

УДК 004.82
К 56

PRESENTATION OF PRECEDENTS IN DECISION SUPPORT SYSTEM KNOWLEDGE BASE UNDER DIAGNOSIS OF PORTAL CRANES ON THE BASIS OF THE ROUGH SETS THEORY

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ В БАЗЕ ЗНАНИЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРУБЫХ МНОЖЕСТВ

DOI 10.1004/978-2-321-97836-0

Igor I.
Kovalenko

Коваленко
Игорь
Иванович

Igor I. Kovalenko

И. И. Коваленко, д-р техн. наук, проф.

igor.kovalenko@nuos.edu.ua

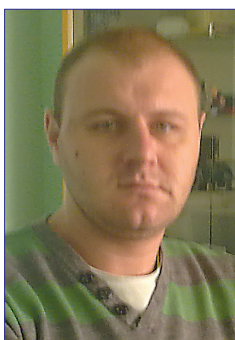
ORC ID: 0000-0003-2655-6667

Anton V. Melnik

А. В. Мельник, аспирант

anton.melnyk@nuos.edu.ua

ORC ID: 0000-0002-6636-534X



Anton V.
Melnik

Мельник
Антон
Виталиевич

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, г. Николаев

Abstract. Decision Support System (DSS) is a computer automated system aimed of the formation of recommendations to the decision maker in difficult conditions of uncertainties. The main element of the DSS is a knowledge base (KB) built on the basis of the precedents reasoning technique and on the efficient use of existing accumulated experience presented as a precedents base. To solve the problem of compact representation of a precedent in the formation of the BP for the first time there is provided to use the rough sets theory (RST). This article discusses the RST conceptual foundations, presents its basic definitions and terms, considers the basic operational states of portal crane (PC), their diagnostic criteria, which define the technical position of the cranes. Using the example of the BP formation for the DSS for the diagnosis of the portal crane (PC) the procedures of the elementary and fundamental categories formation, equivalence classes based on the diagnostic parameters of the PC are demonstrated. Similarly, the procedure for determination of the upper and lower approximation, the boundary region of the target (rough) set and the assessment of accuracy and roughness of such sets are considered. This approach allows to perform a kind of "inaccurate" classification, which in practice may appear more real than the inability to perform the accurate classification.

Keywords: portal crane, a decision support system, the theory of rough sets, a precedent.

Аннотация. Предложен новый подход к представлению базы знаний системы поддержки принятия решений при диагностике портальных кранов на основе метода рассуждений по прецедентам с применением теории грубых множеств. Рассмотрен ряд примеров практической реализации данного подхода.

Ключевые слова: портальный кран, система поддержки принятия решений, теория грубых множеств, прецедент.

Анотація. Запропоновано новий підхід до подання бази знань системи підтримки прийняття рішень під час діагностики портальних кранів на основі методу міркувань по прецедентах із застосуванням теорії грубих множин. Розглянуто ряд прикладів практичної реалізації даного підходу.

Ключові слова: портальний кран, система підтримки прийняття рішень, теорія грубих множин, прецедент.

References

Gavrilova, T.A., Khoroshevskiy, V.F. *Bazy znaniy intellektualnykh system* [Knowledge Bases of Intelligent Systems]. St. Petersburg, Piter Publ., 2001. 384 p.

Klimchuk, S.A., Klimchuk, A.S. *Metod poiska pretsedentov diagnostiki kranov mostovogo tipa* (Method of Precedents Searching of Bridge Type Cranes Diagnosis). Available at: http://archive.nbu.gov.ua/portal/Soc_Gum/VSunU/2010_10_2/Klimchuk.pdf. (Accessed 15 January, 2013).

Klimchuk, S. A. Primenenie pretsedentov dlya diagnostiki kranov mostovogo tipa (Application of Precedents for Bridge Type Cranes Diagnosis). *Sistemnye issledovaniya i informatsionnye tekhnologii — System Research and Information Technologies*, 2012, no. 4, pp. 17-22. Available at: <http://journal.iasa.kpi.ua/arhiv/2012/No4/2012-n4-klimchuk-text>. (Accessed 17 January, 2013)

Klimchuk, S. A. Razrabotka SPPR tekhnicheskoy diagnostiki kranov mostovogo tipa na osnove pretsedentov (Development of DSS of Technical Diagnosis of Bridge Type Cranes on the Basis of Precedents). Available at http://archive.nbuv.gov.ua/portal/Soc_Gum%20VSUNU/2010_2/Klimchuk.pdf. (Accessed 17 January, 2013).

Organizatsiino-metodychnyi dokument: OMD 22460848.003-2012. *Krany portalni, krani-perevantazhuvachi. Ekspertne obstezhennia* [Organizational and Methodical Document: OMD 22460848.003-2012. Portal cranes, cranes-conveyors. Expert inspection]. Kyiv, 2012

Sherstuk, V. G. Formalnaya model gibridnoy stsenarno-pretsedentnoy SPPR [Formal Model of Hybrid Case-Scenario DSS]. *Informatsionno-upravlyaushchie komplekсы i systemy — Information management complex and systems*, 2004, vol. 1, no. 13, pp. 1–11.

Uzhga-Rebrov, O. Knowledge Representing Features in Rough Sets Theory. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference, 2009, vol. 2. Available at http://zdb.ru.lv/conferences/2/II_169-176_Rebrovs.pdf. (Accessed 15 May, 2013).

Pawlak Z. *Rough Sets Theoretical Aspects of Reasoning about Data*. Boston; London, Academic Publishers Publ., 1991. 229 p.

Uzga-Rebrovs O. *Nenoteiktibu parvaldisana*. Rezekne, RA Izdevnieciba Publ., 2010, vol. 3, 560 pp.

Problem statement. Study of the dynamics of the technical condition of lifting machines (LM) in marine and river ports in the process of their operation shows that they subject to the influence of a number of factors (technical, natural, human, goods characteristics and other) which can negatively affect their operation capability and lead to various losses [4]. To prevent accident situations all the LM subject to the expert examination (diagnosis) in accordance with the organizational and methodical documents (OMD)[5].

The number of LM parameters to be diagnosed leads to the large amounts of heterogeneous and semi-structured data which requires processing and analysis to make recommendations to a decision-making person (DMP). It requires the problem solution of automation of such processes, especially, the development of decision support systems (DSS) where knowledge bases (KB) shall be a key element.

