

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20140617>

УДК 004.8:519.7

К 56

## INFORMATION TECHNOLOGY OF THE CASES ANALYSIS IN THE TECHNICAL DIAGNOSIS PROJECTS

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА ПРЕЦЕДЕНТОВ В ПРОЕКТАХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Ihor I. Kovalenko

[igor.kovalenko@nuos.edu.ua](mailto:igor.kovalenko@nuos.edu.ua)

ORCID: 0000-0003-2655-6667

Anton V. Melnyk

[anton.melnyk@nuos.edu.ua](mailto:anton.melnyk@nuos.edu.ua)

ORCID: 0000-0002-6636-534X

И. И. Коваленко,

д-р техн. наук, проф.;

А. В. Мельник,

асп.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

**Abstract.** The problem of predicting the possible defects and factors which make it impossible to perform measurement procedures in the technical diagnosis projects has been considered. The group expert estimates are used to solve these problems which are characterized by the presence of uncertainties. The information analyzed by experts results in a large amount of data that require processing in order to develop recommendations for the decision maker. The development of the information technology based on the case-based reasoning method is suggested in order to automate these processes; the characteristics of the cases are presented by the group expert estimates. The modern methods of group expert estimates processing are analyzed. They include the rough sets theory and the probabilistic inference methods (probability trees, decision trees, confidence networks, influence diagrams, etc.). The opportunities and some conditions of the application of the data of these methods for construction of the information technology of the analysis of the cases the characteristics of which are performed by the group expert estimates are defined. The functionality of the developed information technology is proved with the practical example of the project of the portal crane technical diagnosis.

**Keywords:** case; rough sets theory; probabilistic inference methods; portal crane.

**Аннотация.** Установлены возможность и некоторые условия применения теории грубых множеств и методов вероятностного вывода для разработки информационной технологии анализа прецедентов, характеристики которых представлены групповыми экспертными оценками по вербально-числовой шкале. Рассмотрены практическая реализация разработанной информационной технологии на примере проекта технической диагностики портального крана и формирование рекомендаций по его дальнейшему режиму эксплуатации.

**Ключевые слова:** прецедент; теория грубых множеств; методы вероятностного вывода; портальный кран.

**Анотація.** Установлено можливість і деякі умови застосування теорії грубих множин і методів імовірнісного виведення для розробки інформаційної технології аналізу прецедентів, характеристики яких представлені груповими експертними оцінками за вербально-числовою шкалою. Розглянуто практичну реалізацію розробленої інформаційної технології на прикладі проекту технічної діагностики портального крана і формування рекомендацій щодо його подальшого режиму експлуатації.

**Ключові слова:** прецеденти; теорія грубих множин; методи імовірнісного виведення; портальний кран.

### REFERENCES

- [1] Borisov A.N., Uzhga-Rebrov O.I., Savchenko K.I. *Veroyatnostnyy vyvod v intellektualnykh sistemakh* [Probabilistic inference in intelligent systems]. Riga, 2002. 213 p.
- [2] Varshavskiy V.P. *Mekhanizmy pravdopodobnykh rassuzhdeniy na osnove pretsedentov (nakoplennoogo opyta) dlya sistem ekspertnoy diagnostiki* [Mechanisms of the case-based plausible reasoning (on the basis of the accumulated experience) for expert diagnosis systems]. *Trudy 11-y natsionalnoy konferentsii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem (Dubna, 28.09–3.10.2008)* [Proceedings of the 11th National Conference on artificial intelligence with international participation (Dubna, 28.09 – 3.10.2008)]. Moscow, 2008, vol. 1, pp. 106–113.

