

ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

А.Н. Колесников, канд. техн. наук, В.К. Медведев, канд. воен. наук, А.Н. Богданов

Харьковский институт Военно-Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

В статье предложена и обоснована, с учётом специфики предметной области, структура экспертной системы поддержки принятия решений при планировании технической эксплуатации радиотехнических систем и комплексов, а также приведён вариант решения прикладной задачи планирования технической эксплуатации с использованием аппарата нечёткой логики.

В статті запропонована та обґрунтована, з урахуванням специфіки предметної галузі, структура експертної системи підтримки прийняття рішень при плануванні технічної експлуатації радіотехнічних систем та комплексів, а також наведений варіант рішення прикладної задачі планування технічної експлуатації з використанням апарату нечіткої логіки.

In clause is offered and is proved, in view of specificity of a subject domain, structure of expert system of support of acceptance of the decisions at planning technical operation of radio engineering systems and complexes, and also the variant of the decision of an applied task of planning of technical operation with use of the device of indistinct logic is given.

Введение

Уровень боевой готовности и эффективность применения радиотехнических систем и комплексов (РТС и К), обеспечивающих полёты, существенно зависят от принципов организации их эксплуатации. Перед должностными лицами, ответственными за организацию эксплуатации, стоит важная и сложная задача – организовать эксплуатацию сложных и дорогостоящих РТС и К таким образом, чтобы в течении всего срока службы обеспечить их сбережение и работоспособное состояние, постоянную готовность к применению по назначению и высокую эксплуатационную надёжность.

Для решения перечисленных задач служит система организации эксплуатации, представляющая собой непрерывно функционирующую систему управления состояниями РТС и К. Объектом управления является парк РТС и К, а управляемыми параметрами – показатели надёжности, готовности, сохраняемости и ремонтпригодности.

Количественно, надёжность РТС и К можно оценить коэффициентом оперативной готовности $K_{oz}(t)$ [1]

$$K_{oz}(t) = \frac{T_o}{T_o + T_в} \int_t^{\infty} P(t) dt, \quad (1)$$

где $P(t) = \lim P_k(t)$ – вероятность безотказной работы РТС и К в установившемся режиме эксплуатации;

T_o – средняя наработка на отказ;

$T_в$ – среднее время восстановления.

Таким образом, из выражения (1) следует, что одной из основных целей системы организации эксплуатации РТС и К является уменьшение времени, затрачиваемого на восстановление технического ресурса.

Данная задача не может быть решена без использования эффективной системы планирования технической эксплуатации (ТЭ). При этом, методы, применяемые для планирования ТЭ, существенно определяют качество и эффективность системы эксплуатации РТС и К. В частности, качество такой системы можно измерить затратами, путём определения стоимости РТС и К в каждом состоянии и стоимости выполнения каждого вида работ. Задачей

планирования является выбор таких видов работ по ТЭ, которые свели бы к минимуму стоимость эксплуатации техники за установленный интервал времени.

1. Постановка задачи

В настоящее время широкое применение при планировании ТЭ РТС и К находят методы сетевого планирования, позволяющие всесторонне и достаточно точно учитывать особенности комплексных работ на технике. Другим подходом, позволяющим моделировать задачи ТЭ, является применение теории массового обслуживания [1]. При всех достоинствах этих методов, следует отметить, что они базируются на вероятностных моделях, что существенно ограничивает область их применения и не позволяет адекватно представить процесс ТЭ РТС и К, так как в реальной практике управления сложными процессами, как правило, законы распределения случайных величин неизвестны или известны частично [4].

Во всех случаях, процесс планирования ТЭ связан с принятием решений при наличии недостаточно достоверных данных. Должностное лицо, принимающее решение (ЛПР), осуществляет планирование ТЭ при недостатке и неполноте информации о реальном качественном состоянии РТС и К и их составных частей, уровне обеспеченности РТСК и К запасным имуществом и расходными материалами, уровне квалификации обслуживающего персонала и динамике изменения этих характеристик. Кроме этого, ЛПР сталкивается с необходимостью планирования самых разнообразных работ на сложных системах и технических устройствах, отличающихся как конструктивно, так и по принципу работы.