It should be noted that modern and widely used methods of representation and displaying of knowledge in the KB of a DSS (production rules, semantic networks, frame-based models, etc.) along with the positive properties have a number of disadvantages. The following disadvantages can be: to perform these methods the strict models of knowledge representation are required which force developers to combine and cut the real knowledge of experts, non-compactness of their representation in the KB. The knowledge of LM covers a wide range of subject areas and, as a rule, has descriptive nature. As the result, experts with extensive experience, but unfamiliar with the methods of the artificial intelligence, can justify the decision “by analogy” with events taking place earlier which led to LM breakdown. This approach

Постановка проблемы. Исследование динамики технического состояния грузоподъемных машин (ГПМ) в морских и речных портах в процессе их эксплуатации показывает, что они подвержены влиянию ряда факторов (технических, природных, человеческих, характеристик грузов и др.), которые могут негативно влиять на их работоспособность и приводить к различным потерям [4]. Для предотвращения аварийных ситуаций все ГПМ подвергаются экспертному обследованию (диагностированию) в соответствии с принятыми организационно-методическими документами (ОМД) [5].

Число параметров ГПМ, подлежащих диагностированию, приводит к получению больших объемов неоднородной и слабо структурированной информации, которая требует обработки и анализа для подготовки рекомендаций лицу, принимающему решение (ЛПР). Это требует решения задачи автоматизации таких процессов, и в частности, разработки систем поддержки принятия решений (СППР), основным элементом которых является база знаний (БЗ).

Следует отметить, что современные и широко используемые методы представления и вывода знаний в БЗ СППР (продукционные правила, семантические сети, фреймовые модели и др.) наряду с положительными свойствами имеют и ряд недостатков. К их числу можно отнести следующие: для реализации перечисленных методов требуются строгие модели представления знаний, что заставляет разработчиков объединять и урезать реальные знания экспертов; некомпактность их представления в БЗ. Знания о ГПМ охватывают широкий круг предметных областей и, как правило, носят описательный характер. В связи с этим специалисты, обладающие большим опытом работы, но не знакомые с методами искусственного интеллекта, могут обосновать принятие решения «по аналогии» с ранее происходившими явлениями, которые привели к выходу ГПМ из

based on the efficient use of the existing experience, has been developed and formalized within the scientific field — the method of reasoning based on the precedents (CBR — Case-Based Reasoning). The formation of KB — precedent base (PB) for the DSS using the classical methods of knowledge output, as noted above, has led to certain difficulties. The approach to build PB on the basis of a rough set theory (RST), thus, seems to be prospective [7].

Analysis of recent research and publications. Recently a number of publications [2, 3, 4, etc.] has appeared devoted to evaluating the technical condition of the PMG on the basis of the precedent method for development of knowledge bases of the DSS. Study [4] describes a method for representing a precedent in a form of a set of parameters with specific values and a solution:

$$PRECEDENT(\text{case})(x_1, x_2, \dots, x_n, R). \quad (1)$$

where x_1, \dots, x_n are the parameters of situations which describe this precedent, ($x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$); R are DMP recommendations; X_1, \dots, X_n is an acceptable area of precedent corresponding parameters; n is an amount of precedent parameters.

Study [6] is devoted to the development of a formal model of a hybrid scenery and precedent DSS designed for operation in dynamic domains.

The main task being solved in the formation of a PB is to design the tools of their compact representation and search. The existing solutions of these problems (for example: the representation of precedents using the frame model or their search using the nearest neighbor method [2]), also have some disadvantages noted in a number of publications [1, 6].

However, lately, the rough set theory (RST) has been developed which usage for KB (PB) formation can minimize some disadvantages listed above.

The aim of the work is to develop an approach of knowledge representation (formation) in the precedent base using the rough set theory for the DSS in terms of the diagnosis of crane portal loaders (CPL).

Basic material. Let's consider the basic provisions of the RST according to their representation in studies [7, 8] and keeping to accepted terms and concepts.

The knowledge base is defined as $K = (U, R)$, where U is a universum of elements, R is a relation of equivalence on the basis of which the classes of U elements equivalence (category) can be stated which are denoted via $IND(R)$. Each category includes the elements which have the same values of classification features (attributes). The elements in each category are indistinguishable.

Let the elements of the universum be classified into the categories on the basis of equivalence relation R .

рабочего состояния. Такой подход, основанный на эффективном использовании существующего опыта, был развит и формализован в рамках научного направления — метод рассуждения на основе precedентов (CBR — Case-Based Reasoning). Формирование БЗ — базы precedентов (БП) для СППР с использованием классических методов вывода знаний, как было отмечено выше, влечет за собой определенные сложности. В этой связи перспективным видится подход к построению БП на основе применения теории грубых множеств (ТГМ) [7].

Анализ последних исследований и публикаций. В последние годы появился ряд научных публикаций [2–4 и др.], посвященных оцениванию технического состояния ГПМ на основе метода precedентов для построения баз знаний СППР. В работе [4] описан метод представления precedentа в виде набора параметров с конкретными значениями и решениями:

$$ПРЕЦЕДЕНТ(\text{case})(x_1, x_2, \dots, x_n, R). \quad (1)$$

В (1) x_1, \dots, x_n — параметры ситуаций, описывающие данный precedent ($x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$); R — рекомендации ЛПР; X_1, \dots, X_n — область допустимых значений соответствующих параметров precedentа; n — количество параметров precedentа.

Разработке формальной модели гибридной сценарно-precedентной СППР, предназначенной для функционирования в динамичных предметных областях, посвящена работа [6].

Основными задачами, которые решаются при формировании БП, является создание инструментальных средств их компактного представления и поиска. Существующие решения указанных задач (например, представление precedентов фреймовыми моделями или их поиск с использованием метода ближайшего соседа [2]) также не лишены недостатков, отмеченных в ряде публикаций [1, 6].

Вместе с тем в последние годы получила развитие теория грубых множеств, применение которой при формировании БЗ (БП) может в определенной мере минимизировать перечисленные недостатки.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является разработка подхода представления (формирования) знаний в базе precedентов с применением теории грубых множеств для СППР при диагностике кранов порталных перегружателей (КПП).

Изложение основного материала. Предварительно рассмотрим основные положения ТГМ согласно их изложению в работах [7, 8] и придерживаясь принятых в них терминов и понятий.

База знаний определяется как $K = (U, R)$, где U — универсум элементов; R — отношение эквивалентности, на основе которого могут быть выделены классы эквивалентности (категории) элементов U , обозначаемые через $IND(R)$. В каждую категорию включаются элементы, которые имеют одинаковые значения классификационных признаков (атрибутов). Внутри каждой категории элементы считаются неразличимыми.

