

УДК 519.874.2:519.816:551.50

# ВЫБОР НАИЛУЧШЕЙ СТРУКТУРЫ ПОДСИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ГИДРО- МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО СОВОКУПНОСТИ КРИТЕРИЕВ И ОЦЕНКАМ ЭКСПЕРТОВ

**М. Р. Валентюк**

Аспирант кафедры информационных систем  
Севастопольский национальный технический университет  
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053  
Контактный тел.: (0692) 45-12-27, 8-068-478-34-32  
E-mail: mvalent85@gmail.com

*Применяется метод вариантно-го анализа на базе экспертных оценок и ранговой шкалы критериев при выборе оптимальной структуры подсистемы хранения гидрометеорологических данных. Анализ выполнен для случая неравнозначных критериев и усложнен сочетанием двух подсистем в структуре каждого варианта. Выбранная в результате вариантного анализа структура подсистемы хранения данных может быть реализована не только в гидрометеорологической отрасли, а и во многих других отраслях жизнедеятельности человека*

## 1. Введение

Одной из характерных тенденций развития общества является появление больших сложных систем. Основной причиной этого является непрерывно увеличивающаяся сложность технических средств [1].

Системы создаются для удовлетворения тех или иных потребностей общества, отдельных его групп, слоев или индивидуумов. Стремление к возможно более полному удовлетворению этих потребностей служит целевым назначением системы. Показатели, которые признаются важными в отношении поставленной цели, называются критериями [2]. Сложностью при проектировании больших систем является наличие большого числа критериев. Выбранная система критериев является основой для принятия решений о выборе структуры системы из некоторого множества альтернатив [1].

Общая постановка задачи принятия решений выглядит следующим образом:

1) имеется некоторое множество альтернатив (вариантов построения системы)  $V$ , причем каждый вариант  $v_i$  характеризуется определенной совокупностью свойств;

2) имеется совокупность критериев  $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ , отражающих множество свойств системы;

3) необходимо принять решение о выборе одной из альтернатив, причем необходимо выбрать вариант наиболее подходящий по всей совокупности критериев.

Расчет значений критериев для систем может быть произведен в ранговой шкале. Критерии, измеряемые по ранговой шкале, являются значительно информативнее, так как позволяют судить об отношениях «лучше – хуже», существующими между системами [2].

В предлагаемой работе применяется методика вариантного анализа, использующая информацию о качестве вариантов в виде парных сравнений по шкале Саати, на примере подсистемы хранения гидрометеорологических (г/м) данных. Анализ усложнен тем, что критерии считаются неравнозначно важными.

## 2. Возможные структуры подсистемы хранения г/м данных

При проектировании подсистемы хранения было предложено несколько возможных составляющих подсистемы хранения, а именно:

- подсистема резервного копирования;
- подсистема организации баз данных;
- подсистема г/м архивации.

Анализ вариантов проводится с условием, что в каждой предполагаемой структуре используются только две из предложенных составляющих.

Первый вариант структуры подсистемы хранения г/м данных (рисунок 1,а) характеризуется наличием подсистемы организации базы данных (БД) и подсистемы резервного копирования. Во втором варианте (рисунок 1,б) сохранение информации производится как в БД, так и в локальный архив с использованием подсистемы г/м архивирования. Третий вариант структуры (рисунок 1,в) предусматривает сжатие информации г/м архиватором, при этом происходит дублирование информации, т.е. создание резервной копии.

