УДК 621.306 519.6

© Строцев А.А., Синицын С.В.
Strotsev A.A., Sinitsin S.V.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ПОИСКУ И УСТРАНЕНИЮ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА НАЧАЛЬНОМ И ПОСЛЕГАРАНТИЙНОМ ПЕРИОДАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

APPLICATION OF METHODS OF THE DECISION MAKING THEORY IN UNCERTAINTY CONDITIONS IN DEVELOPMENT OF THE SUPPORT SYSTEM OF DECISION MAKING IN SEARCH AND ELIMINATION OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEM MALFUNCTIONS DURING THE INITIAL AND POSTGUARANTEED PERIODS OF MAINTENANCE

Аннотация. *На основе методов теории принятия решений разработана теоретико-игровая методика принятия решения по планированию процессов поиска и устранения неисправностей технических систем в условиях отсутствия или недостаточного объема статистических данных. Введен новый признак классификации задач принятия решения по поиску и устранению неисправностей. Приведен пример многокритериальной оптимизации процесса устранения неисправности относительно обобщенного показателя качества.*

Annonfnion. *The theoretical-game procedure of decision making in planning process of search and elimination of technical system malfunctions in conditions of statistical data absence or insufficient volume is developed on the basis of the decision making theory methods. The new classification feature of decision making tasks in search and elimination of malfunctions is entered. The example of multicriterion optimization of malfunction elimination process concerning generalized quality index is brought.*

Ключевые слова. *Поиск и устранение неисправностей, система поддержки принятия решений, теоретико-игровая оптимизация.*

Key words. *Search and elimination of malfunctions, the support system of decision making, theoretical-game optimization.*

Отсутствие достоверных статистических данных о надежности элементов спроектированной сложной технической системы (СТС) затрудняет разработку научно обоснованных методов эксплуатации. В технических описаниях, как правило, не обосновываются порядок и глубина контрольных операций при поиске неисправностей и дисциплина обслуживания при их устранении. Решения по поиску и устранению неисправностей (далее "решения") принимаются разработчиком и закрепляются в эксплуатационной документации [1]. Принятые решения в условиях отсутствия статистических данных о надежности элементов и ограниченных сроках ввода в эксплуатацию не являются оптимальными и представляют собой обычные технические решения, удовлетворяющие требованиям заказчика. Опыт эксплуатации СТС показывает, что жесткое закрепление эксплуатационной документацией порядка поиска и устранения неисправностей приводит к значительному завышению объёмов работ, необходимых для восстановления работоспособности [2]. С другой стороны, лицо, принимающее решение

Строцев Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры автоматического управления подготовкой и пуском ракет Ростовского военного института Ракетных войск, тел. 8-863-2-92-62-42;
Синицын Сергей Витальевич, адъюнкт кафедры автоматического управления подготовкой и пуском ракет Ростовского военного института Ракетных войск, тел. 8-863-2-23-42-53.

Strotsev Andrey Anatolevich – the candidate of technical sciences, the senior lecturer, the chief of faculty of automatic control of preparation and missile-launching of the Rostov Military Institute of Missile Troops, tel. 8-863-2-23-42-53.;
Sinitsin Sergey Vitalevich – the adjunct of faculty of automatic control of preparation and missile-launching of the Rostov Military Institute of Missile Troops, tel.8-863-223-42-53.

(ЛПР), выбирая оптимальное по какому-либо критерию решение, не соответствующее документации, несет полную ответственность за его последствия. Поэтому без надежного обоснования риск принятия неверного решения является большим и не всегда оправдан.

Таким образом, очевидна проблема принятия решения по организации поиска и устранения неисправности СТС на этапе эксплуатации в условиях отсутствия или недостаточного объема статистических данных о неисправностях (далее "в условиях неопределенности"). Особенно актуальна эта проблема для начального и послегарантийного периодов эксплуатации СТС, которые характеризуются большими значениями интенсивностей отказов относительно периода нормальной работы [3].