If the goal set of elements is $X \in U$, then relatively to the $IND(R)$ classification the following situations can be considered:

1. The set X is a union of some categories from $IND(R)$. In this case the set X is called R -rough.

2. The set X can not be expressed as a union of some categories $IND(R)$. In this case the set X is called R -rough.

R -lower approximation of the X rough set is called a subset of its elements which can be classified as the ones which belong to the X on the basis of $IND(R)$ classification:

$$\underline{R}X = \cup\{Y \in IND(R) : Y \subseteq X\}. \quad (2)$$

R -upper approximation of the X rough set is called a subset of its elements which probably belong to the X :

$$\overline{R}X = \cup\{Y \in IND(R) : Y \cap X \neq \emptyset\}. \quad (3)$$

R -lower approximation of the X goal set is called R -positive part of X :

$$POS_R(X) = \underline{R}X. \quad (4)$$

The X negative area is called a subset of universum elements which do not definitely belong to the X :

$$NEG_R(X) = U - \overline{R}X. \quad (5)$$

The X boundary area is called a subset of its elements which belong to the R of upper approximation, but do not belong to the R of lower approximation:

$$BN_R(X) = \overline{R}X - \underline{R}X. \quad (6)$$

According to (4)–(6) the following conditions can be written:

1. The element x of the X goal set is called R -positive if $x \in POS_R(X)$;

2. The element x is called R -negative if $x \in NEG_R(X)$;

3. The element x is called an R -boundary element of X if $x \in BN_R(X)$.

As the rough sets model the uncertainty relatively to the belonging of some universum elements to the defined goal set, then for the numerical evaluation of the degree of this uncertainty the evaluation of the approximation accuracy is introduced:

$$\alpha_R(X) = \frac{\text{card}\underline{R}X}{\text{card}\overline{R}X}, \quad X \neq \emptyset, \quad (7)$$

where the card is a cardinal number (measure) of $\underline{R}X$ and $\overline{R}X$ sets.

This evaluation reflects the completeness of the existing knowledge and is located in the interval $\alpha_R(X) \in [0, 1]$.

If the R -boundary area of the X set is empty, that is $\underline{R}X = \overline{R}X$, then $\alpha_R(X) = 1$ and the X set is R -defined.

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 $IND(R)$:

$$\underline{R}X = \cup\{Y \in IND(R) : Y \subseteq X\}. \quad (2)$$

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

$$\overline{R}X = \cup\{Y \in IND(R) : Y \cap X \neq \emptyset\}. \quad (3)$$

R -нижнюю аппроксимацию целевого множества X называют R -положительной областью X :

$$POS_R(X) = \underline{R}X. \quad (4)$$

Отрицательной областью X называется подмножество элементов универсума, которые определенно не принадлежат X :

$$NEG_R(X) = U - \overline{R}X. \quad (5)$$

Граничной областью X называется подмножество его элементов, которые принадлежат R -верхней аппроксимации, но не принадлежат R -нижней аппроксимации:

$$BN_R(X) = \overline{R}X - \underline{R}X. \quad (6)$$

В соответствии с (4)–(6) можно записать следующие условия:

1. Элемент x целевого множества X называется R -положительным, если $x \in POS_R(X)$;

2. Элемент x называется R -отрицательным, если $x \in NEG_R(X)$;

3. Элемент x называется R -граничным элементом X , если $x \in BN_R(X)$.

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:

$$\alpha_R(X) = \frac{\text{card}\underline{R}X}{\text{card}\overline{R}X}, \quad X \neq \emptyset, \quad (7)$$

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

Данная оценка отражает степень полноты существующих знаний и располагается в интервале $\alpha_R(X) \in [0, 1]$.

Если R -граничная область множества X пуста, т. е. $\underline{R}X = \overline{R}X$, то $\alpha_R(X) = 1$ и множество X является R -определимым.

If the R -boundary area of X is not empty, that is $RX \neq \overline{RX}$ and $cardRX > card\overline{RX}$, then $\alpha_R(X) < 1$. These values $\alpha_R(X)$ characterize the R -undefined (rough sets).

Alternatively to the assessment (7) the roughness evaluation of the X goal set has been introduced:

$$\rho_R(X) = 1 - \alpha_R(X). \quad (8)$$

This evaluation characterizes the degree of incompleteness of the existing knowledge.

The method of knowledge representation using the RST is based on the fact that knowledge is reflected in the division (classification) of relevant elements. This division can be understood as the semantics of knowledge representation. However, in order to successfully identify the semantics of knowledge, that knowledge should be represented in an appropriate syntactic form. This form is a data table which rows correspond to the elements (objects) and columns — features (attributes) of these objects.

Let's consider the process of knowledge representation using the RST on the example of expert evaluation of portal crane. It is known that the portal crane can be in 3 operational conditions: "Do not stop/Operation", "Do not stop/Unit repair", "Stop/Capital repair". These conditions within the OMD [5] correspond to the following terminology: operative (the state of the crane in which it corresponds to all the requirements of the standard and (or) construction (design) documentation); faulty (the state of the crane in which it does not correspond at least to one of the requirements of the standard and (or) construction (design) documentation); non-operative (the state of the crane in which the value of at least one parameter describing its ability to perform specified functions does not correspond to the requirements of the standard and (or) construction (design) documentation). These states of the portal crane can correspond to the expert assessment in the verbal scale with the following gradations: $B_1 = 0$ — "excellent" (operative); $B_2 = 1$ — "good" (faulty); $B_3 = 2$ — "bad" (non-operative).

Table 1 shows the results of 10 examinations of the LM which were carried out with regular intervals by the

Если R -границная область X не пуста, т.е. $RX \neq \overline{RX}$ и $cardRX > card\overline{RX}$ то $\alpha_R(X) < 1$. Такие значения $\alpha_R(X)$ характеризуют R -неопределимые, грубые множества.

Альтернативно оценке (7) была введена оценка грубости целевого множества X :

$$\rho_R(X) = 1 - \alpha_R(X). \quad (8)$$

Данная оценка характеризует степень неполноты существующих знаний.

Метод представления знаний с помощью ТГМ основан на том, что знания отражаются в разделении (классификации) релевантных элементов. Такое разделение может пониматься как семантика представления знаний. Однако чтобы успешно выявить семантику знаний, эти знания должны быть представлены в подходящей синтаксической форме. Такой формой является таблица данных, строки которой соответствуют элементам (объектам), а столбцы — признакам (атрибутам) этих объектов.

