УДК 621.398(075.8)

Е.В. Копкин, В.А. Чикуров, В.В Алейник, О.Г. Лазутин

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ГИБКОЙ ПРОГРАММЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПО КРИТЕРИЮ ЦЕННОСТИ ПОЛУЧАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ

Копкин Е.В., Чикуров В.А., Алейник В.В., Лазутин О.Г. **Алгоритм построения гибкой программы диагностирования технического объекта по критерию ценности получаемой информации.**

Аннотация. Предлагается алгоритм построения гибкой программы диагностирования технического объекта по критерию ценности получаемой информации. Рассматриваются диагностические признаки, которые имеют непрерывную форму представления. Приводится числовой пример реализации алгоритма.

Ключевые слова: гибкая программа диагностирования, ценность получаемой информации, анализ технического состояния, объект наблюдения.

Kopkin E.V., Chikurov V.A., Aleynik V.V., Lazutin O.G. **Algorithm for Constructing a Flexible Program for Technical Object Diagnosing on the Criterion of Received Information Value.**

Abstract. The algorithm for constructing a flexible program for technical object diagnosing on the criterion of received information value is presented. Diagnostic signs that have a continuous form of representation are considered. A numerical example of the algorithm implementation is given.

Keywords: flexible diagnosis program, received information value, technical state analysis, observation object.

1.Введение. В настоящее время широко применяются последовательные методы анализа технического состояния (ТС) объектов, которые реализуются посредством использования гибких программ диагностирования (ГПД).

При построении ГПД для автоматизированного анализа состояний объектов наблюдения (в частности, их технического состояния) существенное значение имеет не только количество получаемой информации, но даже в большей степени ее ценность (полезность).

Одним из первых, кто ввел понятие ценности (полезности) информации, был академик А.А. Харкевич [1]. Он определил ее как свойство информации изменять эффективность (результативность) инициированного ею процесса функционирования системы, в которой используется данная информация. Для таких систем определение ценной информации позволяет существенно сократить ее семантическую избыточность. В частности, А.А. Харкевичем предложено определять ценность получаемой информации через двоичный логарифм отношения вероятностей достижения цели управления до и после получения информации.

Обстоятельный анализ подходов к определению и вычислению ценности информации сделан в работе Г.П. Шанкина [2], который предложил аксиоматическое определение понятия «ценности информации» и разработал ряд математических моделей, позволяющих вычислять ценность информации, необходимой пользователю для достижения некоторой цели. Развиваемый в этой работе подход базируется на трудах Р.Л. Стратоновича и М.М. Бонгарда.

На основе меры Харкевича, для которой область определения ценности информации находится в диапазоне $\left(-\infty; +\infty\right)$, в работах [3, 4] предложен алгоритм построения оптимальной ГПД методом динамического программирования.

В работе [5] В.И. Корогодин предложил другую меру вычисления ценности информации, при использовании которой ее величина изменяется от 0 до 1. Для некоторых приложений теории анализа технического состояния такой подход может представлять практический интерес.

К настоящему времени публикации, связанные с построением программ диагностирования по указанному показателю, отсутствуют. Поэтому разработка алгоритмов построения ГПД по критерию ценности получаемой информации является актуальной и практически важной задачей.

2. Алгоритм построения гибкой программы диагностирования технического объекта по критерию ценности получаемой информации. Для решения задачи воспользуемся моделью, предложенной в работе [4]. Согласно этой модели полагаем заданными множество:

$$S = \left\{ S_i \mid i = \overline{1, m} \right\}$$

возможных ТС объекта, множество:

$$\Pi = \left\{ \pi_j \mid j = \overline{1, n} \right\}$$

диагностических признаков, на котором все ТС попарно различимы, и множество:

$$L = \left\{ \ell_{ij} \mid i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n} \right\}$$

интервалов вещественной числовой оси, каждый из которых характеризует возможный разброс j-го признака в i-м ТС. Измерительная информация с объекта поступает в виде зарегистрированных значений y_j соответствующих признаков π_j, $j = \overline{1, n}$. Значения y_j могут быть произвольными вещественными числами, равномерно распределенными по заданным интервалам ℓ_{ij}.

Проверка признака π_j заключается в измерении его текущего значения y_j и выявлении принадлежности этого значения интервалу $\ell_{ij} \in L$ или нескольким интервалам, если они пересекаются.

В соответствии с используемой моделью основными элементами синтезируемой программы являются информационные состояния (ИС) $R \subseteq S$ процесса диагностирования и выполняемые в них проверки заданных признаков $\pi_j \in \Pi$. Каждое из ИС представляет собой подмножество «подозреваемых» ТС, в одном из которых может находиться объект. Конечными ИС являются одноэлементные множества:

$$R_i = \{S_i\},\ i = \overline{1, m},$$

которые обозначим через R_i. Все остальные множества $R \subseteq S$, содержащие два и более, вплоть до m, элементов обозначим через $R_k\ (k = m+1, m+2, \ldots)$.

Подмножество допустимых для проверки признаков в ИС R_k обозначим через Π_k и будем определять его из условия:

$$\pi_j \in \Pi_k, \text{ если } \left(\exists\, S_i, S_f \in R_k\right) : \left(\ell_{ij} \cap \ell_{fj} = \varnothing\right). \tag{1}$$

Для каждого признака $\pi_j \in \Pi_k$ выделим на вещественной числовой оси ряд подынтервалов Δ_{kj}, которые отличаются друг от друга числом и составом пересекающихся на них интервалов ℓ_{ij} и могут иметь в общем случае разную длину.

Проверку признака π_j обозначим через $\hat{\pi}_j$ и в дальнейшем будем называть просто проверкой.

Исходом проверки $\hat{\pi}_j$ в ИС R_k назовем событие, заключающееся в попадании измеренного значения y_j признака в один из подынтервалов Δ_{kj}. Очевидно, что число возможных исходов проверки равно числу выделенных подынтервалов и что это число конечно. Обозначим его ω_{kj}. Каждому подынтервалу Δ_{kj} присвоим порядковый номер v, т.е.

введем обозначение Δ_{kj}^{v}. Соответственно, v-й исход проверки $\hat{\pi}_j$ обозначим через $\hat{\pi}_j^{v}$, определив его как событие $y_j \in \Delta_{kj}^{v}$. Тогда проверку $\hat{\pi}_j$ можем формально представить, как отображение:

$$\hat{\pi}_j : R_k \to R_{kj}^{v}, \text{если } y_j \in \Delta_{kj}^{v},\ v = \overline{1, \omega_{kj}}, \qquad (2)$$

где $R_{kj}^{v} \subset R_k$ — подмножество, содержащее только те из ТС $S_i \in R_k$, которым соответствуют пересекающиеся интервалы $\ell_{ij} \in L$.

При v-м исходе проверки $\hat{\pi}_j$ из ИС R_k получается новое ИС R_{kj}^{v}, содержащее меньшее число “подозреваемых” ТС.

Обозначим через $P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right)$ вероятность v-го исхода проверки признака π_j в ИС $R_k \subseteq S$, т.е. вероятность попадания измеренного значения y_j в подынтервал Δ_{kj}^{v}. Эта вероятность вычисляется по формуле:

$$P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right) = P\left(y_j \in \Delta_{kj}^{v}\right) = \frac{|\Delta_{kj}^{v}|}{|\nabla_{kj}|}, \qquad (3)$$

где $\left|\Delta_{kj}^{v}\right| = \left|\bigcap_{\left\{i:S_i \in R_{kj}^{v}\right\}} \ell_{ij}\right|$ и $\left|\nabla_{kj}\right| = \left|\bigcup_{\left\{i:S_i \in R_k\right\}} \ell_{ij}\right|$ — длина пересечения и объединения интервалов соответственно.