Анализ процесса планирования ТЭ РТС и К показывает, что его удобно представить в виде отдельных, функционально независимых этапов, взаимосвязь между которыми определяется конкретной технологией планирования [1].

Каждый этап планирования характеризуется

набором входных параметров, задание которых необходимо для его выполнения. В зависимости от способа задания входных параметров, этапы планирования можно разделить на три класса:

1. Первый класс. Входные параметры полностью детерминированные, то есть они полностью определяются на предыдущих этапах планирования.

2. Второй класс. Входные параметры алгоритмически определены, то есть они зависят от предыдущих этапов и определяются с помощью формализованных алгоритмов или соответствующих руководящих документов.

3. Третий класс. Входные данные трудно формализуемые, то есть они не только зависят от результатов предыдущих этапов планирования, но и в силу ряда причин (большая размерность модели принятия решений, качественный характер процессов, не наблюдаемость ряда характеристик и др.) эта зависимость выражена не явно. В реальной действительности значения таких параметров задаются должностным лицом на основе его опыта и квалификации.

Поэтому, даже при использовании разнообразных методов планирования ТЭ РТС и К, процесс планирования существенно зависит от субъекта планирования (его опыта, квалификации, психофизического состояния в разные отрезки времени планирования).

Таким образом, возникает следующее противоречие; с одной стороны, необходимо автоматизировать как можно большее число этапов планирования ТЭ, а с другой стороны, невозможно существующими методами реализовать автоматизацию этапов планирования, относящихся к третьему классу, в силу их недостаточной определённости и формализуемости.

Известно, что большую часть работ при эксплуатации РТС и К составляют типовые операции, при планировании и выполнении которых накоплен определённый опыт. Поэтому при разработке авто-

матризированной системы планирования ТЭ указанное выше противоречие можно разрешить включением в эту систему экспертной системы [4].

Таким образом, **целью статьи** является разработка структуры экспертной системы поддержки принятия решений при планировании ТЭ РТС и К, обеспечивающих полеты. При этом, основное внимание уделяется решению задачи представления экспертной информации в виде систем четких или нечетких высказываний, отражающих специфику входных параметров на различных этапах планирования ТЭ РТС и К.

Решение поставленных задач рассматривается на примере планирования ТЭ РТС и К частей связи и РТО авиационного соединения.

2. Структура экспертной системы

Обобщённая структура экспертной системы поддержки принятия решений при планировании ТЭ РТС и К частей связи и РТО авиационного соединения представлена на рис. 1.

Система планирования ТЭ РТС и К в авиационном соединении построена по иерархическому принципу, то есть старший орган управления воздействует на подчинённые части (органы управления) таким образом, чтобы достигалась общая цель, заданная для всей системы. Подчинённые части (органы управления) обязаны учитывать распоряжения вышестоящих штабов в процессе разработки своих планов и, с установленной периодичностью, представлять им определенные отчётные и справочные материалы. Поэтому, для автоматизации процесса планирования ТЭ РТС и К авиационного соединения необходимо применить распределённую экспертную систему, позволяющую решать как частные, так и общие задачи планирования.

Процесс функционирования РТС и К, обеспе-

чивающих полёты, характеризуется высокой динамикой изменения их состояний и значительными потоками информации. Поэтому, для повышения адекватности планирования ТЭ РТС и К реальной обстановке, целесообразно использовать динамическую экспертную систему.

Результатом работы предлагаемой распределённой динамической экспертной системы поддержки принятия решений (РДЭСППР) является генерация вариантов формализованных документов текущего и прогнозного планирования ТЭ РТС и К частей связи и РТО авиационного соединения по критерию обеспечения максимального уровня готовности системы связи и РТО авиационного соединения при минимальных затратах средств на её эксплуатацию.

