

УДК 519.95:681.3.06:001.18:303.444

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ОЦЕНКИ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ю.А. Устюгов

В в е д е н и е

Технологии технико-экономической оценки (ТЭО) вариантов построения технических систем (ТС), в основном, предусматривают две процедуры:

- 1) эксперт (группа экспертов) предлагает вариант (множество вариантов) построения ТС;
- 2) по предложенному варианту (последовательно по множеству вариантов) проводится моделирование применения ТС с целью получения ТЭО варианта (множества вариантов).

Полученные ТЭО позволяют мотивировать выбор приоритетного варианта построения ТС.

Традиционные технологии ТЭО вариантов построения ТС имеют ряд существенных достоинств: максимальный (потребный) учет факторов реальных условий применения, высокая точность получаемых оценок. Вместе с тем традиционные подходы имеют существенное ограничение: чем больше учитывается факторов, тем больше требуется времени для проведения ТЭО (длительность ТЭО одного варианта построения ТС может составлять часы, а то и сутки непрерывного счета на ЭВМ).

В связи с вышеизложенным актуальным с теоретической и практической точек зрения является разработка технологии про -

ведения ТЭО вариантов построения ТС, позволяющей решать задачи анализа и выбора приоритетного варианта при небольших затратах машинного времени и с приемлемой точностью.

В статье излагаются основы ресурсосберегающей технологии ТЭО вариантов построения ТС. Применение технологии иллюстрируется на примере анализа вариантов построения сложных ТС.

Условно обозначим комплекс математических моделей, используемых в традиционных технологиях, термином МОДЕЛЬ 1, а математические модели, положенные в основу излагаемой в статье технологии, термином МОДЕЛЬ 2.

На рис.1 приведены основные этапы ТЭО вариантов построения ТС как по традиционной (МОДЕЛЬ 1), так и излагаемой в статье технологиям (МОДЕЛЬ 2).

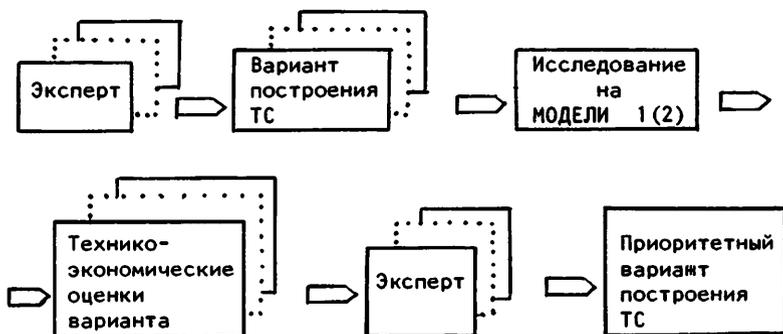


Рис. 1

Перед применением МОДЕЛИ 2 ее необходимо итерационно настроить на МОДЕЛЬ 1 (рис.2). Сначала экспертами задается множество тестовых вариантов построения ТС в выбранной предметной области. В каждом цикле настройки с помощью МОДЕЛИ 1 и МОДЕЛИ 2 проводится ТЭО тестовых вариантов. Далее эксперты сравнивают полученные с помощью МОДЕЛИ 1 и МОДЕЛИ 2 результаты, счи-