Задача синтеза ГПД заключается в отыскании упорядоченных подмножеств $\Pi_{ir} \subseteq \Pi$, каждое из которых обеспечивает распознавание i-го ТС объекта (здесь r — номер ветви, ведущий в i-е ТС). Особенность искомых подмножеств в том, что они структурно взаимосвязаны в рамках составляемой программы, а потому не могут отыскиваться по отдельности. Другая особенность (только при использовании непрерывных признаков) — существование нескольких таких подмножеств для одного и того же ТС, причем все подмножества должны быть найдены в процессе составления программы. По этой причине отпадает необходимость использования индекса i в обозначении Π_{ir}, так как связь искомых подмножеств Π_r с i-м ТС объекта устанавливается в синтезируемой программе автоматически.

Составляемую программу будем представлять в виде ориентированного графа G, вершинами которого обозначаются ИС процесса диагностирования, а дугами — исходы проверок признаков в этих состояниях. Граф G состоит из ветвей $G_r \in U$ (r — порядковый номер ветви, U — множество всех ветвей), каждая из которых приводит к распознаванию конкретного ТС S_i, $i = \overline{1, m}$, имеет одну начальную и m конечных вершин — по числу возможных ТС объекта. Каждая из m конечных вершин соответствует опознанному ТС объекта.

Сущность алгоритма синтеза ГПД заключается в том, что в начальном ИС $R_k = S$ и в каждом из последующих состояний выбирается для проверки такой признак $\pi_j \in \Pi$, которому соответствует максимальное значение ценности получаемой информации.

Рассмотрим меру ценности информации, предложенную В.И. Корогодиным в работе [3] и модифицируем ее для использования в рассматриваемой предметной области.

Эта мера описывается формулой:

$$C = \frac{P - p}{1 - p}, \tag{4}$$

где P и p представляют собой вероятности достижения цели (для рассматриваемой предметной области — распознавание ТС объекта) при использовании получаемой информации и без ее использования соответственно.

Информационное состояние $R_{kj}^{v} \subset R_k$, полученное в результате проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$, выполненной в ИС R_k, включает в свой состав в общем случае несколько предполагаемых ТС $S_i \in S$, в одном из которых может находиться объект анализа.

Для распознавания этих ТС необходима дополнительная информация, которая обладает некоторой ценностью. Эта информация может быть получена в результате выполнения последующих проверок.

Поскольку измеренные значения y_j диагностических признаков $\pi_j \in \Pi$ равномерно распределены по интервалам $\ell_{ij} \in L$, то можно предположить, что для ИС $R_{kj}^{v} \subset R_k$, состоящего из нескольких ТС S_i, вероятности этих ТС одинаковые.

Для различения ИС R_{kj}^{v} по числу входящих в них ТС S_i, введем обозначение $\left(R_{kj}^{v}\right)^{(\tau)}$, где τ — количество элементов, входящих в состав ИС R_{kj}^{v}.

Тогда в качестве вероятности P в формуле (4) можно использовать вероятность события, заключающегося в том, что техническим состоянием объекта является $S_i \in \left(R_{kj}^{v}\right)^{(\tau)}$. Обозначим эту вероятность через P_{kj}^{i} и будем вычислять ее по формуле:

$$P_{kj}^{i} = P\left(S_i \mid S_i \in \left(R_{kj}^{v}\right)^{(\tau)} \right) = \frac{1}{\tau}. \qquad (5)$$

Если ИС R_{kj}^{v} состоит только из одного ТС $S_i \in S$, т.е. $R_{kj}^{v} = \left(R_{kj}^{v}\right)^{(1)} = R_i = \{S_i\} -$, то цель процесса анализа (распознавание конкретного ТС объекта) считается достигнутой, и в соответствии с формулой (5) вероятность P_{kj}^{i} становится равной единице.

Целью функционирования ГПД является распознавание конкретного ТС $S_i \in S$, в котором находится анализируемый объект. Следовательно, в качестве вероятности p в формуле (4) можно использовать вероятность того, что техническим состоянием объекта является $S_i \in R_k$. Обозначим эту вероятность через $P_{kj}\left(S_i\right)$.

При использовании диагностических признаков в непрерывной форме представления эти вероятности неизвестны и их необходимо вычислять. Кроме того, эти вероятности будут различными в зависимости от того, какая из проверок $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ будет выполнена в ИС R_k.

Как уже отмечалось, в конечное ИС $R_i = \{S_i\}, i = \overline{1, m}$, могут приходить несколько ветвей $G_r \in U$ ГПД. Поэтому вероятность $P_{kj}\left(S_i\right)$ можно вычислить по формуле:

$$P_{kj}\left(S_i\right) = P\left(S_i \mid S_i \in R_{kj}\right) = \sum_{\substack{S_i \in \left(R_{kj}^{v}\right)^{(\tau)} \\ v = \overline{1, \omega_{kj}}}} \frac{1}{\tau} P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right). \qquad (6)$$

Обозначим через $V_{kj}^{v}\left(S_i\right)$ ценность информации, которую необходимо получить для распознавания конкретного ТС $S_i \in R_{kj}^{v}$ и будем определять ее по формуле:

$$V_{kj}^{v}\left(S_i\right) = \frac{P_{kj}^{i} - P_{kj}\left(S_i\right)}{1 - P_{kj}\left(S_i\right)}. \qquad (7)$$

Поскольку ИС $R_{kj}^{v} \subset R_k$ в общем случае состоит из нескольких ТС $S_i \in S$, то ценность информации, которая необходима для распознавания всех ТС $S_i \in R_{kj}^{v}$, определяется по формуле:

$$V_{kj}^{v} = \sum_{S_i \in R_{kj}^{v}} P_{kj}^{i} \cdot V_{kj}^{v}\left(S_i\right). \qquad (8)$$

Если ИС R_{kj}^{v} является конечным, то вычисления по формулам (7) и (8) дают следующие результаты: $V_{kj}^{v}\left(S_i\right) = 1$; $V_{kj}^{v} = 1$.

Для вычисления ценности информации $V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$, получаемой при выполнении проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ в ИС R_k, необходимо усреднить результаты, полученные при вычислениях по формуле (8), по вероятностям реализации исходов этой проверки, используя формулу:

$$V_k\left(\hat{\pi}_j\right) = \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right) \cdot V_{kj}^{v}. \qquad (9)$$

Следует также отметить, что для ИС R_k, состоящих только из двух ТС $S_i \in S$, любая проверка будет обладать максимальной ценностью, равной единице, поскольку в результате ее выполнения происходит гарантированное распознавание ТС, в котором находится объект, т.е. цель анализа достигается. Выбор наилучшей из допустимых проверок в таком случае осуществляется по другим критериям (максимальная информативность, минимальная стоимость и т.д.). Например, информативность проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$, выполненной в ИС R_k, определяется по формуле:

$$I_k\left(\hat{\pi}_j\right) = \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right)\left[-\log_2 P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right)\right]. \qquad (10)$$

На каждом шаге функционирования ГПД выбирается наилучший для проверки признак согласно условию:

$$\pi_j = \arg\max_{\pi_s \in \Pi_k} \left\{ V_k\left(\hat{\pi}_s\right) \right\}, \tag{11}$$

где Π_k — подмножество допустимых для проверки признаков $\pi_j \in \Pi$, определяемое из условия (1).

Синтез ГПД заключается в выполнении ряда последовательных шагов.

Шаг 1.

1.1. В начальном ИС R_k = S выполним проверку признака $\pi_j \in \Pi_k$ (в начальном ИС все проверки являются допустимыми). Согласно отображению (2) получим ряд новых ИС $R_{kj}^{v}, v = \overline{1, \omega_{kj}}$, а по формуле (3) определим вероятности $P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right)$ исходов этой проверки.

1.2. По формуле (6) определим вероятности $P_{kj}\left(S_i\right)$ для каждого из ТС $S_i \in R_k$.

