

УДК 519.816 + 519.874.2

М.Р. Валентюк*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ СТРУКТУР ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДСИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Предлагается метод анализа вариантов при выборе оптимальной структуры подсистемы хранения гидрометеорологических данных. Выполнен анализ для случаев равновесных и неравновесных критериев.

Анализ вариантов по многим критериям – это важная задача принятия решений, которая возникает не только в технике, но и в экономике, образовании, политике и других сферах жизнедеятельности. Существенное ограничение известных методик вариантного анализа, которые используются в технических системах [1], состоит в том, что они плохо приспособлены к качественным критериям, которые оцениваются экспертными методами.

Целью данной работы является применение методики, использующей информацию о качестве вариантов в виде парных сравнений, на примере подсистемы хранения гидрометеорологических данных.

Парные сравнения вариантов производят по 9-балльной шкале Саати, представленной в таблице 1.

Таблица 1 – Девятибалльная шкала Саати

Балл	Пояснение
1	отсутствует преимущество варианта v_j над вариантом v_i
3	имеется слабое преимущество v_j над v_i
5	имеется существенное преимущество v_j над v_i
7	имеется явное преимущество v_j над v_i
9	имеется абсолютное преимущество v_j над v_i
2,4,6,8	промежуточные сравнительные оценки

Пусть $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество вариантов, которые подлежат вариантному анализу, а $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\}$ – множество количественных и качественных критериев, которыми оцениваются варианты.

Задача состоит в том, чтобы упорядочить элементы множества V по критериям из множества Q .

Решение этой задачи состоит из следующих этапов:

- 1) рассмотрение критериев как нечетких множеств, которые заданы на универсальных множествах вариантов с помощью функции принадлежности;
- 2) определение функций принадлежности нечетких множеств на основе экспертной информации о парных сравнениях вариантов с помощью девятибалльной шкалы Саати;
- 3) ранжирование вариантов на основе пересечения нечетких множеств – критериев, которые отвечают известной в теории принятия решения схеме Беллмана – Заде;
- 4) ранжирование критериев методом парных сравнений и учет полученных рангов как степеней концентрации соответствующих функции принадлежности.

Структура подсистемы хранения гидрометеорологических данных существенно влияет на процесс обработки хранимых данных. Поэтому для обеспечения эффективной обработки, а, следовательно, и качественного прогноза гидрометеорологических явлений, необходимо спроектировать подсистему хранения так, чтобы она оптимально соответствовала как потребностям пользователей, так и техническим критериям.

При проектировании подсистемы хранения данных было предложено несколько возможных структур. Первый вариант структуры (рисунок 1,а) характеризуется наличием блока резервного копирования. Резервное копирование проводится для восстановления информации в случае утери рабочей копии информации по какой-либо причине. Во втором варианте (рисунок 1,б) сохранение информации производится в базу данных (БД). Использование БД дает возможность удобного использования и анализа хранимых данных, а также быстрого доступа к ним. Третий вариант структуры (рисунок 1,в) использует сжатие информации, при этом дублирование информации, т.е. создание резервной копии не происходит. В данном случае предполагается возможность восстановления данных с помощью математических методов.