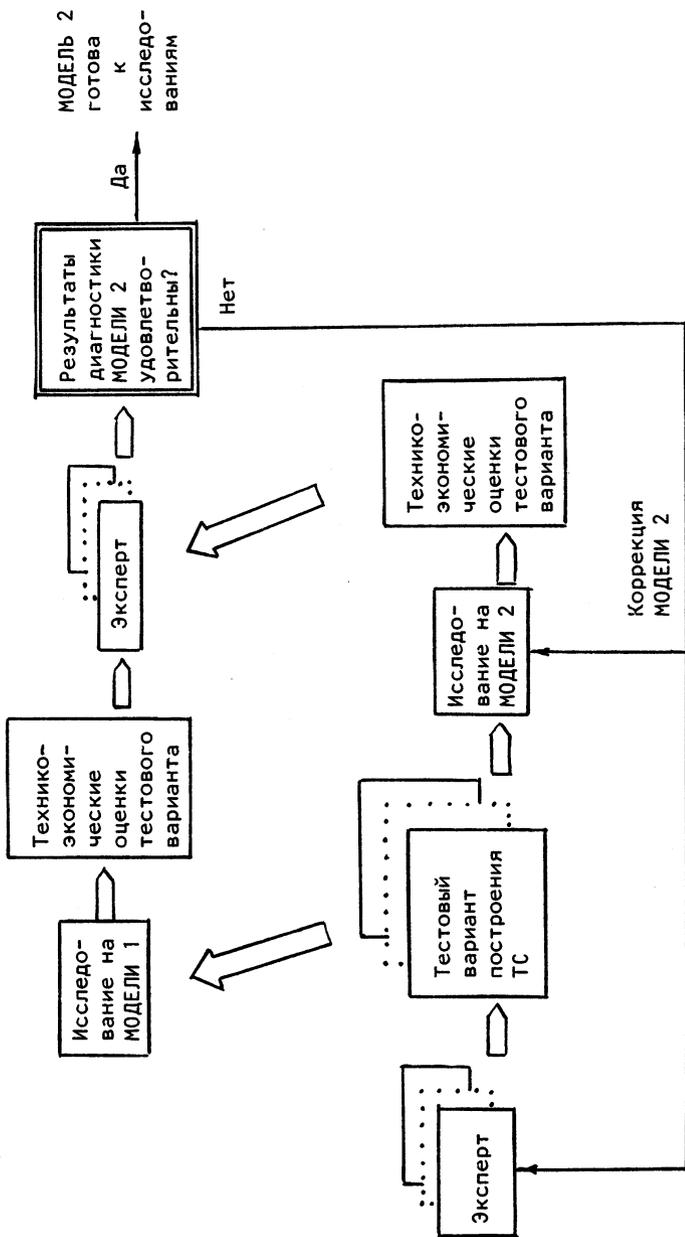


Рис.2. Основные этапы итеративной настройки МОДЕЛИ 2 по МОДЕЛИ 1

тая результаты работы МОДЕЛИ 1 эталонными. Если расхождение результатов по точности будет в пределах допустимых значений, то настройка МОДЕЛИ 2 завершается, считается, что МОДЕЛЬ 2 готова к проведению ТЭО вариантов построения ТС в выбранной предметной области. Если расхождение результатов работы МОДЕЛИ 1 и МОДЕЛИ 2 превышает допустимые нормы, то проводится очередной цикл настройки, при этом МОДЕЛЬ 2 корректируется.

МОДЕЛЬ 2 является естественным продолжением МОДЕЛИ 1, поскольку она обязательно диагностируется на МОДЕЛИ 1. Трудоемкость процесса настройки существенно зависит от правильного выбора множества тестовых вариантов (полноты и качества исходных данных).

Существенным является то, что после настройки МОДЕЛИ 2 на МОДЕЛЬ 1 при проведении ТЭО любого варианта (см.рис.1) результаты счета на МОДЕЛИ 2 появляются в реальном времени (на это требуются доли секунд), а при использовании МОДЕЛИ 1 - не в реальном времени (на это требуются часы-сутки).

Выигрыш во времени t_{Δ} , получаемый при замене МОДЕЛИ 1 с временем счета одного варианта $t_{сч}^{M1}$ на МОДЕЛЬ 2 с временем счета любого варианта $t_{сч}^{M2}$, при анализе N вариантов построения системы с учетом времени настройки $t_{н}^{M2}$ МОДЕЛИ 2 на МОДЕЛЬ 1 определяется следующим образом:

$$t_{\Delta} = N(t_{сч}^{M1} - t_{сч}^{M2}) - t_{н}^{M2}. \quad (1)$$

Так как $t_{сч}^{M1} \gg t_{сч}^{M2}$, то выражение (1) можно записать в следующем виде:

$$t_{\Delta} = N t_{сч}^{M1} - t_{н}^{M2}. \quad (2)$$

Условие целесообразности замены МОДЕЛИ 1 на МОДЕЛЬ 2, согласно формуле (2) и тому, что $t_{\Delta} > 0$, можно представить в двух видах:

$$N > t_{\text{н}}^{M2} / t_{\text{сч}}^{M1} \quad (3)$$

и

$$t_{\text{н}}^{M2} < N \cdot t_{\text{сч}}^{M1} \quad (4)$$

Опыт показывает, что при анализе большого числа вариантов построения ТС (особенно сложных ТС) условие (4) заведомо выполняется ($t_{\text{н}}^{M2} \ll N \cdot t_{\text{сч}}^{M1}$) и, согласно формуле (2), $t_{\Delta} \approx N \cdot t_{\text{сч}}^{M1}$. В связи с этим при реальном соотношении $t_{\text{сч}}^{M1} / t_{\text{сч}}^{M2} = 10^4 - 10^5$ применение разработанной технологии может позволить сократить время получения ТЭО на четыре-пять порядков. Ввод новых вариантов для исследования в рамках разработанной технологии не требует от пользователя навыков профессионала-программиста.

Описанная в статье технология развивает механизм реализации этапов 9-12 технологии прогнозирования, изложенной в [1], и дополняет процедуру выполнения этапов 7-10 технологии планирования, изложенной в [2].

§1. Постановка задачи

Пусть каждый вариант построения ТС (далее просто вариант) задается значениями K характеристик x_1, x_2, \dots, x_K . При исследовании варианта на МОДЕЛИ 1 (см.рис.1) определяются значения L технико-экономических характеристик (далее просто характеристик) $y_1^1, y_2^1, \dots, y_L^1$. При исследовании этого же варианта на МОДЕЛИ 2 (см.рис.1) определяются L характеристик $y_1^2, y_2^2, \dots, y_L^2$.

При исследовании на МОДЕЛИ 1 J вариантов в базе данных результатов формируется прямоугольная таблица размера $I \times J$:

$$I = K+L$$

$$J \left\{ \begin{array}{cccc} \overbrace{x_{11} \ x_{12} \ \dots \ x_{1K}} & \overbrace{y^1_{11} \ y^1_{12} \ \dots \ y^1_{1L}} & & \\ x_{21} \ x_{22} \ \dots \ x_{2K} & y^1_{21} \ y^1_{22} \ \dots \ y^1_{2L} & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{J1} \ x_{J2} \ \dots \ x_{JK} & y^1_{J1} \ y^1_{J2} \ \dots \ y^1_{JL} & & \end{array} \right.$$

Аналогично, при исследовании на МОДЕЛИ 2 тех же J вариантов в базе данных результатов формируется прямоугольная таблица размера IxJ.

$$I = K+L$$

$$J \left\{ \begin{array}{cccc} \overbrace{x_{11} \ x_{12} \ \dots \ x_{1K}} & \overbrace{y^2_{11} \ y^2_{12} \ \dots \ y^2_{1L}} & & \\ x_{21} \ x_{22} \ \dots \ x_{2K} & y^2_{21} \ y^2_{22} \ \dots \ y^2_{2L} & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{J1} \ x_{J2} \ \dots \ x_{JK} & y^2_{J1} \ y^2_{J2} \ \dots \ y^2_{JL} & & \end{array} \right.$$

Пусть число тестовых вариантов N^T , т.е. априори известны и составляют обучающую выборку для МОДЕЛИ 2 значения:

$$\begin{aligned} x_{ij} & \text{ при } i = \overline{1, K} \text{ и } j = \overline{1, N^T}; \\ y^1_{ij} & \text{ при } i = \overline{1, L} \text{ и } j = \overline{1, N^T}. \end{aligned} \tag{5}$$

Известны M методов решения задачи прогноза значения характеристик y^2_{ij} при $i = \overline{1, L}$ и $j = \overline{1, J}$ по значениям характеристик x_{ij}, y^1_{ij} при $i = \overline{1, K}$ и $j = \overline{1, J}$ в реальном масштабе времени (далее просто задачи прогноза). Эти M методов с различными модификациями порождают Q способов ($Q > M$) решения задачи прогноза $СП_1, СП_2, \dots, СП_Q$.

Используя Q способов решения задачи прогноза и обучающую выборку, приведенную в формуле (5), требуется построить МОДЕЛЬ 2 (см.рис.2), обеспечивающую оценку значений характеристик y^2_{ij} при $i = \overline{1, L}$ и $j = \overline{1, N^T}$ по значениям харак -

теристик x_{ij} при $i = \overline{1, K}$ и $j = \overline{1, N^P}$ с требуемой точностью $\Delta_{\text{зад}}$:

$$\Delta = \frac{|y_{2ij}^2 - y_{1ij}^1|}{y_{1ij}^1} * 100\% \leq \Delta_{\text{зад}}, \quad i = \overline{1, L}; j = \overline{1, N^P},$$

где $N^P = J - N^T$, а величина $\Delta_{\text{зад}}$ задается в %.