1.3. Для конечных исходов $R_{kj}^{v} = R_i = \left\{S_i\right\}$ положим:

$$P_{kj}^{i} = 1\,; V_{kj}^{v}\left(S_i\right) = 1\,; V_{kj}^{v} = 1\,. \tag{12}$$

1.4. Для неконечных ИС $R_{kj}^{v} \neq R_i$ по формуле (5) определим вероятности P_{kj}^{i}, по формуле (7) — значения $V_{kj}^{v}\left(S_i\right)$, а по формуле (8) — V_{kj}^{v}.

Шаг 2. По формуле (9) вычислим ценность $V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$ проверки $\hat{\pi}_j$, выполненной в начальном состоянии R_k = S.

Шаг 3. Выполним операции, предусмотренные шагами 1 и 2 для оставшихся проверок, и получим для каждой из них значение показателя ценности $V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$.

Шаг 4. По формуле (11) выберем для проверки в ИС R_k = S признак, обладающий максимальной ценностью.

Шаг 5. Рассмотрим последовательно все неконечные ИС $R_{kj}^{v}, v = \overline{1, \omega_{kj}}$, полученные в результате выполнения проверки признака, выбранного на шаге 4. Согласно условию (1) определим для каждого из этих ИС подмножества Π_k допустимых для проверки признаков.

Шаг 6. Выполним для ИС, рассмотренных на шаге 5, операции, предусмотренные шагами 1, 2 и 3; для каждой из допустимых проверок получим значение показателя $V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$ и выберем признак с максимальной ценностью.

Шаг 7. Описанную процедуру продолжим до получения всех конечных ИС $R_i=\{S_i\}$, $i=\overline{1,m}$.

В результате получим подмножества диагностических признаков $\Pi_i \in \Pi$, упорядоченные по очередности их проверки, для распознавания каждого из возможных ТС объекта, обладающих максимальной ценностью.

Пример. Пусть заданы множества $S=\left\{S_i \mid i=\overline{1,5}\right\}$ технических состояний, в одном из которых может находиться объект, множество $\Pi=\left\{\pi_j \mid j=\overline{1,5}\right\}$ диагностических признаков, а также множество $L=\left\{\ell_{ij} \mid i=\overline{1,5};\ j=\overline{1,5}\right\}$ интервалов на вещественной числовой оси, характеризующих разброс измеренных значений признаков в различных ТС (табл. 1). Требуется построить гибкую программу диагностирования объекта, которая будет наилучшей в смысле выбранного критерия, т.е. на каждом шаге функционирования программы будет выбираться признак, обладающий наибольшей ценностью.

Таблица 1. Разброс значений признаков в различных технических состояниях объекта

ТС S_i	Признаки				
	π_1	π_2	π_3	π_4	π_5
S_1	(0,0; 0,4)	(0,2; 0,5)	(0,1; 0,3)	(0,0; 0,5)	(0,5; 1,0)
S_2	(0,2; 0,6)	(0,7; 1,0)	(0,3; 0,8)	(0,2; 0,6)	(0,0; 0,3)
S_3	(0,5; 0,8)	(0,0; 0,4)	(0,6; 1,0)	(0,4; 0,6)	(0,6; 0,8)
S_4	(0,6; 1,0)	(0,2; 0,7)	(0,4; 0,8)	(0,7; 1,0)	(0,3; 0,5)
S_5	(0,3; 0,5)	(0,6; 0,8)	(0,0; 0,3)	(0,5; 0,7)	(0,3; 0,7)

Рассмотрим начальное ИС $R_{1-5} = \{S_1, ..., S_5\}$. В этом состоянии все проверки являются допустимыми. Проверка $\hat{\pi}_1$ согласно отображению (2) дает следующие исходы:

$$\hat{\pi}_1 : R_{1-5} \to \begin{cases} R^1_{1-5;\,1} = \{S_1\} = R_1 \text{, если } y_1 \in (0,0;\,0,2) = \Delta^1_{1-5;\,1}; \\ R^2_{1-5;\,1} = \{S_1, S_2\} = R_{1,2} \text{, если } y_1 \in (0,2;\,0,3) = \Delta^2_{1-5;\,1}; \\ R^3_{1-5;\,1} = \{S_1, S_2, S_5\} = R_{1,2,5} \text{, если } y_1 \in (0,3;\,0,4) = \Delta^3_{1-5;\,1}; \\ R^4_{1-5;\,1} = \{S_2, S_5\} = R_{2,5} \text{, если } y_1 \in (0,4;\,0,5) = \Delta^4_{1-5;\,1}; \\ R^5_{1-5;\,1} = \{S_2, S_3\} = R_{2,3} \text{, если } y_1 \in (0,5;\,0,6) = \Delta^5_{1-5;\,1}; \\ R^6_{1-5;\,1} = \{S_3, S_4\} = R_{3,4} \text{, если } y_1 \in (0,6;\,0,8) = \Delta^6_{1-5;\,1}; \\ R^7_{1-5;\,1} = \{S_4\} = R_4 \text{, если } y_1 \in (0,8;\,1,0) = \Delta^7_{1-5;\,1}. \end{cases}$$

Для понимания введенных в примере обозначений поясним, например, что $R^4_{1-5;\,1}$ означает четвертый исход проверки $\hat{\pi}_1$, выполненной в начальном ИС, состоящем из ТС $\{S_1, ..., S_5\}$.

Вероятности этих исходов определим по формуле (3):

$$\left|\nabla_{1-5;1}\right| = \left|\bigcup_{v=1}^{7} \Delta^v_{1-5;1}\right| = 1,0\,;$$

$$P_{1-5}\left(\hat{\pi}^v_1\right) = \frac{\left|\Delta^v_{1-5;\,1}\right|}{\left|\nabla_{1-5;\,1}\right|} = \begin{cases} \dfrac{0,2}{1,0} = 0,2,\ v = 1,\,6,\,7; \\ \dfrac{0,1}{1,0} = 0,1,\ v = \overline{2,5}. \end{cases} \quad ;$$

Определим вероятности $P_{kj}(S_i),\ i = \overline{1,5}$, ТС, в одном из которых может находиться анализируемый объект при выполнении проверки $\hat{\pi}_1$.

Например, ТС S_1 входит в состав ИС $R^1_{1-5;\,1}$, $R^2_{1-5;\,1}$ и $R^3_{1-5;\,1}$, причем ИС $R^1_{1-5;\,1}$ состоит только из одного элемента, т.е. $\left(R^1_{1-5;\,1}\right)^{(1)}$, ИС $R^2_{1-5;\,1}$ состоит из двух элементов, т.е. $\left(R^2_{1-5;\,1}\right)^{(2)}$, а ИС $R^3_{1-5;\,1}$ — из трех элементов, т.е. $\left(R^3_{1-5;\,1}\right)^{(3)}$.