Очевидно, что принимаемое решение, которое не соответствует эксплуатационной документации, должно опираться не только на опыт, знания и интуицию ЛПР, но и иметь четкую, научно обоснованную оценку качества, которая, как правило, является многокритериальной. Вычисление оценок качества возможных решений целесообразно провести с помощью ЭВМ на основе методик принятия решений. Решение такого рода проблемы человеко-машинного управления возможно с помощью применения систем поддержки принятия решений (СППР). Необходимость внедрения СППР обуславливается непрерывно возрастающей сложностью управляемых объектов и процессов с одновременным сокращением времени, отводимого ЛПР на анализ проблемной ситуации и принятие необходимых управляющих воздействий [4].

Классификацию задач принятия решения по поиску и устранению неисправностей проводят по типу алгоритмов реализации программ поиска и устранения неисправностей [5], подразделяя их на задачи принятия решения на основе детерминированных алгоритмов и задачи принятия решения на основе статистических алгоритмов.

В задачах первого типа не учитываются статистические характеристики неисправностей систем, а в постановках задач второго типа требуется их задание.

При принятии решения на основе статистических алгоритмов разработчик СТС выбирает способ задания статистических характеристик надежности конструктивных единиц, при этом, как правило, используются два подхода. В первом подходе делается допущение о малой вероятности возникновения неисправностей систем, и на этом основании полагают их равными в первом приближении. Данное допущение при принятии решения на поиск и устранение неисправности справедливо только для серийного производства конструктивных единиц СТС, отличающегося стабильностью технологических процессов. На начальном и послегарантийном периодах эксплуатации данное допущение неприменимо. При использовании второго подхода показатель надежности конструктивной единицы аппроксимируется выбранным, статистически обоснованным законом распределения, и производится расчет статистических характеристик алгоритмов поиска и устранения неисправностей. В случае, если статистические данные отсутствуют или нет оснований полагать их достоверными, выбор закона распределения зависит только от опыта проектировщика. Применение данного подхода влечет за собой методическую погрешность, оценка которой может быть обоснованной только при появлении статистических данных по неисправностям достаточного объема.

Поэтому на рассматриваемых периодах эксплуатации для двух подходов, когда статистические данные отсутствуют или могут быть определены лишь с грубым приближением, процесс поиска и устранения неисправностей, доставляющий экстремум некоторой целевой функции (например, математическому ожиданию времени поиска или устранения неисправности), в принципе не может быть оптимальным в смысле реальных условий функционирования по причине субъективного учета условий неопределенности.

Таким образом, задача принятия решения по поиску и устранению неисправностей в СППР на начальном и послегарантийном периодах эксплуатации является актуальной. Решение таких задач возможно на основе применения методов теории принятия решений [6].

Общая схема проблемной ситуации представляется в виде системы

$$D = (G, P, U, \Lambda, \Psi), \tag{1}$$

где G – множество исходов проблемной ситуации;

P – множество предпочтений ЛПР;

U – множество стратегий ЛПР;

Λ – множество неконтролируемых со стороны ЛПР факторов (определенных, стохастических, неопределенных);

Ψ – функция, ставящая в соответствие фиксированной стратегии некоторый исход.

Рассмотрим применение этого подхода к решаемой задаче. На основании (1) задачи принятия решения по поиску и устранению неисправностей можно классифицировать по информационным условиям, в которых принимается решение на задачи оптимизации в условиях:

- определенности;
- риска;
- неопределенности.

Тогда, если множество Λ состоит из определенных факторов, задача оптимизации программы поиска и устранения неисправности соответствует задаче принятия решения на основе детерминированных алгоритмов. Если множество Λ содержит факторы с заданными стохастическими характеристиками, то задача оптимизации программы поиска и устранения неисправности соответствует задаче принятия решения на основе статистических алгоритмов. Фактически классификация задач по информационным условиям дополняет известную классификацию по типу алгоритмов реализации задачей оптимизации программы контроля в условиях, когда множество неконтролируемых факторов Λ содержит факторы, которые не имеют вероятностного описания. Схема соответствия обеих классификаций приведена на рис.1.

• конечное множество всех конструктивных единиц, составляющих СТС, заменой которых может быть устранена любая неисправность из множества V штатным органом восстановления $Z=\{z_c\}$, $c=\overline{1,C}$;

• отображение множества P во множество V вида φ_1: $P\rightarrow V$, определяемое математической моделью объекта контроля;

• отображение множества V во множество Z вида φ_2: $P\rightarrow V$, определяемое инструкцией по порядку устранения неисправностей.

