

НЕЧЕТКАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И УРОВНЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА – ОСНОВНЫХ ПРИЧИН АВАРИЙНОСТИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Рассматриваются вопросы разработки нечеткой экспертной системы по определению технического состояния оборудования и уровня человеческого фактора – основных причин аварийности в нефтегазовой отрасли. Данная информация необходима для оценивания рисков аварий и эффективного распределения денежных средств, выделенных на безопасность нефтегазового предприятия.

Механические разрушения технического оборудования и человеческий фактор являются основными причинами аварий на нефтегазовых предприятиях. Для эффективного управления промышленной безопасностью и распределения денежных средств, выделяемых на ее обеспечение, необходимо правильно определять техническое состояние каждого элемента оборудования (сосуд, аппарат, участок технологического оборудования и т.д.) и уровень человеческого фактора персонала установок, обслуживающих это оборудование. Техническое состояние оборудования определяют множество составляющих: срок службы элемента оборудования, группа и категория опасности содержащегося материала, скорость коррозии и т.д. На возможность аварий по причине человека влияют: профессиональные, личностные, психофизиологические качества работников установок, состояние климата в коллективе и т.д. Существуют различные рычаги воздействия на человеческий и технический факторы по улучшению их состояния. Информация по их определению и улучшению носит в основном экспертный характер. Для определения состояния основных причин аварийности целесообразно создание нечеткой экспертной системы – (ЭС). Системы с нечеткой логикой чаще всего применяются в следующих случаях [3]:

1) для сложных процессов, когда нет простой математической модели;

2) экспертные знания об объекте или процессе можно сформулировать в лингвистической, т.е. в словесной форме.

Эти положения вполне соответствуют рисковому процессам производства нефти и газа. Нечеткая экспертная система использует представление знаний в форме нечетких продукций и лингвистических переменных. Основу представления лингвистической переменной составляет терм с функцией принадлежности. Способ обработки знаний в ЭС – это логический вы-

вод по нечетким продукциям. Особенностью нечеткой ЭС является способ извлечения функций принадлежности, который сводится либо к статистическим методам построения, либо к методу экспертных оценок [9].

Знания – основа экспертных систем – являются явными и доступными, что и отличает эти системы от большинства традиционных программ. Наиболее полезной характеристикой экспертной системы является то, что она использует для решения проблем опыт экспертов. Этот опыт может представлять уровень мышления наиболее квалифицированных экспертов в данной области, что ведет к решениям творческим, точным и эффективным [6]. В базах данных содержатся данные, характеризующие текущее состояние технического и человеческого фактора.

Нечеткие правила достаточно хорошо описывают сложную нелинейную зависимость. При этом модель типа Сугэно более точная. Преимущество моделей типа Мамдани состоит в том, что составление правил базы знаний является интуитивно понятным, тогда как для моделей типа Сугэно не всегда ясно, какие линейные зависимости «входы-выход» необходимо использовать и как их получить.

Нечеткий логический вывод по алгоритму Мамдани [8] выполняется по нечеткой базе знаний, в которой значения входных и выходной переменных заданы нечеткими множествами:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left[\bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ с весом } w_{jp} \right] \rightarrow y = d_j, \quad j = \overline{1, m},$$

где x_i – вход нечеткой базы знаний; $a_{i,jp}$ – лингвистический терм, которым оценивается переменная x_i в строчке с номером jp ($p = \overline{1, k_j}$); k_j – количество строчек-конъюнкций, в которых выход u оценивается лингвистическим термом d_j ; w_{jp} – весовой коэффициент правила с порядковым номером jp число из диапазона $[0;1]$, задающее относительный вес правила при не-

четком логическом выводе; m – количество термов, используемых для лингвистической оценки выходной переменной y .

Обозначим $\mu_{j_p}(x_i)$ – функция принадлежности входа x_i нечеткому терму a_{i,j_p} , $\mu_{d_j}(y)$ – функция принадлежности выхода y нечеткому терму d_j . Степени принадлежности входного вектора $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ нечетким термам d_j из базы знаний рассчитываются следующим образом:

$$\mu_{d_j}(X^*) = \bigvee_{p=1,k_j} w_{j_p} \cdot \bigwedge_{i=1,n} [\mu_{j_p}(x_i^*)], \quad j = \overline{1,m},$$

где \bigvee (\bigwedge) – операции нахождения максимума и минимума.