Считая, что вероятности ТС, входящих в состав ИС $\left(R^{2}_{1-5;\,1}\right)^{(2)}$ и $\left(R^{3}_{1-5;\,1}\right)^{(3)}$, одинаковы, определим, используя формулу (6):

$$P_{1-5;1}\left(S_1\right)=P_{1-5}\left(\hat{\pi}_1^1\right)+\frac{1}{2}P_{1-5}\left(\hat{\pi}_1^2\right)+\frac{1}{3}P_{1-5}\left(\hat{\pi}_1^3\right)=0,2+\frac{1}{2}\cdot 0,1+\frac{1}{3}\cdot 0,1=\frac{17}{60}.$$

Для ТС S_2 имеем:

$$P_{1-5;1}\left(S_2\right)=\frac{1}{2}P_{1-5}\left(\hat{\pi}_1^2\right)+\frac{1}{3}P_{1-5}\left(\hat{\pi}_1^3\right)+\frac{1}{2}P_{1-5}\left(\hat{\pi}_1^4\right)+\frac{1}{2}P_{1-5}\left(\hat{\pi}_1^5\right)=$$
$$=\frac{1}{2}\cdot 0,1+\frac{1}{3}\cdot 0,1+\frac{1}{2}\cdot 0,1+\frac{1}{2}\cdot 0,1=\frac{11}{60}.$$

Аналогичным образом вычислим:

$$P_{1-5;1}\left(S_3\right)=0,15\,;\ P_{1-5;1}\left(S_4\right)=0,3\ ;\ P_{1-5;1}\left(S_5\right)=\frac{1}{12}\ .$$

Убедимся, что вычисленные вероятности составляют полную группу событий:

$$\sum_{i=1}^{5}P_{1-5;1}\left(S_i\right)=\frac{17}{60}+\frac{11}{60}+0,15+0,3+\frac{1}{12}=1.$$

Рассмотрим конечные исходы:

$$R^{1}_{1-5;\,1}=R_1=\left\{S_1\right\},$$

$$R^{7}_{1-5;\,1}=R_4=\left\{S_4\right\},$$

проверки $\hat{\pi}_1$, выполненной в начальном ИС:

$$R_{1-5}=\left\{S_1,\ldots,S_5\right\}.$$

Для них, в соответствии с формулами (5), (7) и (8):

$$P^{4}_{1-5;1}=1;\quad P^{1}_{1-5;1}=1;\quad V^{1}_{1-5;1}\left(S_1\right)=\frac{P^{1}_{1-5;1}-P_{1-5;1}\left(S_1\right)}{1-P_{1-5;1}\left(S_1\right)}=\frac{1-\frac{17}{60}}{1-\frac{17}{60}}=1;$$

$$V_{1-5;1}^{7}\left(S_4\right)=\frac{P_{1-5;1}^{4}-P_{1-5;1}\left(S_4\right)}{1-P_{1-5;1}\left(S_4\right)}=\frac{1-0,3}{1-0,3}=1\,;$$

$$V_{1-5;1}^{1}=P_{1-5;1}^{1}\cdot V_{1-5;1}^{1}\left(S_1\right)=1\cdot 1=1\,;$$

$$V_{1-5;1}^{7}=P_{1-5;1}^{4}\cdot V_{1-5;1}^{7}\left(S_4\right)=1\cdot 1=1\,.$$

ИС $R_{1-5;\,1}^{\nu}$ $\left(\nu=2,4,5,6\right)$ состоят из двух элементов.

Рассмотрим сначала ИС:

$$P_{1-5;1}^{1}=0,5;\,P_{1-5;1}^{2}=0,5.$$

Считая вероятности ТС S_1 и S_2, входящих в ИС $R_{1,2}$, одинаковыми, определим:

$$P_{1-5;1}^{1}=0,5;\,P_{1-5;1}^{2}=0,5.$$

С учетом того, что $P_{1-5;1}\left(S_1\right)=\frac{17}{60}$, а $P_{1-5;1}\left(S_2\right)=\frac{11}{60}$, вычислим, используя формулу (7):

$$V_{1-5;1}^{2}\left(S_1\right)=\frac{P_{1-5;1}^{1}-P_{1-5;1}\left(S_1\right)}{1-P_{1-5;1}\left(S_1\right)}=\frac{0,5-\frac{17}{60}}{1-\frac{17}{60}}=\frac{13}{43}\,;$$

$$V_{1-5;1}^{2}\left(S_2\right)=\frac{P_{1-5;1}^{2}-P_{1-5;1}\left(S_2\right)}{1-P_{1-5;1}\left(S_2\right)}=\frac{0,5-\frac{11}{60}}{1-\frac{11}{60}}=\frac{19}{49}\,.$$

По формуле (8) определим:

$$V_{1-5;1}^{2}=P_{1-5;1}^{1}\cdot V_{1-5;1}^{2}\left(S_1\right)+P_{1-5;1}^{2}\cdot V_{1-5;1}^{2}\left(S_2\right)=0,5\cdot\frac{13}{43}+0,5\cdot\frac{19}{49}=0,3451\,.$$

Выполним аналогичные вычисления для ИС $R_{1-5;\,1}^{\nu}$ $\left(\nu=4,5,6\right)$ и получим:

для ИС $R_{1-5;1}^{4}=R_{2,5}=\{S_2, S_5\}$ — $V_{1-5;1}^{4}=0,4211$;

для ИС $R_{1-5;1}^{5}=R_{2,3}=\{S_2, S_3\}$ — $V_{1-5;1}^{5}=0,5958$;

для ИС $R_{1-5;1}^{6}=R_{3,4}=\{S_3, S_4\}$ — $V_{1-5;1}^{6}=0,3487$.

Рассмотрим теперь ИС $R_{1-5;1}^{3}=R_{1,2,5}=\{S_1, S_2, S_5\}$, состоящее из трех элементов. Для него, в соответствии с формулой (5):

$$P_{1-5;1}^{1}=\frac{1}{3};\ P_{1-5;1}^{2}=\frac{1}{3};\ P_{1-5;1}^{5}=\frac{1}{3}.$$

По формуле (7) вычислим:

$$V_{1-5;1}^{3}\left(S_1\right)=\frac{P_{1-5;1}^{1}-P_{1-5;1}\left(S_1\right)}{1-P_{1-5;1}\left(S_1\right)}=\frac{\frac{1}{3}-\frac{17}{60}}{1-\frac{17}{60}}=\frac{3}{43};$$

$$V_{1-5;1}^{3}\left(S_2\right)=\frac{P_{1-5;1}^{2}-P_{1-5;1}\left(S_2\right)}{1-P_{1-5;1}\left(S_2\right)}=\frac{\frac{1}{3}-\frac{11}{60}}{1-\frac{11}{60}}=\frac{9}{49};$$

$$V_{1-5;1}^{3}\left(S_5\right)=\frac{P_{1-5;1}^{5}-P_{1-5;1}\left(S_5\right)}{1-P_{1-5;1}\left(S_5\right)}=\frac{\frac{1}{3}-\frac{1}{12}}{1-\frac{1}{12}}=\frac{3}{11}.$$

Используя формулу (8), определим:

$$V_{1-5;1}^{3}=P_{1-5;1}^{1}\cdot V_{1-5;1}^{3}\left(S_1\right)+P_{1-5;1}^{2}\cdot V_{1-5;1}^{3}\left(S_2\right)+P_{1-5;1}^{5}\cdot V_{1-5;1}^{3}\left(S_5\right)=$$
$$=\frac{1}{3}\cdot\frac{3}{43}+\frac{1}{3}\cdot\frac{9}{49}+\frac{1}{3}\cdot\frac{3}{11}=0,1754.$$

Теперь определим ценность проверки $\hat{\pi}_1$, выполненной в начальном ИС $R_{1-5}=\{S_1,...,S_5\}$, используя формулу (9):

$$V_{1-5}\left(\hat{\pi}_1\right)=\sum_{v=1}^{7}P_{1-5}\left(\hat{\pi}_1^{v}\right)\cdot V_{1-5;1}^{v}=0,2\cdot 1+0,1\cdot 0,3451+$$

$$+0,1\cdot 0,1754+0,1\cdot 0,4211+0,1\cdot 0,5958+0,2\cdot 0,3487+0,2\cdot 1=0,6235.$$

Для наглядности сведем полученные результаты в таблицу 2.