Рассмотрим процедуру представления знаний с использованием ТГМ на примере экспертного оценивания порталного крана. Известно, что порталный кран может пребывать в трех эксплуатационных состояниях: «Не остановка/Работа», «Не остановка/Агрегатный ремонт», «Остановка/Капитальный ремонт». Эти состояния в рамках ОМД [5] соответствуют следующей терминологии: исправный (состояние крана, при котором он соответствует всем требованиям нормативной и (или) конструкторской (проектной) документации); неисправный (состояние крана, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативной и (или) конструкторской (проектной) документации); неработоспособный (состояние крана, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего его способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативной и (или) конструкторской (проектной) документации). Такие состояния порталного крана могут соответствовать экспертным оценкам в вербальной шкале со следующими градациями: $B_1 = 0$ — «отлично» (исправный); $B_2 = 1$ — «хорошо» (неисправный); $B_3 = 2$ — «плохо» (неработоспособный).

В табл. 1 представлены результаты десяти осмотров ГПМ, которые проводились с определенной

Table 1. The Evaluation of LM Elements Technical State

Таблица 1. Оценки технического состояния элементов ГПМ

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}
X_1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
X_2	0	0	1	2	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1
X_3	1	1	0	1	2	0	2	0	0	1	1	2	0	1	2
X_4	2	0	2	0	1	2	1	0	2	0	0	0	2	2	0
X_5	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
X_6	2	0	2	0	1	2	1	0	0	2	2	2	2	2	0
X_7	0	0	1	2	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1
X_8	1	2	0	0	0	0	2	2	2	0	2	0	0	2	2
X_9	0	0	1	2	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1
X_{10}	1	1	0	1	2	0	2	0	0	1	1	2	0	1	2

expert group, set in the U universe, consisting of $n = 10$ elements (experts) x_i , ($i = 1, n$), that is $U = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_{10}\}$. While examining each of the experts evaluates 15 parameters $A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_{15}\}$:

Metal structures (MS): of a boom (A_1), a counterweight arm (A_2), the tough guy lines (A_3), a column (topside) (A_4), an arm (A_5), a traction counterweight (A_6), a portal (A_7);

Drive mechanisms (DM): of lift (A_8), rotation (A_9), movement (A_{10}), luffing (A_{11});

Electrical machinery (EM): of lift (A_{12}), rotation (A_{13}), movement (A_{14}), luffing (A_{15}).

Let's form the distribution of U elements into elementary and generalized category using the equivalence relations $R_1, R_2, R_3, \dots, R_{15}$ for each of the attributes $\{A_1, A_2, A_3, \dots, A_{15}\}$. For clarity, let's form an elementary and generalized category on the basis of equivalence relations R_1 with explanations. We have:

Observations when the state of the MS of the boom – operative: $\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$;

Observations when the state of the MS of the boom – faulty: $\{x_3, x_8, x_{10}\}$;

Observations when the state of the MS of the boom – non-operative: $\{x_4, x_6\}$.

The division given above is elementary and under the RST terminology has the following form: $R_1: \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_4, x_6\}$ (this form will be used in other divisions). And the generalized elementary category will have the following form — $U/R_1: \{\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_4, x_6\}\}$.

Next, we shall reduce the remaining divisions of the elements into elementary and generalized categories:

$R_2: \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_8\}$;
 $U/R_2: \{\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_8\}\}$;
 $R_3: \{x_1, x_3, x_5, x_8, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}$;
 $U/R_3: \{\{x_1, x_3, x_5, x_8, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}\}$;
 $R_4: \{x_4, x_6, x_8\}, \{x_1, x_3, x_5, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}$;
 $U/R_4: \{\{x_4, x_6, x_8\}, \{x_1, x_3, x_5, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}\}$;
 $R_5: \{x_2, x_7, x_8, x_9\}, \{x_1, x_4, x_5, x_6\}, \{x_3, x_{10}\}$;
 $U/R_5: \{\{x_2, x_7, x_8, x_9\}, \{x_1, x_4, x_5, x_6\}, \{x_3, x_{10}\}\}$;
 $R_6: \{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}$;
 $U/R_6: \{\{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}\}$;
 $R_7: \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}, \{x_3, x_8, x_{10}\}$;
 $U/R_7: \{\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}, \{x_3, x_8, x_{10}\}\}$;
 $R_8: \{x_1, x_3, x_4, x_5, x_6, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_8\}$;
 $U/R_8: \{\{x_1, x_3, x_4, x_5, x_6, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_8\}\}$;
 $R_9: \{x_3, x_6, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_8\}$;
 $U/R_9: \{\{x_3, x_6, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_8\}\}$;
 $R_{10}: \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_6\}$;
 $U/R_{10}: \{\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_6\}\}$;
 $R_{11}: \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_6, x_8\}$;
 $U/R_{11}: \{\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_6, x_8\}\}$;
 $R_{12}: \{x_1, x_4, x_5, x_8\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_3, x_6, x_{10}\}$;
 $U/R_{12}: \{\{x_1, x_4, x_5, x_8\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_3, x_6, x_{10}\}\}$;

периодичностью экспертной группой, заданной в виде универсума U , состоящего из $n = 10$ элементов (экспертов) x_i , ($i = 1, n$), т. е. $U = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_{10}\}$. При осмотре каждый из экспертов оценивает 15 параметров $A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_{15}\}$:

металлоконструкции (МК): стрелы (A_1), рычага противовеса (A_2), жесткой оттяжки (A_3), колонны (верхнее строение) (A_4), хобота (A_5), тяги противовеса (A_6), портала (A_7);

приводов механизмов (ПМ): подъема (A_8), поворота (A_9), передвижения (A_{10}), изменения вылета стрелы (A_{11});

электрооборудования механизмов (ЭМ): подъема (A_{12}), поворота (A_{13}), передвижения (A_{14}), изменения вылета стрелы (A_{15}).

Сформируем разделение элементов U на элементарные и обобщенные категории, используя отношения эквивалентности $R_1, R_2, R_3, \dots, R_{15}$ по каждому из признаков $\{A_1, A_2, A_3, \dots, A_{15}\}$. Для наглядности сформируем элементарную и обобщенную категории на основе отношения эквивалентности R_1 с пояснениями. Имеем:

наблюдения, при которых состояние МК стрелы исправное: $\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$;

наблюдения, при которых состояние МК стрелы неисправное: $\{x_3, x_8, x_{10}\}$;

наблюдения, при которых состояние МК стрелы неработоспособное: $\{x_4, x_6\}$.

Приведенное разделение является элементарным и в рамках терминологии ТГМ имеет следующую форму записи: $R_1: \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_4, x_6\}$ (эта форма будет использована в остальных разделениях). Обобщенная элементарная категория будет иметь следующий вид: $U/R_1: \{\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_4, x_6\}\}$.