Перейдем к формированию баз знаний создаваемой нами нечеткой экспертной системы.

База знаний «Диагностика» предназначена для определения качества диагностирования и имеет следующие входные переменные: «Количество методов диагностирования», «Объем методов диагностирования», «Группа опасности», «Категория опасности».

Введем лингвистическую переменную «Количество методов диагностирования», значения которой лежат в пределах [0;10]. Термами лингвистической переменной будут «Низкое», «Среднее», «Высокое» количество. В качестве функций принадлежности выберем нормальные кривые.

Под уровнем диагностики будем понимать число из интервала [0;1], чем выше это число, тем выше уровень диагностики. На уровень диагностики влияет объем диагностирования, количество используемых методов диагностики, группа транспортируемых или содержащихся веществ, категория объекта.

Согласно нормативной документации по техническому диагностированию сосудов, работающих под давлением, и продлению срока их службы требуется знание объема дефектоскопического контроля, выполняемого при диагностировании. В частности, в работе А.М. Кузнецова, В.И. Лившица и др. [5] для расчета ресурса эксплуатации необходимо знать отношение объемов дефектоскопического контроля, выполняемого при диагностировании и изготовлении. Данная информация об объеме контроля при изготовлении сосуда содержится в технических паспортах на диагностируемое оборудование. Лингвистическая переменная «Объем диагностирования», имеет значения в пределах [0;1] равные отношению объемов дефектоскопического контроля, выполняемого

при диагностировании и изготовлении. Термы лингвистической переменной – «Низкий», «Средний», «Высокий».

На уровень необходимой диагностики влияет также группа транспортируемых или содержащихся веществ и категория объекта. К первой группе относят вещества с токсическим воздействием, ко второй – взрыво и пожароопасные вещества, к третьей – трудногорючие и негорючие вещества. Наибольший объем диагностики и количество используемых методов требуется для объектов, содержащих вещества первой и второй группы опасности. Это и понятно, для объектов, содержащих вещества третьей группы опасности (например, водяной пар в сосудах газоперерабатывающего завода) возможный ущерб от аварий и инцидентов наименьший. Введем лингвистическую переменную «Группа опасности», значения которой лежат в пределах [1;3]. К первому терму «12» относятся первая и вторая группы опасности, ко второму терму «3» – третья группа.

В зависимости от рабочих состояний среды (давления и температуры) выделяют пять категорий объектов. Наиболее опасны объекты первой, второй и третьей категорий. Введем лингвистическую переменную «Категория опасности», значения которой лежат в пределах [0;5]. Термами лингвистической переменной будут «1», «2», «3», «4», «5» категории.

Выходная лингвистическая переменная «Уровень диагностики» состоит из термов «Очень низкий», «Низкий», «Средний», «Высокий», «Очень высокий». Возможные значения принадлежат интервалу [0;1].

Нечеткие правила в базе знаний имеют вид: Если «Количество методов» = «Высокое» и «Объем методов диагностирования» = «Высокий» и «Группа опасности» = «12» и «Категория опасности» = «1» то «Уровень диагностики» = «Очень высокий».

Создано три базы знаний для определения состояния оборудования. Первая база знаний – для оборудования, не превысившего нормативный срок эксплуатации, вторая и третья – для оборудования, превысившего нормативный срок эксплуатации с продленным сроком на 4 года и 8 лет соответственно.

В базы знаний состояния оборудования входят следующие лингвистические переменные: «Срок эксплуатации», «Группа опасности», «Категория опасности», «Подконтрольная эксплуатация», «Скорость коррозии», «Диагно-