Таблица 2. Расчет ценности проверки $\hat{\pi}_1$

R_k	$\hat{\pi}_j$	R_{kj}^{v}	$P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right)$	P_{kj}^{i}	$V_{kj}^{v}\left(S_i\right)$	V_{kj}^{v}	$V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$
R_{1-5}	$\hat{\pi}_1$	$R_{1-5;\,1}^{1}=\{S_1\}=R_1$	0,2	1	1	1	0,6235
		$R_{1-5;\,1}^{2}=\{S_1,S_2\}=R_{1,2}$	0,1	1/2	13/43	0,3451	
				1/2	19/49		
		$R_{1-5;\,1}^{3}=\{S_1,S_2,S_5\}=R_{1,2,5}$	0,1	1/3	3/43	0,1754	
				1/3	9/49		
				1/3	3/11		
		$R_{1-5;\,1}^{4}=\{S_2,S_5\}=R_{2,5}$	0,1	1/2	19/49	0,4211	
				1/2	5/11		
		$R_{1-5;\,1}^{5}=\{S_2,S_3\}=R_{2,3}$	0,1	1/2	19/49	0,5958	
				1/2	21/51		
		$R_{1-5;\,1}^{6}=\{S_3,S_4\}=R_{3,4}$	0,2	1/2	7/17	0,3487	
				1/2	2/7		
		$R_{1-5;\,1}^{7}=\{S_4\}=R_4$	0,2	1	1	1	

$$P_{1-5;1}\left(S_1\right)=\frac{17}{60};\,P_{1-5;1}\left(S_2\right)=\frac{11}{60};\,P_{1-5;1}\left(S_3\right)=0,15;\,P_{1-5;1}\left(S_4\right)=0,3;$$

$$P_{1-5;1}\left(S_5\right)=\frac{1}{12}.$$

Выполним аналогичные вычисления для проверок $\hat{\pi}_j\ \left(j=\overline{2,5}\right)$ и определим их ценность. Результаты расчетов приведены в таблицах 3-6.

Таблица 3. Расчет ценности проверки $\hat{\pi}_2$

R_k	$\hat{\pi}_j$	R_{kj}^{v}	$P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right)$	P_{kj}^{i}	$V_{kj}^{v}\left(S_i\right)$	V_{kj}^{v}	$V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$
R_{1-5}	$\hat{\pi}_2$	$R_{1-5;\,2}^{1}=\{S_3\}=R_3$	0,2	1	1	1	0,6313
		$R_{1-5;\,2}^{2}=\{S_1,S_3,S_4\}=R_{1,3,4}$	0,2	1/3	13/53	0,1202	
				1/3	1/41		
				1/3	1/11		
		$R_{1-5;\,2}^{3}=\{S_1,S_4\}=R_{1,4}$	0,1	1/2	23/53	0,3761	
				1/2	7/22		

		$R^{4}_{1-5;\,2}=\{S_4\}=R_4$	0,1	1	1	1	
		$R^{5}_{1-5;\,2}=\{S_3,\,S_4\}=R_{3,4}$	0,1	1/2	11/41	0,2932	
				1/2	7/22		
		$R^{6}_{1-5;\,2}=\{S_2,\,S_5\}=R_{2,5}$	0,1	1/2	1/3	0,4035	
				1/2	27/57		
		$R^{7}_{1-5;\,2}=\{S_2\}=R_2$	0,2	1	1	1	

$$P_{1-5;2}\left(S_1\right)=\frac{7}{60};\ P_{1-5;2}\left(S_2\right)=\frac{1}{4};\ P_{1-5;2}\left(S_3\right)=\frac{19}{60};\ P_{1-5;2}\left(S_4\right)=\frac{4}{15};$$
$$P_{1-5;2}\left(S_5\right)=0,05.$$

Таблица 4. Расчет ценности проверки $\hat{\pi}_3$

R_k	$\hat{\pi}_j$	R^{v}_{kj}	$P_k\left(\hat{\pi}^{v}_j\right)$	P^{i}_{kj}	$V^{v}_{kj}\left(S_i\right)$	V^{v}_{kj}	$V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$
R_{1-5}	$\hat{\pi}_3$	$R^{1}_{1-5;\,3}=\{S_5\}=R_5$	0,1	1	1	1	0,6353
		$R^{2}_{1-5;\,3}=\{S_1,\,S_5\}=R_{1,5}$	0,2	1/2	4/9	0,4097	
				1/2	3/8		
		$R^{3}_{1-5;\,3}=\{S_2\}=R_2$	0,1	1	1	1	
		$R^{4}_{1-5;\,3}=\{S_2,\,S_4\}=R_{2,4}$	0,2	1/2	7/11	0,5182	
				1/2	0,4		
		$R^{5}_{1-5;\,3}=\{S_2,\,S_3,S_4\}=R_{2,3,4}$	0,2	1/3	1/11	0,2485	
				1/3	1/11		
				1/3	1/5		
		$R^{6}_{1-5;\,3}=\{S_3\}=R_3$	0,2	1	1	1	

$$P_{1-5;3}\left(S_1\right)=0{,}1;\ P_{1-5;3}\left(S_2\right)=\frac{4}{15};\ P_{1-5;3}\left(S_3\right)=\frac{4}{15};\ P_{1-5;3}\left(S_4\right)=\frac{1}{6};$$
$$P_{1-5;3}\left(S_5\right)=0{,}2\,.$$

Таблица 5. Расчет ценности проверки $\hat{\pi}_4$

R_k	$\hat{\pi}_j$	R^{v}_{kj}	$P_k\left(\hat{\pi}^{v}_j\right)$	P^{i}_{kj}	$V^{v}_{kj}\left(S_i\right)$	V^{v}_{kj}	$V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$
R_{1-5}	$\hat{\pi}_4$	$R^{1}_{1-5;\,4}=\{S_1\}=R_1$	0,2	1	1	1	0,7051
		$R^{2}_{1-5;\,4}=\{S_1,\,S_2\}=R_{1,2}$	0,2	1/2	0,25	0,325	
				1/2	0,4		
		$R^{3}_{1-5;\,4}=\{S_1,\,S_2,\,S_3\}=R_{1,2,3}$	0,1	1/3	0	0,1619	
				1/3	0,2		
				1/3	2/7		

		$R_{1-5;\,4}^{4}=\{S_2,\,S_3,\,S_5\}=R_{2,3,5}$	0,1	1/3	0,2	0,2388	
				1/3	2/7		
				1/3	3/13		
		$R_{1-5;\,4}^{5}=\{S_5\}=R_5$	0,1	1	1	1	
		$R_{1-5;\,4}^{6}=\{S_4\}=R_4$	0,3	1	1	1	

$$P_{1-5;4}(S_1)=\frac{1}{3};\ P_{1-5;4}(S_2)=\frac{1}{6};\ P_{1-5;4}(S_3)=\frac{1}{15};$$

$$P_{1-5;4}(S_4)=0,3;\ P_{1-5;4}(S_5)=\frac{2}{15}.$$

Таблица 6. Расчет ценности проверки $\hat{\pi}_5$

R_k	$\hat{\pi}_j$	R_{kj}^{v}	$P_k(\hat{\pi}_j^v)$	P_{kj}^{i}	$V_{kj}^{v}(S_i)$	V_{kj}^{v}	$V_k(\hat{\pi}_j)$
R_{1-5}	$\hat{\pi}_5$	$R_{1-5;\,5}^{1}=\{S_2\}=R_2$	0,3	1	1	1	0,6906
		$R_{1-5;\,5}^{2}=\{S_4,\,S_5\}=R_{4,5}$	0,2	1/2	4/9	0,4161	
				1/2	19/49		
		$R_{1-5;\,5}^{3}=\{S_1,\,S_5\}=R_{1,5}$	0,1	1/2	0,5	0,4439	
				1/2	19/49		
		$R_{1-5;\,5}^{4}=\{S_1,\,S_3,\,S_5\}=R_{1,3,5}$	0,1	1/3	0	0,1521	
				1/3	3/11		
				1/3	9/49		
		$R_{1-5;\,5}^{5}=\{S_1,\,S_3\}=R_{1,3}$	0,1	1/2	0,5	0,4773	
				1/2	5/11		
		$R_{1-5;\,5}^{6}=\{S_1\}=R_1$	0,2	1	1	1	

$$P_{1-5;5}(S_1)=\frac{1}{3};\ P_{1-5;5}(S_2)=0,3;\ P_{1-5;5}(S_3)=\frac{1}{12};\ P_{1-5;5}(S_4)=0,1;$$

$$P_{1-5;5}(S_5)=\frac{11}{60}.$$

По условию (11) для проверки в начальном ИС $R_{1-5}=\{S_1,...,S_5\}$ выберем признак π_4, обладающий наибольшей ценностью.