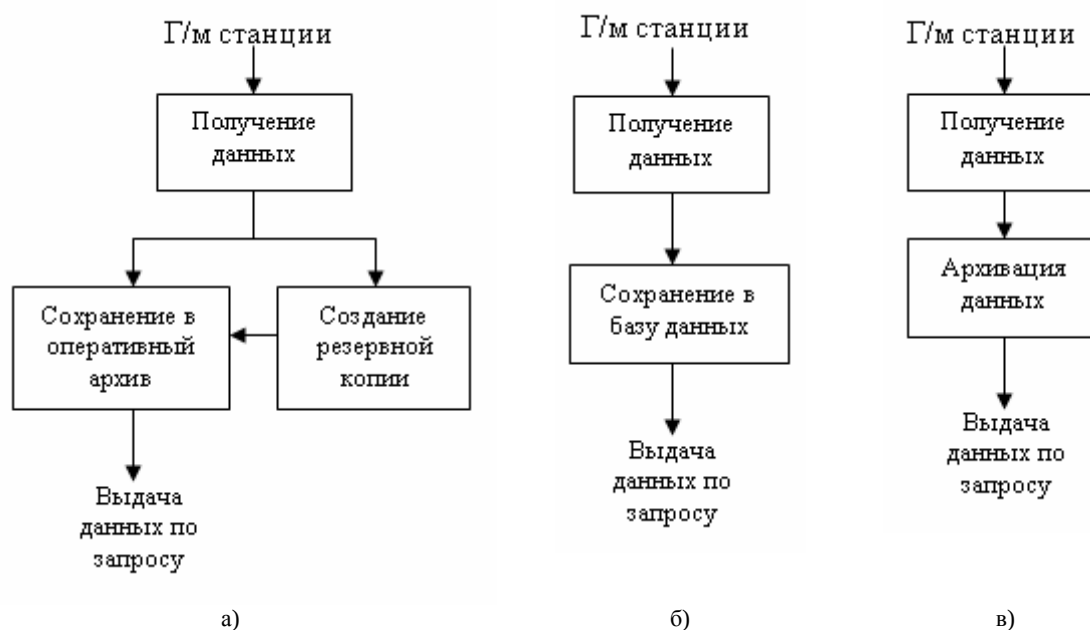


Рисунок 1 – Варианты структуры подсистемы хранения: а) с созданием резервной копии; б) с созданием базы данных; в) со сжатием данных

1. Критерии оценки вариантов

Для выбора оптимальной структуры необходимо применить вариантный анализ по нескольким наиболее важным критериям, а именно:

- по надежности хранения информации;
- по экономии технических средств;
- по среднему времени доступа к данным.

Обозначим каждый из критериев – $q_i, i = 1, 2, 3$.

По первому критерию q_1 – надежности хранения информации явное преимущество имеет структура с резервным копированием. Структура с использованием БД не имеет, либо имеет малое преимущество над вариантом структуры со сжатием и восстановлением данных, которое зависит от используемых средств восстановления данных, используемых в третьем варианте структуры.

Для функционирования третьей структуры понадобится значительно меньше технических средств (критерий q_2), а значит, снизится и стоимость. В отличие от третьего варианта структуры в первых двух потребуются специальные аппаратные средства. Создание БД потребует значительно меньше затрат, чем создание резервных копий.

Наивысшее среднее время доступа к данным – критерий q_3 – имеет структура с сохранением данных в БД. Благодаря потреблению больших вычислительных ресурсов и организации информации в виде БД доступ к необходимым данным происходит значительно быстрее, чем в структуре со сжатием данных, которое в свою очередь быстрее обеспечивает доступ к данным, чем структура с резервным копированием.

2. Парные сравнения

Сравнение структур подсистемы хранения по критериям q_1 , q_2 и q_3 в соответствии с таблицей 1 приводит к следующим высказываниям:

$$\begin{aligned}
 \text{критерий } q_1 : & \begin{cases} \text{явное преимущество } v_1 \text{ над } v_2 \text{ и } v_3, \\ \text{почти отсутствие преимущества } v_2 \text{ над } v_3; \end{cases} \\
 \text{критерий } q_2 : & \begin{cases} \text{абсолютное преимущество } v_3 \text{ над } v_1 \text{ и } v_2, \\ \text{существенное преимущество } v_2 \text{ над } v_1; \end{cases} \\
 \text{критерий } q_3 : & \begin{cases} \text{абсолютное преимущество } v_2 \text{ над } v_1 \text{ и } v_3, \\ \text{явное преимущество } v_3 \text{ над } v_1. \end{cases}
 \end{aligned}$$

3. Матрицы парных сравнений

Далее необходимо сформировать матрицы парных сравнений вариантов по каждому критерию [2]. Общее количество таких матриц совпадает с количеством критериев и равно m .

Для критерия $q_k \in Q$ матрица парных сравнений имеет вид

$$A^k = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & \dots & v_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11}^k & a_{12}^k & \dots & a_{1n}^k \\ a_{21}^k & a_{22}^k & \dots & a_{2n}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}^k & a_{n2}^k & \dots & a_{nn}^k \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad (1)$$

где элемент a_{ij}^k оценивается экспертом по 9-тибальной шкале Саати (таблица 1).

Знание матрицы (1) позволяет с использованием метода Саати проранжировать каждый вариант $v_i \in V$ по каждому критерию $q_k \in Q$. Для вычисления рангов необходимо найти собственный вектор матрицы (1).

Введем некоторые ограничения. Пусть матрица (1) имеет следующие свойства [3]:

- матрица диагональна, т.е. $a_{ij}^k = 1, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}, i = j$;
- элементы, симметричные относительно главной диагонали, связаны зависимостью

$$a_{ij}^k = \frac{1}{a_{ji}^k};$$

- матрица транзитивна, т.е. $a_{il}^k \cdot a_{lj}^k = a_{ij}^k$.