§2. Методология решения задачи

Каждый q -й способ решения задачи прогноза отличается значениями следующих характеристик:

а) максимальной погрешностью прогноза Δ_q :

$$\Delta_q = \max_{i,j} \left\{ \frac{|y_{2ijq}^2 - y_{1ij}^1|}{y_{1ij}^1} \right\} * 100\%,$$

где y_{2ijq}^2 - значение величины y_{2ij}^2 , полученное q -м способом;

б) средним значением погрешности прогноза $\overline{\Delta}_q$:

$$\overline{\Delta}_q = \frac{\sum_{j=1}^{N^T} \sum_{i=1}^L \frac{|y_{2ijq}^2 - y_{1ij}^1|}{y_{1ij}^1} * 100\%}{N^T * L};$$

в) вероятностью P_q того, что значение Δ_q не превысит заданное $\Delta_{\text{зад}}$: $P_q = P\{\Delta_q \leq \Delta_{\text{зад}}\}$;

г) временем t_q прогноза значения y_{2ijq}^2 ;

д) временем решения задачи прогноза по одному варианту

$$T_q = Lt_q;$$

е) объемом V_q требуемых ресурсов ЭВМ для решения задачи прогноза по N^P вариантам.

На множестве Q способов при поиске процедур с минимальной погрешностью оценок y^2_{ij} по x_{ij} и y^1_{ij} возможны R стратегий решения задачи прогноза, отличающихся значениями следующих характеристик:

а) максимальной погрешностью прогноза Δ_r :

$$\Delta_r = \max_{i,j} \left\{ \frac{|y^2_{ijr} - y^1_{ij}|}{y^1_{ij}} \right\} \cdot 100\%,$$

где y^2_{ijr} - значение величины y^2_{ij} , полученное при r-й ($r \in R$) стратегии решения задачи прогноза;

б) средним значением погрешности прогноза $\bar{\Delta}_r$:

$$\bar{\Delta}_r = \frac{\sum_{j=1}^{N^T} \sum_{i=1}^L \frac{|y^2_{ijr} - y^1_{ij}|}{y^1_{ij}} \cdot 100\%}{N^T \cdot L};$$

в) вероятностью P_r того, что значение Δ_r не превысит заданного значения $\Delta_{\text{зад}}$: $P_r = P\{\Delta_r \leq \Delta_{\text{зад}}\}$;

д) временем решения задачи прогноза по одному варианту $T_r = Lt_r$;

е) объемом V_r требуемых ресурсов ЭВМ для решения задачи прогноза по N^T вариантам.

Характеристики Q способов и R стратегий решения задачи прогноза упорядочиваются экспертами (пользователями) по приоритету, например, следующим образом:

$$\Delta_q, P_q, V_q, T_q, \bar{\Delta}_q, q = \overline{1, Q} \quad (6)$$

и

$$\Delta_r, P_r, V_r, T_r, \bar{\Delta}_r, r = \overline{1, R}, \quad (7)$$

причем крайние левые характеристики имеют высший приоритет, крайние правые - низший приоритет.

В общем случае задача прогноза значения характеристик y_{ijr}^2 ; $i = \overline{1, L}$, $j \in N^{\Pi}$, $r \in R$, по предложенному варианту x_{ij} , $i = \overline{1, K}$, $j \in N^{\Pi}$, должна решаться при определенных условиях. Ниже в формулах (8)-(12) приведены параметры пяти вариантов этих условий:

$$\Delta_r \rightarrow \min_r \text{ при } P_r \geq P_{\text{зад}}, V_r \leq V_{\text{зад}}, T_r \leq T_{\text{зад}}, \bar{\Delta}_r \leq \bar{\Delta}_{\text{зад}}; \quad (8)$$