Требуется определить оптимальную стратегию поиска (устранения) неисправности СТС в условиях отсутствия (недостаточности) статистических данных по отказам элементов по совокупности критериев качества, выбираемых ЛПР.

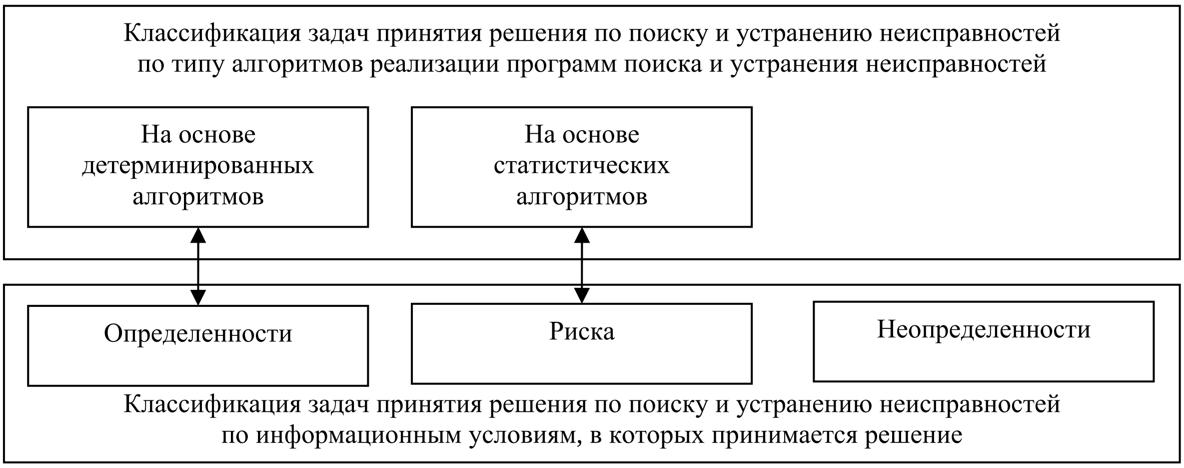

Рис.1. Схема соответствия классификаций

Построим математическую модель задачи принятия решения по поиску и устранению неисправностей, соответствующей по введенной классификации задачам, в которых имеются неопределенные факторы. Для этого рассмотрим некоторые особенности процесса принятия решения по поиску и устранению неисправностей.

1. Принятие решения проводится в рамках гипотезы о возникновении неисправности СТС.

2. Устранение неисправности СТС проводится последовательной заменой конструктивных единиц (сменных блоков). После замены очередной конструктивной единицы проводится проверка подсистемы, в которой обнаружена неисправность. Если замена очередного блока не привела к устранению причин неисправности, то снятый блок переводится в состав ЗИП установленным порядком.

Для введенной в эксплуатацию СТС будем полагать заданными:

• конечное множество элементарных проверок $P=\{p_k\}$, $k=\overline{1,K}$;

• конечное множество неисправностей $V=\{v_j\}$, $j=\overline{1,J}$;

Различные последовательности элементарных проверок из множества P, составленные с учетом ограничений на процесс контроля, определяют конечное множество возможных алгоритмов контроля $Q=\{q_1,q_2,...,q_l,...,q_L\}$, элементы которого q_l, $l=\overline{1,L}$ представляют собой упорядоченные множества элементарных проверок, отличающиеся составом и (или) порядком их реализации.

Каждому образу неисправности $\varphi_2(v_j)$ в инструкции по порядку устранения неисправности v_j определено конкретное непустое подмножество конструктивных единиц $Z_j\subset Z$. Введём в рассмотрение различные перестановки элементов подмножества Z_j, представляющие собой различные алгоритмы устранения неисправности v_j с учётом ограничений на процесс устранения неисправности — s_j^r, $r=\overline{1,R_j}$, и обозначим множество возможных алгоритмов устранения неисправности через $S_j=\left\{s_j^1,s_j^2,...,s_j^r,...,s_j^{R_j}\right\}$.