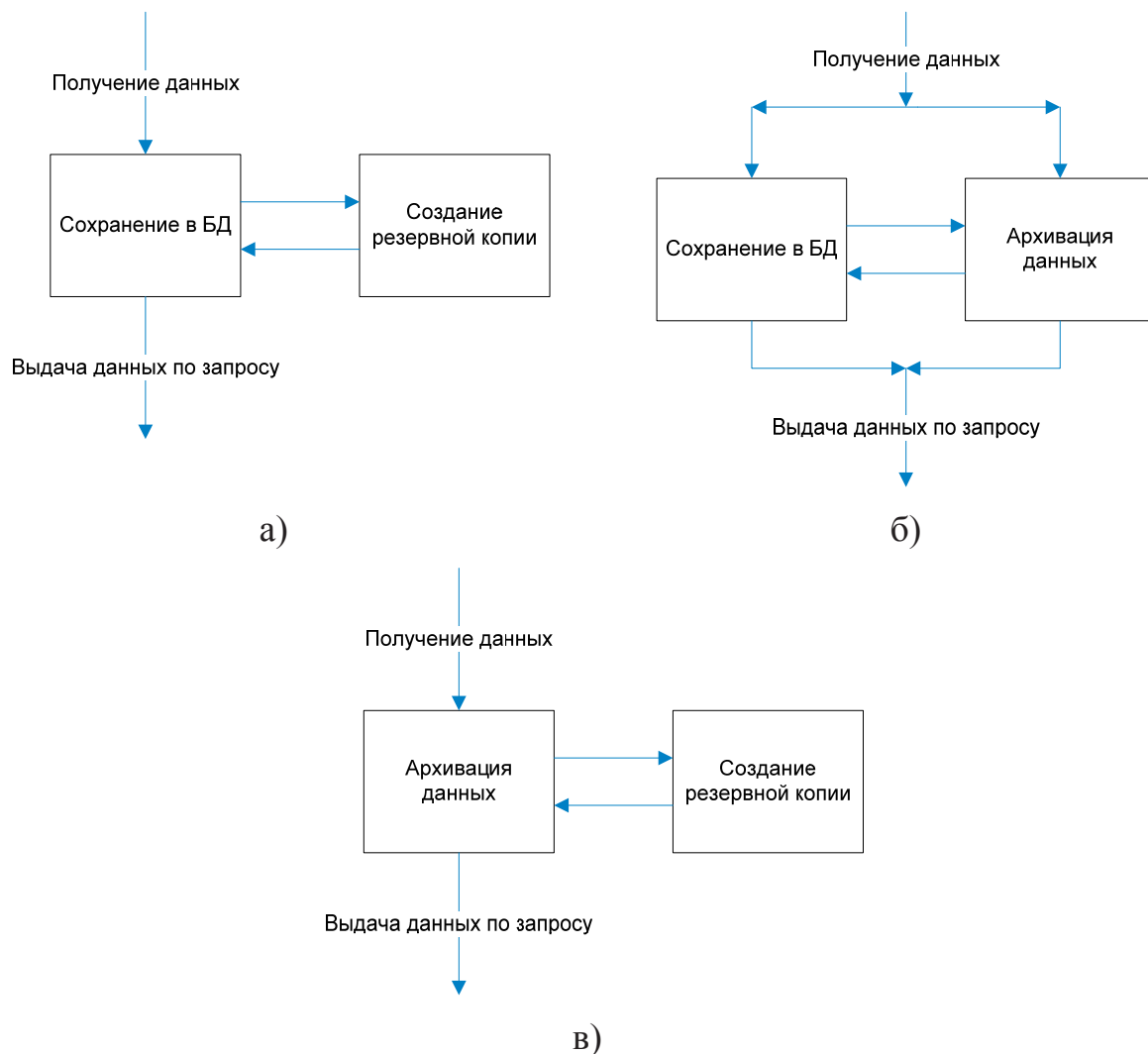


Рисунок 1. Варианты структуры подсистемы хранения: а) с созданием БД и резервным копированием; б) с созданием БД и архивом г/м данных; в) со сжатием данных и резервным копированием.

– адаптивность к изменениям (гибкость);  
– компактность хранения;  
– восстановление потерянных или поврежденных данных.

Обозначим каждый из критериев –  $q_i$ ,  $i=1.8$ .