$$P_r \rightarrow \max_r \text{ при } \Delta_r \leq \Delta_{\text{зад}}, V_r \leq V_{\text{зад}}, T_r \leq T_{\text{зад}}, \bar{\Delta}_r \leq \bar{\Delta}_{\text{зад}}; \quad (9)$$

$$V_r \rightarrow \min_r \text{ при } P_r \geq P_{\text{зад}}, \Delta_r \leq \Delta_{\text{зад}}, T_r \leq T_{\text{зад}}, \bar{\Delta}_r \leq \bar{\Delta}_{\text{зад}}; \quad (10)$$

$$T_r \rightarrow \min_r \text{ при } \Delta_r \leq \Delta_{\text{зад}}, P_r \geq P_{\text{зад}}, V_r \leq V_{\text{зад}}, \bar{\Delta}_r \leq \bar{\Delta}_{\text{зад}}; \quad (11)$$

$$\bar{\Delta}_r \rightarrow \min_r \text{ при } \Delta_r \leq \Delta_{\text{зад}}, P_r \geq P_{\text{зад}}, V_r \leq V_{\text{зад}}, T_r \leq T_{\text{зад}}. \quad (12)$$

Методологически возможны два подхода корректировки значений характеристик, приведенных в формулах (6) и (7);

- подход 1: результаты решения задачи прогноза при $j = \overline{1, N^{\Pi}}$ не меняют значения характеристик, приведенных в формулах (6) и (7);

- подход 2: результаты решения задачи прогноза по j -му варианту, $j \in N^{\Pi}$, включаются в обучающую выборку (см. формулу (5)), в итоге необходимо оперативно изменить значения характеристик, приведенных в формулах (6) и (7).

Второй подход более трудоемок. Первый подход предполагает решение задачи прогноза без самообучения, второй подход - с самообучением.

§3. Технология решения задачи (общий случай)

При разработке технологии решения задачи для конкретной предметной области необходимо выбрать: подход (вариант 1 или 2); один из вариантов условий, приведенных в формулах (8)-(12).

Далее необходимо задаться конкретными значениями величин $P_{\text{зад.}}$, $V_{\text{зад.}}$, $T_{\text{зад.}}$, $\bar{\Delta}_{\text{зад.}}$. Для данной предметной области выбрать, доработать или разработать заново Q способов и R стратегий решения задачи прогноза. Определить значения характеристик и величин, приведенных в формулах (5)-(7).

Таким образом, перечень исходных данных для применения технологии включает:

$$\Delta_{\text{зад.}}, P_{\text{зад.}}, V_{\text{зад.}}, T_{\text{зад.}}, \bar{\Delta}_{\text{зад.}}, K, L, (I), N^T, N^N, (J), M, Q, R,$$

$$x_{ij} \text{ при } i = \overline{1, K} \text{ и } j = \overline{1, N^T};$$

$$y^l_{ij} \text{ при } i = \overline{1, L} \text{ и } j = \overline{1, N^T};$$

$$\Delta_q, P_q, V_q, T_q, \bar{\Delta}_q \text{ для } q = \overline{1, Q};$$

$$\Delta_r, P_r, V_r, T_r, \bar{\Delta}_r \text{ для } r = \overline{1, R}.$$

Решение задачи прогноза по каждому варианту $j \in N^N$ в конечном счете будет проводиться по одной из стратегий $r \in R$, опирающейся на часть $Q_1 < Q$ способов прогноза.

Таким образом, конечные результаты применения технологии представляют собой значения величин: y^2_{ijqr} при $i = \overline{1, L}$, $j = \overline{1, N^N}$, $q \in Q$, $r \in R$.

§4. Методы и способы решения задачи прогноза при проведении ТЭО вариантов построения ТС

4.1. Методы решения задачи прогноза. Для иллюстрации положений ресурсосберегающей технологии ТЭО вариантов построения ТС рассмотрим решение задачи прогноза без самообучения

(см. §2) при условии (8) с помощью методов ZET [3] и WANGA [3, 4] ($M = 2$). Опыт показывает, что эти методы обеспечивают выполнение условия (8).

Подчеркнем, что излагаемая в статье технология открыта для использования наряду с методами ZET и WANGA других методов прогнозирования ($M > 2$), удовлетворяющих условию (8). Принципиальным является то, что при реализации r -й, $r \in R$, стратегии прогноза в выбранной предметной области будет использоваться лишь часть M_1 методов ($M_1 < M$), наилучшим образом удовлетворяющих условию (8).