стика», «Технический контроль», «Датчики». На выходе – лингвистическая переменная «Состояние», имеющая термы «Очень низкое», «Низкое», «Ниже среднего», «Среднее», «Выше среднего», «Высокое», «Очень высокое». Базы знаний состояния оборудования является частью иерархической базы знаний. Входная переменная «Диагностика» баз знаний, определяющих состояние оборудования, является выходной переменной «Уровень диагностики» из базы знаний «Диагностика». В результате дефазификации нечеткого набора выводов в базе знаний «Диагностика», получаем действительное число из интервала $[0;1]$, которое подставляем на вход переменной «Диагностика» соответствующей базе знаний, определяющей состояние оборудования. Входная переменная «Срок эксплуатации» первой базы знаний состояния оборудования с нормативным сроком эксплуатации принимает значения на интервале $[0;35]$. Входные термы имеют следующие интервалы значений $[0;3]$, $[3;10]$ и $[10;35]$. Причина такого разбиения следующая. Первые три года оборудование эксплуатируется в неустановившемся режиме. На данном периоде устраняются дефекты сварки, начальной сборки. Во втором периоде, интенсивность отказов наименьшая. В третьем периоде происходит постепенное увеличение числа отказов в связи с нарастающим износом. Его причинами может быть механическое истирание, воздействие высоких температур и окружающей среды и др. В общем случае поток аварий элемента оборудования не стационарен, его интенсивность $\lambda(t)$ имеет вид, сходный с показанным на рисунке 1 [2].

На участке от оси $(0, t_1)$ интенсивность аварий технического устройства $\lambda(t)$ уменьшается: новое техническое устройство «прирабатывается», в нем выявляются и устраняются различные дефекты, проходит период «обкатки». Затем на участке (t_1, t_2) наступает период «стабильной» работы устройства, когда можно считать, что $\lambda(t) = \text{const}$. Затем по мере «старения» технического устройства (участок времени $t > t_2$) интенсивность аварий снова возрастает.

Оборудование со сроком эксплуатации, превышающим нормативный, диагностируется и в результате расчетов выводится из эксплуатации или производится продление его работы на срок 4 или 8 лет. Если остаточный ресурс слишком мал, то назначается мониторинг, то есть подконтрольная эксплуатация. Во второй и третьей базе знаний интервалы изменения входной переменной «Срок эксплуатации» $[0;4]$ и $[0;8]$ соответственно. Данные переменные имеют три терма: «Начало», «Середина» и «Конец», соответствующие разным периодам эксплуатации.

Входная переменная «Подконтрольная эксплуатация» может принимать два значения – «0» – нормальная эксплуатация, «1» – подконтрольная эксплуатация.

Лингвистическая переменная «Скорость коррозии» состоит из трех термов: «Низкая» – скорость коррозии менее 0,1 мм/год, «Средняя» – скорость коррозии от 0,1 до 0,5 мм/год, «Высокая» – скорость коррозии от 0,5 и выше мм/год.

Входная переменная «Датчики» определяет наличие датчиков контроля давления и тем-