### 3. Критерии оценки вариантов

Для выбора оптимальной структуры необходимо учитывать несколько групп наиболее важных критериев, а именно:

- временные критерии:
  - время получения некоторой выборки данных;
  - время получения цельного документа;
  - время внесения данных из нового документа;
- стоимостные критерии:
  - экономия затрат на технические средства;
  - экономия затрат на покупку программного обеспечения;
- надежность и качественные критерии:

Для оценки каждого варианта по критериям необходимо произвести анализ каждого из вариантов структур.

По первому критерию  $q_1$  – времени получения некоторой выборки данных явное преимущество имеют

структуры с наличием БД. Благодаря потреблению больших вычислительных ресурсов и организации информации в виде БД доступ к необходимым данным происходит значительно быстрее. Для получения некоторой выборки данных из г/м архива сотруднику г/м отрасли необходимо вручную выполнять поиск и выбор необходимых данных.

Для получения цельного документа (критерий  $q_2$ ), содержащего г/м данные согласно утвержденной форме, при использовании г/м архиватора понадобится намного меньше времени, чем при составлении этого же документа из БД. Это объясняется большими размерами таблиц БД, в которых необходимо производить поиск и выборку, а также дополнительной затрате времени на составление г/м документа согласно форме.

При внесении нового документа с г/м данными – критерий  $q_3$  – в БД необходима выборка данных из документа и внесение их в определенные таблицы БД с соблюдением связей и целостности. При внесении документа в архив с помощью г/м архиватора происходит архивация всего документа и помещение его в структурированный архив. Соответственно, время на добавление нового документа существенно меньше у структур с г/м архиватором.

Для функционирования структур с системами резервного копирования требуются не только устройства резервного копирования, но и сами носители. Носители могут быть разнообразными: CD и DVD диски, магнитные ленты, жесткий диск. Соответственно и стоимость технических средств (критерий  $q_4$ ), необходимых для создания резервных копий, также варьируется. Для функционирования БД необходимы мощные вычислительные ресурсы и большой объем жесткого диска, что также ведет к расходу средств на техническое обеспечение. Для работы г/м архиватора достаточно ПК средней мощности, а для хранения архива не нужен жесткий диск большого объема. Поэтому не возникает никакой необходимости в переоснащении ПК отрасли и происходит экономия денежных средств.

Стоимость программного обеспечения (ПО) – критерий  $q_5$  – для функционирования системы резервного копирования зависит от многих условий: устройств резервного копирования, лицензии, операционной системы и т.д. Стоимость систем управления БД (СУБД) также зависит от многих факторов. Наиболее дешевым является использование Interbase или клонов этого СУБД. ПО г/м архиватора является бесплатным, и для работы он не требует никакого дополнительного дорогостоящего ПО.

При внесении каких-либо изменений в форму г/м документов гибкость БД позволит ей достаточно быстро адаптироваться к этим изменениям. Изменение внутренней формы документа для системы резервного копирования не имеет значения, поэтому по критерию  $q_6$  эти системы имеют абсолютное преимущество. Так как г/м архиватор является узкоспециализированным, то в нем отсутствует значительная гибкость при изменении формы документа. Поэтому в случае полной смены формата документа может появиться необходимость написания нового г/м архиватора.

Под критерием компактности хранения данных  $q_7$  понимается место, занимаемое файлами, содержащими г/м данные. Так при использовании г/м архиватора компактность будет наиболее высокой. Использование системы резервного копирования также предусматривает

возможность компрессии данных, но компактность при этом будет существенно меньше, чем при использовании г/м архиватора. Данные в файлах БД не подвергаются компрессии, значит, файлы БД наименее компактны.

По критерию восстановления потерянных или поврежденных данных  $q_8$  явное преимущество имеют системы резервного копирования. Структуры с использованием БД не имеют, либо имеют малое преимущество над вариантом структуры с использованием г/м архиватора. Это зависит от математических средств, которые могут использоваться для восстановления данных при использовании г/м архиватора.