Рассмотрим неконечные исходы проверки $\hat{\pi}_4$, выполненной в ИС R_{1-5} ($R_{1-5;\,4}^{2}=\{S_1,\,S_2\}=R_{1,2}$; $R_{1-5;\,4}^{3}=\{S_1,\,S_2,\,S_3\}=R_{1,2,3}$ и $R_{1-5;\,4}^{4}=\{S_2,\,S_3,\,S_5\}=R_{2,3,5}$) и определим для каждого из них наиболее ценную проверку.

Поскольку ИС $R^2_{1-5;\,4} = R_{1,2}$ состоит из двух элементов, то, как уже отмечалось, для него любая проверка из числа допустимых будет обладать максимальной ценностью, равной 1. В этом случае для выбора наилучшей проверки можно вычислить их информативность, используя формулу (10).

В соответствии с условием (1) для ИС $R^2_{1-5;\,4} = R_{1,2}$ допустимыми проверками являются $\hat{\pi}_2$, $\hat{\pi}_3$ и $\hat{\pi}_5$.

Проверка $\hat{\pi}_2$ имеет следующие исходы:

$$\hat{\pi}_2 :\ R_{1,2} \quad \to \begin{cases} R^1_{1,2;2} = R_1 = \{S_1\}, \text{ если } y_2 \in (0,2;\,0,5) = \Delta^1_{1,2;2}; \\ R^2_{1,2;2} = R_2 = \{S_2\}, \text{ если } y_2 \in (0,7;\,1,0) = \Delta^2_{1,2;2}. \end{cases}$$

Вероятности этих исходов:

$$\left|\nabla_{1,2;2}\right| = \left|(0,2;\,0,5) \cup (0,7;\,1,0)\right| = 0,6\,;$$

$$P_{1,2}\left(\hat{\pi}^1_2\right) = \frac{\left|\Delta^1_{1,2;\,2}\right|}{\left|\nabla_{1,2;\,2}\right|} = \frac{0,3}{0,6} = 0,5;\ P_{1,2}\left(\hat{\pi}^2_2\right) = \frac{\left|\Delta^2_{1,2;\,2}\right|}{\left|\nabla_{1,2;\,2}\right|} = \frac{0,3}{0,6} = 0,5\,.$$

По формуле (10) вычислим:

$$I_{1,2}\left(\hat{\pi}_2\right) = \sum_{\nu=1}^{2} P_{1,2}\left(\hat{\pi}^{\nu}_2\right)\left[-\log_2 P_{1,2}\left(\hat{\pi}^{\nu}_2\right)\right] = 0,5\cdot\left(-\log_2 0,5\right) + 0,5\cdot\left(-\log_2 0,5\right) = 1\,.$$

Для проверок $\hat{\pi}_3$ и $\hat{\pi}_5$, проведя аналогичные вычисления, получим: $I_{1,2}\left(\hat{\pi}_3\right) = 0,869$; $I_{1,2}\left(\hat{\pi}_5\right) = 0,958$.

Очевидно, что для проверки в ИС $R_{1,2}$ следует выбрать признак π_2.

Рассмотрим теперь ИС $R^3_{1-5;\,4} = \{S_1, S_2, S_3\} = R_{1,2,3}$, для которого, в соответствии с условием (1), $\Pi_{1,2,3} = \{\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_5\}$. Результаты вычислений сведем в таблице 7.

По условию (11) в ИС $R^3_{1-5;\,4} = \{S_1, S_2, S_3\} = R_{1,2,3}$ можно выбрать проверку $\hat{\pi}_2$ или $\hat{\pi}_3$. Из них проверка $\hat{\pi}_3$ обладает наибольшей информативностью. Эта проверка, выполненная в ИС $R_{1,2,3}$, имеет только один неконечный исход, а именно ИС $R_{2,3}=\{S_2, S_3\}$, для которого $\Pi_{2,3}=\{\pi_2, \pi_5\}$. Признак π_2, как обладающий наибольшей информативностью, выберем для проверки в ИС $R_{2,3}$.

Таблица 7. Результаты вычислений для ИС R_{1-3}

<table>
<tr><th>R_k</th><th>$\hat{\pi}_j$</th><th>R_{kj}^{v}</th><th>$P_k\left(\hat{\pi}_j^{v}\right)$</th><th>$P_{kj}^{i}$</th><th>$V_{kj}^{v}\left(S_i\right)$</th><th>$V_{kj}^{v}$</th><th>$V_k\left(\hat{\pi}_j\right)$</th><th>$P_{kj}\left(S_i\right)$</th></tr>
<tr><td rowspan="21">R_{1-3}</td><td rowspan="7">$\hat{\pi}_1$</td><td>$R_{1-3;\,1}^{1}=R_1$</td><td>0,25</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td rowspan="7">0,7182</td><td rowspan="3">$P_{1-3;1}\left(S_1\right)=\frac{3}{8}$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">$R_{1-3;\,1}^{2}=R_{1,2}$</td><td rowspan="2">0,25</td><td>1/2</td><td>0,2</td><td rowspan="2">0,2364</td></tr>
<tr><td>1/2</td><td>3/11</td></tr>
<tr><td>$R_{1-3;\,1}^{3}=R_2$</td><td>0,125</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>$P_{1-3;1}\left(S_2\right)=\frac{5}{16}$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">$R_{1-3;\,1}^{4}=R_{2,3}$</td><td rowspan="2">0,125</td><td>1/2</td><td>3/11</td><td rowspan="2">0,2727</td><td rowspan="3">$P_{1-3;1}\left(S_3\right)=\frac{5}{16}$</td></tr>
<tr><td>1/2</td><td>3/11</td></tr>
<tr><td>$R_{1-3;\,1}^{5}=R_3$</td><td>0,25</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="5">$\hat{\pi}_2$</td><td>$R_{1-3;\,2}^{1}=R_3$</td><td>0,25</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td rowspan="5">0,8167</td><td rowspan="2">$P_{1-3;2}\left(S_1\right)=0,25$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">$R_{1-3;\,2}^{2}=R_{1,3}$</td><td rowspan="2">0,25</td><td>1/2</td><td>0,333</td><td rowspan="2">0,2667</td></tr>
<tr><td>1/2</td><td>0,2</td><td>$P_{1-3;2}\left(S_2\right)=0,375$</td></tr>
<tr><td>$R_{1-3;\,2}^{3}=R_1$</td><td>0,125</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td rowspan="2">$P_{1-3;2}\left(S_3\right)=0,375$</td></tr>
<tr><td>$R_{1-3;\,2}^{4}=R_2$</td><td>0,375</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="5">$\hat{\pi}_3$</td><td>$R_{1-3;\,3}^{1}=R_1$</td><td>2/9</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td rowspan="5">0,8167</td><td rowspan="2">$P_{1-3;3}\left(S_1\right)=\frac{2}{9}$</td></tr>
<tr><td>$R_{1-3;\,3}^{2}=R_2$</td><td>1/3</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">$R_{1-3;\,3}^{3}=R_{2,3}$</td><td rowspan="2">2/9</td><td>1/2</td><td>0,1</td><td rowspan="2">0,175</td><td>$P_{1-3;3}\left(S_2\right)=\frac{4}{9}$</td></tr>
<tr><td>1/2</td><td>0,25</td><td rowspan="2">$P_{1-3;3}\left(S_3\right)=\frac{1}{3}$</td></tr>
<tr><td>$R_{1-3;\,3}^{4}=R_3$</td><td>2/9</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">$\hat{\pi}_5$</td><td>$R_{1-3;\,5}^{1}=R_2$</td><td>0,375</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td rowspan="4">0,8036</td><td rowspan="2">$P_{1-3;5}\left(S_1\right)=0,5$</td></tr>
<tr><td>$R_{1-3;\,5}^{2}=R_1$</td><td>0,125</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">$R_{1-3;\,5}^{3}=R_{1,3}$</td><td rowspan="2">0,25</td><td>1/2</td><td>0</td><td rowspan="2">0,2143</td><td rowspan="2">$P_{1-3;5}\left(S_2\right)=0,375$</td></tr>
<tr><td>1/2</td><td>3/7</td></tr>
</table>

		$R^4_{1-3;\,5} = R_1$	0,25	1	1	1		$P_{1-3;5}(S_3)=0{,}125$

Выполним аналогичные вычисления для ИС $R^4_{1-5;\,4} = R_{2,3,5} = \{S_2, S_3, S_5\}$, имеющего множество допустимых признаков $\Pi_{2,3,5} = \{\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_5\}$. Результаты вычислений сведем в таблице 8.