Решение задач принятия решения по поиску и устранению неисправности в условиях неопределенности возможно на основании подходов, принятых в теории игр. Отметим, что возникновение ν_j-й неисправности из множества V влияет на показатели качества процессов поиска и устранения неисправностей. Такое влияние можно рассматривать как действие, противостоящее ЛПР, и такую конфликтную ситуацию следует отнести к классу "игр с природой". Поскольку в такой конфликтной ситуации две заинтересованные стороны, их интересы антагонистичны, а множества стратегий конечны, то её разрешение возможно на основе моделей матричных игр [7].

Известны две классические модели матричных игр [7]: матричная игра (МИ) в чистых стратегиях, смешанное расширение матричной игры (СРМИ).

Решение МИ в чистых стратегиях может быть получено только при наличии седловой точки в матрице игры, что возможно в случаях, когда матрица игры характеризует достаточно простую систему. При этом ЛПР обеспечивает себе некоторый гарантированный результат (наилучшее гарантированное значение игры). Как правило, матрица игры, характеризующая процессы поиска или устранения неисправности СТС, не имеет седловой точки и применение МИ в чистых стратегиях весьма ограниченно.

Решение СРМИ определяется смешанными стратегиями $X=\{\xi_1,\xi_2,\ldots,\xi_L\}$, $Y=\{\eta_1,\eta_2,\ldots,\eta_m\}$ первого и второго игроков соответственно, представляющих собой векторы вероятностных распределений на множествах чистых стратегий игроков. Оно хорошо согласуется с большим числом разыгрываний игровой ситуации и опирается на средний результат. В этом случае программа поиска (устранения) неисправности будет представлена множеством чистых стратегий, определяемых спектром смешанной стратегии X. Значение игры, полученное при решении СРМИ не хуже наилучшего гарантированного значения. Недостатком модели СРМИ является ограниченность ее применения по числу реализаций игровой ситуации, а именно при незначительном числе разыгрываний игровой ситуации риск ухудшения значения игры относительно наилучшего гарантированного значения может достигать недопустимых величин.

Указанных недостатков лишена модель СРМИ неклассического типа [8], которая включает в себя области применения известных классических моделей в зависимости от выбора параметра $\beta = \overline{0,1}$. Для этой модели при предельных значениях β ($\beta=1$, $\beta=0$) модель МИ соответствует или СРМИ, или МИ в чистых стратегиях. Следует отметить, что при $\beta=0$ и при отсутствии седловой точки в матрице игры, решение СРМИ неклассического типа соответствует применению минимаксного критерия принятия решения в условиях неопределённости [9].

Рассмотрим процедуру формирования матрицы игры A, $\dim A = N\times M$. Строки матрицы игры соответствуют элементам множеств Q или S_j (т. е. соответствуют стратегиям ЛПР) соответственно для процессов поиска или устранения неисправностей. Столбцы матрицы игры соответствуют элементам множества неисправностей V для процесса поиска неисправностей или элементам множества конструктивных единиц Z_j для процесса устранения неисправности ν_j. ЛПР выбирается совокупность критериев качества, характеризующая процессы поиска или устранения неисправности (совокупность критериев может содержать один критерий). Для каждой стратегии ЛПР производится расчет обобщенного показателя качества (ОПК) $a_n^m, n=\overline{1,N}, m=\overline{1,M}$ по совокупности выбранных критериев относительно столбцов матрицы игры. Для расчета ОПК a_n^m удобно применять метод составления суперкритерия с аддитивным включением частных критериев [9]. Метод составления суперкритерия дает возможность при расчете ОПК привести все численные значения частных критериев к одному типу (например, меньшие значения частного критерия предпочтительнее больших) и произвести их нормировку по предпочтениям ЛПР.

