

# АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПРЕЦЕДЕНТОВ В ПРОЕКТАХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ

УДК 004.9

## КОВАЛЕНКО Игорь Иванович

д.т.н., профессор кафедры программного обеспечения автоматизированных систем  
Национального университета кораблестроения им. Макарова, г. Николаев

**Научные интересы:** методы анализа данных, прикладной системный анализ,  
теория оптимальных решений, системы поддержки принятия решений.

## МЕЛЬНИК Антон Витальевич

аспирант, старший лаборант кафедры программного обеспечения автоматизированных систем Национального  
университета кораблестроения им. Макарова, г. Николаев, E-mail: antonmelniknuos@gmail.com

**Научные интересы:** управление проектами, системы поддержки принятия решений, прикладной системный анализ.

## ВВЕДЕНИЕ

При осуществлении погрузочно-разгрузочных работ (ПРР) в морских и речных портах, на судостроительных и судоремонтных предприятиях, важную роль играют грузоподъемные машины (ГПМ), и в частности, порталые краны (ПК). Практический опыт эксплуатации таких кранов показывает, что их работоспособность (производительность) и надежность в значительной степени зависят от технического состояния ПК, которое в процессе эксплуатации подвержено негативному влиянию ряда факторов (климатических, человеческих, характеристик грузов и т. д.). С целью определения технического состояния, все ГПМ подвергаются периодическим экспертным обследованиям (диагностированию), в соответствии с принятыми организационно-методическими документами (ОМД) [1]. Число параметров ГПМ, подлежащих диагностированию, приводит к получению больших объемов неоднородной и слабоструктурированной информации, что вызывает значительные сложности с её обработкой и анализом с целью подготовки рекомендаций лицу, принимающему решение (ЛПР). Это ставит задачу автоматизации таких процессов, и в частности, разработки сис-

тем поддержки принятия решений (СППР), основным элементом которой является база знаний (БЗ).

Следует отметить, что знания о ПК охватывают широкий круг предметных областей и, достаточно часто, носят описательный характер. В связи с этим специалисты, обладающие большим опытом работы, могут обосновать принятие решения «по аналогии» с ранее происходившими явлениями, которые привели к выходу ГПМ из работоспособного состояния. Следовательно, перспективным видится подход для разработки СППР, основанный на эффективном использовании существующего опыта, который был развит и формализован в рамках научного направления – метод рассуждения по прецедентам (CBR – Case-Based Reasoning). Прецедент – это структурированное представление накопленного опыта в виде данных и знаний, обеспечивающее его последующую автоматизированную обработку при помощи специализированных программных средств. Как правило, прецедент состоит из описания проблемной ситуации и совокупности действий, которые могут быть использованы в качестве рекомендаций ЛПР для устранения данной проблемной ситуации (её решения).

В настоящее время CBR-метод получил широкое распространение в таких областях как медицинская

диагностика, мониторинг и диагностика технических систем, поиск решения в проблемных ситуациях и т. д. Следует отметить, что база знаний СППР, основанная на CBR-методе, представлена базой прецедентов (БП). Как правило, CBR-метод включает в себя четыре основных этапа: извлечение наиболее подобного прецедента для сложившейся ситуации из БП; повторное использование извлечённого прецедента для попытки решения текущей проблемы; пересмотр и адаптация в случае необходимости полученного решения в соответствии с текущей ситуацией; сохранение принятого решения как части нового прецедента. Из всех процедур, которые реализуются CBR-методом, наиболее важной является задача извлечения прецедентов из БП.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Существует целый ряд работ, посвящённых методам извлечения прецедентов и их модификаций [2, 3, 4, 5 и др.]. Работа [4] посвящена оцениванию технического состояния ГПМ на основе метода рассуждений по прецедентам. В работе [5] описана разработка формальной модели гибридной сценарно-прецедентной СППР, предназначенной для функционирования в динамичных предметных областях.