- [3] Klimchuk S.A. Primenenie pretsedentov dlya diagnostiki kranov mostovogo tipa (Cases application for the bridge cranes diagnosis). *Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnologii – System Research and Information Technologies*, 2012 issue. 4, pp. 17–22. Available at <http://journal.iasa.kpi.ua/arhiv/2012/No4/2012-n4-klimchuk-text> (Accessed 17 January 2013)
- [4] *Organizatsiino-metodichni dockumenty: OMD 22460848.003-2012. Krany portalni, krany-perevantazhuvachi. Ekspertne obstezhennia* [Organizational and methodical documents: OMD 22460848.003-2012. Portal cranes, transport cranes. Expert estimation]. Kyiv, 2012. 136 p.
- [5] Pawlak Z. *Rough Sets Theoretical Aspects of Reasoning about Data*. Boston, London, Academic Publ., 1991. 229 p.
- [6] Uzga-Rebrovs O. *Nenoteiktibu parvaldisana*. Rezekne: RA Izdevnieciba, 2010, issue. 3, 560 p.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При проведении технической диагностики различного рода машин и механизмов (например, порталных кранов (ПК)) возникают задачи прогнозирования возможных дефектов и факторов, по которым невозможно выполнить измерительные процедуры. Как правило, такие задачи характеризуются различного рода неопределенностями, и для их решения используются групповые экспертные оценки (ЭО). Вследствие больших объемов информации, анализируемой экспертами, возникает задача автоматизации обработки ЭО на основе разработки определенных информационных технологий (ИТ), которые могут лечь в основу управления проектами технической диагностики.

Перспективным направлением для построения одной из таких ИТ видится подход, основанный на использовании накопленного экспертного опыта, который был развит и формализован в рамках научного направления, – метод рассуждения по прецедентам (CBR – Case-Based Reasoning) [2, 3] с использованием современных инструментальных методов анализа прецедентов.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Согласно [2, 3] прецедент – это структурированное представление накопленного опыта в виде данных и знаний, обеспечивающее его последующую автоматизированную обработку с помощью специализированных программных средств. Как правило, прецедент состоит из описания проблемной ситуации и совокупности действий, которые могут быть использованы в качестве рекомендаций лицу, принимающему решение (ЛПР), для устранения данной проблемной ситуации (ее решения). CBR-метод включает в себя четыре основных этапа: извлечение прецедента, наиболее подобного для сложившейся ситуации, из базы прецедентов (БП); повторное использование извлеченного прецедента для попытки решения текущей проблемы; анализ (пересмотр и адаптация), в случае необходимости, полученного решения в соответствии с текущей ситуацией; сохранение принятого решения как нового прецедента. При реализации этапов

CBR-метода требуется решить следующие задачи:

– поиск в БП прецедентов, наиболее подобных для текущей ситуации;

– анализ текущей ситуации и найденных прецедентов (классификация прецедентов и оценка ее точности, определение весовых коэффициентов параметров прецедентов, ранжирование прецедентов).

Для решения первой задачи широко используется метод «ближайшего соседа» и его модификации, который наряду с положительными свойствами имеет и ряд недостатков [2, 3]. Из них существенным является задание меры подобия прецедентов и текущей ситуации. Вместе с тем в последние годы получила развитие теория грубых множеств (ТГМ) [5, 6], применение которой может в определенной мере формализовать отмеченные недостатки.

Решение второй задачи заключается в применении модифицированного метода «ближайшего соседа», а именно путем задания пороговых значений и значений весовых коэффициентов параметров прецедентов по усмотрению эксперта [3]. Такой подход может привести к ошибочным результатам (поиску и последующему формированию рекомендаций ЛПР), так как зависит от знаний эксперта в конкретной предметной области и не учитывает наличие систем неопределенных событий вероятностного типа ( $m$ ). Следовательно, для решения задачи анализа прецедентов видится подход, основанный на подходах ТГМ и методах вероятностного вывода (дерева вероятностей, дерева решений (ДР), сети уверенностей (СУ), диаграммы влияний (ДВ) и др.) [1].

**ЦЕЛЬЮ СТАТЬИ** является разработка структуры ИТ анализа прецедентов в управлении проектами технической диагностики со следующими функциональными возможностями:

– поиск в БП прецедентов, наиболее подобных для текущей ситуации, с применением подходов ТГМ;

– анализ исходного множества групповых ЭО и найденных прецедентов, характеристиками которых являются ЭО по вербально-числовой шкале (ВЧШ), с использованием подходов ТГМ и методов вероятностного вывода;

– сохранение адаптированных прецедентов в БП.

**ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

Анализ современных методов обработки групповых ЭО характеристик прецедентов позволил предложить структуру ИТ управления проектами технической диагностики, изображенную на рис. 1.

В качестве примера рассматривается проект технической диагностики ПК. На первом этапе экспертам предлагается инструкция, содержащая следующую информацию:

- оцениваемые по ВЧШ дефекты и факторы, возможно, влияющие на развитие дефектов;
- характеристика ВЧШ;
- возможные классы эксплуатации ПК, описание которых несет в себе рекомендации для ЛППР.