Минимизация затрат на ТЭ РТС и К осуществляется за счет предоставления ЛПР оптимальных планирующих решений, получаемых с учетом знаний экспертов и реальной информации о состоянии РТС и К и всех обеспечивающих ресурсов. Для этого в состав РДЭСППР входят подсистема обеспечения людскими ресурсами, подсистема обеспечения материально-техническими средствами, подсистема планирования ТЭ, подсистема организации ТЭ, представляющие собой составные части распределённой машины вывода решений на основе знаний экспертов, заложенных в базе знаний.

Учёт реального состояния РТС и К и всех обеспечивающих ресурсов производится путём использования динамической базы данных (БД), которая включает в себя 7 блоков, каждый из которых содержит постоянно обновляющуюся информацию о конкретных характеристиках, необходимых для процесса планирования.

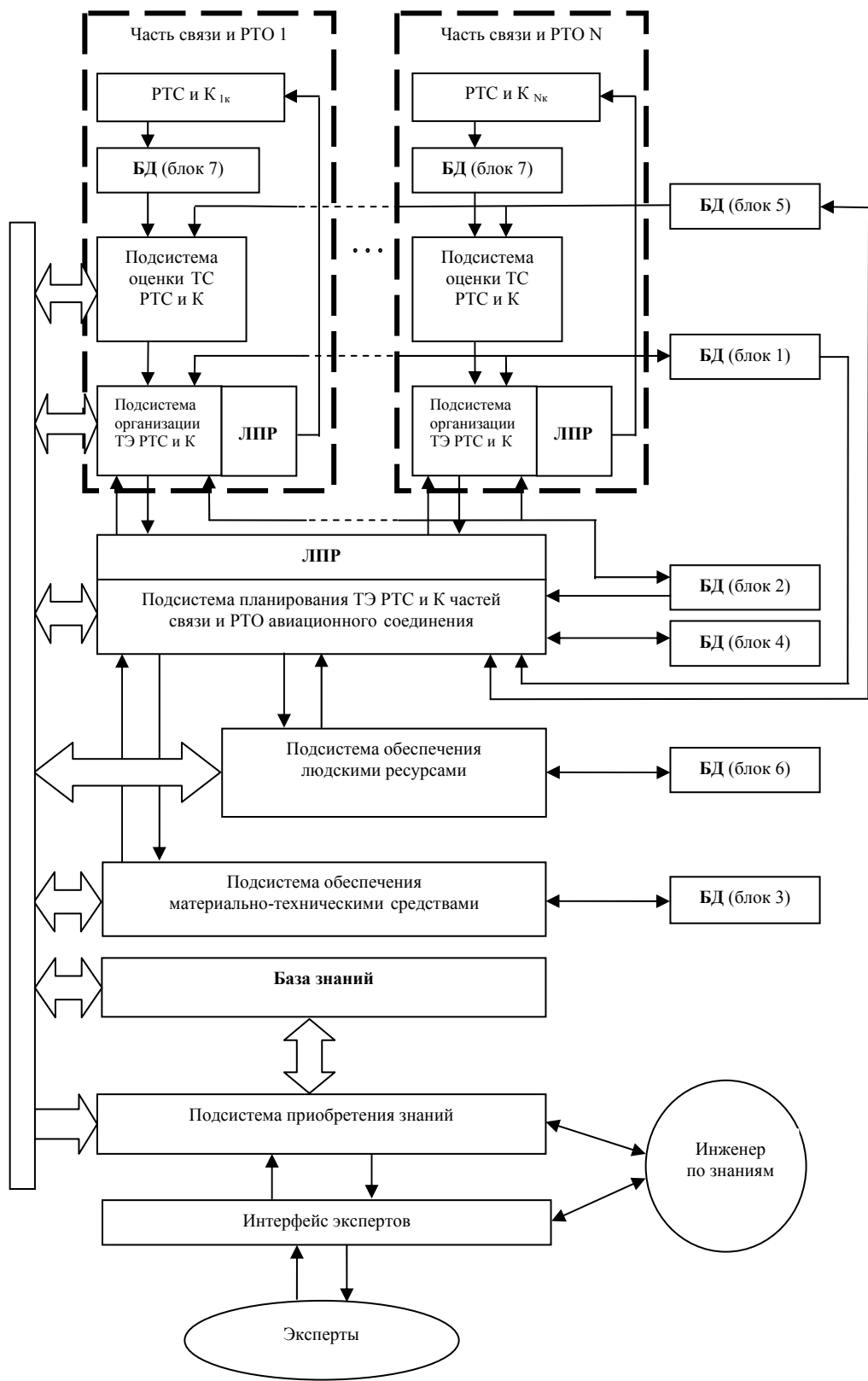


Рис. 1. Обобщённая структура экспертной системы поддержки принятия решений при планировании ТЭ РТС и К частей связи и РТО авиационного соединения

3. Решение задач планирования ТЭ РТС и К с использованием нечёткой логики

В принятой в настоящее время системе ТЭ РТС и К разрабатываются долговременные и

краткосрочные планирующие документы [1]. Вариант годового плана эксплуатации и ремонта техники (строки 1 и 2) представлен в табл. 1.

Таблица 1

Вариант годового плана эксплуатации и ремонта техники

№ п/п	Наименование техники связи и её заводской номер	Год выпуска	Количество отработанных часов с начала эксплуатации	Количество проведённых средних (СР) и капитальных (КР) ремонтов	Запас ресурса на 01.01 200__ г.		Годовая норма расхода ресурса, ч.	Расход ресурса по кварталам				Расход ресурса за год, ч	Время проведения очередного технического обслуживания (месяц)
					до среднего ремонта, ч	до капитального ремонта, ч		1-й квартал	2-й квартал	3-й квартал	4-й квартал		ТО-2
								Запланировано	Запланировано	Запланировано	Запланировано	Запланировано	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	P-161A2 №10001	1978	8450	С	-	4050	1000	250	250	250	250	1000	Октябрь