Далее приведем оставшиеся разделения элементов на элементарные и обобщенные категории:

$R_2: \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_8\}$;
 $U/R_2: \{\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_8\}\}$;
 $R_3: \{x_1, x_3, x_5, x_8, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}$;
 $U/R_3: \{\{x_1, x_3, x_5, x_8, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}\}$;
 $R_4: \{x_4, x_6, x_8\}, \{x_1, x_3, x_5, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}$;
 $U/R_4: \{\{x_4, x_6, x_8\}, \{x_1, x_3, x_5, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}\}$;
 $R_5: \{x_2, x_7, x_8, x_9\}, \{x_1, x_4, x_5, x_6\}, \{x_3, x_{10}\}$;
 $U/R_5: \{\{x_2, x_7, x_8, x_9\}, \{x_1, x_4, x_5, x_6\}, \{x_3, x_{10}\}\}$;
 $R_6: \{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}$;
 $U/R_6: \{\{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}\}$;
 $R_7: \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}, \{x_3, x_8, x_{10}\}$;
 $U/R_7: \{\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}, \{x_3, x_8, x_{10}\}\}$;
 $R_8: \{x_1, x_3, x_4, x_5, x_6, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_8\}$;
 $U/R_8: \{\{x_1, x_3, x_4, x_5, x_6, x_{10}\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_8\}\}$;
 $R_9: \{x_3, x_6, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_8\}$;
 $U/R_9: \{\{x_3, x_6, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_8\}\}$;
 $R_{10}: \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_6\}$;
 $U/R_{10}: \{\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_6\}\}$;
 $R_{11}: \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_6, x_8\}$;
 $U/R_{11}: \{\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_6, x_8\}\}$;
 $R_{12}: \{x_1, x_4, x_5, x_8\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_3, x_6, x_{10}\}$;
 $U/R_{12}: \{\{x_1, x_4, x_5, x_8\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_3, x_6, x_{10}\}\}$;

$$R_{13}: \{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\};$$

$$U/R_{13}: \{\{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}\};$$

$$R_{14}: \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_4, x_6, x_8\};$$

$$U/R_{14}: \{\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_4, x_6, x_8\}\};$$

$$R_{15}: \{x_1, x_4, x_5, x_6\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_3, x_8, x_{10}\};$$

$$U/R_{15}: \{\{x_1, x_4, x_5, x_6\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_3, x_8, x_{10}\}\}.$$

The reduced calculations are shown in Table 2 in the specific order.

Let's form some main categories on the basis of equivalence crossings R_1 and R_2 due to the various values of attributes B_1, B_2, B_3 :

$$R_1 \cap R_2 : \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9\} =$$

$$_{A_1=A_2=0}$$

$$= \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}.$$

The formed category indicates that in terms of observation of $\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$ the state of the MS of the boom and the counterweight arm is operative:

$$R_1 \cap R_2 : \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_3, x_{10}\} = \emptyset.$$

$$_{A_1=0; A_2=1}$$

This crossing indicates that the initial universum does not have similar observations at which the state of MS boom is operative and the MS of the counterweight arm is faulty at the same moment.

$$R_1 \cap R_2 : \{x_3, x_8, x_{10}\} \cap \{x_8\} = \{x_8\} \text{ — the state of the}$$

$$_{A_1=1; A_2=2}$$

MS of the boom is faulty and the one of the counterweight arm is non-operative.

$$R_1 \cap R_2 : \{x_3, x_8, x_{10}\} \cap \{x_3, x_{10}\} = \{x_3, x_{10}\} \text{ — the state}$$

$$_{A_1=A_2=1}$$

of the MS of the boom and counterweight arm is faulty.

Let's form also some main categories on the basis of equivalence crossings R_1 and R_9 due to the various values of attributes B_1, B_2, B_3 :

$$R_{13}: \{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\};$$

$$U/R_{13}: \{\{x_3, x_8, x_{10}\}, \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_4, x_6\}\};$$

$$R_{14}: \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_4, x_6, x_8\};$$

$$U/R_{14}: \{\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}, \{x_3, x_{10}\}, \{x_4, x_6, x_8\}\};$$

$$R_{15}: \{x_1, x_4, x_5, x_6\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_3, x_8, x_{10}\};$$

$$U/R_{15}: \{\{x_1, x_4, x_5, x_6\}, \{x_2, x_7, x_9\}, \{x_3, x_8, x_{10}\}\}.$$

Приведенные выкладки в упорядоченном виде представлены в табл. 2.

Сформируем некоторые основные категории на основе пересечений эквивалентности R_1 и R_2 по различным значениям признаков B_1, B_2, B_3 :

$$R_1 \cap R_2 : \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9\} =$$

$$_{A_1=A_2=0}$$

$$= \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}.$$

Сформированная категория свидетельствует о том, что при наблюдениях $\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$ состояние МК стрелы и рычага противовеса исправное:

$$R_1 \cap R_2 : \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_3, x_{10}\} = \emptyset.$$

$$_{A_1=0; A_2=1}$$

Данное пересечение свидетельствует о том, что в исходном универсуме отсутствуют аналогичные наблюдения, при которых одновременно состояние МК стрелы исправное и МК рычага противовеса неисправное.

$$R_1 \cap R_2 : \{x_3, x_8, x_{10}\} \cap \{x_8\} = \{x_8\} \text{ — состояние МК}$$

$$_{A_1=1; A_2=2}$$

стрелы неисправное и рычага противовеса неработоспособное.

$$R_1 \cap R_2 : \{x_3, x_8, x_{10}\} \cap \{x_3, x_{10}\} = \{x_3, x_{10}\} \text{ — состояние}$$

$$_{A_1=A_2=1}$$

МК стрелы и рычага противовеса — неисправное.