Наличие этих свойств позволяет определить все элементы матрицы (1) по элементам одной из строк. Если известна l -я строка, т.е. элементы $a_{lj}^k, j = \overline{1, n}$, то произвольный элемент a_{ij}^k определяется следующим образом:

$$a_{ij}^k = \frac{a_{lj}^k}{a_{li}^k}, i, j, l = \overline{1, n}, k = \overline{1, m}.$$

Экспертным высказываниям о вариантах подсистемы хранения соответствуют следующие матрицы парных сравнений:

$$A(q_1) = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & v_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1/7 \\ 7 & 1 & 1/2 \\ 7 & 2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad A(q_2) = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & v_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 5 & 9 \\ 1/5 & 1 & 9 \\ 1/9 & 1/9 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad A(q_3) = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & v_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 9 & 7 \\ 1/9 & 1 & 1/9 \\ 1/7 & 9 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

4. Критерии как нечеткие множества

Пусть $\mu^k(v_i)$ – число в диапазоне $[0,1]$, которое характеризует уровень оценки варианта $v_i \in V$ по критерию $q_k \in Q$. Чем больше число $\mu^k(v_i)$, тем выше оценка варианты по критерию $q_k \in Q, i = \overline{1, n}, k = \overline{1, m}$. Тогда критерий $q_k \in Q$ можно представить в виде нечеткого множества $\tilde{q}_k$, которое задано на универсальном множестве V следующим образом:

$$\tilde{q}_k = \left\{ \frac{\mu^k(v_1)}{v_1}, \frac{\mu^k(v_2)}{v_2}, \dots, \frac{\mu^k(v_n)}{v_n} \right\}. \quad (2)$$

Здесь $\mu^k(v_i)$ – степень принадлежности элемента v_i к нечеткому множеству $\tilde{q}_k$.

После определения всех элементов матрицы (1) степени принадлежности, необходимые для формирования нечеткого множества (2), вычисляются по формуле [3]:

$$\mu^k(v_i) = \frac{1}{a_{i1}^k + a_{i2}^k + \dots + a_{in}^k}. \quad (3)$$

Пользуясь матрицами парных сравнений и формулой (3), получаем:

$$q_1 = \left\{ \frac{0,778}{v_1}, \frac{0,118}{v_2}, \frac{0,1}{v_3} \right\}, q_2 = \left\{ \frac{0,067}{v_1}, \frac{0,098}{v_2}, \frac{0,818}{v_3} \right\}, q_3 = \left\{ \frac{0,059}{v_1}, \frac{0,098}{v_2}, \frac{0,077}{v_3} \right\}.$$

5. Равновесные критерии

Базируясь на принципе Беллмана-Заде [4], наилучшей системой будем считать ту, которая одновременно лучшая по критериям $q_1, q_2, \dots, q_m$. Поэтому нечеткое множество, которое необходимо для рейтингового анализа, определяется в виде пересечения (интегральный критерий оценки систем):

$$D = \tilde{q}_1 \cap \tilde{q}_2 \cap \dots \cap \tilde{q}_m.$$

Учитывая тот факт, что в теории нечетких множеств операции пересечения $\cap$ соответствует $\min$, получаем:

$$D = \left\{ \frac{\min_{k=1, m} [\mu^k(v_1)]}{v_1}, \frac{\min_{k=1, m} [\mu^k(v_2)]}{v_2}, \dots, \frac{\min_{k=1, m} [\mu^k(v_n)]}{v_n} \right\}. \quad (4)$$

Согласно полученному множеству D , наилучшим следует считать тот вариант, для которого степень принадлежности (числитель) является наибольшей.

Пользуясь нечеткими множествами q_1, q_2, q_3 и формулой (4), находим:

$$D = \left\{ \frac{0,059}{v_1}, \frac{0,098}{v_2}, \frac{0,099}{v_3} \right\}.$$

Последнее свидетельствует о преимуществе варианта v_2 над вариантами v_1 и v_3 , а также о преимуществе варианта v_3 над вариантом v_1 .

6. Неравновесные критерии

Пусть $w_1, w_2, \dots, w_m$ – коэффициенты относительной важности (или ранги) критериев $q_1, q_2, \dots, q_m$, такие что $w_1 + w_2 + \dots + w_m = 1$. Для определения коэффициентов $w_j, j = \overline{1, m}$ необходимо сформировать матрицу парных сравнений важности критериев $q_j \in Q$, аналогичную (1) и воспользоваться формулой (3).