#### 4. Парные сравнения вариантов структур

Сравнения вариантов по каждому из критериев производится по 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

Сравнение структур подсистемы хранения по критериям приводит к следующим высказываниям:

- Критерий  $q_1$  :  $\begin{cases} \text{явное преимущество } v_1 \text{ и } v_2 \text{ над } v_3, \\ \text{слабое преимущество } v_2 \text{ над } v_1. \end{cases}$
- Критерий  $q_2$  :  $\begin{cases} \text{абсолютное преимущество } v_2 \text{ и } v_3 \text{ над } v_1, \\ \text{почти отсутствует преимущество } v_2 \text{ над } v_3. \end{cases}$
- Критерий  $q_3$  :  $\begin{cases} \text{почти абсолютное преимущество } v_2 \text{ и } v_3 \text{ над } v_1, \\ \text{слабое преимущество } v_3 \text{ над } v_2. \end{cases}$
- Критерий  $q_4$  :  $\begin{cases} \text{более чем абсолютное преимущество } v_2 \text{ над } v_1, \\ \text{явное преимущество } v_2 \text{ над } v_3, \\ \text{существенное преимущество } v_3 \text{ над } v_1. \end{cases}$
- Критерий  $q_5$  :  $\begin{cases} \text{более чем существенное преимущество } v_3 \text{ над } v_2, \\ \text{почти абсолютное преимущество } v_3 \text{ над } v_1, \\ \text{существенное преимущество } v_2 \text{ над } v_1. \end{cases}$
- Критерий  $q_6$  :  $\begin{cases} \text{явное преимущество } v_1 \text{ над } v_3, \\ \text{существенное преимущество } v_1 \text{ над } v_2, \\ \text{слабое преимущество } v_3 \text{ над } v_2. \end{cases}$
- Критерий  $q_7$  :  $\begin{cases} \text{абсолютное преимущество } v_3 \text{ над } v_1, \\ \text{существенное преимущество } v_3 \text{ над } v_2, \\ \text{существенное преимущество } v_2 \text{ над } v_1. \end{cases}$
- Критерий  $q_8$  :  $\begin{cases} \text{почти нет преимущества } v_1 \text{ над } v_3, \\ \text{явное преимущество } v_1 \text{ над } v_2, \\ \text{более чем существенное преимущество } v_3 \text{ над } v_2. \end{cases}$

Далее необходимо сформировать матрицы парных сравнений вариантов по каждому критерию [3]. Экс-

пертым высказываниям соответствуют следующие матрицы парных сравнений:

$$A(q_1) = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/7 \\ 1/3 & 1 & 1/7 \\ 7 & 7 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}, A(q_2) = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 9 & 9 \\ 1/9 & 1 & 1/2 \\ 1/9 & 2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$A(q_3) = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 8 & 8 \\ 1/8 & 1 & 3 \\ 1/8 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$A(q_4) = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 10 & 5 \\ 1/10 & 1 & 1/7 \\ 1/5 & 7 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}, A(q_5) = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 5 & 8 \\ 1/5 & 1 & 6 \\ 1/8 & 1/6 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$A(q_6) = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/7 \\ 5 & 1 & 3 \\ 7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$A(q_7) = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 5 & 9 \\ 1/5 & 1 & 5 \\ 1/9 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}, A(q_8) = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1/2 \\ 7 & 1 & 6 \\ 2 & 1/6 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

## 5. Принадлежность вариантов структур критериям

Степени принадлежности каждого варианта по критерию вычисляются по формуле [4]:

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

Пользуясь матрицами парных сравнений и формулой (1), получаем:

$$q_1 = \left\{ \frac{0,241}{v_1}, \frac{0,677}{v_2}, \frac{0,067}{v_3} \right\}, q_2 = \left\{ \frac{0,053}{v_1}, \frac{0,621}{v_2}, \frac{0,321}{v_3} \right\},$$

$$q_3 = \left\{ \frac{0,059}{v_1}, \frac{0,242}{v_2}, \frac{0,686}{v_3} \right\},$$

$$q_4 = \left\{ \frac{0,063}{v_1}, \frac{0,805}{v_2}, \frac{0,122}{v_3} \right\}, q_5 = \left\{ \frac{0,071}{v_1}, \frac{0,139}{v_2}, \frac{0,774}{v_3} \right\},$$

$$q_6 = \left\{ \frac{0,745}{v_1}, \frac{0,111}{v_2}, \frac{0,12}{v_3} \right\}, \quad (2)$$

$$q_7 = \left\{ \frac{0,067}{v_1}, \frac{0,161}{v_2}, \frac{0,763}{v_3} \right\}, q_8 = \left\{ \frac{0,609}{v_1}, \frac{0,071}{v_2}, \frac{0,316}{v_3} \right\}.$$