При планировании погрузочно-разгрузочных работ (ПРР) в морских портах эксперты оценивают дефекты ( $k_i$ ) [4] по ВЧШ со следующими градациями: 1 – хорошо, 2 – нормально, 3 – плохо, которые характеризуют следующие состояния ПК:

- 1 – дефект, значение которого будет соответствовать работоспособному состоянию без проведения мероприятий по снижению на него нагрузок (МСН);
- 2 – дефект, значение которого будет соответствовать работоспособному состоянию после осуществления МСН;
- 3 – требуется устранение дефекта.

К оцениваемым экспертами факторам ( $f_y$ ) относятся: ( $f_1$ ) – негативное влияние груза; ( $f_2$ ) – квалификация докера-механизатора (ДМ); ( $f_3$ ) – вариант схемы перегрузочного процесса; ( $f_4$ ) – сила ветра; ( $f_5$ ) – важность фрагователя (ожидаемая прибыль); ( $f_6$ ) – природа происхождения дефекта.

Для таких факторов ВЧШ характеризуется градациями, аналогичными для ВЧШ дефектов.

К возможным классам режимов эксплуатации ПК ( $d_w$ ) относятся следующие:

- 1 – продолжение эксплуатации в соответствии с паспортными характеристиками ПК;
- 2 – продолжение эксплуатации возможно на меньший срок, но в соответствии с паспортными характеристиками;
- 3 – продолжение эксплуатации возможно до очередного обследования, но с измененными характеристиками по снижению нагрузок на несущие конструкции крана;
- 4 – после выполнения ремонтов (с целью устранения дефектов) продолжение эксплуатации с паспортной характеристикой;
- 5 – продолжение эксплуатации связано с необходимостью проведения ремонта и находится в зависимости от его результата;
- 6 – выполнение ремонта с заменой дефектного узла на ПК.

После проведенного инструктажа эксперты оценивают дефекты и факторы, описывая таким образом ТС крана по ВЧШ, и, исходя из таких оценок, относят

ПК к любому из предложенных классов эксплуатации кранов. Сформированное множество ЭО представлено в табл. 1.

Таблица 1. Техническое состояние ПК, описанное ЭО

$U$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$d_w$
$x_1$	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
$x_2$	1	3	2	2	2	1	1	2	1	1	1	3	4
$x_3$	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	3	3
$x_4$	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2
$x_5$	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	3
$x_6$	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	3
$x_7$	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	3	2
$x_8$	1	2	2	3	2	1	1	2	1	1	1	2	3
$x_9$	1	3	3	3	2	1	1	2	1	1	1	3	4
$x_{10}$	1	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	4

Далее выполняется поиск прецедентов в БП с использованием подходов ТГМ [5, 6] по оценкам дефектов, факторов и значениям классов эксплуатации. Пусть поиск не дал результатов, тогда следующим этапом ИТ является анализ исходного множества ЭО. Этот анализ начинается с представления данных таблицы в рамках терминологии ТГМ [5, 6]:  $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}\}$ ;  $A = \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6\}$ ;  $D = \{d_w\}$ , ( $w = \overline{2,4}$ ).

После этого формируются классы эквивалентности:

$$IND(A) = \{\{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_4, x_5\}, \{x_6\}, \{x_7\}, \{x_8\}, \{x_9\}, \{x_{10}\}\}.$$

$$IND(D) = \{\{x_1, x_4, x_7\}, \{x_3, x_5, x_6, x_8\}, \{x_2, x_9, x_{10}\}\}.$$

Классификация элементов  $U$  на основании  $IND(D)$  (классы режимов эксплуатации ПК) формирует три целевых множества:  $X_1 = \{x_1, x_4, x_7\}$ ;  $X_2 = \{x_3, x_5, x_6, x_8\}$ ;  $X_3 = \{x_2, x_9, x_{10}\}$ . Дальнейший анализ исходных данных, как видно на рис. 1, состоит в проверке целевых множеств на их точность или грубость. В соответствии с терминологией и определениями ТГМ [5, 6]  $X_3$  – точное множество, множества  $X_1$  и  $X_2$  – грубые. На следующем этапе для целевых множеств определяются верхние, нижние аппроксимации и их точность. Ниже приводятся результаты данного этапа анализа:

$$\underline{A}X_1 = \{x_1, x_7\} = POS_A(X_1); \quad \overline{A}X_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_7\};$$