Сформируем так же некоторые основные категории на основе пересечений эквивалентности R_1 и R_9 по различным значениям признаков B_1, B_2, B_3 :

Table 2. Elementary Categories of U Elements

Таблица 2. Элементарные категории элементов U

U/R	Operative ($B_1 = 0$) Исправный ($B_1 = 0$)	Faulty ($B_2 = 1$) Неисправный ($B_2 = 1$)	Non-operative ($B_3 = 2$) Неработоспособный ($B_3 = 2$)
U/R ₁	$\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$	$\{x_3, x_8, x_{10}\}$	$\{x_4, x_6\}$
U/R ₂	$\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_7, x_9\}$	$\{x_3, x_{10}\}$	$\{x_8\}$
U/R ₃	$\{x_1, x_3, x_5, x_8, x_{10}\}$	$\{x_2, x_7, x_9\}$	$\{x_4, x_6\}$
U/R ₄	$\{x_4, x_6, x_8\}$	$\{x_1, x_3, x_5, x_{10}\}$	$\{x_2, x_7, x_9\}$
U/R ₅	$\{x_2, x_7, x_8, x_9\}$	$\{x_1, x_4, x_5, x_6\}$	$\{x_3, x_{10}\}$
U/R ₆	$\{x_3, x_8, x_{10}\}$	$\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$	$\{x_4, x_6\}$
U/R ₇	$\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$	$\{x_4, x_6\}$	$\{x_3, x_8, x_{10}\}$
U/R ₈	$\{x_1, x_3, x_4, x_5, x_6, x_{10}\}$	$\{x_2, x_7, x_9\}$	$\{x_8\}$
U/R ₉	$\{x_3, x_6, x_{10}\}$	$\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$	$\{x_4, x_8\}$
U/R ₁₀	$\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9\}$	$\{x_3, x_{10}\}$	$\{x_6\}$
U/R ₁₁	$\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_9\}$	$\{x_3, x_{10}\}$	$\{x_6, x_8\}$
U/R ₁₂	$\{x_1, x_4, x_5, x_8\}$	$\{x_2, x_7, x_9\}$	$\{x_3, x_6, x_{10}\}$
U/R ₁₃	$\{x_3, x_8, x_{10}\}$	$\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$	$\{x_4, x_6\}$
U/R ₁₄	$\{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$	$\{x_3, x_{10}\}$	$\{x_4, x_6, x_8\}$
U/R ₁₅	$\{x_1, x_4, x_5, x_6\}$	$\{x_2, x_7, x_9\}$	$\{x_3, x_8, x_{10}\}$

$R_1 \cap R_9 : \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_3, x_6, x_{10}\} = \emptyset$ — the re-
 $A_1 = A_9 = 0$

result indicates that the initial universum does not have similar observations at which the state of the MS of the boom and the DM of the rotation is operative at the same moment.

$R_1 \cap R_9 : \{x_4, x_6\} \cap \{x_4, x_8\} = \{x_4\}$ — the state of the MS
 $A_1 = A_9 = 2$

of the boom and the DM of the rotation is non-operative.

$R_1 \cap R_9 : \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} =$
 $A_1 = 0; A_9 = 1$

$= \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$ — the state of the MS of the boom is operative and the DM of rotation is failed.

Let's form some more main categories on the basis of equivalence crossings R_8 and R_{15} due to the various values of attributes B_1, B_2, B_3 :

$R_8 \cap R_{15} : \{x_1, x_3, x_4, x_5, x_6, x_{10}\} \cap \{x_1, x_4, x_5, x_6\} =$
 $A_8 = A_{15} = 0$

$= \{x_1, x_4, x_5, x_6\}$ — the state of the DM of lift and the EM of luffing — operative.

$R_8 \cap R_{15} : \{x_2, x_7, x_9\} \cap \{x_2, x_7, x_9\} = \{x_2, x_7, x_9\}$ — the
 $A_8 = A_{15} = 1$

state of the DM of lift and the EM of luffing is faulty.

$R_8 \cap R_{15} : \{x_8\} \cap \{x_3, x_8, x_{10}\} = \{x_8\}$ — the state of the
 $A_8 = A_{15} = 2$

DM of lift and the EM of luffing is non-operative.

Let's form some more difficult main categories using equivalence crossings and unions R_7, R_{11}, R_{14} . For example:

$R_7 \cap (R_{11} \cup R_{14}) : \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap$
 $A_7 = A_{11} = 0; A_{14} = 1$

$\cap \{\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_9\} \cup \{x_3, x_{10}\}\} =$
 $= \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_7, x_9, x_{10}\} =$
 $= \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$ — the obtained result indicates that

some of the formed observations have probably the operative state of the DM of luffing and (or) the faulty state of the EM of movement, but the state of the MS of the column is operative under all these observations.

$R_{14} \cap (R_7 \cup R_{11}) : \{x_4, x_6, x_8\} \cap \{\{x_4, x_6\} \cup \{x_3, x_{10}\}\} =$
 $A_{14} = 2; A_7 = A_{11} = 1$

$= \{x_4, x_6, x_8\} \cap \{x_3, x_4, x_6, x_{10}\} = \{x_4, x_6\}$ — the state of the EM of movement is non-operative and the state of the MS of the column and (or) the DM of luffing is faulty.

$R_{11} \cap (R_7 \cup R_{14}) : \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_9\} \cap \{\{x_3, x_8, x_{10}\} \cup$
 $A_{11} = 0; A_7 = 1; A_{14} = 2$

$\cup \{x_3, x_{10}\}\} = \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_3, x_8, x_{10}\} = \emptyset$ — it indicates that there is no observations under which the state of the DM of luffing is operative and the state of

$R_1 \cap R_9 : \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_3, x_6, x_{10}\} = \emptyset$ — re-
 $A_1 = A_9 = 0$

зультат свидетельствует о том, что в исходном универсуме отсутствуют аналогичные наблюдения, при которых одновременно состояние МК стрелы и ПМ поворота исправное.

$R_1 \cap R_9 : \{x_4, x_6\} \cap \{x_4, x_8\} = \{x_4\}$ — состояние МК
 $A_1 = A_9 = 2$

стрелы и ПМ поворота неработоспособное.

$R_1 \cap R_9 : \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} =$
 $A_1 = 0; A_9 = 1$

$= \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$ — состояние МК стрелы исправное и ПМ поворота неисправное.

Сформируем еще некоторые основные категории на основе пересечений эквивалентности R_8 и R_{15} по различным значениям признаков B_1, B_2, B_3 :

$R_8 \cap R_{15} : \{x_1, x_3, x_4, x_5, x_6, x_{10}\} \cap \{x_1, x_4, x_5, x_6\} =$
 $A_8 = A_{15} = 0$

$= \{x_1, x_4, x_5, x_6\}$ — состояние ПМ подъема и ЭМ изменения вылета стрелы (ИВС) исправное.

$R_8 \cap R_{15} : \{x_2, x_7, x_9\} \cap \{x_2, x_7, x_9\} = \{x_2, x_7, x_9\}$ — со-
 $A_8 = A_{15} = 1$

стояние ПМ подъема и ЭМ ИВС — неисправное.

$R_8 \cap R_{15} : \{x_8\} \cap \{x_3, x_8, x_{10}\} = \{x_8\}$ — состояние ПМ
 $A_8 = A_{15} = 2$

подъема и ЭМ ИВС — неработоспособное.