## 6 Оценка согласованности экспертов

При ранжировании критериев по важности следует учитывать мнения экспертов – работников гидрометеорологической отрасли.

Количество экспертов, участвующих в опросе, не должно быть слишком малым во избежание чрезмерного влияния индивидуальных оценок экспертов на коллективную оценку. Но оно не должно быть и слишком большим, чтобы не принизить значение оценок отдельных экспертов, мнение которых существенно отличается от мнения большинства, однако не всегда является ошибочным. Иначе количество экспертов должно быть необходимым и достаточным для корректного решения рассматриваемого класса задач [5].

В Севастополе находится несколько организаций, имеющих непосредственное отношение к обработке и анализу гидрометеорологических данных, а именно: МГИ НАН Украины, Институт биологии южных морей, Севастопольская Гидромет Обсерватория, а также метеослужбы вооружено-морских сил Украины и Российской Федерации.

Следовательно, количество экспертов, занятых в опросе, равно  $K=5$ . Опрос проводится по восьми критериям выбора подсистемы хранения: временным, стоимостным и надежностным. Оценка ставится в баллах от 1 до 10, причем, чем выше балл, тем выше важность параметра.

Оценки, данные каждым экспертом, нормируются по формуле

$$\beta_{kn} = \frac{c_{kn}}{\sum_{n=1}^N c_{kn}},$$

где  $c_{kn}$  – оценка  $k$ -м экспертом важности  $n$ -го критерия,  $N$  – число критериев.

В таблице 2 приведены критерии и оценки важности каждого из них, полученные в ходе опроса экспер-

Таблица 2

Оценки критериев выбора подсистемы хранения на основе опроса экспертов

k	Оценки по критериям															
	n=1		n=2		n=3		n=4		n=5		n=6		n=7		n=8	
№	$c_{k1}$	$\beta_{k1}$	$c_{k2}$	$\beta_{k2}$	$c_{k3}$	$\beta_{k3}$	$c_{k4}$	$\beta_{k4}$	$c_{k5}$	$\beta_{k5}$	$c_{k6}$	$\beta_{k6}$	$c_{k7}$	$\beta_{k7}$	$c_{k8}$	$\beta_{k8}$
1	8	0,19	3	0,07	5	0,12	7	0,17	7	0,17	5	0,12	4	0,10	3	0,07
2	6	0,16	2	0,05	4	0,11	8	0,22	8	0,22	2	0,05	6	0,16	1	0,03
3	8	0,15	7	0,13	4	0,07	10	0,18	10	0,18	3	0,05	7	0,13	6	0,11
4	7	0,21	1	0,03	1	0,03	8	0,24	8	0,24	2	0,06	5	0,15	1	0,03
5	5	0,17	1	0,03	2	0,07	6	0,21	6	0,21	4	0,14	3	0,10	2	0,07

тов – работников каждой из организаций. Нумерация экспертов приведена в таблице 3.

Таблица 3

Расшифровка нумерации экспертов

k	1	2	3	4	5
Обозначение	МГИ НАН Украины	ИнБЮМ	СГМО	МС ВМС Украины	МС ВМС РФ

Затем вычисляются средние значения оценок каждого критерия

$$\bar{\beta}_n = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K \beta_{kn}.$$

Среднеквадратические отклонения по каждому критерию определяются по формуле

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K (\beta_{kn} - \bar{\beta}_n)^2}.$$

После этого определяется коэффициент вариации

$$v_n = \frac{\sigma_n}{\bar{\beta}_n},$$

определяющий степень согласованности мнений экспертов о важности отдельных критериев. Чем больше величина  $v_n$ , тем меньше согласованность экспертов в оценке n-го критерия; при одинаковом (полностью согласованном) мнении экспертов эта величина равна нулю [5].