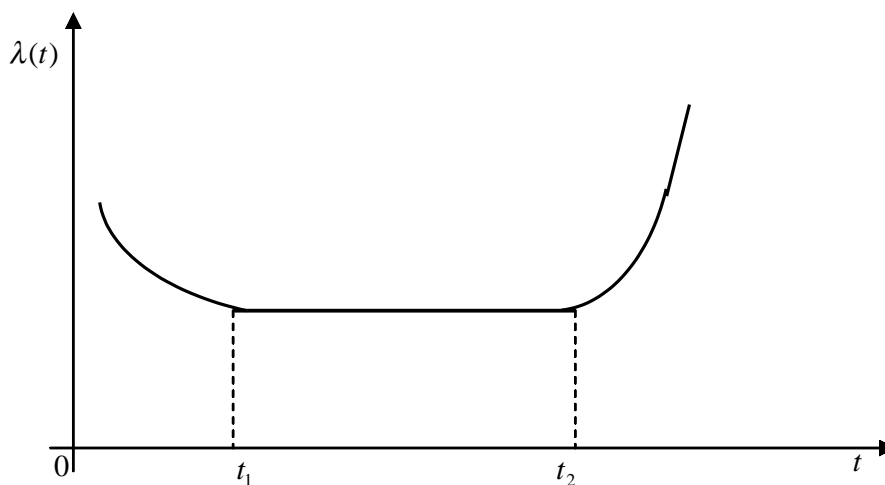


Рисунок 1. Изменение интенсивности аварий с течением времени

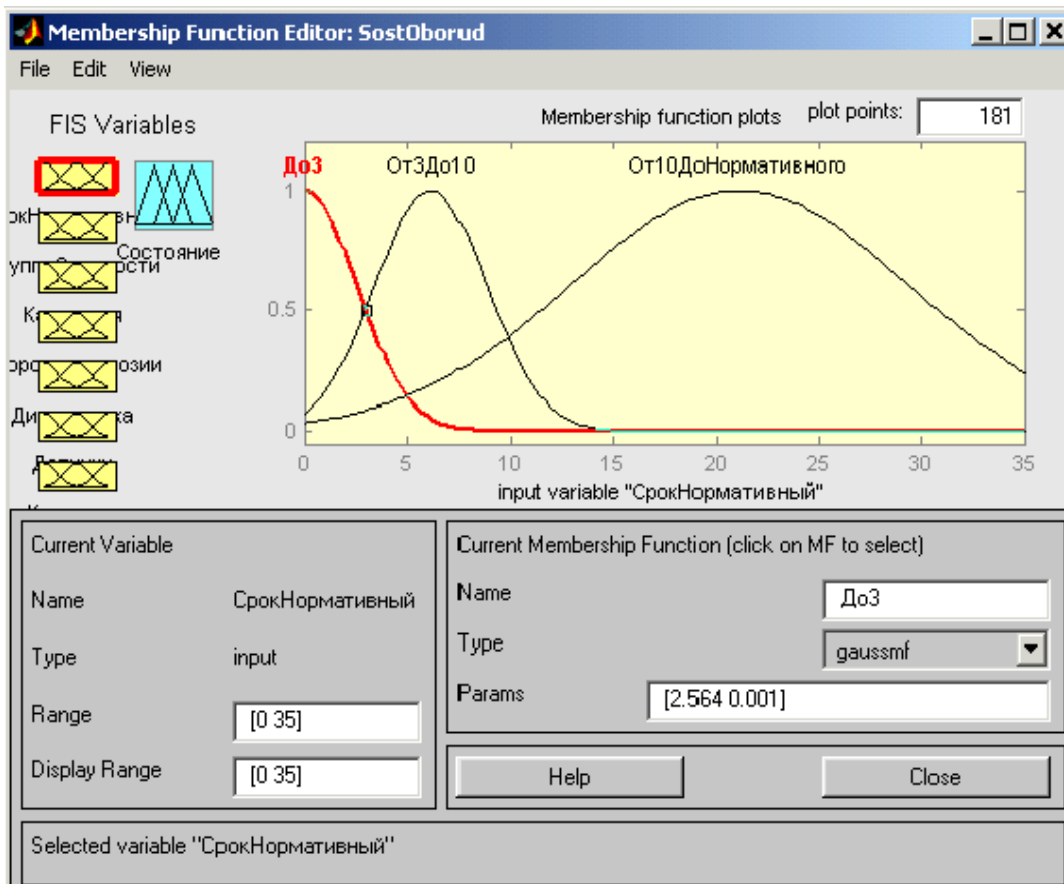


Рисунок 2. Окно редактора функций принадлежности

пературы может принимать два значения – «0» – «Нет», «1» – «Есть».

Входная переменная «Технический контроль» баз знаний состояния оборудования является выходной переменной «Уровень технического контроля» базы знаний «Технический контроль».

База знаний «Технический контроль» состоит из трех входных лингвистических переменных – «Эксплуатация», «Контроль визуальный», «Контроль в подконтрольной эксплуатации».

Значения переменной «Эксплуатация» – «0» – «Нормальная эксплуатация», «1» – «Подконтрольная эксплуатация».

Лингвистическая переменная «Контроль визуальный» состоит из термов «Низкий», «Средний», «Высокий». Возможные значения количество раз визуального контроля элемента оборудования, за год принадлежат интервалу [0;700].

Лингвистическая переменная «Контроль в подконтрольной эксплуатации» состоит из термов «Низкий», «Средний», «Высокий». Воз-

можные значения количество раз контроля с использованием приборов элемента оборудования, находящихся в подконтрольной эксплуатации за год, принадлежат интервалу [0;3].

Лингвистическая переменная «Уровень технического контроля» состоит из термов «Низкий», «Средний», «Высокий». Возможные значения принадлежат интервалу [0;1].