1Э	P-161A2 №10001	1978	8450	С	-	4050	1000	178	322	370	130	1000	Октябрь
2	P-161A2 №10102	1981	6250	С	-	6250	1000	250	250	250	250	1000	Октябрь
2Э	P-161A2 №10102	1981	6250	С	-	6250	1000	325,5	469,5	517,5	277,5	1590	Июль

Основными исходными данными для разработки плана являются числовые и лингвистические переменные, отмеченные в столбцах 2÷8 плана. Значения числовых переменных в столбцах 9, 10, 11, 12 являются выходными параметрами, которые чётко определены для заданного множества входных параметров. В табл. 2 приведён основной перечень входных параметров, влияющих на распределение ресурса по кварталам на год для радиостанций Р-162А2.

Как правило, распределение ресурса РТС и К по кварталам осуществляется ответственным должностным лицом, исходя из личного опыта и знаний. При этом не производится полный учёт влияния

всех входных факторов, что приводит к увеличению затрат на эксплуатацию РТС и К, хранение и транспортировку горюче-смазочных материалов, перерасходу энергоносителей.

Рассмотрим применение интеллектуальных технологий для решения следующих задач планирования ТЭ радиостанций Р-161А2:

- а) распределения ресурса радиостанций Р-161А2 по кварталам, основанного на выборе решений при чёткой экспертной информации,
- б) определения сроков проведения технического обслуживания (ТО) радиостанций в объёме ТО-2, с использованием нечётких экспертных высказываний.

Таблица 2

Перечень входных параметров, влияющих на распределение ресурса для радиостанций Р-162А2

Параметр	Условное обозначение	Значение параметра
1. Годовая норма расхода ресурса	N	1000 часов
2. Количество однотипных средств	K	2
3. План заявок на оперативную работу	D	Дежурство в радионаправлении: 8 часов в сутки
1. Выписка из плана боевой подготовки части: 4а – тренировки: 4б – учения:	T U1 U2	2 раза в неделю по 2 часа 3 дня (апрель) 5 дней (сентябрь)
5. Количество отработанных часов с начала эксплуатации: радиостанция №1 радиостанция №2	R1 R2	8450 часов 6250 часов

4. Решение задачи распределения ресурса радиостанций по кварталам

Исходные параметры для планирования ТЭ радиостанций Р-161А2 приведены в табл. 2.