$$\alpha_A(X_1) = \frac{2}{4} \cdot 100\% = 50\%;$$

$$\underline{A}X_2 = \{x_3, x_6, x_8\} = POS_A(X_2); \quad \overline{A}X_2 = \{x_3, x_4, x_5, x_6, x_8\};$$

$$\alpha_A(X_2) = \frac{3}{5} \cdot 100\% = 60\%;$$

$$\underline{A}X_3 = \{x_2, x_9, x_{10}\} = POS_A(X_3); \quad \overline{A}X_3 = \{x_2, x_9, x_{10}\};$$

$$\alpha_A(X_3) = \frac{3}{3} \cdot 100\% = 100\%.$$

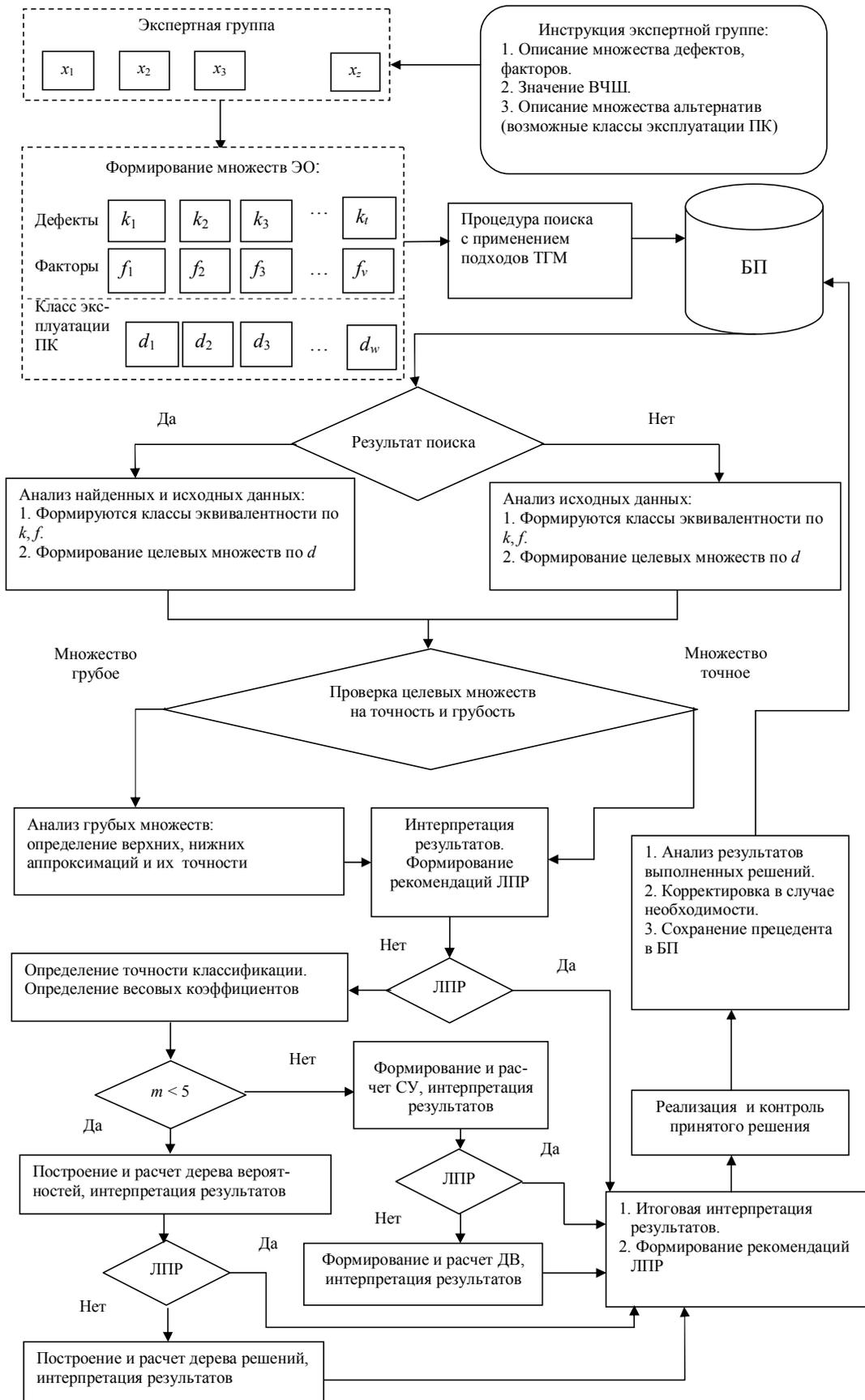


Рис. 1. Структура информационной технологии анализа прецедентов в проектах технической диагностики