Следует отметить, что для успешной реализации метода рассуждений по прецедентам необходимо корректное извлечение прецедентов из БП СППР. Выбор метода поиска и извлечения прецедентов напрямую связан со способом представления прецедента в БП. Наиболее распространённым способом представления прецедента является параметрический метод, а их дальнейший поиск осуществляется методом ближайшего соседа [3, 4]. Существующие решения таких задач, наряду с положительными свойствами, обладают и рядом недостатков. К их числу можно отнести следующие: метод ближайшего соседа не даёт четких рекомендаций для случая, когда присутствует несколько прецедентов, равноудалённых от текущей ситуации, а также не эффективен в случаях зашумленности исходных данных и их неполноты. Для преодоления таких недостатков предложен ряд модификаций метода [2, 4], в основе которых лежит субъективное оценивание значений параметров прецедентов, и величины степени различия прецедентов. Такой подход влечёт за собой невозможность получения решения задач, для которых нет прецедентов

или степень их сходства (подобия) не соответствует заданному пороговому значению.

Вместе с тем, в последние годы получила развитие теория грубых множеств (ТГМ) [6, 7], применение которой может в определённой мере формализовать отмеченные недостатки.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является разработка подхода определения значимости параметров прецедентов с применением теории грубых множеств на основе существующих исходных данных для поиска прецедентов в БП СППР в проектах технической диагностики ПК.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Предварительно рассмотрим основные теоретические положения ТГМ, необходимые для определения значимости параметров прецедентов (полные сведения о ТГМ изложены в работах [6, 7 и др.]).

Под БП будем понимать базу знаний, которая определяется выражением:

$$K = (U, R),$$

где  $U$  – универсум элементов,  $R$  – отношение эквивалентности, на основе которого могут быть выделены классы эквивалентности (категории) элементов  $U$ , которые обозначаются через  $IND(R)$ . В каждую категорию включаются элементы, которые обладают одинаковыми значениями классификационных признаков (атрибутов). Внутри каждой категории элементы считаются неразличимыми. Классы эквивалентности определяются следующим выражением:

$$[x]_{IND(P)} = \bigcap_{P \in R} [x]_P, \quad (1)$$

где  $x \in U$ ,  $P \subseteq R$ ,  $P \neq \emptyset$ .

Пусть элементы универсума классифицированы по категориям на основе отношения эквивалентности  $R$ . Если целевое множество элементов  $X \in U$ , то относительно классификации  $IND(R)$  могут быть рассмотрены следующие ситуации:

1. Множество  $X$  является объединением некоторых категорий из  $IND(R)$ . В этом случае множество  $X$  называется  $R$ -точным.

2. Множество  $X$  не может быть выражено как объединение некоторых категорий  $IND(R)$ . В этом случае множество  $X$  называется  $R$ -неточным или  $R$ -грубым.

$R$ -нижней аппроксимацией грубого множества  $X$  называется подмножество таких его элементов, которые могут быть классифицированы как принадлежащие  $X$  на основе классификации  $IND(R)$ :

$$\underline{R}X = \cup \{x \in U : [x]_R \subseteq X\}. \quad (2)$$

$R$ -нижнюю аппроксимацию целевого множества  $X$  называют  $R$ -положительной областью  $X$ , которая обозначается  $POS_R(X)$ .

$R$ -верхней аппроксимацией грубого множества  $X$  называется подмножество таких его элементов, которые возможно принадлежат  $X$ :

$$\overline{R}X = \cup \{x \in U : [x]_R \cap X \neq \emptyset\}. \quad (3)$$

Поскольку грубые множества моделируют неопределенность относительно принадлежности некоторых элементов универсума определенному целевому множеству, то для числового оценивания степени этой неопределенности была введена оценка точности аппроксимации:

$$\alpha_R(X) = \frac{card \underline{R}X}{card \overline{R}X}, X \neq \emptyset, \quad (4)$$

где  $card$  означает кардинальное число (мощность) множеств  $\overline{R}X$  и  $\underline{R}X$ .

Метод представления знаний с помощью ТГМ основан на том, что знания отражаются в классификации релевантных элементов. Такая классификация может пониматься как семантика представления знаний. Однако, для того, чтобы успешно выявить семантику знаний, эти знания должны быть представлены в подходящей синтаксической форме. Такой формой является таблица данных, строки которой одновременно отображают множество значений атрибутов условий и множество атрибутов решений. Предположим, задано множество условий, каждому такому набору значений этих условий соответствует конкретное решение. Наглядным примером задачи такого рода является отне-

сение объектов к определенным классам при заданных значениях атрибутов, что вызывает определение значения степени зависимости между значениями атрибутов элементов и их принадлежностью к заданным классам. Такие таблицы в рамках терминов ТГМ называются таблицы решений и обозначаются выражением:

$$S = (U, A, C),$$

где  $U$  – универсум элементов,  $A$  – множество атрибутов условий,  $C$  – множество атрибутов решений, на основании которых формируются целевых множества  $X$ . Адаптируя таблицы решений для БП, под  $U$  будем понимать множество прецедентов, под  $A$  – множество параметров прецедентов, под  $C$  – множество рекомендаций ЛПР.