Таблица 4

Значения дополнительных параметров

Параметры	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8
Среднее значение оценок, $\bar{\beta}_n$	0,18	0,06	0,08	0,20	0,20	0,09	0,13	0,06
Среднеквадратическое отклонение, $\sigma_n$	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04
Коэффициент вариации, $v_n$	0,11	0,67	0,38	0,15	0,15	0,44	0,15	0,67

Из таблицы 4 видно, что мнение экспертов по важности второго и восьмого критерия является не однозначным, так как коэффициент вариации равен 0,67. Мнение экспертов о важности третьего и шестого критерия в основном совпадает с небольшими расхождениями. Также можно сказать, что по всем восьми критериям нет полностью идентичных мнений экспертов.

Степень согласованности мнений экспертов по всем параметрам оценивается коэффициентом конкордации [5]:

$$w = \frac{12 \cdot \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2}{K^2 \cdot (N^3 - N) - K \cdot \sum_{k=1}^K T_k}. \quad (3)$$

Здесь  $S_n = \sum_{k=1}^K R_{kn}$  – сумма рангов, присвоенных экспертами n-му критерию;

$R_{kn}$  – ранг n-го критерия, назначенный k-м экспертом;

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N S_n – \text{среднее значение сумм рангов.}$$

$$T_k = \sum_{m=1}^{M_k} (t_{km}^3 - t_{km}),$$

где  $t_{km}$  – число одинаковых рангов m-го типа в оценках k-го эксперта,  $M_k$  – количество групп критериев с совпавшими рангами в оценках k-го эксперта.

Коэффициент конкордации изменяется в пределах от нуля до единицы, причем при  $w=1$  соответствует полной согласованности экспертов.

Ранги, присвоенные экспертами каждому из критериев, представлены в таблице 5.

Таблица 5

Ранги критериев

k	Ранг критерия, $R_{kn}$								Число одинаковых рангов, $t_{km}$
№	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	
1	1	6	5	2	2	3	4	7	«2» – 2
2	2	6	5	1	2	4	3	7	«2» – 2
3	2	5	6	1	2	4	3	6	«2» – 2, «6» – 2
4	2	6	5	1	2	4	3	7	«2» – 2
5	2	6	5	1	1	4	3	7	«1» – 2
$S_n$	9	29	26	6	9	19	16	34	

Вычислим значение коэффициента конкордации, используя формулу (3):

$$w = \frac{12 \cdot [(-9,5)^2 + 10,5^2 + 7,5^2 + (-12,5)^2 + (-9,5)^2 + 0,5^2 + (-2,5)^2 + 15,5^2]}{5^2 \cdot (8^3 - 8) - 5 \cdot 6 \cdot (2^3 - 2)} = 0,72$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что степень согласованности мнений экспертов достаточно высока.

## 7. Выбор наилучшего варианта структуры подсистемы хранения

Основываясь на таблице 5 можно записать следующие высказывания:

ранги критериев:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{абсолютное преимущество } q_4 \text{ и } q_5 \text{ над } q_2 \text{ и } q_8, \\ \text{явное преимущество } q_4 \text{ и } q_5 \text{ над } q_3 \text{ и } q_6, \\ \text{существенное преимущество } q_4 \text{ и } q_5 \text{ над } q_1 \text{ и } q_7, \\ \text{слабое преимущество } q_4 \text{ над } q_5, \\ \text{явное преимущество } q_1 \text{ над } q_2 \text{ и } q_8, \\ \text{более чем существенное преимущество } q_1 \text{ над } q_3 \text{ и } q_6, \\ \text{почти существенное преимущество } q_1 \text{ над } q_7, \\ \text{более чем существенное преимущество } q_7 \text{ над } q_2 \text{ и } q_8, \\ \text{почти существенное преимущество } q_7 \text{ над } q_3 \text{ и } q_6, \\ \text{существенное преимущество } q_6 \text{ над } q_2 \text{ и } q_8, \\ \text{слабое преимущество } q_6 \text{ над } q_3, \\ \text{почти существенное преимущество } q_3 \text{ над } q_2 \text{ и } q_8, \\ \text{имеется слабое преимущество } q_2 \text{ над } q_8. \end{array} \right.$