При наличии коэффициентов важности $w_j, j = \overline{1, m}$ формула (4) примет вид

$$D = \left\{ \frac{\min_{k=1, m} [\mu^k(v_1)]^{w_1}}{v_1}, \frac{\min_{k=1, m} [\mu^k(v_2)]^{w_2}}{v_2}, \dots, \frac{\min_{k=1, m} [\mu^k(v_n)]^{w_m}}{v_n} \right\}, \quad (5)$$

где w_j свидетельствует о концентрации нечеткого множества $\tilde{q}_j$ в соответствии с мерой важности критерия $q_j \in Q$.

При ранжировании критериев следует учитывать мнения экспертов – работников гидрометеорологической отрасли. По их мнению, критерий q_2 является наиболее важным при реализации подсистемы хранения. Ранг критерия q_3 также имеет достаточно высокую оценку.

Таким образом, можно записать следующие высказывания:

$$\text{ранги критериев: } \begin{cases} \text{почти абсолютное преимущество } q_2 \text{ над } q_1, \\ \text{более чем существенное преимущество } q_2 \text{ над } q_3, \\ \text{существенное преимущество } q_3 \text{ над } q_1. \end{cases}$$

Экспертным оценкам соответствует следующая матрица парных сравнений:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} q_1 & q_2 & q_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 8 & 5 \\ 1/8 & 1 & 1/6 \\ 1/5 & 6 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Определим ранги критериев q_1 , q_2 и q_3 . Для этого ранги, полученные из матрицы парных сравнений, необходимо пронормировать, т.е.

$$\hat{w}_1 = 0,071, \hat{w}_2 = 0,744, \hat{w}_3 = 0,139.$$

Ранги критериев q_1 , q_2 и q_3 после нормировки принимают значения:

$$w_1 = 0,074, w_2 = 0,780, w_3 = 0,146.$$

Тогда согласно (5) получаем:

$$q_1 = \left\{ \frac{0,778^{0,074}}{v_1}, \frac{0,118^{0,074}}{v_2}, \frac{0,1^{0,074}}{v_3} \right\} = \left\{ \frac{0,982}{v_1}, \frac{0,854}{v_2}, \frac{0,843}{v_3} \right\},$$

$$q_2 = \left\{ \frac{0,067^{0,780}}{v_1}, \frac{0,098^{0,780}}{v_2}, \frac{0,818^{0,780}}{v_3} \right\} = \left\{ \frac{0,121}{v_1}, \frac{0,163}{v_2}, \frac{0,855}{v_3} \right\},$$

$$q_3 = \left\{ \frac{0,059^{0,146}}{v_1}, \frac{0,818^{0,146}}{v_2}, \frac{0,099^{0,146}}{v_3} \right\} = \left\{ \frac{0,662}{v_1}, \frac{0,971}{v_2}, \frac{0,713}{v_3} \right\}.$$

Пересечение этих нечетких множеств с учетом рангов критериев имеет вид:

$$D = \left\{ \frac{0,121}{v_1}, \frac{0,163}{v_2}, \frac{0,713}{v_3} \right\}.$$

Это свидетельствует о явном преимуществе варианта v_3 над вариантами v_1 и v_2 , а также о наличии небольшого преимущества варианта v_2 над v_1 .

Выводы

1. При равной значимости выбранных критериев структура подсистемы хранения с созданием базы данных имеет преимущество над структурами с созданием резервной копии и со сжатием данных.
2. При ранжировании критериев экспертами (работниками гидрометеорологической отрасли) вариант структуры со сжатием данных существенно преобладает над оставшимися двумя вариантами, поскольку этот вариант является экономным с точки зрения затрат на новые технические средства.
3. В перспективе предполагается исследование надежности выбранного варианта структуры подсистемы хранения гидрометеорологических данных на базе теории цепей Маркова.

Библиографический список

1. Хубка В. Теория технических систем / В. Хубка. — М.: Мир, 1987. — 209 с.
2. Козак А.А. Анализ надежности информационно-измерительных систем на ранних этапах проектирования / А.А. Козак, П.О. Кузнецов, А.П. Ротштейн // Стандартизация и измерительная техника: сб. науч. тр. — Красноярск, 1976. — Вып. 2. — С. 128–131.
3. Rotshtein A. Modification of Saaty Method for the Construction of Fuzzy Set Membership Functions / A. Rotshtein // Fuzzy Logic and Its Applications: International Conference FUZZY, 1997, Zichron, Israel. — Zichron, 1997. — P. 125–130.
4. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений: сб. переводов. — М.: Мир, 1976. — С. 172–215.

Поступила в редакцию 21.11.2008 г.