Значение степени зависимости классификации на основе  $A$  от разделения на основе  $C$ , определяется следующим выражением:

$$\gamma_A(X) = \frac{card POS_A(X)}{card U}. \quad (5)$$

Для оценивания значения относительной важности параметра прецедента, используя ТГМ, предлагается следующий подход. Из подмножества  $A$  последовательно удаляя отдельный параметр прецедента  $\{a_i\}$ ,  $a_i \in A$ , произвести классификацию на основе подмножества  $A - \{a_i\}$ , используя выражение (4), на основании полученного результата рассчитать  $\gamma_{A - \{a_i\}}(X)$ , далее посредством данного выражения:

$$\Delta_{(a_i)} = \gamma_A(X) - \gamma_{A - \{a_i\}}(X), \quad (6)$$

полученный результат можно использовать в качестве относительной важности параметра  $\{a_i\}$ .

Перед рассмотрением практической реализации вышеизложенных положений, рассмотрим существующую методику диагностики ПК [1]. При планировании ПРР в морских портах эксперт обращает своё внимание на наличие таких дефектов ( $k_i$ ): ( $k_1$ ) – нарушение лакокрасочного покрытия и коррозия несущих элементов металлоконструкции; ( $k_2$ ) – трещины, разрывы в швах, околошовной зоне, зонах, удалённых от швов; ( $k_3$ ) – разрывы, срез не менее 10% болтов в соединении

ях, где болты работают, на растяжение, на срез; ( $k_4$ ) – деформация элементов ферменных, листовых конструкций; ( $k_5$ ) – расслоение металла; ( $k_6$ ) – любые дефекты, возникшие в местах предыдущего ремонта, не попадающие под вышеприведённые определения.

Следует отметить, что ввиду отсутствия возможности количественно измерять значения указанных дефектов, эксперты оценивают их в вербальной шкале со следующими градациями: 1 – хорошо, 2 – нормально, 3 – плохо. Вербально-числовая шкала для таких дефектов характеризуется следующими градациями:

1 – дефект, значение которого будет соответствовать работоспособному состоянию без проведения мероприятий по снижению на него нагрузок;

2 – дефект, значение которого будет соответствовать работоспособному состоянию после осуществления мероприятий по устранению или снижению нагрузок;

3 – требуется устранение дефекта.

Кроме этого эксперт в вербальной шкале оценивает ещё и факторы ( $f_i$ ), которые могут повлиять на развитие дефекта. К их числу относятся следующие: ( $f_1$ ) – негативное влияние груза; ( $f_2$ ) – квалификация докера-механизатора; ( $f_3$ ) – вариант схемы перегрузочного процесса; ( $f_4$ ) – сила ветра; ( $f_5$ ) – важность фрагователя (ожидаемая прибыль); ( $f_6$ ) – природа происхождения дефекта.

Вербально-числовая шкала для таких факторов характеризуется следующими градациями:

1 – фактор не окажет влияния на развитие дефекта, отвечающего работоспособному состоянию, без проведения мероприятий по снижению нагрузок;

2 – фактор не окажет влияния на развитие дефекта, отвечающего работоспособному состоянию, но с требованием проведения мероприятий по снижению нагрузок;

3 – фактор окажет влияние на развитие дефекта так, что его значение будет соответствовать неработоспособному состоянию, даже при осуществлении мероприятий по снижению.

С учётом сказанного, а так же в соответствии с ОМД [1], возможные классы режимов эксплуатации ( $d_i$ ), техническое состояние (описанное значениям дефектов и факторов в вербально-числовой шкале) соответст-

вующее этим классам и рекомендации относительно эксплуатации ПК представлены в таблице 1.

Таблица 1.