На данном этапе анализа интерпретация результатов и подготовка рекомендаций для ЛПР заключается в формировании ранжирования по  $D: X_3 \succ X_2 \succ X_1$ . Это объясняется тем, что ЭО для 4-го класса классифицированы с точностью 100 %, для 3-го класса – 60 %, для 2-го класса – 50 %. Опираясь на эти результаты, ЛПР может принять решение эксплуатировать ПК, осуществляя рекомендации соответствующему 4-му классу – произвести ремонт дефектов с оценками 2, 3 и продолжать эксплуатировать кран с паспортной характеристикой. Однако ЛПР, возможно, не будет удовлетворен такой рекомендацией, так как требуется срочное выполнение ПРР, что позволяют рекомендации 2-го и 3-го классов эксплуатации ПК. Такая ситуация требует дальнейшего анализа исходного множества ЭО.

На следующем этапе анализа (см. рис. 1) с подходами ТГМ [5, 6] определяются дефекты и факторы, которые влияют на точность классификации ЭО:

$$\gamma_A(X) = \frac{cardPOS_A(X)}{cardU} = 0,8 \cdot 100 \% = 80 \%;$$

$$\Delta_{k_1} = 0; \Delta_{k_2} = 0,3; \Delta_{k_3} = 0; \Delta_{k_4} = 0; \Delta_{k_5} = 0,2; \Delta_{k_6} = 0;$$

$$\Delta_{f_1} = 0; \Delta_{f_2} = 0; \Delta_{f_3} = 0; \Delta_{f_4} = 0; \Delta_{f_5} = 0; \Delta_{f_6} = 0.$$

Результат вычислений на данном этапе свидетельствует, что на точность классификации ЭО влияют оценки двух дефектов:  $k_2$  (трещины в металлоконструкциях ПК [4]) и  $k_5$  (расслоение металла [4]) со значениями 30 % и 20 % соответственно, которые об-

Таблица 2. Результаты расчетов дерева вероятностей

Квалификация ДМ	Проведение МСН	Вероятность осуществления сценария	Условные апостериорные вероятности	Полные вероятности
Не развитие дефекта	Не развитие дефекта	0,32	0,64	0,5
Развитие дефекта	Не развитие дефекта	0,18	0,36	
Не развитие дефекта	Развитие дефекта	0,08	0,16	0,5
Развитие дефекта	Развитие дефекта	0,42	0,84	

Анализируя полученные результаты, можно сделать некоторые выводы:

– если ДМ изначально не допускал развитие дефекта с вероятностью 0,4, то после проведения МСН эта вероятность увеличится до 0,64;

– если ДМ изначально допустит развитие дефекта с вероятностью 0,6 и даже после проведения МСН, то вероятность развития дефекта увеличится до 0,84;

– полные вероятности развития/не развития дефекта равны 0,5.

Решение о проведении (или не проведении) МСН должно быть принято до начала работы ПК, поэтому узел решения (проводить / не проводить МСН) будет корневым (см. рис. 2). Для оценки исходов вводятся следующие затраты и потенциальные выигрыши, связанные с реализацией альтернативных решений: проведение МСН

разуют систему случайных событий. Поэтому дальнейший углубленный анализ, например, для  $k_2$  и  $f_2$  может быть проведен с использованием методов вероятностного вывода, в частности методов деревьев вероятностей и ДР (так как  $m < 5$ ) [1].

Рассмотрим построение дерева вероятностей для следующих условий:

1) событие ( $a_1$ ), при котором квалификация ДМ, эксплуатирующего ПК, позволит сохранить значение дефекта с вероятностью 0,4 ( $p(a_1) = 0,4$ );

2) событие ( $a_2$ ), при котором квалификация ДМ, эксплуатирующего ПК, не позволит сохранить значение дефекта с вероятностью 0,6 ( $p(a_2) = 0,6$ );

3) событие ( $b_1$ ), при котором проведение МСН не допускает развитие дефекта с вероятностью 0,8, и событие ( $b_2$ ), при котором проведение МСН допускает развитие дефекта с вероятностью 0,7, статистически зависимы от событий ( $a_1$ ), ( $a_2$ ).