Решение игры на основе модели СРМИ неклассического типа, если элементы матрицы игры представляют собой ОПК процесса поиска (устранения) неисправности, меньшие значения которого предпочтительнее больших, может быть сведено к решению прямой и двойственной задачам линейного программирования, вид которых получен в работе [10]:

для первого игрока
$$\max_{\tilde{X}} W = \max_{\tilde{X}}(\tilde{X}^T I_N) \tag{2}$$
при ограничениях,
$$\beta\tilde{X}^T A_{*m} + (1-\beta)\tilde{X}^T A_{\max} \le 1; \tag{3}$$
для второго игрока
$$\min_{\widetilde{Y}} W = \min_{\widetilde{Y}}(I_M^T \widetilde{Y}) \tag{4}$$
при ограничениях
$$(\beta A_{n*} + (1-\beta)a_{n\max})\widetilde{Y} \ge 1, \tag{5}$$
где $W=1/\omega$; $\widetilde{X} = X/\omega$; $\widetilde{Y} = Y/\omega$;

ω – значение игры;

$X=\{\xi_1,\xi_2,\ldots,\xi_n,\ldots,\xi_N\}^T$ – вектор–столбец вероятностного распределения стратегий поиска (устранения) неисправностей (смешанная стратегия ЛПР);

$Y=\{\eta_1,\eta_2,\ldots,\eta_m,\ldots,\eta_M\}^T$ – вектор–столбец вероятностного распределения неисправностей (смешанная стратегия относительных частот неисправностей);

I_N, I_M – единичные столбцы размерностей N и M соответственно;

$A_{\max}$ – столбец с элементами $\max\limits_m a_n^m$;

$A_{\cdot m}, A_{n\cdot}$ – m-й столбец и n-я строка матрицы A;

$a_{n\max}$ – максимальный элемент в строке n.

Нахождение оптимальных смешанных стратегий X^*, Y^* и значения игры ω осуществляется по выражениям

$$\omega = \frac{1}{W^*},\ X^* = \omega\tilde{X},\ Y^* = \omega\tilde{Y}, \qquad (6)$$

где $\tilde{X}, \tilde{Y}, W^*$ — решения задач (2), (4).

Рассмотрим пример, иллюстрирующий эффективность оптимизации алгоритма устранения неисправности на основе модели СРМИ неклассического типа (основные аспекты применения матричных игр неклассического типа к задачам контроля (диагностирования) технического состояния СТС подробно рассмотрены в работах [10, 11]). В качестве примера прототипа СТС для моделирования рассмотрим систему пожаротушения (СПТ) технического комплекса. Пусть на СПТ имеется неисправность v^*– "ненорма давления фреона". Инструкцией по порядку устранения неисправностей задан образ неисправности

$$Z_{v^*} = \{z_1, z_2, z_3\},$$

где z_1 – баллон с фреоном; z_2 – датчик давления; z_3 – блок управления.

Ограничений на процесс устранения неисправности v^* нет. Требуется определить оптимальную стратегию устранения неисправности системы пожаротушения по частным критериям стоимости проведения работ и интегральных потерь технического потенциала [12] при их равной важности. Для рассматриваемой системы будем полагать заданными (в условных единицах):

- стоимости работ по замене конструктивных единиц $\Psi^{\text{рб}}(z_c) = \Psi_c^{\text{рб}}$; $c = \overline{1,3}$, где $\psi_1^{\text{рб}}$=150; $\psi_2^{\text{рб}}$ =70; $\psi_3^{\text{рб}}$=200;
- стоимости конструктивных единиц (блоков) $\Psi^{\text{бл}}(z_c) = \Psi_c^{\text{бл}}$; $c = \overline{1,3}$, где $\Psi_1^{\text{бл}}$=400; $\Psi_2^{\text{бл}}$ =90; $\Psi_3^{\text{бл}}$ =500;
- время проведения работ по замене каждой из конструктивных единиц СПТ $\tau(z_c) = \tau_c$; $c = \overline{1,3}$, где τ_1=0,5; τ_2=0,7; τ_3=1,2;
- функции потерь технического потенциала при неисправности каждой из конструктивных единиц $y(z_c, t) = y_c(t)$; $c = \overline{1,3}$,

где $y_1(t) = 1{,}1 - 0{,}1\exp(4{,}79t),\ t \in [0, \tau_1]$;

$y_2(t) = 1{,}1 - 0{,}3\exp(1{,}85t),\ t \in [0, \tau_2]$;

$y_3(t) = 1{,}3\exp(-0.45t) - 0{,}75,\ t \in [0, \tau_3]$.