### Классы режимов эксплуатации ПК и рекомендации.

| № класса ( $d_i$ ) | Техническое состояние ПК  | Рекомендации  |
|--------------------|---|---|
| 1                  | $k_i = 1, f_i = 1, 2, 3.$   | Продолжение эксплуатации в соответствии с паспортными характеристиками ПК   |
| 2                  | $k_i = 1, 2 (k_1, k_6=1, 2, 3), f_i = 1 (f_2, =1, 2, 3; f_5 =1; f_6=2)$ | Продолжение эксплуатации возможно на меньший срок, но в соответствии с паспортными характеристиками   |
| 3                  | $k_i = 1, 2 (k_1, k_6=1, 2, 3), f_i = 1 (f_2, =1, 2; f_5 =2; f_6=2, 3)$ | Продолжение эксплуатации возможно до очередного обследования, но с изменёнными характеристиками по снижению нагрузок на несущие конструкции крана |
| 4                  | $k_i = 1, 2 (k_1, k_6=1, 2, 3), f_i = 1 (f_2, =1, 2; f_5 =2; f_6=2)$    | После выполнения ремонтов (с целью устранения дефектов) продолжение эксплуатации с паспортной характеристикой                                     |
| 5                  | $k_i = 1, 2, 3, f_i = 1, 2, 3 (f_6=2, 3)$                               | Продолжение эксплуатации связано с необходимостью проведения ремонтов и находится в зависимости от его результатов                                |
| 6                  | $k_i = 3, f_i = 1, 2, 3.$   | Выполнение ремонта с заменой дефектного узла на ПК  |

Рассмотрим пример анализа технического состояния ПК, оценённого в вербально-числовой шкале, экспертной группой, состоящей из 8 экспертов и с использованием ТГМ (табл. 2).

Таблица 2.

**Техническое состояние ПК, описанное экспертными оценками**

| U  | k1 | k2 | k3 | k4 | k5 | k6 | f1 | f2 | f3 | f4 | f5 | f6 | di |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| x1 | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  |
| x2 | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  |
| x3 | 2  | 1  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 3  | 3  |
| x4 | 3  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  |
| x5 | 1  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 3  | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  |
| x6 | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 2  | 3  |
| x7 | 2  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 3  | 3  |
| x8 | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 2  | 3  |

В данной таблице строки представлены экспертными оценками технического состояния диагностируемого ПК с принадлежностью к классу эксплуатации ( $d_i$ ). В рамках терминологии ТГМ проанализируем таблицу 2. Следует отметить, что такой анализ состоит из нескольких этапов. Для начала представим таблицу в виде:

$$S = (U, A, C),$$

где  $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\}$ ,  $A = \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6\}$ ,  $C = \{d_i\}$ , ( $i = \overline{1,8}$ ). Далее используя выражения (1) найдём классы эквивалентности  $IND(A)$  и  $IND(C)$ , имеем:

$$IND(A) = \{\{x_1\}, \{x_2, x_6\}, \{x_3\}, \{x_4\}, \{x_5\}, \{x_7\}, \{x_8\}\};$$

$$IND(C) = \{\{x_1, x_2, x_4, x_5\}, \{x_3, x_6, x_7, x_8\}\}.$$

Классификация элементов  $U$  на основании отношения эквивалентности  $IND(C)$  (классы режимов эксплуатации ПК), формирует два множества, обозначим их как  $X_1 = \{x_1, x_2, x_4, x_5\}$  и  $X_2 = \{x_3, x_6, x_7, x_8\}$ . Можно видеть, что множества  $X_1$  и  $X_2$  не могут быть выражены как объединением некоторых элементарных категорий из  $IND(A)$  и, исходя из определения в ТГМ, являются грубыми,

На следующем этапе, используя выражения (2), (3), (4), определим верхние и нижние аппроксимации множеств  $X_1$  и  $X_2$ , определим оценки точности аппроксимации и положительные области:

$$\underline{AX}_1 = \{x_1, x_4, x_5\} = POS_A(X_1); \overline{AX}_1 = \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\};$$

$$\alpha_A(X_1) = \frac{3}{5} * 100\% = 60\%$$

$$\underline{AX}_2 = \{x_3, x_7, x_8\} = POS_A(X_2); \overline{AX}_2 = \{x_3, x_2, x_6, x_7, x_8\};$$

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

$$POS_A(X) = POS_A(X_1) \cup POS_A(X_2)$$

Полученные результаты свидетельствуют о том, что по представленным данным таблицы 2, техническое состояние ПК на 60% соответствует 2 и 3 классу эксплуатации и соответствует ситуации появления равноудалённых прецедентов в методе ближайшего соседа.