Могут быть рассмотрены следующие комбинации:

–  $b_1 / a_1$  – проведение МСН не допускает развитие дефекта,  $p(b_1 / a_1) = 0,8$ ;

–  $b_2 / a_1$  – проведение МСН допускает развитие дефекта,  $p(b_2 / a_1) = 0,2$ ;

–  $b_1 / a_2$  – проведение МСН не допускает развитие дефекта,  $p(b_1 / a_2) = 0,3$ ;

–  $b_2 / a_2$  – проведение МСН допускает развитие дефекта,  $p(b_2 / a_2) = 0,7$ .

Результаты расчетов дерева вероятностей на основании такой информации приведены в табл. 2, строки которой являются сценариями.

стоит 5000 у. е.; последующий ремонт ПК – 20000 у. е.; успешное выполнение ПРР диагностируемым ПК даст прибыль 100000 у. е. Для примера приведены оценки некоторых исходов альтернативных решений:

– для исхода (1):  $100000 - 5000 - 20000 = 75000$  (прибыль от ПРР – затраты на ремонт ПК – затраты на МСН); далее по аналогии;

– для исхода (2):  $-5000 - 20000 = -25000$ ;

– для исхода (3):  $-100000 - 5000 = -105000$ ;

– для исхода (4):  $-5000$ ;

– оценки исходов (5), (6), (7), (8) рассчитываются аналогично;

– для исхода (9):  $100000 - 20000 = 80000$ ;

– для исхода (10):  $-20000$ .

Возможные комбинации решений и расчеты ожидаемых значений полезности для каждой комбинации приведены в табл. 3.