Обозначим n-ю стратегию устранения неисправности v^* через

$$s_n = \left\{z_{l_1^n}, z_{l_2^n}, z_{l_3^n}\right\},$$

где l_1^n, l_2^n, l_3^n – номера конструктивных единиц, заменяемых в первую, вторую и третью очередь в n-м алгоритме. Используя подмножество Z_{v^*}, определим конечное множество стратегий устранения неисправности как

$$S_{v^*} = \left\{s_1 = \{z_1, z_2, z_3\}, \ldots, s_n = \right.$$
$$\left. = \left\{z_{l_n^1}, z_{l_n^2}, z_{l_n^3}\right\}, \ldots, s_6 = \{z_3, z_2, z_1\}\right\},$$

элементы которого определяют строки матрицы игры, соответственно N=6. Столбцы матрицы игры соответствуют элементам множества $Z_{v^*} = \{z_1, z_2, z_3\}$, M=3.

Стоимость n-го алгоритма устранения неисправности для m-й конструктивной единицы определим следующим выражением:

$$\Psi_n^m = \Psi_m^{\text{бл}} + \sum_{q=1}^{q_n^m} \Psi_{l_q^n}^{\text{рб}}, \qquad (7)$$

где q_n^m — порядковый номер m-й заменяемой конструктивной единицы в n-м алгоритме устранения неисправности.

Интегральные потери технического потенциала при применении n-го алгоритма устранения неисправности для c-го блока будут определяться выражением

$$Y_n^m = \sum_{q=1}^{q_n^m}\left(\int_0^{\tau_q} y_q(t)dt\right) + y_{q_n^m}(0)\sum_{q=1}^{q_n^m - 1}\tau_q. \qquad (8)$$

Применив метод составления суперкритерия с учетом равной важности частных критериев, проведем расчет значений элементов матрицы игры по выражению

$$a_n^m = 0{,}5\frac{\Psi_n^m}{\Psi_{\max}} + (1 - 0{,}5)\frac{Y_n^m}{Y_{\max}}, \qquad (9)$$

где $\Psi_{\max}$, $Y_{\max}$ — нормирующие коэффициенты, определяемые по следующим выражениям:

$$\Psi_{\max} = \max_n \max_m \Psi_n^m;$$

$$Y_{\max} = \max_n \max_m Y_n^m;\quad n = \overline{1,N};\ m = \overline{1,M}.$$

Результаты расчета значений элементов матрицы игры по выражению (9) для всех возможных алгоритмов приведены в табл.1.

Таблица 1

Матрица игры

n	s_n	m		
		1	2	3
1	1 2 3	0,358	0,356	0,785
2	1 3 2	0,358	0,684	0,622
3	2 1 3	0,577	0,146	0,785
4	2 3 1	0,946	0,146	0,597
5	3 1 2	0,728	0,684	0,434
6	3 2 1	0,946	0,474	0,434

Для анализа получим решение задач (2)-(4) для различных значений параметра β модели СРМИ неклассического типа. Дополнительно был рассчитан следующий показатель модели матричной игры:

$$MO(\beta)=\sum_{n=1}^{N}\xi_n^*(\beta)\sum_{m=1}^{M}\eta_m^*(\beta)a_n^m$$ – математическое ожидание среднего значения ОПК. Результаты решения приведены в табл. 2 для характерных значений параметра β и на рис. 2,3.

Таблица 2

Результаты решения

β	$\xi_1^*(\beta)$	$\xi_2^*(\beta)$	$\xi_3^*(\beta)$	$\xi_4^*(\beta)$	$\xi_5^*(\beta)$	$\xi_5^*(\beta)$	$\eta_1^*(\beta)$	$\eta_2^*(\beta)$	$\eta_3^*(\beta)$	$\omega^*(\beta)$	$MO(\beta)$
0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,684	0,684
0,15	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,684	0,684
0,16	0,00	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,01	0,684	0,636
0,33	0,00	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	0,47	0,674	0,636
0,34	0,00	0,34	0,21	0,00	0,45	0,00	0,01	0,51	0,48	0,673	0,571
0,96	0,00	0,34	0,21	0,00	0,45	0,00	0,25	0,26	0,50	0,577	0,571
0,97	0,35	0,08	0,00	0,00	0,57	0,00	0,25	0,26	0,50	0,576	0,571
1,00	0,35	0,08	0,00	0,00	0,57	0,00	0,25	0,25	0,50	0,571	0,571