Нечеткие правила в базе знаний «Технический контроль» имеют следующий вид: Если «Эксплуатация» = «Подконтрольная» и «Контроль визуальный» = «Низкий» и «Контроль в подконтрольной эксплуатации» = «Низкий» то «Уровень технического контроля» = «Низкий».

Нечеткие правила в базе знаний «Состояние оборудования с нормативным сроком эксплуатации» имеют вид: Если «Срок нормативный» = «От 3 до 10» и «Группа опасности» = «3» и «Категория» = «3» и «Скорость коррозии» = «Низкая» и «Диагностика» = «Средняя» и «Датчики» = «Есть» и «Технический контроль» = «Низкий» то «Состояние» = «Очень хорошее».

Пример построения кривых функций принадлежности в среде Matlab для нормативного срока эксплуатации элемента оборудования входной переменной продолжительности эксплуатации – «Срок нормативный» представлен на рисунке 2.

Рассмотрим человеческие качества, влияющие на риск аварий.

Под профессионализмом будем понимать: квалификацию по роду деятельности, наличие смежных квалификаций, умение пользоваться компьютерной техникой, знания в области промышленной безопасности, умение ориентироваться в информационном пространстве, объем общих и специальных знаний, профессиональный и общий стаж работы, образование и специальность, соответствие специальности, должность и эрудицию в специальных вопросах, трудовые навыки, умение действовать в нестандартных и экстремальных ситуациях.

Под психофизиологическими качествами будем понимать способность к запоминанию и переработке информации, концентрацию внимания, сообразительность, скорость восприятия информации.

Под личностными – ответственность, эмоциональную устойчивость, степень социальной зрелости, отношение к образованию и повышению профессиональной квалификации, культура самосовершенствования, ориентация в информационном пространстве, коммуникабельность, здоровье, работоспособность, объективность, эрудиция, ответственность. Для определения личностных и психофизиологических факторов можно использовать тестирование, например, тест Кеттелла [1].

Со временем состояние общей квалификации людей меняется: уходят старые специалисты, приходят новые, в течение жизни меняются психофизиологические качества, знания конкретных людей. Поэтому необходимо каждый год пересчитывать состояние человеческого фактора для работников каждой установки, с целью пересчета рисков аварий и инцидентов и определения эффективных мероприятий по уменьшению рисков.

Повышение квалификации персонала, приобретение знаний и навыков, позволяет формировать более высокий уровень культуры производства, повышать эффективность системы управления процессом обеспечения промышленной безопасности. Это выражается в снижении аварийности и травматизма на предприятии.

Руководствуясь индивидуальными особенностями того или иного человека, далеко не всегда можно предсказать его поведение в групповой деятельности. Отсюда можно объяснить часто встречающиеся на практике случаи, когда группы со «средними» индивидуальными показателями решают коллективные задачи более организованно и эффективно, чем группы с «лучшими» [7].

Роль человеческого фактора в оптимизации производственной деятельности коллективов отчетливо продемонстрирована в проведенных исследованиях [4], из которых видно, что при равных технических и экономических условиях эффективность работы коллектива может быть увеличена в три раза за счет роста его сплоченности; в группах с доброжелательной атмосферой производительность труда выше средней на 15 – 40%, а брак ниже на 10 – 20%; недооценка роли коллективного настроения ведет к потере до 15% рабочего времени. От того, насколько хорошо сработан коллектив, зависит насколько эффективно он будет противостоять возникновению аварии и бороться с ее последствиями.

Под социально-психологическим климатом (СПК) будем понимать срабатываемость коллектива, на которую влияет общее настроение, доброжелательность.

Климат в группе может определять лицо, имеющее удостоверение эксперта, например, начальник установки, как «Плохой», «Хороший», «Отличный».

Для определения уровня человеческого фактора, влияющего на аварийность, была создана нечеткая база знаний «Человеческий фактор».

Входными переменными являются:

– переменные, определяющие текущее состояние человеческого фактора: «Профессионализм», «Психофизиологический фактор», «Личностный фактор», «Климат»;

– переменные, влияющие на изменение текущих показателей: «Контроль работы», «Контроль знаний», «Повышение квалификации», «Коллективные смотры-конкурсы».

