, отличающихся от наихудших, с учетом ДПВР*

		Обозначение РФ			
		x13	x7	x30	x33
Значения РФ	Все значения наихудшие	1.3797e-014	1.3797e-014	1.3797e-014	1.3797e-014
	Одно значение среднее	-0.4413	-0.1368	-0.0473	-0.0053
	Одно значение наилучшее	-0.8826	-0.2736	-0.0946	-0.0105

По таблице 2 для X13 отношение ДПВР к аналогичной величине для X33 равно $0,084 / 0,001 = 84$;

по таблице 4 для X13 отношение ДПВР к аналогичной величине для X33 равно $-0.4413 / -0.0053 = 83,26$.

Таким образом, погрешность определения показателя ИРЭ для разработанной программы не превышает $((84-83,26) / 84) * 100 = 0,9\%$,

что свидетельствует о высокой точности измерений показателя ИРЭ, а, следовательно, вида интегрального риска R_{Σ} , и позволяет производить адекватную оценку и прогнозирование интегрального риска электрохозяйства агропромышленного комплекса и, в конечном счете, управлять техногенной безопасностью отрасли.

Экспертное исследование ООО Алтайский дом печати по разработанной методике для строки

`conc('c','c','c','c','c','c','c','o','o','o','o','c','n','n','c','o','c','n','c','c','c','o','c','c','c','c','c','o','o','c','n','n','n')`

позволило определить оценку риска [частоту событий в год] для ООО Алтайский дом печати на уровне Неприемлемый – $(10^{-2} - 10^{-3})$

(Вид интегрального риска R_{Σ} - Высокий), поскольку ИРЭ оказался равен $Q = -4.1323$ (см. таблицу 1 и рисунок 9).

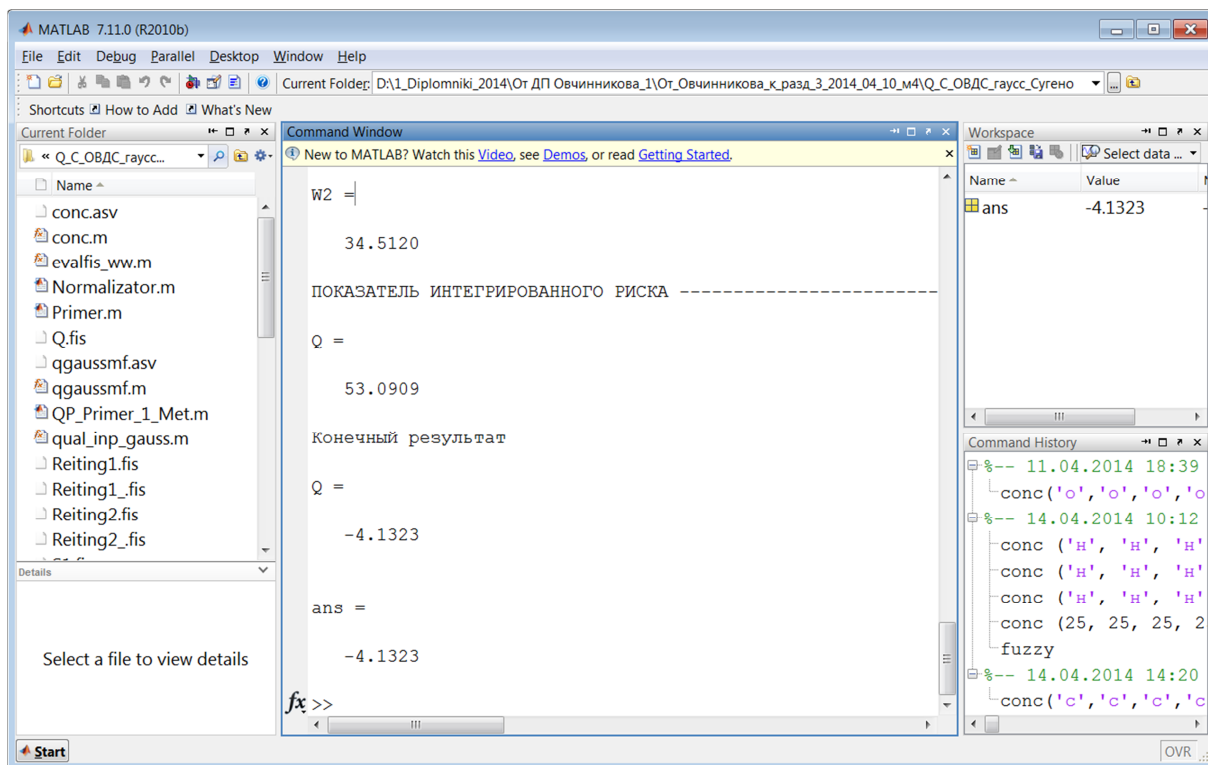


Рисунок 9 – Результаты экспертного исследования показателя интегрального риска электроустановок ООО Алтайский дом печати по разработанной методике

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 08-120-96. Методические рекомендации по проведению анализа риска опасных производственных объектов.

2. Федеральный закон Российской Федерации о пожарной безопасности № 123-ФЗ (Технический регламент «О требованиях пожарной безопасности»).

3. ГОСТ Р МЭК 60695-1-1-2003. Руководство по оценке пожарной опасности электротехнической продукции. Основные положения.

Никольский О.К. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, заведующий кафедрой «Электрификация производства и быта», д.т.н., профессор,

*E-mail: elnis@inbox.ru,
тел. (3852) 36-71-29.*

Воробьев Н.П. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Электрификация производства и быта», д.т.н., профессор,
*E-mail: vnprol51p@yandex.ru,
тел. (385-2) 36-71-29.*

Черкасова Н.И. - Рубцовский индустриальный институт АлтГТУ им. И.И. Ползунова, заведующий кафедрой «Электроэнергетика», к.т.н., доцент,
*тел. (38557)5-98-75,
E-mail: 4ercas@bk.ru*

Костюков А.Ф. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, докторант кафедры «Электрификация производства и быта», к.т.н.,
*E-mail: elnis@inbox.ru,
тел. (3852) 36-71-29*