Сформируем несколько более сложных основных категорий с использованием пересечений и объединений эквивалентности R_7, R_{11}, R_{14} . Например:

$R_7 \cap (R_{11} \cup R_{14}) : \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap$
 $A_7 = A_{11} = 0; A_{14} = 1$

$\cap \{\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_9\} \cup \{x_3, x_{10}\}\} =$
 $= \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_7, x_9, x_{10}\} =$
 $= \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_9\}$ — полученный результат свиде-

тельствует о том, что в некоторых из сформированных наблюдений возможно состояние ПМ ИВС — исправное и (или) ЭМ передвижения — неисправное, но состояние МК колонны исправное при всех этих наблюдениях.

$R_{14} \cap (R_7 \cup R_{11}) : \{x_4, x_6, x_8\} \cap \{\{x_4, x_6\} \cup \{x_3, x_{10}\}\} =$
 $A_{14} = 2; A_7 = A_{11} = 1$

$= \{x_4, x_6, x_8\} \cap \{x_3, x_4, x_6, x_{10}\} = \{x_4, x_6\}$ — состояние ЭМ передвижения неработоспособное и МК колонны и (или) МП ИВС неисправное.

$R_{11} \cap (R_7 \cup R_{14}) : \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_9\} \cap \{\{x_3, x_8, x_{10}\} \cup$
 $A_{11} = 0; A_7 = 1; A_{14} = 2$

$\cup \{x_3, x_{10}\}\} = \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_9\} \cap \{x_3, x_8, x_{10}\} = \emptyset$ — свидетельствует о том, что отсутствуют наблюдения, при которых состояние ПМ ИВС исправное и МК портала неисправное и (или) ЭМ передвижения неработоспособное.

the MS of the portal is faulty and (or) the EM of movement — non-operative.

Thus, the formation of various categories on the particular U universum allows getting the family of equivalence relations which will define the knowledge base on U .

Let's look at Table 1 and select the E equivalence classes (the main categories) based on the values of all 15 classifications:

$$E_1 = \{x_1, x_5\}; E_2 = \{x_2, x_7, x_9\}; E_3 = \{x_3, x_{10}\}; \\ E_4 = \{x_4\}; E_5 = \{x_6\}; E_6 = \{x_8\}.$$

Let as the result of reevaluation two classes of expert assessment were formed represented by the goal subsets $X_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; X_1 \subseteq U$ and $X_2 = \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_8\}; X_2 \subseteq U$ which shall be checked for R -definability (R -indefinability).

The first X_1 set can be represented as a union of main categories E_1, E_4 and E_6 , that is $X_1 = E_1 \cup E_4 \cup E_6 = \{x_1, x_5\} \cup \{x_4\} \cup \{x_8\} = \{x_1, x_4, x_8, x_5\}$. That's why X_1 is R -defined or R -faithful.

The X_2 set includes all the elements of main categories E_1, E_4, E_6 and one element from the category E_2 : x_2 , but not all the elements of this category. That's why X_2 is R -undefined or R -rough.

Using statements (2, 3) let's represent X_1 and X_2 goal sets in the following form:

$$\underline{R}X_1 = \overline{R}X_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \\ POSR(X_1) = \underline{R}X_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \\ NEG_R(X_1) = U - \overline{R}X_1 = \{x_2, x_3, x_6, x_7, x_9, x_{10}\}; \\ BN_R(X_1) = \overline{R}X_1 - \underline{R}X_1 = \emptyset; \\ \underline{R}X_2 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \\ \overline{R}X_2 = \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9\}; \\ POS_R(X_2) = \underline{R}X_2 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \\ NEG_R(X_2) = U - \overline{R}X_2 = \{x_3, x_6, x_{10}\}; \\ BN_R(X_2) = \overline{R}X_2 - \underline{R}X_2 = \{x_2, x_7, x_9\}.$$

For the considered $X_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}$ and $X_2 = \{x_1, x_2, x_4, x_5\}$ goal sets let's calculate the assessments (7) and (8):

$$\underline{R}X_1 = \overline{R}X_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \alpha_R(X_1) = 1; \rho_R(X_1) = 0; \\ \underline{R}X_2 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \overline{R}X_2 = \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9\}; \\ \alpha_R(X_2) = 4/7; \rho_R(X_1) = 1 - 4/7 = 3/7.$$

CONCLUSION. 1. The approach of knowledge base formation which is based on procedures of precedents using the rough set theory has been considered. These precedents are used in the diagnostic checks of portal port cranes, and as the result the information about control results on the various parameters and characteristics of such mechanisms is accumulated. 2. The proposed approach allows handling with inaccurate (rough) knowledge in terms of their classification which

Таким образом, формирование различных категорий на определенном универсуме U позволяет получить семейство отношений эквивалентности, которое будет определять базу знаний на U .

Обратимся снова к табл. 1 и выделим классы эквивалентности E (основные категории), руководствуясь значениями всех пятнадцати классификационных признаков:

$$E_1 = \{x_1, x_5\}; E_2 = \{x_2, x_7, x_9\}; E_3 = \{x_3, x_{10}\}; \\ E_4 = \{x_4\}; E_5 = \{x_6\}; E_6 = \{x_8\}.$$

Пусть в результате повторных осмотров сформировались два класса экспертных оценок, представленных целевыми подмножествами $X_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; X_1 \subseteq U$ и $X_2 = \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_8\}; X_2 \subseteq U$, которые нужно проверить на R -определимость (R -неопределимость).

Первое множество X_1 может быть однозначно представлено как объединение основных категорий E_1, E_4 и E_6 , т. е. $X_1 = E_1 \cup E_4 \cup E_6 = \{x_1, x_5\} \cup \{x_4\} \cup \{x_8\} = \{x_1, x_4, x_8, x_5\}$. Поэтому X_1 является R -определимым, или R -точным.

Множество X_2 включает в себя все элементы основных категорий E_1, E_4, E_6 и один элемент из категории E_2 : x_2 , но не все элементы этой категории. Поэтому X_2 считается R -неопределимым, или R -грубым.