Лингвистическая переменная «Профессионализм» состоит из следующих термов «Очень низкий», «Низкий», «Средний», «Высокий», «Очень высокий». Возможные значения – средний результат тестирования профессиональных знаний и умений работников одной установки принадлежат интервалу [0;100].

Лингвистическая переменная «Психофизиологический фактор» состоит из термов «Низкий», «Средний», «Высокий». Возможные значения – $[0;100]$.

Лингвистическая переменная «Личностный фактор» состоит из термов «Низкий», «Средний», «Высокий». Возможные значения – средние по результатам тестирования работников, обслуживающих установку, принадлежат интервалу $[0;100]$.

Климат в группе может определять начальник установки. Введем лингвистическую переменную «Климат». Термами лингвистической переменной будут «Плохой», «Хороший», «Отличный».

Лингвистическая переменная «Контроль работы» состоит из термов «Низкий», «Средний», «Высокий». Возможные значения – количество раз контроля работников, обслуживающих установку, за год принадлежат интервалу $[0;10]$.

Лингвистическая переменная «Контроль знаний» состоит из термов «Низкий», «Средний», «Высокий». Возможные значения – количество раз проверки знаний работников, обслуживающих установку, за год принадлежат интервалу $[0;5]$.

Лингвистическая переменная «Повышение квалификации» состоит из термов «Низкое», «Среднее», «Высокое» – количество занятий по повышению профессионально-технического уровня работников, обслуживающих установку, за год, принадлежат интервалу $[0;5]$.

Лингвистическая переменная «Коллективные смотры-конкурсы» состоит из термов «Низкое», «Среднее», «Высокое» – количество раз проведения коллективных мероприятий с целью улучшения психологического климата в коллективе, за год, принадлежат интервалу $[0;5]$. Коллективные конкурсные мероприятия улучшают климат в коллективе работников установок, расширяют кругозор, помогают лучше ориен-