Алгоритм расчёта распределения ресурса радиостанций представим в виде нескольких этапов.

Этап 1. Определение планируемой наработки радиостанций на год:

$$t_{\Sigma} = 365 \times D + 52 \times T + 24 \times (U1 + U2).$$

Этап 2. Сравнение планируемой наработки радиостанций на год с выделенным ресурсом (на все однотипные средства):

если $t_{\Sigma} \leq K \times N$, то годовая норма расхода ресурса на каждую радиостанцию N_i будет равна N ,

если $t_{\Sigma} > K \times N$, то находим разницу между значением левой и правой части неравенства

$$C = t_{\Sigma} - K \times N.$$

Этап 3. Определение годовой нормы расхода ресурса для каждой радиостанции:

если $R1 = R2$, то $N1 = N2 = N + \frac{C}{2}$,

если $R1 < R2$, то $N1 = N + C$,

если $R1 > R2$, то $N2 = N + C$.

Этап 4. Формирование для радиостанций №1 ($i=1$) и №2 ($i=2$) выходных параметров $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$, где:

$$y_1 = \frac{N_i}{4} - U1; \quad y_2 = \frac{N_i}{4} + U1; \quad y_3 = \frac{N_i}{4} + U2;$$

$$y_4 = \frac{N_i}{4} - U2.$$

Этап 5. Формирование входных параметров

$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}\}$, где x_1 :<январь>; x_2 :<февраль>; x_3 :<март>; x_4 :<апрель>; x_5 :<май>; x_6 :<июнь>; x_7 :<июль>; x_8 :<август>; x_9 :<сентябрь>; x_{10} :<октябрь>; x_{11} :<ноябрь>; x_{12} :<декабрь>.

Этап 6. Формирование системы экспертных высказываний:

$$Z^{(1)} = \begin{cases} z_1^{(1)} : \langle \text{ЕСЛИ } P_X \text{ есть } x_1 \wedge x_2 \wedge x_3, \text{ ТО } P_{V1} \text{ есть } y_1 \rangle; \\ z_2^{(1)} : \langle \text{ЕСЛИ } P_X \text{ есть } x_4 \wedge x_5 \wedge x_6, \text{ ТО } P_{V1} \text{ есть } y_2 \rangle; \\ z_3^{(1)} : \langle \text{ЕСЛИ } P_X \text{ есть } x_7 \wedge x_8 \wedge x_9, \text{ ТО } P_{V1} \text{ есть } y_3 \rangle; \\ z_4^{(1)} : \langle \text{ЕСЛИ } P_X \text{ есть } x_{10} \wedge x_{11} \wedge x_{12}, \text{ ТО } P_{V1} \text{ есть } y_4 \rangle. \end{cases} \quad (2).$$

Этап 7. Нахождение числовых значений решений, основываясь на правиле modus ponens [2] для системы экспертных высказываний (2), заданных в чёткой форме.

Тогда, для радиостанции №1 (строка 1 табл. 1) получим:

Столбец №9

$$Z^{(1)};$$

$$\frac{\langle P_X \text{ есть январь И февраль И март} \rangle - \text{истинно}}{\langle P_{V1} \text{ есть } 178 \rangle - \text{истинно}}$$

$$A_{19} = P_{V1};$$

Столбец №10

$Z^{(1)}$;

$$\frac{\langle P_X \text{ есть апрель И май И июнь} \rangle - \text{истинно}}{\langle P_{Y1} \text{ есть } 322 \rangle - \text{истинно}}$$

$$A_{110} = P_{Y1};$$

Столбец №11

$Z^{(1)}$;

$$\frac{\langle P_X \text{ есть июль И август И сентябрь} \rangle - \text{истинно}}{\langle P_{Y1} \text{ есть } 370 \rangle - \text{истинно}}$$

$$A_{111} = P_{Y1};$$

Столбец №12

$Z^{(1)}$;

$$\frac{\langle P_X \text{ есть октябрь И ноябрь И декабрь} \rangle - \text{истинно}}{\langle P_{Y1} \text{ есть } 130 \rangle - \text{истинно}}$$