Таблица 8. Результаты вычислений для ИС $R_{2,3,5}$

R_k	$\hat{\pi}_j$	R^v_{kj}	$P_k(\hat{\pi}^v_j)$	P^i_{kj}	$V^v_{kj}(S_i)$	V^v_{kj}	$V_k(\hat{\pi}_j)$	$P_{kj}(S_i)$
$R_{2,3,5}$	$\hat{\pi}_1$	$R^1_{2,3,5;\,1} = R_2$	1/6	1	1	1	0,6143	$P_{2,3,5;1}(S_2)=\frac{5}{12}$
		$R^2_{2,3,5;\,1} = R_{2,5}$	1/3	1/2	1/7	0,2714		
				1/2	0,4			
		$R^3_{2,3,5;\,1} = R_{2,3}$	1/6	1/2	1/7	0,1429		$P_{2,3,5;1}(S_3)=\frac{5}{12}$
				1/2	1/7			
		$R^4_{2,3,5;\,1} = R_3$	1/3	1	1	1		$P_{2,3,5;1}(S_5)=\frac{1}{6}$
	$\hat{\pi}_2$	$R^1_{2,3,5;\,2} = R_3$	0,5	1	1	1	0,9161	$P_{2,3,5;2}(S_2)=\frac{5}{16}$
		$R^2_{2,3,5;\,2} = R_5$	0,125	1	1	1		$P_{2,3,5;2}(S_3)=\frac{1}{2}$
		$R^3_{2,3,5;\,2} = R_{2,5}$	0,125	1/2	3/11	0,3287		$P_{2,3,5;2}(S_5)=\frac{3}{16}$
				1/2	5/13			
		$R^4_{2,3,5;\,2} = R_2$	0,25	1	1	1		
	$\hat{\pi}_3$	$R^1_{2,3,5;\,3} = R_5$	0,3	1	1	1	0,8452	$P_{2,3,5;3}(S_2)=\frac{2}{5}$
		$R^2_{2,3,5;\,3} = R_2$	0,3	1	1	1		
		$R^3_{2,3,5;\,3} = R_{2,3}$	0,2	1/2	1/6	0,2262		$P_{2,3,5;3}(S_3)=0{,}3$
				1/2	2/7			$P_{2,3,5;3}(S_5)=0{,}3$
		$R^4_{2,3,5;\,3} = R_3$	0,2	1	1	1		
	$\hat{\pi}_5$	$R^1_{2,3,5;\,5} = R_2$	0,375	1	1	1	0,906	$P_{2,3,5;5}(S_2)=0{,}375$
		$R^2_{2,3,5;\,5} = R_5$	0,375	1	1	1		

		$R^3_{2,3,5;\,5} = R_{3,5}$	0,125	1/2 1/2	5/13 1/9	0,2479		$P_{2,3,5;5}(S_3) = \dfrac{3}{16}$
		$R^4_{2,3,5;\,5} = R_3$	0,125	1	1	1		$P_{2,3,5;5}(S_5) = \dfrac{7}{16}$

По условию (11) для проверки в ИС $R_{2,3,5}$ выберем признак π_2 .

Единственным неконечным исходом проверки $\hat{\pi}_2$, выполненной в этом ИС, является $R_{2,5}$, для которого $\Pi_{2,5} = \{\pi_3, \pi_5\}$. Поскольку ценность этих признаков одинакова, то для проверки выберем π_3, обладающий большей информативностью.

3. Заключение. Таким образом, наиболее ценные для проверки признаки определены. По полученным результатам построим ГПД, представленную на рисунке 1.

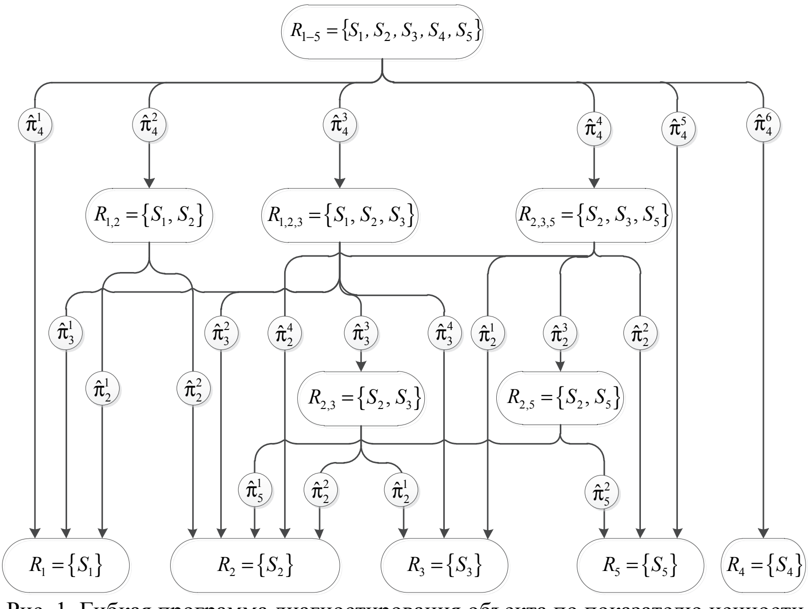

Рис. 1. Гибкая программа диагностирования объекта по показателю ценности информации

Упорядоченные подмножества Π_r $\left(r = \overline{1, 15}\right)$, каждое из которых обеспечивает распознавание i -го ТС объекта, приведены в таблице 9.

Построенная ГПД получилась такой же, как и программа, построенная по аналогичным исходным данным (см. работы [3, 4]) методом динамического программирования по критерию максимума полезности получаемой информации. При этом вычислительные затраты на синтез ГПД, приведенной на рисунке 1, существенно ниже, поскольку отсутствует необходимость создания и обработки массива всех возможных ИС процесса анализа ТС объекта. Следовательно, предложенный показатель ценности информации может быть применен для синтеза гибких программ диагностирования сложных технических объектов.

Таблица 9. Упорядоченные подмножества признаков для распознавания технического состояния

	ТС S_1				
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
Π_r	$\Pi_1 = \{\pi_4\}$	$\Pi_4 = \{\pi_4, \pi_2\}$	$\Pi_9 = \{\pi_4, \pi_3, \pi_2\}$	$\Pi_{15} = \{\pi_4\}$	$\Pi_{12} = \{\pi_4, \pi_2, \pi_5\}$
	$\Pi_2 = \{\pi_4, \pi_3\}$	$\Pi_5 = \{\pi_4, \pi_3\}$	$\Pi_{10} = \{\pi_4, \pi_3\}$		$\Pi_{13} = \{\pi_4, \pi_2\}$
	$\Pi_3 = \{\pi_4, \pi_2\}$	$\Pi_6 = \{\pi_4, \pi_2, \pi_5\}$	$\Pi_{11} = \{\pi_4, \pi_2\}$		$\Pi_{14} = \{\pi_4\}$
		$\Pi_7 = \{\pi_4, \pi_2\}$			
		$\Pi_8 = \{\pi_4, \pi_3, \pi_2\}$			

В заключение отметим, что с помощью разработанного алгоритма может быть синтезирована процедура определения как работоспособных ТС сложных военно-технических систем в различные моменты времени, так и неработоспособных состояний, обусловленных различными дефектами ее элементов. При этом выбор минимально необходимого числа диагностических признаков (минимального необходимого числа проверок), обладающих наибольшей ценностью, позволяет значительно сократить объем обрабатываемой информации об объекте, уменьшить число измерительных систем, упростить и удешевить процедуру распознавания ТС, в том числе и отказов.