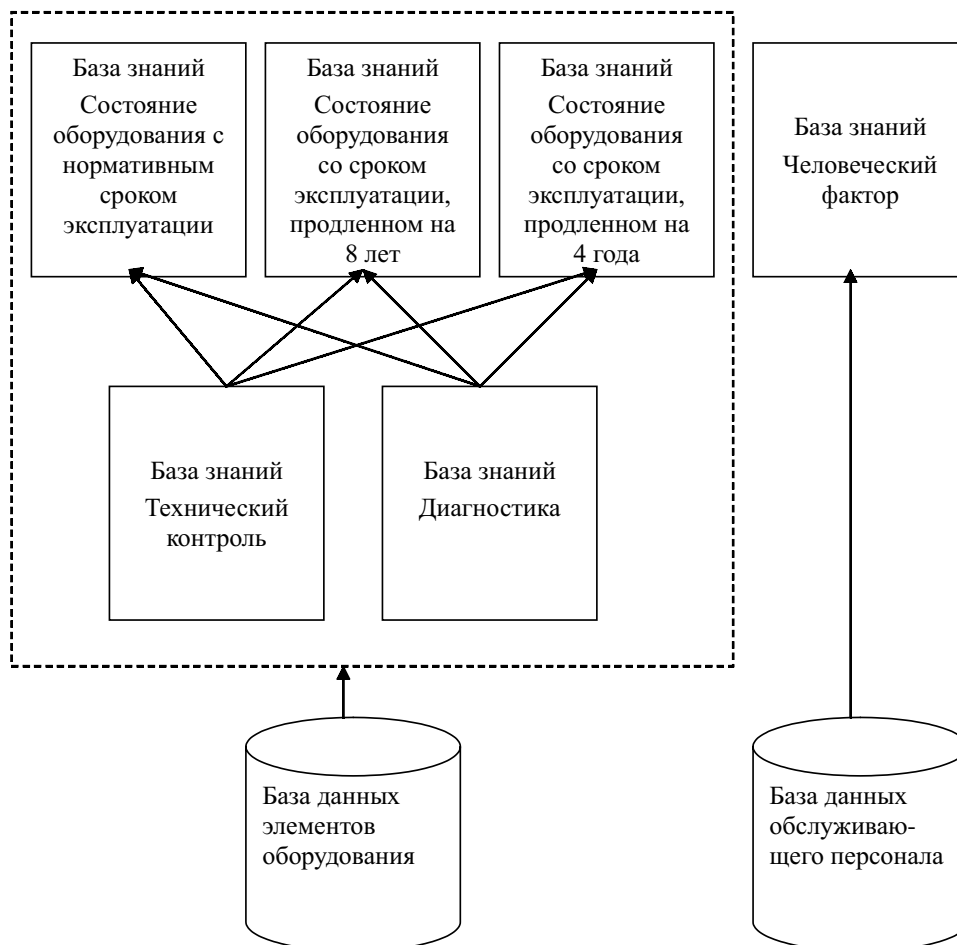


Рисунок 3. Нечеткая экспертная система

тироваться в вопросах охраны труда, усваивать учебный материал. Их можно проводить в форме соревнований, деловых игр, по тематике, связанной с вопросами охраны труда и промышленной безопасности.

Выходная лингвистическая переменная «Уровень человеческого фактора» имеет термы «Очень низкий», «Низкий», «Ниже среднего», «Средний», «Выше среднего», «Высокий», «Очень высокий». Возможные значения принадлежат интервалу $[0;1]$.

Нечеткие правила, например, могут иметь следующий вид: Если «Профессионализм» = «Очень высокий» и «Психофизиологический фактор» = «Высокий» и «Личностный фактор» = «Высокий» и «Климат» = «Хороший» и «Контроль работы» = «Средний» и «Контроль знаний» = «Средний» и «Повышение квалификации» = «Среднее» и «Коллективные смотры-конкурсы» = «Средние» то «Уровень человеческого фактора» = «Очень высокий».

Схема нечеткой экспертной системы изображена на рисунке 3.

Базы знаний нечеткой экспертной системы имеют иерархическое построение, т.е. выходная переменная одной базы знаний является входной для другой. Использование иерархической базы знаний было обусловлено рядом причин. При большом количестве входов эксперту трудно описать причинно-следственные связи в виде

нечетких правил. Это обусловлено тем, что в оперативной памяти человека может одновременно храниться не более 7 ± 2 понятий-признаков. Следовательно, количество входных переменных в одной базе знаний не должно превышать это число. Более поздние исследования показали, что хорошие базы знаний получаются, когда количество входов не превышает пяти – шести. Поэтому, при большем количестве входных переменных, необходимо их иерархически классифицировать с учетом приведенных выше рекомендаций. Обычно, выполнение такой классификации не составляет трудностей для эксперта, так как при принятии решений человек иерархически учитывает влияющие факторы.

Как показано в работе автора С.Д. Штовбы [8] преимущество иерархических баз знаний заключается еще и в том, что они позволяют с помощью небольшого количества нечетких правил адекватно описать многомерные зависимости «входы – выход».

Основной целью создания нечеткой экспертной системы является распределение средств, выделенных на безопасность ОПО. Для этого с помощью нечеткой экспертной системы ищутся числа – техническое состояние элемента оборудования – S_i и уровень человеческого фактора – Q_i , $S_i, Q_i \in [0;1]$. Эти числа характеризуют возможность аварий и их можно использовать в методах определения рисков аварий.

Список использованной литературы:

- 1 Анастаси А., Урбина С. Психологическое тестирование, 7-е издание. / Пер. с англ. – СПб.: И.Д. «Питер», 2004. – 688 с.
- 2 Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2000. – 383 с.
- 3 Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.
- 4 Психологический отбор кандидатов на обучение профессии оператора технологической установки нефтепереработки. – Л.: Методические рекомендации, 1989. – С. 8-9
- 5 Сосуды и трубопроводы высокого давления: Справочник / Кузнецов А.М., Лившиц В.И. и др. – 2-е изд., доп. – Иркутск: ГП «Иркутская областная типография №1», 1999. – 600 с.
- 6 Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. / Пер с англ. – М.: Мир, 1989. – 388 с.
- 7 Фомина Е.Е., Глебова Е.В., Прусенко Б.Е. Профотбор операторов по наливу нефтепродуктов в автоцистерны на нефтебазах // Безопасность труда в промышленности. – 2000. – №11. – С. 30-32
- 8 Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. – На сайте: <http://www.matlab.exponenta.ru/>
- 9 Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.