$$A_{112} = P_{Y1}.$$

Проведя аналогичные расчёты, для радиостанции №2 (строка 2 табл. 1) получим: $A_{29}=325,5$ часа; $A_{210}=469,5$ часа; $A_{211}=517,5$ часа; $A_{212}=277,5$ часа, где A_{19} , A_{110} , A_{111} , A_{112} , A_{29} , A_{210} , A_{211} , A_{212} – значения запланированного расхода ресурса радиостанций №1 и №2 по кварталам (графа 9 – 1-й квартал, графа 10 – 2-й квартал, графа 11 – 3-й квартал, графа 12 – 4-й квартал).

Таким образом, значения, полученные в результате решения задачи с использованием экспертной информации, полнее отражают влияние исходных факторов на процесс планирования, и позволяют более точно производить распределение годового расхода ресурса РТС и К по кварталам.

5. Решение задачи определения сроков проведения технического обслуживания радиостанций

Используя полученные результаты, определим сроки проведения ТО в объёме ТО-2. Исходя из анализа руководящих документов по организации эксплуатации РТС и К в частях связи и РТО ВВС Украины, наиболее приемлемыми сроками для проведения работ по техническому обслуживанию в объёме ТО-2 являются следующие месяцы: апрель, июль, октябрь. На выбор конкретного месяца прове-

дения технического обслуживания, оказывают влияние следующие факторы:

1. Нарботка радиостанции после последнего ТО-2;
2. Обеспеченность проведения ТО-2 радиостанции материально-техническими средствами;
3. Обеспеченность проведения ТО-2 радиостанции людскими ресурсами;
4. Обеспеченность проведения ТО-2 радиостанции специализированными бригадами;
5. Интенсивность оперативной работы радиостанции;
6. Готовность измерительных приборов и устройств для проведения ТО-2;
7. Возможные погодные условия.

Данный перечень факторов не является полным, но и он показывает, насколько трудна задача выбора оптимального времени проведения ТО, так как, в основном, исходные данные являются неполными и неточными, некоторые из них не поддаются формализации и выражают качественную сторону состояния системы технического обслуживания.

Для решения таких задач наиболее удачным является применение подхода, основанного на представлении экспертной информации в виде систем нечётких высказываний и использование дедуктивного логического вывода. Решим задачу планирования сроков проведения ТО-2 радиостанций Р-161А2 в зависимости от нечётких значений двух входных параметров.

Планируемая наработка радиостанции после последнего ТО-2. Входной параметр X , принимающий значения X : $\langle \text{малая, средняя, большая} \rangle$;

Планируемая обеспеченность проведения ТО-2 радиостанции материально-техническими средствами. Входной параметр Y , принимающий значения Y : $\langle \text{недостаточная, достаточная} \rangle$.

Выходное высказывание V_j выражает суть выбора того или иного срока проведения ТО-2, то есть является чётким высказыванием. Тогда

$V_j: \langle b_V \text{ есть } v_j \rangle$, где v_j принимает следующие значения: $v_1: \langle \text{апрель} \rangle$, $v_2: \langle \text{июль} \rangle$, $v_3: \langle \text{октябрь} \rangle$.

Экспертную информацию на этапе планирования сроков проведения ТО-2 представим в виде:

$$\tilde{Z}^{(1)} = \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{ЕСЛИ параметр } X \text{ большая И параметр } Y \\ \text{достаточная, ТО выбираем апрель месяц} \rangle \\ \langle \text{ЕСЛИ параметр } X \text{ малая И параметр } Y \\ \text{достаточная ИЛИ параметр } X \text{ средняя И} \\ \text{параметр } Y \text{ достаточная ИЛИ параметр } X \\ \text{большая И параметр } Y \text{ недостаточная,} \\ \text{ТО выбираем июль месяц} \rangle \\ \langle \text{ЕСЛИ параметр } X \text{ малая И параметр } Y \\ \text{недостаточная ИЛИ параметр } X \text{ средняя И} \\ \text{параметр } Y \text{ едостаточная, ТО выбираем} \\ \text{июль месяц} \rangle \end{array} \right.$$