В целом, синтезированная программа дает близкое к оптимальному решение о ТС сложных военно-технических систем и обеспечивает заданное качество диагностирования при сравнительно небольших затратах. Снижение затрат достигается использованием более простых и более экономичных в вычислительном отношении процедур, не требующих предварительного определения и хранения в памяти ЭВМ значительного числа информационных состояний объекта, что представляет несомненный практический интерес.

Кроме того, предложенный подход позволяет провести сравнительный анализ значимости телеметрируемых параметров и оценить объективно вклад каждого из них в решение задачи контроля систем и установления фактического режима функционирования аппаратуры. Это, несомненно, повысит эффективность своевременного принятия мер по устранению отказов и восстановлению работоспособности сложных военно-технических систем с использованием имеющегося резерва.

Литература

1. *Харкевич А. А.* О ценности информации // Проблемы кибернетики. М.: Физматгиз. 1960. Вып. 4. С. 53–72.
2. *Шанкин Г.П.* Ценность информации. Вопросы теории и приложений // М.: Филоматис. 2004. 128 с.
3. *Дмитриев А.К., Копкин Е.В.* Построение информационно-поисковой системы по критерию максимума полезности получаемой информации // Авиакосмическое приборостроение. 2003. № 6. С. 46–51.
4. *Мышко В.В., Кравцов А.Н., Копкин Е.В., Чикуров В.А.* Теоретические основы и методы оптимизации анализа технического состояния сложных систем: монография // СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского. 2013. 303 с.
5. *Корогодин В.И., Корогодина В.Л.* Информация как основа жизни // Дубна: Издательский центр «Феникс». 2000. 208 с.

References

1. Harkevich A.A. [About the value of information]. *Problemy kibernetiki – Problems of Cybernetics*. M. Fizmatgiz.1960. vol. 4. pp. 53–72. (In Russ.).
2. Shankin G.P. *Cennost' informacii. Voprosy teorii i prilozhenij* [The value of information. Theory and applications]. M. Filomatis. 2004. 128 p. (In Russ.).
3. Dmitriev A.K., Kopkin E.V. [Building an information retrieval system according to the criterion of maximum usefulness of the received information]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie – Aerospace instrument making*. 2003. vol. 6. pp. 46-51. (In Russ.).
4. Myshko V.V., Kravcov A.N., Kopkin E.V., Chikurov V.A. *Teoreticheskie osnovy i metody optimizacii analiza tehnicheskogo sostojanija slozhnyh sistem* [Theoretical bases and methods of analysis of the technical state of complex systems]. Monogrofiya.SPb.:GCA name AF Mozhaysky. 2013. 303 p. (In Russ.).
5. Korogodin V.I., Korogodina V.L. *Informacija kak osnova zhizni* [Information as the basis of life]. Dubna -Izdatel'skij centr «Feniks».2000. 208 p. (In Russ.).

Копкин Евгений Вениаминович — д-р техн. наук, старший преподаватель кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: автоматизированная обработка и анализ информации космических средств. Число научных публикаций — 42. kopkins@mail.ru; ул. Ждановская 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +79219611338.

Kopkin Evgeniy Veniaminovich — Ph.D., Dr. Sci., senior lecturer of technologies and tools of complex information processing and transmission in automated control systems department , Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: automated processing and analysis of space vehicles. The number of publications — 42. kopkins@mail.ru; 13, Zdanovskaya str., St.Peterburg, 197082, Russia; office phone: +79219611338.

Чикуров Виталий Александрович — к-т техн. наук, доцент, начальник кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: автоматизированная обработка и анализ информации КС. Число научных публикаций — 27. chikurov69@bk.ru; ул. Ждановская 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +79119822630.

Chikurov Vitaliy Aleksandrovich — Ph.D., assistant professor, head of technologies and tools of complex information processing and transmission in automated control systems department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: automated processing and analysis of space vehicles. The number of publications — 27. chikurov69@bk.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +79119822630.

Алейник Виталий Валерьевич — к-т воен. наук, доцент, начальник факультета автоматизированных систем управления, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: автоматизированная обработка и анализ информации космических средств. Число научных публикаций — 19. vital-krym@mail.ru; ул. Ждановская 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +79112962167.

Aleynik Vitaliy Valerevich — Ph.D., head of automated control systems faculty, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: automated processing and analysis of space vehicles. The number of publications — 19. vital-krym@mail.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +79112962167.

Лазутин Олег Григорьевич — соискатель кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: автоматизированная обработка и анализ информации космических средств. Число научных публикаций — 15. vutal-krym@mail.ru; ул. Ждановская 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +79104046181.

Lazutin Oleg Grigorevich — Ph.D. student of technologies and tools of complex information processing and transmission in automated control systems department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: automated processing and analysis of space vehicles. The number of publications — 15. vutal-krym@mail.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +79104046181.

РЕФЕРАТ

Копкин Е.В., Чикуров В.А., Алейник В.В., Лазутин О.Г. **Алгоритм построения гибкой программы диагностирования технического объекта по критерию ценности получаемой информации.**

В статье предложено решение задачи построения гибкой программы диагностирования объекта по критерию ценности информации, получаемой в процессе определения технического состояния.

Под гибкой программой диагностирования понимается процедура, при которой выбор каждой последующей проверки зависит от результата предыдущей. В результате происходит сокращение общего числа проверяемых диагностических признаков.

При построении гибкой программой диагностирования для автоматизированного анализа состояний объектов наблюдения (в частности, их технического состояния) существенное значение имеет не только количество получаемой информации, но даже в большей степени ее ценность (полезность).

Для выбора наиболее ценных проверок (в смысле определения технического состояния) используется мера ценности информации, предложенная В.И. Корогодиным, которая, в отличие от меры А.А.Харкевича, изменяется от 0 до 1. Для некоторых приложений теории анализа технического состояния такой подход может представлять практический интерес.

К настоящему времени публикации, связанные с построением программ диагностирования по указанному показателю, отсутствуют. Поэтому разработка алгоритмов построения гибкой программы диагностирования по критерию ценности получаемой информации является актуальной и практически важной задачей.

SUMMARY

Kopkin E.V., Chikurov V.A., Aleynik V.V., Lazutin O.G. **Algorithm for Constructing a Flexible Program for Technical Object Diagnosing on the Criterion of Received Information Value.**

The article offeres a solution to the problem of creating a flexible program for object diagnosing on the criterion of information value, received in the process of determination of technical condition.

A flexible program of diagnosis is understood as a procedure, in which the choice of each following check depends on the result of the preceding one. This results in a reduction in the overall number of checked diagnostic signs.

When constructing a flexible program of diagnosing for automated analysis of conditions of the objects observed (in particular, their technical condition), not only is the amount of the received information important, but also , even in a greater degree, the value of the received information.

For the choice of the most valuable checks (in the sense of determination of technical condition), we use a measure of the value of received information, offered by V.I. Korogodin, which, unlike the measure of A.A. Harkevich, ranges from 0 to 1. For some applications of the theory of the analysis of technical condition, this approach may be of practical interest.

Currently, publications, connected with the creation of a program of diagnosing on the specified factor, are absent. Therefore, development of algorithms of creating flexible program of diagnosing on the criterion of the received information value is a relevant and practically important task.