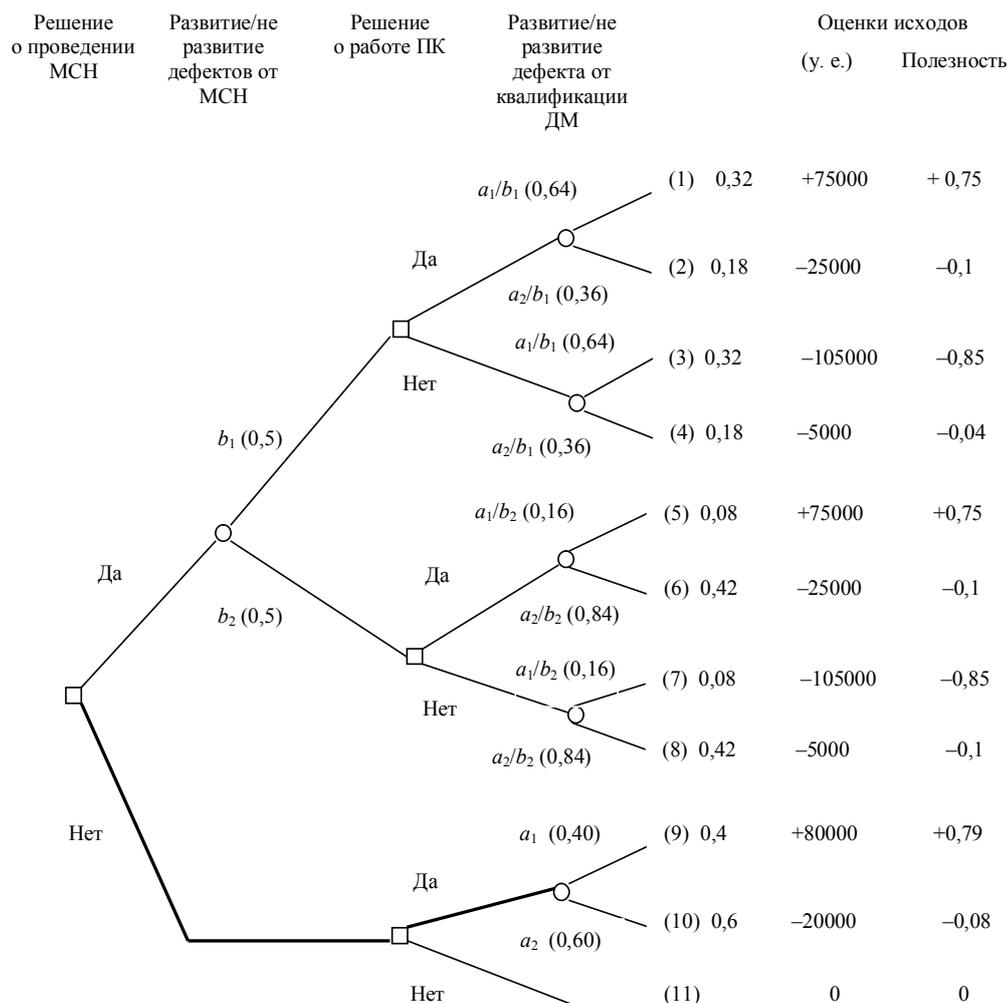


Рис. 2. Пример дерева решений

Таблица 3. Возможные комбинации решений и ожидаемые значения их полезности

№	Интерпретация сценария	Ожидаемая полезность
1	Выполнить МСН и ПРР, если МСН сохранит значение дефекта (исходы 1 и 2)	$0,75 \cdot 0,32 - 0,10 \cdot 0,18 = 0,22$
2	Выполнить МСН и не выполнять ПРР, если МСН сохранит значение дефекта (исходы 3 и 4)	$(-0,85) \cdot 0,32 - 0,04 \cdot 0,18 = (-0,28)$
3	Выполнить МСН и ПРР, если после проведения МСН дефект будет развиваться (исходы 5 и 6)	$0,75 \cdot 0,08 - 0,10 \cdot 0,42 = 0,02$
4	Выполнить МСН и не выполнять ПРР, если после проведения МСН дефект будет развиваться (исходы 7 и 8)	$(-0,85) \cdot 0,08 - 0,04 \cdot 0,42 = (-0,1)$
5	Выполнять ПРР без проведения МСН (исход 9)	$0,79 \cdot 0,4 - 0,8 \cdot 0,6 = 0,27$
6	Отказаться от ПРР и проведения МСН (исход 10)	0

В качестве рекомендаций ЛПР по результатам вычислений на дереве решений формируется следующее: «Отказаться от проведения МСН и выполнить ПРР», так как у этой комбинации наибольшая ожидаемая полезность. Ранжирование по D имеет следующий вид:  $X_1 > X_2 > X_3$ .

В случае, когда  $m > 5$ , целесообразно использование следующих методов: сети уверенностей и диаграммы влияний. Исходная информация для этого представлена в табл. 4.

Таблица 4. Затраты на проведение МСН для дефектов ПК

Дефекты	Факторы		
	$f_2$	$f_5$	$f_6$
$k_2$	1000 у. е. ( $S_1$ )	1000 у. е. ( $S_2$ )	3000 у. е. ( $S_3$ )
$k_5$	1000 у. е. ( $S_4$ )	2000 у. е. ( $S_5$ )	4000 у. е. ( $S_6$ )

Пусть на текущий момент стоимость ремонта ПК составляет 20000 у. е. Для ЛПР приемлемое уменьшение стоимости ремонта составляет 12000 у. е.

Узлы ДВ (рис. 3) несут в себе следующую информацию:

Узел решений  $D$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{Проводить МСН.} \\ \text{Не проводить МСН.} \end{array} \right.$

Узлы событий  $C$ :

$C_1$  – характеризует вероятность снижения затрат на ремонт ПК, зависящих от проведения МСН на дефектный узел с трещинами;

$C_2$  – характеризует вероятность снижения затрат на ремонт ПК, зависящих от проведения МСН на дефектный узел с расслоением металла;

$C_3, C_4, C_5$  – характеризуют вероятность снижения затрат на ремонт ПК, зависящих от проведения МСН для факторов влияния ( $f_2, f_5, f_6$ ) на развитие дефектного узла с трещинами;

$C_6, C_7, C_8$  – характеризуют вероятность снижения затрат на ремонт ПК, зависящих от проведения МСН для факторов влияния ( $f_2, f_5, f_6$ ) на развитие дефектного узла с расслоением металла.

Узел  $V$  представлен следующими оценочными выражениями:

$$V = V_1 + V_2 = p(C_1) \cdot (S_1 + S_2 + S_3) + p(C_2) \cdot (S_4 + S_5 + S_6),$$

где  $p$  – вероятность реализации соответствующих событий  $C$ .