Вводим лингвистические переменные T_X и T_Y на множествах X и Y с базовыми значениями:

$$T_X = \{a_{X1}, a_{X2}, a_{X3}\} = \{\text{малая, большая, средняя}\},$$

$$T_Y = \{a_{Y1}, a_{Y2}\} = \{\text{недостаточная, достаточная}\},$$

и образуя обобщённую лингвистическую переменную T_W на множестве $W=X \times Y$ с базовыми значениями

$$T_W = \{a_{W1}, a_{W2}, a_{W3}, a_{W4}, a_{W5}, a_{W6}\}, \text{ где}$$

$$a_{W1} = (a_{X1} \times a_{Y1}), a_{W2} = (a_{X1} \times a_{Y2}), a_{W3} = (a_{X2} \times a_{Y1}),$$

$$a_{W4} = (a_{X2} \times a_{Y2}), a_{W5} = (a_{X3} \times a_{Y1}), a_{W6} = (a_{X3} \times a_{Y2}),$$

экспертную информацию представим в виде нечёткой системы высказываний

$$\tilde{Z}^{(1)} = \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{ЕСЛИ } \tilde{A}_1, \text{ ТО } B_1 \rangle; \\ \langle \text{ЕСЛИ } \tilde{A}_2, \text{ ТО } B_2 \rangle; \\ \langle \text{ЕСЛИ } \tilde{A}_3, \text{ ТО } B_3 \rangle, \end{array} \right. \quad (3),$$

где нечёткие высказывания \tilde{A}_1, \tilde{A}_2 и \tilde{A}_3 имеют следующий вид:

$$\tilde{A}_1: \langle b_W \text{ есть } a_{W6} \rangle;$$

$$\tilde{A}_2: \langle b_W \text{ есть } a_{W2} \text{ ИЛИ } b_W \text{ есть } a_{W4} \text{ ИЛИ } b_W \text{ есть } a_{W5} \rangle;$$

$$\tilde{A}_3: \langle b_W \text{ есть } a_{W1} \text{ ИЛИ } b_W \text{ есть } a_{W3} \rangle.$$

Высказывания B_1, B_2, B_3 имеют вид:

$$B_1: \langle b_V \text{ есть } v_1 \rangle;$$

$$B_2: \langle b_V \text{ есть } v_2 \rangle;$$

$$B_3: \langle b_V \text{ есть } v_3 \rangle.$$

Тогда дедуктивная схема вывода имеет вид

$$\tilde{Z}^{(1)}; \quad \frac{A' - \text{истинно}}{B' - \text{истинно}} \quad (4),$$

где высказывания $A': \langle b_X \text{ есть } x \text{ И } b_Y \text{ есть } y \rangle$ соответствуют значениям входных параметров x, y , а высказывания $B': \langle b_V \text{ есть } v' \rangle$ соответствуют выбору v' сроков проведения ТО-2 на радиостанции Р-161А2.

Проиллюстрируем применение описанного подхода для вычисления конкретных значений. Пусть для радиостанции №1 планируемая наработка после проведения последнего ТО-2 составит 500 часов, планируемая обеспеченность материально-техническими средствами составит 15%. Для радиостанции №2 – 700 часов и 60% соответственно. Функции принадлежности нечётких переменных X и Y приведены на рис. 2 и рис. 3.

