

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПЕРЕНОСНОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ГОРНЫХ АГРЕГАТОВ.**

### Аннотация.

В статье описаны варианты переносной системы сбора и обработки диагностических данных горных агрегатов, методика и обоснование выбора наилучшей из предложенных систем.

### Анотація

У статті наведені варіанти переносної системи збору та обробки діагностичних даних гірничих агрегатів, методика та обумовлення вибору найліпшої із запропонованих систем.

### Abstract

Variants of gathering and processing diagnostic portable system of mining units are given, a technique and a substantiation of a offered systems best choice are described.

В настоящее время требования к системам автоматизации предполагают всестороннее использование компьютерной техники, в том числе и при проведении экспериментальных исследований. Таким образом, возникает проблема выбора оптимальной переносной системы для сбора и предварительной обработки собранных данных на месте.

Такая система должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) возможность автономного питания;
- 2) высокая производительность расчетов;
- 3) наличие нескольких датчиков;
- 4) высокая гибкость (возможность изменить и дополнить количество и размерность измеряемых величин);
- 5) отказоустойчивость;
- б) наименьшая цена готовой системы, при прочих равных условиях.

Многие фирмы-производители предлагают свои варианты переносных систем сбора и обработки данных, однако, в большинстве случаев, такие системы, не отличаясь гибкостью, отличаются повышенной отказоустойчивостью и, соответственно, более высокой ценой. Поскольку для подавляющего большинства исследовательских задач критерий гибкости превалирует над критерием отказоустойчивости, то в нашем исследовании такие системы рассмотрены не будут.

Следовательно, возникает проблема построения проектов систем, удовлетворяющих условиям экспериментатора, и выбора такой системы из возможных предлагаемых вариантов.

Нами были рассмотрены более 50 фирм-производителей специализированного оборудования для контроля и обработки диагностических данных промышленных агрегатов[1]. Все предлагаемые варианты были классифицированы по производительности, отказоустойчивости и гибкости. Из них были выбраны

наиболее типичные представители своих классов, которые и послужили основой для предложенных вариантов систем (см. табл. 1).

Для выбора оптимальной системы воспользуемся подходом, предложенным французскими учеными во главе с Б. Рои. Этот подход направлен на Разработку Индексов Парного Сравнения Альтернатив (РИПСА). На данном этапе существует множество методов, которые принадлежат подходу РИПСА. Из них наиболее известна группа методов ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Eealite — исключение и выбор, отражающие реальность)[2].

Для учета нечеткости в процессе принятия решений в методах ELECTRE используются границы нейтральности (Indifference) и предпочтения (Preference).

Основная особенность методов ELECTRE заключается в том, что сравниваемые альтернативы могут быть либо эквивалентными, либо несравнимыми. В использованном нами методе ELECTRE 1 используются четкие бинарные отношения между альтернативами.

Из предложенных альтернатив формируется ядро, т.е. множество эквивалентных и несравнимых альтернатив.

Сначала рассчитываются индексы согласия и несогласия. Выдвигается гипотеза о предпочтении альтернативы  $A_i$  над  $A_j$ . Множество  $I$ , которое состоит из необходимого числа критериев, разбивается на 3 подмножества:

- $I^+$  – подмножество критериев, по которым  $A_i$  более привлекательна чем альтернатива  $A_j$ ;
- $I^=$  подмножество критериев, по которым  $A_i$  равноценна альтернативе  $A_j$ ;
- $I^-$  – подмножество критериев, по которым  $A_j$  более привлекательна чем альтернатива  $A_i$ .

Далее формируется индекс согласия гипотеза о превосходстве  $A_i$  над  $A_j$ .

Индекс согласия  $C_{A_i A_j}$  рассчитывается на основании весовых коэффици-

ентов критериев:

$$C_{A_i A_j} = \frac{\sum_{k \in I^+, I^=} w_k}{\sum_{k=1}^N w_k}.$$

Индекс несогласия  $d_{A_i A_j}$  гипотезы о превосходстве  $A_i$  над  $A_j$  определяет-

ся по самому противоречивому критерию, по которому  $A_j$  наиболее превосходит альтернативу  $A_i$ . Для того, чтобы учесть возможную несопоставимость шкал критериев, сначала нормализуем наши данные. Тогда

$$d_{A_i A_j} = \max_{k \in I^-} |l_{A_j}^k - l_{A_i}^k|,$$

где  $l_{A_j}^k, l_{A_i}^k$  - нормализованные оценки альтернатив  $A_i$  та  $A_j$  по  $k$ -критерию.

Введенные индексы используются при построении матриц индексов согласия и несогласия для предъявленных к выбору альтернатив.

В методе ELECTRE 1 бинарное отношение превосходства задается уровнем согласия  $\alpha_1$  и уровнем несогласия  $\gamma_1$ . Если  $C_{A_i A_j} \geq \alpha_1$  и  $d_{A_i A_j} \leq \gamma_1$ , то

альтернатива  $A_i$  оглашается более привлекательной чем альтернатива  $A_j$ . Если на заданных уровнях сравнение альтернатив невозможно, то альтернативы оглашаются как несравнимые.

Уровни коэффициентов согласия и несогласия, при которых альтернативы несравнимы, представляют собой гибкий инструмент анализа при принятии решения. При заданных уровнях на множестве альтернатив выделяют ядро недоминирующих элементов, которые находятся или в отношении несравнимости, или в отношении эквивалентности. При изменении уровней из заданного ядра выделяют меньшее ядро и т.д.

В нашем случае мы имеем 5 альтернатив, которые оценены по 5 критериям. (Автономное питание присутствует у всех альтернатив, поэтому оно не повлияет на дальнейший выбор). Нам необходимо выделить наилучшую альтернативу. Каждому из 5 критериев ставится в соответствие целое число  $w$  (весовой коэффициент), которое характеризует важность критерия.

Критерии:

- 1) производительность расчетов;
- 2) количество датчиков;
- 3) гибкость (экспертная оценка);
- 4) отказоустойчивость (экспертная оценка);
- 5) цена (\$).

Нормализуем данные. Показатели по критериям 1, 2, 3, 4 нужно максимизировать, а 5-й (цена) минимизировать. Сделаем, чтобы все критерии были на максимум (1- наилучшая оценка, 0 – наихудшая).

Таблица 2 – Нормализованные критерии альтернатив

Номер варианта	Производительность расчетов	Количество датчиков	Гибкость	Отказоустойчивость	Цена
1	0,00	0,33	0,00	0,33	0,32
2	0,86	1,00	0,25	0,00	0,00
3	1,00	0,00	1,00	0,33	1,00
4	0,50	1,00	0,75	1,00	0,63
5	0,29	1,00	0,25	0,00	0,74

### Этап разработки индексов

Для расчета индекса согласия необходимо определить важность критериев. Т.к. решение задачи неоднозначно, то мы рассчитаем матрицы индексов согласия для двух случаев:

1. все критерии равны ( $w_i=1$ );

Таблица 3 – Матрица согласия при  $w_i=1$

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Вариант 1		0,4	0,4	0	0,2
Вариант 2	0,6		0,2	0,4	0,8
Вариант 3	0,8	0,8		0,6	0,8
Вариант 4	1	0,8	0,4		0,8
Вариант 5	0,8	0,8	0,2	0,4	

2. наиболее важным критерием принимается производительность расчетов ( $w_1=5$ ;  $w_2=4$ ;  $w_3=3$ ;  $w_4=2$ ;  $w_5=1$ );

Таблица 4 – Матрица согласия при  $w_1=5$ ;  $w_2=4$ ;  $w_3=3$ ;  $w_4=2$ ;  $w_5=1$

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Вариант 1		0,20	0,40	0,00	0,13
Вариант 2	0,80		0,27	0,60	0,93
Вариант 3	0,73	0,73		0,60	0,73
Вариант 4	1,00	0,67	0,40		0,93
Вариант 5	0,87	0,67	0,27	0,33	

Рассчитаем матрицу индексов несогласия. Она не зависит от весов критериев, поэтому будет одна для обоих случаев.

Таблица 5 – Матрица несогласия

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Вариант 1		0,86	1,00	0,75	0,67
Вариант 2	0,33		1,00	1,00	0,74
Вариант 3	0,33	1,00		1,00	1,00
Вариант 4	0,00	0,36	0,50		0,11
Вариант 5	0,33	0,57	0,75	1,00	

### Этап исследования множества альтернатив

1. Все критерии равны ( $w_i=1$ ).

Пусть первые уровни согласия и несогласия равны  $\alpha_1=0,8$ ;  $\gamma_1=0,36$ .

После анализа матриц согласия и несогласия становится очевидно, что альтернатива 1 не входит в первое ядро, так как индексы согласия по всем альтернативам меньше допустимого уровня, при этом индексы несогласия по всем альтернативам больше допустимого уровня.

Также, альтернатива 4 доминирует над альтернативами 2 и 5, поскольку  $C_{42} \geq 0,8$  и  $d_{42} \leq 0,36$ ;  $C_{45} \geq 0,8$  и  $d_{45} \leq 0,36$ . Альтернативы 2 и 5 хуже, чем аль-

альтернатива 3 по аналогичным показателям. Поэтому альтернативы 2 и 5 исключаются из ядра. Альтернативы 3 и 4 несравнимы на данных уровнях согласия и несогласия.

Изменим уровень согласия и уровень несогласия:  $\alpha_1=0,4$ ;  $\gamma_1=0,5$ .

Альтернатива 4 доминирует над альтернативой 3:  $C_{43} \geq 0,4$  и  $d_{43} \leq 0,5$ .

Таким образом, наилучшей альтернативой является 4-я, далее идет 3, потом 2 и 5, а 1 на последнем месте.

2. Наиболее важным критерием принимается производительность расчетов ( $w_1=5$ ;  $w_2=4$ ;  $w_3=3$ ;  $w_4=2$ ;  $w_5=1$ ).

Пусть первые уровни согласия и несогласия равны  $\alpha_1=0,8$ ;  $\gamma_1=0,1$ .

Альтернативы 1 и 3 не входят в первое ядро, так как индексы согласия по всем альтернативам меньше допустимого уровня, при этом индексы несогласия по всем альтернативам больше допустимого уровня. 2, 4 и 5 альтернативы несравнимы на данном уровне. Они образуют первое ядро.

Изменим уровень согласия и уровень несогласия:  $\alpha_1=0,66$ ;  $\gamma_1=0,36$ .

При данных условиях альтернатива 4 доминирует над альтернативами 2 и 5, поскольку  $C_{42} \geq 0,66$  и  $d_{42} \leq 0,36$ ;  $C_{45} \geq 0,66$  и  $d_{45} \leq 0,36$ .

Мы получили, что наилучшей альтернативой является 4-я, далее идут 2 и 5, а 1 и 3 на последнем месте.

Из проведенного анализа следует, что принятие решения о наилучшей альтернативе зависит от весов критериев, а значит и от целей пользователя системы. Также следует отметить, что альтернатива 3 имеет довольно высокие индексы согласия, что говорит в ее пользу. При этом уровень несогласия очень высокий. Он обусловлен наличием наименьшего количества датчиков. Если для решаемой задачи достаточно наличие 4 датчиков, то данный критерий можно исключить.

Рассмотрим, как изменится оптимальное решение при оставшихся критериях: производительность расчетов, гибкость, отказоустойчивость, цена.

Таблица 6 – Нормализованные критерии альтернатив без учета количества датчиков

Номер варианта	Производительность расчетов	Гибкость	Отказоустойчивость	Цена
1	0,00	0,00	0,33	0,32
2	0,86	0,25	0,00	0,00
3	1,00	1,00	0,33	1,00
4	0,50	0,75	1,00	0,63
5	0,29	0,25	0,00	0,74

Рассчитаем матрицы индексов согласия.

3. Все критерии равны ( $w_i=1$ );

Таблица 7 – Матрица согласия без учета количества датчиков при  $w_i=1$

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Вариант 1		0,5	0,25	0	0,25

Вариант 2	0,5		0	0,25	0,75
Вариант 3	1	1		0,75	1
Вариант 4	1	0,75	0,25		0,75
Вариант 5	0,75	0,75	0	0,25	

4. Наиболее важным критерием принимается производительность расчетов ( $w_1=4$ ;  $w_2=3$ ;  $w_3=2$ ;  $w_4=1$ );

Таблица 8 – Матрица согласия без учета количества датчиков при  $w_1=4$ ;  $w_2=3$ ;  $w_3=2$ ;  $w_4=1$

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Вариант 1		0,3	0,2	0	0,2
Вариант 2	0,7		0	0,4	0,9
Вариант 3	1	1		0,8	1
Вариант 4	1	0,6	0,2		0,9
Вариант 5	0,8	0,6	0	0,1	

Рассчитаем матрицу индексов несогласия.

Таблица 9 – Матрица несогласия без учета количества датчиков

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Вариант 1		0,86	1,00	0,75	0,42
Вариант 2	0,33		1,00	1,00	0,74
Вариант 3	0,00	0,00		0,67	0,00
Вариант 4	0,00	0,36	0,50		0,11
Вариант 5	0,33	0,57	0,75	1,00	

3. Все критерии равны ( $w_i=1$ ).

Пусть первые уровни согласия и несогласия равны  $\alpha_1=0,75$ ;  $\gamma_1=0,36$ .

При таких уровнях альтернатива 1 не входит в первое ядро, так как индексы согласия по всем альтернативам меньше допустимого уровня, при этом индексы несогласия по всем альтернативам больше допустимого уровня. Альтернатива 3 доминирует над альтернативами 1, 2 и 5. Но на данном уровне согласия и несогласия она несравнима с 4-й альтернативой. При этом 4 хуже, чем 3.

Изменим уровень несогласия:  $\gamma_1=0,67$ . Тогда альтернатива 3 доминирует над альтернативой 4:  $C_{34} \geq 0,75$  и  $d_{34} \leq 0,67$ . А альтернатива 4 становится несравнимой с альтернативой 3:  $C_{43} \leq 0,75$  и  $d_{43} \leq 0,67$ .

Таким образом, лучшей альтернативой принимается 3, далее идет 4, а потом 1, 2, 5.

4. Наиболее важным критерием принимается производительность расчетов ( $w_1=4$ ;  $w_2=3$ ;  $w_3=2$ ;  $w_4=1$ ).

Ситуация аналогична предыдущей. При уровнях согласия и несогласия  $\alpha_1=0,8$ ;  $\gamma_1=0,67$  альтернатива 3 доминирует над остальными.

Следует заметить, что во всех случаях альтернатива 3 проигрывает только 4 за счет меньшей отказоустойчивости.

Исходя из анализа альтернатив, оптимальной для экспериментатора является альтернатива 3 - Ноутбук РП-1200, Датчики + АЦП на микроконтроллере PIC, если главным критерием является минимальная цена или достаточно 4-х датчиков. В остальных случаях лучшей является альтернатива 4 - моб. компьютер Advantech, датчики Advantech, АЦП Advantech и программаторы Advantech. Ее преимуществами являются: наибольшее количество датчиков, наилучшая отказоустойчивость и высокая гибкость.

Данный метод выбора оптимального варианта сочетания «диагностическое оборудование + компьютерная обработка результатов диагностики» предусмотрен для решения проблемы проведения экспериментальных исследований по изучению режимов работы любого горнотехнического оборудования в реальном масштабе времени.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru) , способ доступа – <http://www.prosoft.ru/>
2. Roy, B. – *Classement et choix en presence de points de vue multiples (la methode ELECTRE)*, - RIRO (Revue Internationale de Recherche Operationnelle), no. 8, marsavril, 1968.

Селезень О.Ю. Приходченко С.Д. Выбор оптимального варианта переносной системы сбора и обработки диагностических данных горных агрегатов. // Геотехническая механика. Межвед. сб. науч. работ. Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2006. – Вып. 55. – с. 189-196