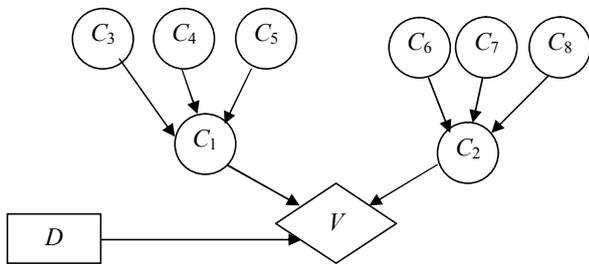


Рис. 3. Диаграмма влияния

Перед выполнением расчета ДВ эксперты задают оценки безусловных и условных вероятностей всех событий:

$$\begin{array}{ll} p(C_3) = 0,2; & p(C_6) = 0,3; \\ p(C_4) = 0,1; & p(C_7) = 0,25; \\ p(C_5) = 0,3; & p(C_8) = 0,4; \\ p(C_1|C_3, C_4, C_5) = 0,3. & p(C_2|C_6, C_7, C_8) = 0,4. \end{array}$$

Расчет полных вероятностей событий  $C_1$  и  $C_2$  [1]:

$$p(C_1) = p(C_3) \cdot p(C_4) \cdot p(C_5) \cdot p(C_1|C_3, C_4, C_5) = 0,002;$$

$$p(C_2) = p(C_6) \cdot p(C_7) \cdot p(C_8) \cdot p(C_2|C_6, C_7, C_8) = 0,012.$$

Далее с учетом числовых значений табл. 4 ( $S_1 = 1000$ ;  $S_2 = 1000$ ;  $S_3 = 3000$ ;  $S_4 = 1000$ ;  $S_5 = 3000$ ;  $S_6 = 4000$ ) рассчитывается узел ценности:

$$V = (1000 + 1000 + 3000) \cdot 0,002 + (1000 + 3000 + 4000) \cdot 0,012 = 94 \text{ у. е.}$$

Таким образом, применение МСН позволит снизить затраты на 94 у. е., что неприемлемо для ЛПР. Поэтому в качестве рекомендаций формируется следующее: «Отказаться от проведения МСН и выполнить ПРР», так как у этой комбинации наибольшая ожидаемая полезность. Итоговое ранжирование по  $D$  имеет следующий вид:  $X_1 > X_2 > X_3$ .

### ВЫВОДЫ

1. Впервые предложена ИТ анализа прецедентов, в основе которой лежит комплексное применение современных методов теории грубых множеств и вероятностного вывода.

2. Данная технология позволяет, в отличие от традиционно используемого метода «ближайшего соседа», повысить достоверность поиска прецедентов.

3. Рассмотренные в работе практические примеры дают возможность создать программное обеспечение для автоматизированных систем управления проектами технической диагностики конструкций различных машин и механизмов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Борисов, А. Н.** Вероятностный вывод в интеллектуальных системах [Текст] : учебное пособие / А. Н. Борисов, О. И. Ужга-Ребров, К. И. Савченко. – Рига, 2002. – 213 с.
- [2] **Варшавский, П. Р.** Механизмы правдоподобных рассуждений на основе прецедентов (накопленного опыта) для систем экспертной диагностики [Текст] / П. Р. Варшавский // Труды 11-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (Дубна, 28 сентября – 3 октября 2008 г.). – М. : URSS, 2008. – Т. 2. – С. 106–113.
- [3] **Климчук, С. А.** Применение прецедентов для диагностики кранов мостового типа [Электронный ресурс] / С. А. Климчук // Системні дослідження та інформаційні технології = System Research & Information Technologies. – 2012. – № 4. – С. 17–22. – Режим доступа: <http://journal.iasa.kpi.ua/archive/2012/No4/2012-n4-klimchuk-text>.
- [4] Організаційно-методичний документ: ОМД 22460848.003–2012 [Текст]. Крани порталні, крани-перевантажувачі. Експертне обстеження : проект. – К. : [б.в.], 2012. – 136 с.

- [5] **Pawlak, Z.** Rough Sets Theoretical Aspects of Reasoning about Data [Text] / Z. Pawlak. – Boston ; London : Academic Publishers, 1991. – 229 p.
- [6] **Uzga-Rebrovs, O.** Nenoteiktibu parvaldisana [Text] / O. Uzga-Rebrovs. – Rezekne : RA Izdevnieciba, 2010. – Vol. 3. – 560 p.

---

© І. І. Коваленко, А. В. Мельник  
Надійшла до редколегії 16.09.2014  
Статтю рекомендує до друку  
д-р техн. наук, проф. *С. Б. Приходько*