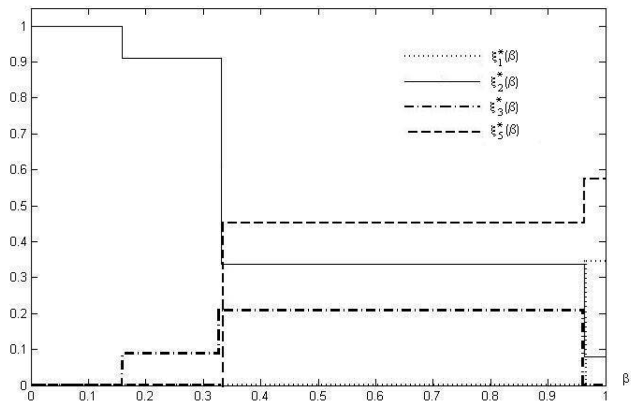

Рис. 2. Зависимость оптимального вероятностного распределения стратегий устранения неисправности от параметра β

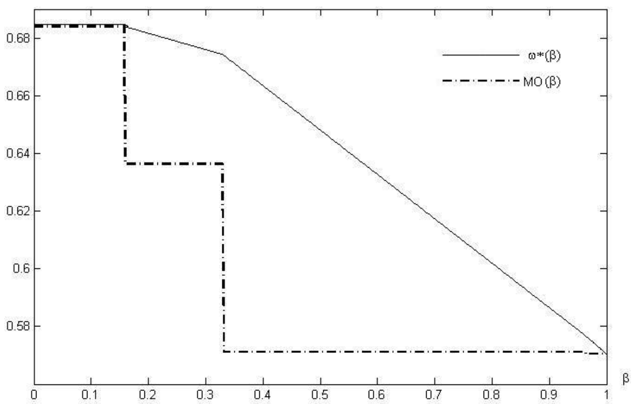

Рис.3. Зависимости значения игры ω(β) и математического ожидания значения обобщенного показателя качества MO(β) от параметра β

Результаты решения задачи показывают:

1. При значении β=0 алгоритм устранения неисправности состоит из одной стратегии S_2 (табл. 2). Применение данной стратегии обеспечивает максимальное гарантированное значение ОПК $\omega_г$= 0,684. Данный алгоритм гарантирует, что при устранении неисправности СПТ независимо от неисправного блока значение обобщенного показателя качества не превысит $\omega_г$ и будет равно $\omega_г$ только при наличии неисправности датчика (второй конструктивной единицы). Как было отмечено ранее, при β=0 модель матричной игры неклассического типа соответствует модели принятия решения по минимаксному критерию. Применив модель принятия решения по минимаксному критерию к матрице игры (таблица 1), получим две стратегии S_2 и S_5, применение любой из которых гарантирует максимально возможное значение ОПК, равное 0,684, что полностью соответствует полученному решению. Однако чистая стратегия S_2 имеет в среднем меньшие значения ОПК, чем S_5, что делает ее предпочтительнее для ЛПР, и при значениях β∈[0,00; 0,15] стратегия S_2 имеет частоту $\xi_2^*(\beta)$, равную единице (см. рис. 1). Применение стратегии S_2 оправданно, если от ЛПР требуется исключить риск, обусловленный возможностью превышения значения ОПК над гарантированным значением, что характерно для случаев, когда решение принимается незначительное количество раз.

2. Увеличение параметра β соответствует вероятностному применению ЛПР чистых стратегий в соответствии со смешанной стратегией $X^*(\beta)$ (рис. 2). Алгоритм устранения неисправностей на основе смешанной стратегии $X^*(\beta)$ обеспечивает значительное снижение математического ожидания ОПК относительно гарантированного значения. Например, для β =1 математическое ожидание ОПК уменьшится на 16,5 % (табл. 2). Но снижение среднего значения ОПК сопровождается значительным увеличением риска превышения этого значения при единичной реализации алгоритма не только над его математическим ожиданием, но и над гарантированным значением. С учетом независимости событий возникновения рисков в отдельной реализации процесса устра-

нения неисправности величина предельного риска превышения среднего значения ОПК над гарантированным значением $\omega_г$ в зависимости от числа реализаций (d) может быть рассчитана по следующему выражению:

$$\overline{R} = \left(\sum_{n=1}^{N} \sum_{m=1}^{M} \xi_n^*(\beta) \eta_m^*(\beta) \hat{a}_n^m \right)^d ,$$

где $$\hat{a}_n^m = \begin{cases} 1, & \text{если} \quad a_n^m > \omega_г ; \\ 0, & \text{если} \quad a_n^m \le \omega_г . \end{cases}$$

Из чего следует уменьшение величины $\overline{R}$ с увеличением числа реализаций этого алгоритма.