Используя выражения (2), (3), представим целевые множества X_1 и X_2 в следующем виде:

$$\underline{R}X_1 = \overline{R}X_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \\ POSR(X_1) = \underline{R}X_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \\ NEG_R(X_1) = U - \overline{R}X_1 = \{x_2, x_3, x_6, x_7, x_9, x_{10}\}; \\ BN_R(X_1) = \overline{R}X_1 - \underline{R}X_1 = \emptyset; \\ \underline{R}X_2 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \\ \overline{R}X_2 = \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9\}; \\ POS_R(X_2) = \underline{R}X_2 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \\ NEG_R(X_2) = U - \overline{R}X_2 = \{x_3, x_6, x_{10}\}; \\ BN_R(X_2) = \overline{R}X_2 - \underline{R}X_2 = \{x_2, x_7, x_9\}.$$

Для рассматриваемых целевых множеств $X_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}$ и $X_2 = \{x_1, x_2, x_4, x_5\}$ подсчитаем оценки (7) и (8):

$$\underline{R}X_1 = \overline{R}X_1 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \alpha_R(X_1) = 1; \rho_R(X_1) = 0; \\ \underline{R}X_2 = \{x_1, x_4, x_5, x_8\}; \overline{R}X_2 = \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9\}; \\ \alpha_R(X_2) = 4/7; \rho_R(X_1) = 1 - 4/7 = 3/7.$$

ВЫВОДЫ. 1. Впервые рассмотрен подход к формированию базы знаний, в основе которого лежат процедуры представления прецедентов с применением теории грубых множеств. Такие прецеденты имеют место при проведении многократных диагностических проверок портовых порталных кранов, в результате чего накапливается информация о результатах контроля за различными параметрами и характеристиками таких механизмов. 2. Предложенный подход позволяет обращаться с неточными (грубыми) знаниями в плане их классификации, что на практике может выглядеть более реально, чем «точная»

in practice can look more real than the “accurate” classification which is currently performed using the known methods of artificial intelligence. 3. The considered examples are easily implemented in software and can be useful in designing the DSS for the formation of recommendations for a DMP.

классификация, которая в настоящее время выполняется с применением известных методов искусственного интеллекта. 3. Рассмотренные примеры легко реализуются в программном отношении и могут быть полезными при создании СППР для формирования рекомендаций ЛПП.

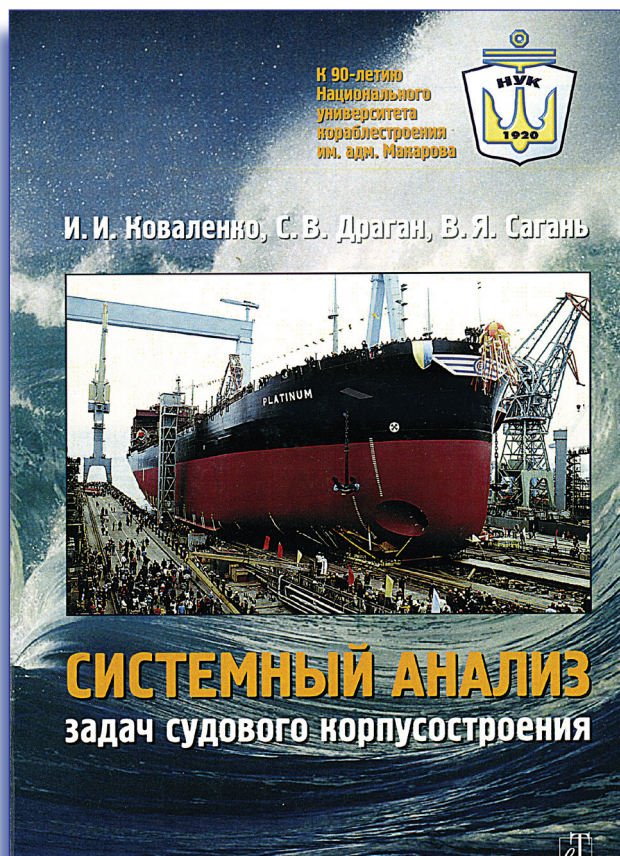
Список литературы

- [1] Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. — СПб. : Питер, 2001. — 384 с.
- [2] Климчук, С.А. Метод поиска прецедентов диагностики кранов мостового типа [Электронный ресурс] / С.А. Климчук, А.С. Климчук. — Режим доступа: http://archive.nbu.gov.ua/portal/Soc_Gum/VSU/2010_10_2/Klimchuk.pdf.
- [3] Климчук, С.А. Применение прецедентов для диагностики кранов мостового типа [Электронный ресурс] / С.А. Климчук // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2012. — № 4. — С. 17–22. — Режим доступа: <http://journal.iasa.kpi.ua/arkhiv/2012/No4/2012-n4-klimchuk-text>.
- [4] Климчук, С.А. Разработка СППР технической диагностики кранов мостового типа на основе прецедентов [Электронный ресурс] / С.А. Климчук. — Режим доступа: <http://journal.iasa.kpi.ua/archive/2012/No4/2012-n4-klimchuk-text>.
- [5] Організаційно-методичний документ: ОМД 22460848.003-2012. Крани порталні, крани-перевантажувачі. Експертне обстеження: проект [Текст]. — К., 2012. — 136 с.
- [6] Шерстюк, В.Г. Формальная модель гибридной сценарно-прецедентной СППР / В.Ф. Шерстюк // Информационно-управляющие комплексы и системы. — 2004. — № 1 (13). — С. 1–11.
- [7] Pawlak, Z. Rough Sets Theoretical Aspects of Reasoning about Data [Text] / Z. Pawlak. — Boston; London: Academic Publishers, 1991. — 229 p.
- [8] Uzga-Rebrovs, O. Nenoteiktibu parvaldisana [Text] / O. Uzga-Rebrovs. — Rezekne: RA Izdevnieciba, 2010. — Vol. 3. — 560 lp.

© И.И. Коваленко, А.В. Мельник

Статью рекомендует в печать
д-р техн. наук, доцент С.Б. Приходько

КНИЖНАЯ ПОЛКА



В монографии рассмотрены вопросы анализа ряда технико-экономических аспектов судокорпусного производства, связанных с применением новых сварочных материалов, трудоемкостью сборочно-сварочных работ, оценением эффективности технологий резки и сварки конструкций на стапеле и др. Предложены современные методы статистического оценивания различных характеристик, показателей и параметров трудозатрат при изготовлении корпусных конструкций. Разработаны методики проведения качественного анализа задач судокорпусного производства на примерах прогнозирования стоимостных показателей постройки судов, в основе которых лежат процедуры оценивания сценариев. Рассмотрены принципы построения систем поддержки принятия решений в судокорпусном производстве. Следует отметить, что, несмотря на появление в последние годы фундаментальных работ по системному анализу, его прикладные аспекты разработаны явно недостаточно. Поэтому авторы рассматривают данную книгу в качестве первой попытки применения системного анализа в области судостроения.

Авторы осознают, что материал книги не охватывает весь перечень задач судокорпусного производства, однако выражают надежду, что она представит интерес для широкого круга специалистов судостроительной отрасли.