На завершающем этапе, воспользуемся выражениями (5), (6) для определения важности параметров прецедента:

$$\gamma_A(X) = \frac{cardPOS_A(X)}{cardU} = 0.75 * 100\% = 75\% ;$$

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

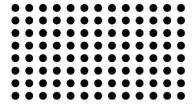
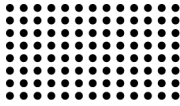
$$\Delta_{f_1} = 0; \Delta_{f_2} = 0.125; \Delta_{f_3} = 0; \Delta_{f_4} = 0; \Delta_{f_5} = 0; \Delta_{f_6} = 0.$$

Приведённые результаты свидетельствуют о том, что отсутствие или изменение значения параметра  $f_2$  (квалификация докера-механизатора) может повлиять на классификацию технического состояния ПК. Значение степени важности данного параметра (весовой коэффициент) – 12,5%.

Таким образом, в качестве рекомендаций ЛПР можно предоставить следующее: в данном примере эксперты установили, что техническое состояние ПК в равной степени может принадлежать 2 и 3 классу режиму эксплуатации. Повлиять на принадлежность (повысить или понизить точность классификации) технического состояния ПК к этим классам может изменение фактора  $f_2$ .

### ВЫВОДЫ

Рассмотрен подход определения важности параметров прецедентов с применением теории грубых множеств, в процессе поиска прецедентов в БП при реализации проектов технической диагностики ПК. Предложенный подход позволяет без активного привлечения эксперта устанавливать зависимости классификации технической состояний ПК на основе всего



множества параметров прецедентов от классификации на основе классов режимов эксплуатации. Так же изложенный подход позволяет определить значение степени относительной важности отдельно взятых параметров прецедентов. Рассмотренный пример легко реали-

зуется в программном отношении и может быть полезными при создании СППР для формирования рекомендаций ЛПР.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Organizatsiyno-metodichniy dokument: OMD 22460848.003-2012. Krani portalni, krani-perevantazhuvachl. Ekspertne obstezhennya: proekt. – KiYiv: [b. v.], 2012. – 136 s.
2. Varshavskiy P. R. Metodyi pravdopodobnyih rassuzhdeniy na osnove analogiy i pretsedentov dlya intellektualnyih sistem podderzhki prinyatiya resheniy/ Varshavskiy P. R., Ereemeev A. P. // novosti iskusstvennogo intellekta. – 2006. – #3. – S. 39–62.
3. Varshavskiy P. R. Mehanizmyi pravdopodobnyih rassuzhdeniy na osnove pretsedentov (nakoplennoy opyita) dlya sistem ekspertnoy diagnostiki// Trudyi 11-y natsionalnoy konferentsii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnyim uchastiem (Dubna, 28 sentyabrya – 3 oktyabrya 2008 g.). – M: URSS, 2008. – T. 2. – S. 106 – 113.
4. Klimchuk S. A. Primenenie pretsedentov dlya diagnostiki kranov mostovogo tipa [Elektronnyy resurs] / S. A. Klimchuk // Sistemni doslzhennya ta Informatsyni tehnologiyi. – 2012. – # 4. – S. 17-22. – Rezhim dostupa: <http://journal.iasa.kpi.ua/arhiv/2012/No4/2012-n4-klimchuk-text>.
5. Sherstyuk V. G. Formalnaya model gibridnoy stsenarno-pretsedent-noy SPPr / V. F. Sherstyuk // Informatsionno-upravlyayuschie kompleksy i sistemy, 2004. – #1 (13). – S. 1–11.
6. Pawlak Z. Rough Sets Theoretical Aspects of Reasoning about Data / Z. Pawlak. – Boston; London: Academic Publishers, 1991. – 229 p.
7. Uzga-Rebrovs O. Nenoteiktibu parvaldisana / O. Uzga-Rebrovs. – Rezekne: RA Izdevnieciba. 2010. – vol. 3. – 560 lpp.