Экспертным оценкам соответствует следующая матрица парных сравнений:

	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$	$q_6$	$q_7$	$q_8$
$q_1$	1	1/7	1/6	5	5	1/6	1/4	1/7
$q_2$	7	1	4	9	9	5	6	1/3
$q_3$	6	1/4	1	7	7	3	4	1/4
$q_4$	1/5	1/9	1/7	1	1/3	1/7	1/5	1/9
$q_5$	1/5	1/9	1/7	3	1	1/7	1/5	1/9
$q_6$	6	1/5	1/3	7	7	1	4	1/5
$q_7$	4	1/6	1/4	5	5	1/4	1	1/6
$q_8$	7	3	4	9	9	5	6	1

Определим ранги критериев. Для этого ранги, полученные из матрицы парных сравнений, необходимо пронормировать.

$$\hat{w}_1 = 0,084, \hat{w}_2 = 0,024, \hat{w}_3 = 0,035, \hat{w}_4 = 0,446,$$

$$\hat{w}_5 = 0,204, \hat{w}_6 = 0,039, \hat{w}_7 = 0,063, \hat{w}_8 = 0,023.$$

Ранги критериев после нормировки имеют вид:

$$w_1 = 0,092, w_2 = 0,026, w_3 = 0,038, w_4 = 0,486,$$

$$w_5 = 0,222, w_6 = 0,042, w_7 = 0,069, w_8 = 0,025.$$

Базируясь на принципе Беллмана – Заде [6], наилучшей системой будем считать ту, которая одновременно лучшая по всем критериям. Поэтому нечеткое множество, которое необходимо для рейтингового анализа, определяется в виде пересечения.

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

$$D = \left\{ \frac{\min_{k=1,m} [\mu^k(v_1)]^{w_1}}{v_1}, \frac{\min_{k=1,m} [\mu^k(v_2)]^{w_2}}{v_2}, \dots, \frac{\min_{k=1,m} [\mu^k(v_n)]^{w_m}}{v_n} \right\}, \quad (4)$$

где  $w_j$  – ранг критерия.

Используя формулы (2) и (4), получаем:

$$\begin{aligned} q_1 &= \left\{ \frac{0,241^{0,092}}{v_1}, \frac{0,677^{0,092}}{v_2}, \frac{0,067^{0,092}}{v_3} \right\} = \left\{ \frac{0,877}{v_1}, \frac{0,965}{v_2}, \frac{0,779}{v_3} \right\} \\ q_2 &= \left\{ \frac{0,053^{0,026}}{v_1}, \frac{0,621^{0,026}}{v_2}, \frac{0,321^{0,026}}{v_3} \right\} = \left\{ \frac{0,926}{v_1}, \frac{0,988}{v_2}, \frac{0,971}{v_3} \right\} \\ q_3 &= \left\{ \frac{0,059^{0,038}}{v_1}, \frac{0,242^{0,038}}{v_2}, \frac{0,686^{0,038}}{v_3} \right\} = \left\{ \frac{0,898}{v_1}, \frac{0,948}{v_2}, \frac{0,986}{v_3} \right\} \\ q_4 &= \left\{ \frac{0,063^{0,486}}{v_1}, \frac{0,805^{0,486}}{v_2}, \frac{0,122^{0,486}}{v_3} \right\} = \left\{ \frac{0,261}{v_1}, \frac{0,899}{v_2}, \frac{0,359}{v_3} \right\} \\ q_5 &= \left\{ \frac{0,071^{0,222}}{v_1}, \frac{0,139^{0,222}}{v_2}, \frac{0,774^{0,222}}{v_3} \right\} = \left\{ \frac{0,556}{v_1}, \frac{0,645}{v_2}, \frac{0,945}{v_3} \right\} \\ q_6 &= \left\{ \frac{0,745^{0,042}}{v_1}, \frac{0,111^{0,042}}{v_2}, \frac{0,12^{0,042}}{v_3} \right\} = \left\{ \frac{0,988}{v_1}, \frac{0,912}{v_2}, \frac{0,915}{v_3} \right\} \\ q_7 &= \left\{ \frac{0,067^{0,069}}{v_1}, \frac{0,161^{0,069}}{v_2}, \frac{0,763^{0,069}}{v_3} \right\} = \left\{ \frac{0,829}{v_1}, \frac{0,882}{v_2}, \frac{0,982}{v_3} \right\} \\ q_8 &= \left\{ \frac{0,609^{0,025}}{v_1}, \frac{0,071^{0,025}}{v_2}, \frac{0,316^{0,025}}{v_3} \right\} = \left\{ \frac{0,988}{v_1}, \frac{0,936}{v_2}, \frac{0,972}{v_3} \right\} \end{aligned}$$

Пересечение этих нечетких множеств с учетом рангов критериев имеет вид:

$$D = \left\{ \frac{0,261}{v_1}, \frac{0,645}{v_2}, \frac{0,359}{v_3} \right\}.$$

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

Множество  $D$  свидетельствует о преимуществе второго варианта над первым и третьим вариантами, а также о преимуществе третьего варианта над первым.

## 8. Область возможного внедрения полученных результатов

Анализ вариантов по многим критериям – это важная задача принятия решений. Данная методика вариантного анализа может быть применима не только в технике, но и в экономике, образовании, политике и других сферах жизнедеятельности.

Итоги, полученные в результате вариантного анализа, могут быть распространены на системы хранения данных не только гидрометеорологической отрасли, а любой отрасли, которым важно качественное



проектирование при минимальных экономических затратах.

### Выводы

Таким образом, при неравной значимости выбранных критериев структура подсистемы хранения с созданием БД и одновременным созданием архива г/м данных имеет явное преимущество над остальными структурами. Следовательно, для обеспечения качественного прогноза гидрометеорологических явлений необходимо спроектировать подсистему хранения согласно выбранной структуре.

### Литература

1. Денисов А.А. Теория больших систем управления: учебное пособие для вузов / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.

2. Николаев В.И. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
3. 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.
4. 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.
5. Окунев Ю.Б. Принципы системного подхода к проектированию в технике связи / Ю.Б. Окунев, В.Г. Плотноков. – М.: Связь, 1976. – 184 с.
6. 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.

УДК 656.073, 656.788, 656.025.2

# МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

*Проаналізовано існуючі методи підвищення ефективності доставки вантажів у міжнародному сполученні. Запропоновано математичну модель транспортного процесу міжнародних вантажних перевезень на основі марківських ланцюгів*

**Н.В. Пономарьова**  
Кандидат технічних наук, доцент\*  
E-mail: nadin\_tt@ukr.net

**В.С. Наумов**  
Кандидат технічних наук, доцент\*  
E-mail: naumov-vs@mail.ru

**І.А. Бабич**  
Асистент\*

E-mail: inna\_babych@mail.ru

\*Кафедра транспортних технологій  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
вул. Петровського 25, м. Харків, Україна, 61200  
Контактний тел.: (057) 707-37-20

### 1. Вступ

Теоретичні розробки та їх практичне впровадження тісно пов'язані з інтеграційними процесами на автомобільному транспорті, зокрема, з інтеграцією

транспортного комплексу України до Європейської транспортної системи. Оскільки територією України проходять три транспортні коридори, що увійшли до світової транспортної мережі, дуже важливим є формування умов та сприяння у виконанні національних