3. На основании пунктов 1 и 2 при малом числе реализаций процесса устранения неисправности параметр β следует выбирать близким к нулю. При увеличении числа реализаций процесса устранения неисправности, если величина риска $\overline{R}$ не превышает допустимого значения, параметр β следует выбирать близким к единице.

Таким образом, оптимизация алгоритмов поиска (устранения) неисправностей с применением модели матричной игры неклассического типа позволяет отметить следующие достоинства:

• применение рассмотренной методики на основе смешанного расширения матричной игры неклассического типа целесообразно использовать для автоматизированной выработки решения в СППР по поиску и устранению неисправностей на начальном и послегарантийном периодах эксплуатации;

• оптимизированные алгоритмы позволяют значительно снизить среднее значение ОПК на организацию процессов поиска (устранения) неисправностей;

• применение модели матричной игры неклассического типа позволяет учесть количество реализаций алгоритмов поиска (устранения) неисправностей;

• методика расчета обобщенного показателя качества (9) методом составления суперкритерия с аддитивным включением частных критериев позволяет провести многокритериальную оценку процессов поиска (устранения) неисправностей;

• простота расчета ОПК позволяет производить оптимизацию алгоритмов поиска (устранения) неисправностей на ЭВМ;

• при появлении первых статистических данных о неисправностях в системе возможен их учет переходом к модели игр с ограничениями [7].

Литература

1. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. 2-е изд., – СПб.: БВХ-Петербург, 2006. – 704 с.

2. Бармин И. В., Юсупов Р. М., Прохорович В. Е., Птушкин Л. И. Концепция управления состоянием сложных технических комплексов за пределами плановых сроков эксплуатации. –Информационные технологии. №5, 2000. — С 2–7.

3. Волков Л. И. Управление эксплуатацией летательных комплексов: Учеб. пособие для втузов. 2-е изд., – М.: Высш. шк., 1987. – 400 с.

4. Геловани В. А., Башлыков А. А., Бритков В. Б., Вязилов Е. Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. — 304 с.

5. Селезнев А. В., Добрица Б. Т., Убар Р. Р. Проектирование автоматизированных систем контроля бортового оборудования летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983. – 224 с.

6. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. — М.: Мир, 1990. — 273 с.

7. Оуэн Г. Теория игр:. 3-е изд. – М.: Издательство ЛКИ, 2007 г. – 216 с.

8. Строцев А. А. Построение смешанного расширения матричной игры "неклассического" типа. // Известия АН. Теория и системы управления. – 1998, №3,–С 119–124.

9. Беляков В. В., Бушуева М. Е., Сагунов В. И. Многокритериальная оптимизация в задачах оценки подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем. – Нижегород. гос. техн. ун-т. Н.Новгород, 2001. –271 с.

10. Строцев А. А., Синицын С. В., Шухардин О. Н., Оганесян А. Л. Применение смешанного расширения матричных игр "неклассического" типа в задачах определения технического состояния сложных систем. // Радиоэлектроника. Известия ВУЗов. – 2007, –Т. 50, №10. – С 42–50.

11. Строцев А. А., Синицын С. В., Кушнир М. А. Применение моделей матричных игр для решения задач оптимизации программ контроля функционирования сложных систем с условной остановкой алгоритма контроля в условиях неопределенности данных о неисправностях системы. // Сборник рефератов депонированных рукописей. Серия Б. Выпуск №83 – М.:ЦВНИ МО РФ, 2008.

12. Гутников В. Н. Управление состоянием сложных технических систем с учетом интегральных потерь их технического потенциала. // «Научная мысль Кавказа» Приложение –2002, № 4 –С 120–123

Материал поступил в редакцию 12 .12. 2008г.