Тогда наиболее предпочтительным сроком проведения ТО-2 радиостанции будет такой срок, для которого степень истинности ($\mu_{mp}^{(1)}$) нечёткого правила *modus ponens* достигает своего максимума. Исходя из условия, что степень истинности схемы вывода (2) достигает наибольшего значения при $v' = v_j$ тогда и только тогда, когда значение $\mu_{W_j}(w)$ является наибольшим среди множества $\{\mu_{W_i}(w)\}$, $i \in \overline{1, m}$ [3], решением задачи является нахождение такого нечёткого входного высказывания, для которого значение функции принадлежности $\mu_{W_i}(w)$ будет максимальным. Вычисления проведём по следующим формулам [3]:

$$\mu_{W_i}(w) = \max_{i=1, n_i} \mu_{E_{ij}}(w)$$

$$\mu_{E_{ij}}(w) = \min \left\{ \mu_{X_{ij}}(x), \mu_{Y_{ij}}(y) \right\},$$

где $\mu_{X_{ij}}(x), \mu_{Y_{ij}}(y)$, - значения функций принадлежности базовых значений $a_{E_{ji}}$ лингвистической переменной b_w , определённой на множестве $W = X \times Y$.

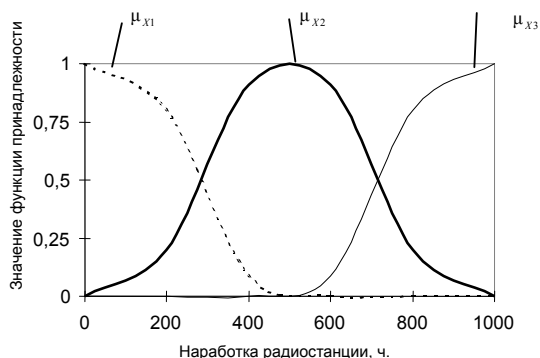


Рис. 2. Функции принадлежности нечетких переменных X

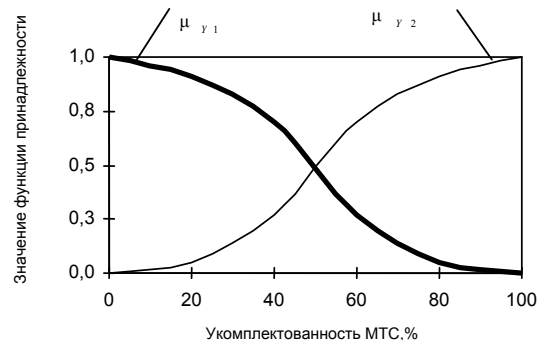


Рис. 3. Функции принадлежности нечетких переменных Y

В результате проведенных вычислений были получены следующие значения функций принадлежности $\mu_{W_i}(w)$.

Для радиостанции №1:

$$\mu_{W1}(w)=0; \mu_{W2}(w)=0,1; \mu_{W3}(w)=0,95.$$

Для радиостанции №2:

$$\mu_{W1}(w)=0,48; \mu_{W2}(w)=0,52; \mu_{W3}(w)=0,3.$$

Следовательно, наиболее предпочтительным сроком проведения ТО-2, исходя из заданных условий, для радиостанции №1 является октябрь, а для радиостанции №2 июль месяца.

Полученные результаты по распределению ресурса радиостанций Р-161А2 по кварталам и определению сроков проведения их технического обслуживания в объеме ТО-2 отображены в табл. 1 (строки (1Э, 2Э)). Сравнение полученных результатов с результатами, полученными при традиционном планировании, свидетельствуют о повышении адекватности и информативности выходных данных, полученных с использованием экспертных заключений.

Выводы

Таким образом, представленная РДЭСППР позволяет обеспечить эффективность планирования технической эксплуатации РТС и К за счёт более полного учёта разнообразных факторов,

влияющих на процесс эксплуатации, описываемых системами чётких и нечётких высказываний экспертов. Приведённые примеры показывают функциональную целесообразность использования нечётких моделей для наполнения базы знаний, что позволяет реализовать формализацию неопределённостей, более адекватно описывать систему технической эксплуатации и получать решения, максимально приближенные к реальной действительности.

Литература

1. Ельчанинов А.Д. Теоретические основы эксплуатации радиоэлектронных систем дальней радиолокации. – Харьков: ХВУ. – 1995. – 314 с.
2. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженок А.В. Нечёткие модели для экспертных систем в САПР. – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – 135 с.
3. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наукова думка. - 2002. – 420 с.
4. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. – М.: СИНТЕГ. – 1998. – 361 с.

Поступила в редакцию 29.09.03

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Сироджа И.Б., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков