

УДК 519.816

Ю.В. Доронина, доцент, канд. техн. наук,**В.Я. Копп, профессор, д-р техн. наук***Севастопольский национальный технический университет,**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
НА ОСНОВЕ ИЕРАРХИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

Показан метод оценки гидрометеорологической системы на основе иерархической системы критериев. Решена задача обратного перехода к оценке и сравнения альтернатив в целом. Используется расширение метода вложенных скалярных сверток.

Ключевые слова: иерархические системы, гидрометеорологическая система, принятие решений, вложенные скалярные свертки.

Принятие решений при выборе оптимальной структуры из множества альтернатив в различных сферах деятельности во многом аналогично. В настоящее время существует множество информационных технологий, позволяющих предельно облегчить жизнь и помочь в решении проблем, связанных с процессами принятия решений в различных предметных областях. В частности, очень распространены системы поддержки принятия решений на основе метода анализа иерархий, разработанного американским ученым Т. Саати [1].

Важнейшим показателем качественного прогнозирования гидрометеорологических параметров, соответствия по времени на этапах сбора данных, обработки и анализа является качественное проектирование отраслевой системы для гидрометеорологического анализа данных. Поэтому, строго обоснованный подход к проектированию подобных систем, безусловно, должен предваряться оптимальным выбором структуры такой системы. Один из методов выбора оптимальной структуры отраслевой гидрометеорологической системы на основе иерархических моделей приводится в настоящей статье. Таким образом, цель статьи – развитие метода выбора оптимальной структуры гидрометеорологической системы на основе иерархических моделей.

В теории принятия решений более распространен так называемый векторный подход, при котором объект оценивается не в целом, а по результатам сравнения отдельных его свойств. В отличие от субъективного целостного подхода, здесь намечается возможность формализации процесса принятия решений. Свойства, для которых существуют объективные численные характеристики, принято называть критериями. Более строго: критериями называются количественные показатели свойств объекта, числовые значения которых являются мерой качества объекта оценки по отношению к данному свойству.

Получение набора критериев представляет собой конечный итог иерархической декомпозиции. Количество уровней зависит от требуемой глубины декомпозиции. Для каждого начального свойства глубина декомпозиции может быть различной [2].

Качество альтернативы определяется иерархической системой векторов

$$y^{(j-1)} = \{y^{(j-1)}_{i=1}^{n^{(j-1)}}\}, j \in [2, m],$$

где $y^{(j-1)}$ — вектор критериев на $(j-1)$ -м уровне иерархии, по компонентам которого оценивается качество свойств альтернативы на j -м уровне; m — количество уровней иерархии; i — индекс, определяющий перебор альтернатив; $n^{(j-1)}$ — количество оцениваемых свойств $(j-1)$ -го уровня иерархии.

Численные значения n критериев $y(1)=y$ первого уровня иерархии для данной альтернативы заданы. Один и тот же критерий $(j-1)$ -го уровня может участвовать в оценке нескольких свойств j -го уровня, т.е. в иерархии возможны перекрестные связи.

На рисунке 1 представлена схема для нахождения количественной и качественной оценки проекта гидрометеорологической системы (ГМС) по двум основным свойствам: 1 — надежность данных (НД), характеризующаяся неизвестной пока оценкой критерия $y01(2)$; 2 — доступ к данным (ДД), которому сопоставлена неизвестная пока оценка критерия $y02(2)$.

НД оценивается по трем критериям: $y01, y02, y03$.

ДД оценивается по трем критериям: $y04, y05, y06$.

В оценках НД и ДД $y06$ (вероятность получения качественных данных) относится как к НД, так и к ДД, т.е. имеет место одна перекрестная связь.

Все критерии приведены к одному способу экстремизации (минимизации):

$Y01$ — вероятность отказов при хранении;

$Y02$ — вероятность отказов при востребовании;

Y03 — число нарушенных связей между данными;
 Y04 — время доступа к данным;
 Y05 — время реакции системы;
 Y06 — вероятность получения некачественных данных.

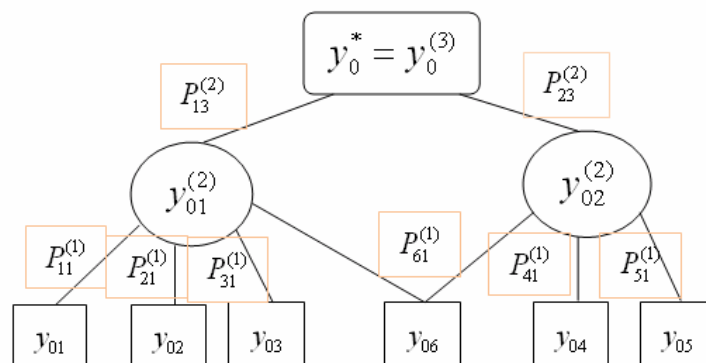


Рисунок 1 — Структурная схема системы критериев качества альтернативы по двум свойствам гидрометеорологической системы: надежность данных и доступ к данным

Значимость каждой из компонент критерия $(j-1)$ -го уровня при оценке k -го свойства j -го уровня характеризуется коэффициентом приоритета, совокупность которых составляет систему векторов приоритета

$$p_{ik}^{(j-1)} = \{p_{ik}^{(j-1)}\}_{k=1}^{n^{(j)}}, j \in [2, m].$$

Требуется найти аналитическую оценку и качественную оценку эффективности данной альтернативы, а из имеющихся альтернатив y^* выбрать лучшую.

Для аналитической оценки эффективности иерархических структур предлагается применить метод вложенных скалярных сверток [3]. Алгоритм решения задачи методом вложенных скалярных сверток представляется итерационной последовательностью операций взвешенной скалярной свертки векторных критериев каждого уровня иерархии снизу доверху с учетом векторов приоритета на основе выбранной схемы компромиссов.

На первом этапе композиции критериев используется рекуррентной формула:

$$y_{0k}^{(j)} = 1 - \left\{ \sum_{j=1}^{n_k^{(j-1)}} P_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0jk}^{(j-1)}]^{-1} \right\}^{-1}, k \in [1, n^{(j)}], j \in [2, m]. \quad (1)$$

Выражение для аналитической оценки некоторого свойства на втором уровне иерархии определяется следующим образом[2]:

$$y_{01}^{(2)} = 1 - \left\{ \sum_{i=1}^{n_i^{(1)}} P_{i1}^{(1)} [1 - y_{0i1}^{(1)}]^{-1} \right\}^{-1}. \quad (2)$$

В случаях, когда коэффициенты приоритета $P_{ik}^{(j-1)}, j \in [2, m]$ априори неизвестны или требуется найти наборы $\{(y^{(j-1)}, P^{(j-1)}) \rightarrow y^{(j)}; y^* = y^{(m)}\}, j \in [2, m]$, определяющие вариативность качественных и количественных оценок проектов системы, соответствующих им коэффициентов приоритета и значений критериев на этапе проектирования предложено расширение метода [2].

На первом шаге определяем множество

$$\{y_r^*\} = \{y_r^{(3)}\} = \left\{ 1 - \frac{1}{\sum_{j=1}^{n_3^{(2)}} P_{i3r}^{(2)} [1 - y_{0i3r}^{(2)}]^{-1}} \right\}, \quad (3)$$

где $n_3^{(2)} = 2, P_{i3r} \subset P_r, \forall m \geq n_3^{(2)}, \sum_{r=1}^m P_r = 1, r \subseteq m$.

Для найденных $\{p_r\}$, соответствующих $\min(opt)\{y_r^*\}$ оцениваем наличие зависимости перестановок значений $\{p_r\}$. Оцениваем влияние на $\min(opt)\{y_r^*\}$ взаимосвязанных критериев (перекрестных связей) нижнего уровня при выбранных коэффициентах приоритета $\{y_r^{*(3)}\}$

$$\{y_{0kr}^{(j)}\} = 1 - \left\{ \sum_{j=1}^{n_{kr}^{(j-1)}} P_{jkr}^{(j-1)} [1 - y_{0jkr}^{(j-1)}]^{-1} \right\}^{-1}, \quad j \in [2, m], \quad (4)$$

$$\forall r \subset k, \quad k \in [1, n^{(j)}] \text{ и } \min\{y_{0kr}^{(j)*}\}.$$

В результате получим:

1) вектора:

$\min(opt)y^*$ и соответствующие $P_{jk}^{(j-1)}$, $j \in [2, m]$, $k \in [1, n^{(j)}]$;

2) наборы векторов:

$\min(opt)\{y_r^*\}$ и соответствующие $P_{ikr}^{(j-1)}$ $j \in [2, m]$, $k \in [1, n^{(j)}]$.

На рисунке 2 показана реализация метода для гидрометеорологической системы по пяти основным свойствам, приведенным к одному способу экстремизации.

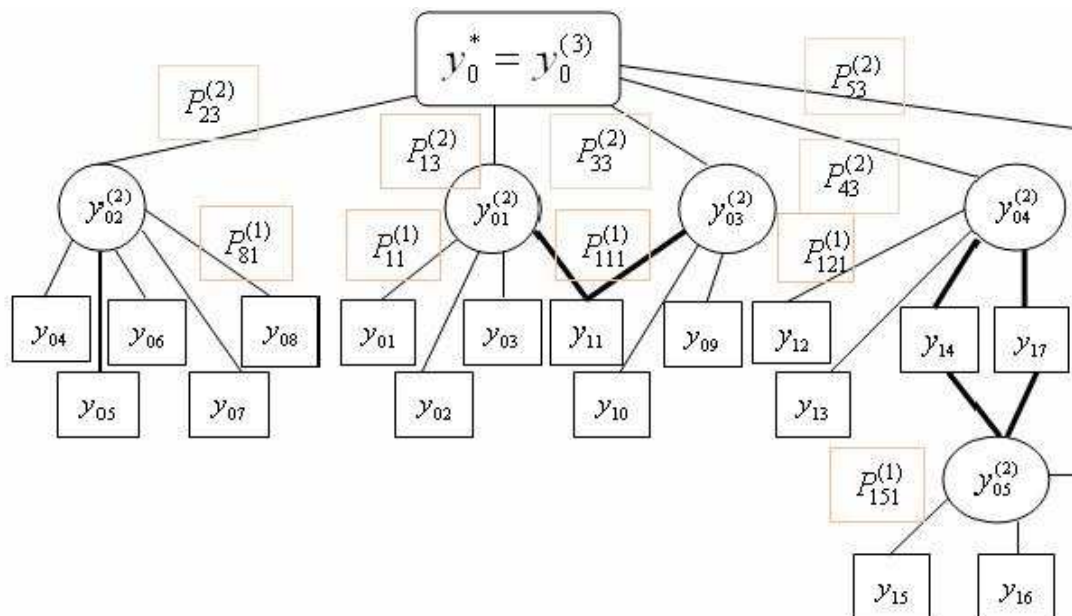


Рисунок 2 — Структурная схема системы критериев качества альтернативы для пяти свойств гидрометеорологической системы с перекрестными связями

1 — надежность данных в целом:

- 1.1 — вероятность отказов при хранении;
- 1.2 — вероятность отказов при востребовании;
- 1.3 — число нарушенных связей между данными;
- 1.4 (3.3) — вероятность получения некачественных данных;

2 — экономические критерии:

- 2.1 — финансирование парка технических средств на структуру в целом (системная экономия);
- 2.2 — финансовые вложения на этапе сбора данных (количество датчиков);
- 2.3 — оплата труда операторов при вводе данных вручную;
- 2.4 — финансирование технического и программного характера при хранении данных;
- 2.5 — оплата труда ИТР при обработке данных с их визуальным контролем;

3 — доступ к данным:

- 3.1 — время доступа к данным;
- 3.2 — время реакции системы;
- 3.3(1.4) — вероятность получения некачественных данных;

4- взаємодія з даними:

4.1 (5.3) — відсутність автоматизації управління збором даних;

4.2 — відсутність автоматизації управління контролем даних;

4.3 — відсутність автоматизації управління аналізом даних;

4.4 — відсутність автоматизації управління збереженням даних;

5 - ієрархічне отраслеве взаємодія:

5.1 — відсутність автоматизації управління ЦГМД

5.2 — відсутність автоматизації управління план - завданнями структурних підрозділів;

5.3 (4.1) — відсутність автоматизації управління збором даних;

5.4 (4.4) — відсутність управління збереженням даних;

де в скобках показані перехресні зв'язи критеріїв.

В таблиці 1 показані результати аналітичного моделювання критеріїв якості альтернатив по двом властивостям гідрометеорологічної системи: надійність даних і доступ до даних. При різних коефіцієнтах пріоритету верхнього рівня в таблиці показані значення аналітичної оцінки альтернатив $y^*(3)$.

Таблиця 1 — Фрагмент результатів моделювання критеріїв якості альтернатив по двом властивостям гідрометеорологічної системи: надійність даних і доступ до даних

p_1	p_2	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	y_{01}	y_{02}	y_{03}	y_{04}	y_{05}	$y_{01(2)}$	$y_{02(2)}$	$y^*(3)$
0,1	0,9	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,7	0,2	0,1	0,423077	0,283582	0,300495
0,2	0,8	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,7	0,2	0,1	0,423077	0,283582	0,316629
0,3	0,7	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,7	0,2	0,1	0,423077	0,283582	0,332035
0,4	0,6	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,7	0,2	0,1	0,423077	0,283582	0,346761
0,5	0,5	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,7	0,2	0,1	0,423077	0,283582	0,360852
0,5	0,5	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,6	0,2	0,1	0,393939	0,238095	0,324895

На етапі 1 вибрана найкраща аналітична оцінка альтернатив $y^*(3)$ згідно табличної інтервальної нормованої шкали (таблиця 2) [1]: $y^*(3)=0,3$. Далі оцінено наявність впливу кількісних оцінок на p_1 і p_2 (при взаємному зверненні $p_2=0,1$ і $p_1=0,9$ значення $y^*(3)=0,41 > y^*(3)$). І, нарешті, оцінено вплив взаємозв'язаних критеріїв нижнього рівня при вибраних коефіцієнтах пріоритету: $y^{**}(3)=0,17$ (таблиця 3).

Таблиця 2 — Категорії якості альтернатив

Неприемлемо	1,0 - 0,7
Низьке	0,7 - 0,5
Удовільняє	0,5 - 0,4
Хороше	0,4 - 0,3
Високе	0,2 - 0,0

Таблиця 3 — Оцінка впливу значень взаємозв'язаних критеріїв нижнього рівня на якість альтернатив

p_1	p_2	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	y_{01}	y_{02}	y_{03}	y_{04}	y_{05}	$y_{01(2)}$	$y_{02(2)}$	$y^*(3)$
0,1	0,9	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,6	0,2	0,1	0,393939	0,238095	0,257196
0,1	0,9	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,5	0,2	0,1	0,375	0,207921	0,228544
0,1	0,9	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,4	0,2	0,1	0,361702	0,186441	0,208182
0,1	0,9	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,3	0,2	0,1	0,351852	0,17037	0,192967
0,1	0,9	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,2	0,2	0,1	0,344262	0,157895	0,181167
0,1	0,9	0,7	0,2	0,1	0,1	0,45	0,45	0,3	0,5	0,1	0,2	0,1	0,338235	0,147929	0,171747

Результат аналітичної оцінки властивостей альтернатив для гідрометеорологічної системи по п'яти основним властивостям (рисунки 2) приведений в таблиці 4. Найкраще (хороше) якість ГМС $y^*(3)=0,329$ досягається при наступних перехресних зв'язках оцінок нижнього рівня $y_{11}=y_{14}=y_{17}=0,1$.

Таблиця 4 — Фрагмент результатів моделювання критеріїв якості альтернативи по п'яти свойствам гідрометеорологічної системи

y11	y12	y13	y14	y15	y16	y17	y01(2)	y02(2)	y03(2)	y04(2)	y05(2)	y*(3)
0,1	0,2	0,5	0,5	0,5	0,2	0,4	0,401141	0,284477	0,142857	0,277108	0,417476	0,33767
0,1	0,2	0,5	0,6	0,5	0,2	0,1	0,401141	0,284477	0,142857	0,243697	0,372822	0,334978
0,1	0,2	0,5	0,5	0,5	0,2	0,1	0,401141	0,284477	0,142857	0,213974	0,330855	0,332759
0,1	0,2	0,5	0,4	0,5	0,2	0,1	0,401141	0,284477	0,142857	0,192825	0,299611	0,331272
0,1	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,1	0,401141	0,284477	0,142857	0,164733	0,256198	0,329404
0,1	0,2	0,5	0,1	0,5	0,2	0,1	0,401141	0,284477	0,142857	0,15493	0,240506	0,328778

Таким образом, предложено расширение метода использования иерархических моделей принятия решения в многокритериальных задачах, для случаев, когда не всегда возможно дать объективную оценку альтернативам и если числовые значения коэффициентов приоритета изначально неизвестны, или же необходимо получить множество оценок альтернатив и соответствующих им коэффициентов приоритета. Проведено аналитическое моделирование для двух задач: по двум и пяти свойствам ГМС. Предложенный метод будет использован при анализе множества альтернатив, например, по методике, представленной в [4] с целью выбора оптимальной системы из пяти предложенных альтернатив на основе метода экспертных оценок. В качестве начальных условий, наряду с экспертными оценками в модель будут введены полученные в статье результаты оптимальных коэффициентов приоритета.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Saaty T.L. Multicriteria Decision Making: The Analytical Hierarchy Process / T.L. Saaty. — N.Y.: McGraw-Hill, 1990. — 380 p.
2. Воронин А.А. Оптимальные иерархические структуры / А.А. Воронин, С.П. Мишин. — М.: ИПУ РАН, 2003. — 214 с.
3. Воронин А.Н. Вложенные скалярные свертки векторного критерия / А.Н. Воронин // Проблемы управления и информатики. — 2003. — № 5. — С. 10–21.
4. Ротштейн О.П. Варіантний аналіз на базі нечітких парних порівнянь: методика та застосування на прикладі порівняння семіотичних систем / О.П. Ротштейн, А.М. Петух, М.І. Петренко // Вимірювальна обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 1998. — № 2. — С. 17–24.

Поступила в редакцію 17.12.2010 г.

Дороніна Ю.В., Копп В.Я. Вибір оптимальної структури інформаційної системи на основі ієрархічних моделей

Показаний метод оцінки гідрометеорологічної системи на основі ієрархічної системи критеріїв. Вирішено завдання зворотнього переходу до оцінки і порівняння альтернатив в цілому. Використовується розширення методу вкладених скалярних згорток.

Ключові слова: ієрархічні системи, гідрометеорологічна система, ухвалення рішень, вкладені скалярні згортки.

Doronina Yu.V., Kopp V.Ya. Selecting the optimal structure of the information system on the basis of hierarchical models

A method of estimating the hydro-meteorological system is shown based on the hierarchical system of criteria. The task of the reverse passing to the estimation and comparison of alternatives is solved in its entirety. Expansion of the method of inlaid scalars is used.

Keywords: hierarchical systems, hydro meteorological system, making a decision, inlaid scalar packages.