4.2. Способы решения задачи прогноза. На методах ZET и WANGA ($M = 2$) строим девять ($Q = 9$) способов решения задачи прогноза.

Способ 1. Метод ZET: Версия 1.0 (последовательное заполнение пробелов без учета обратных связей в столбцах, выбранных в качестве компетентных, и с учетом результатов заполнения пробелов на предыдущем шаге) [3].

Способ 2. Метод ZET: Версия 2.0 (последовательное заполнение пробелов с учетом обратных связей в столбцах, выбранных в качестве компетентных, и с учетом результатов заполнения пробелов на предыдущем шаге) [3].

Способ 3. Метод ZET: Версия 3.0 (независимое заполнение пробелов без учета обратных связей в столбцах, выбранных в качестве компетентных, и без учета заполнения пробелов на предыдущем шаге) [3].

Способ 4. Метод ZET: Версия 4.0 (независимое заполнение пробелов с учетом обратных связей в столбцах, выбранных в качестве компетентных, и без учета результатов заполнения пробелов на предыдущем шаге) [3].

Способ 5. Метод WANGA: Версия 1.0 (шкала отношений, независимое заполнение пробелов) [3].

Способ 6. Метод WANGA: Версия 2.0 (шкала отношений, последовательное заполнение пробелов с учетом результатов заполнения пробела на предыдущем шаге) [3].

Способ 7. Метод WANGA: Версия 3.0 (шкала интервалов, независимое заполнение пробелов) [3].

Способ 8. Метод WANGA: Версия 4.0 (шкала интервалов, последовательное заполнение пробелов с учетом результатов заполнения пробела на предыдущем шаге) [3].

Способ 9. Метод WANGA: Версия 5.0 (WANGA-CUB) [4].

§5. Стратегии решения задачи прогноза при ТЭО вариантов построения ТС

На множестве $Q = 9$ способов в поисках стратегий, обеспечивающих выполнение неравенства: $\Delta_r \leq \Delta_q$ при $r = \overline{1, R}$ и $q = \overline{1, Q}$, выделим четыре стратегии:

Стратегия 1: решение задачи прогноза значений y_{ijq}^2 одним q -м ($q \in Q$) способом для всех $i = \overline{1, L}$ и $j = \overline{1, N^P}$ (один способ для всей таблицы $L \times N^P$).

Стратегия 2: решение задачи прогноза значений y_{ijq}^2 одним q -м ($q \in Q$) способом для каждого $i \in [1, L]$ и всех $j = \overline{1, N^P}$ (для каждого столбца таблицы $L \times N^P$ свой способ).

Стратегия 3: решение задачи прогноза значений y_{ijq}^2 одним q -м ($q \in Q$) способом для каждого $j \in [1, N^P]$ и всех $i = \overline{1, L}$ (для каждой строки таблицы $L \times N^P$ свой способ).

Стратегия 4: решение задачи прогноза значений y_{ijq}^2 одним q -м ($q \in Q$) способом для каждого $i \in [1, L]$ и $j \in [1, N^P]$ (для каждого элемента таблицы $L \times N^P$ свой способ).

Другими словами, при реализации стратегии 1 q -й, $q \in Q$, способ вычисления y_{ij}^2 выбирается однажды и затем систематически применяется для всех N^P строк (выбор способа осуществляется один раз). При реализации стратегии 2 q -й, $q \in Q$, способ

вычисления y_{ij}^2 ; выбирается для каждого столбца $i \in L$ однажды и затем систематически применяется для всех N^P строк (выбор способа осуществляется L раз). При реализации стратегии 3 q -й ($q \in Q$) способ вычисления y_{ij}^2 выбирается для каждой строки $j \in N^P$ (выбор способа осуществляется N^P раз). При реализации стратегии 4 q -й ($q \in Q$) способ вычисления y_{ij}^2 выбирается для каждого элемента таблицы $L \times N^P$ (выбор способа осуществляется $L \cdot N^P$ раз).

Правила выбора по x_{ij} целесообразного способа ТЭО j -го варианта построения ТС для реализации стратегий 3 и 4 представляются в виде баз знаний [5].

§6. Обучающая выборка для МОДЕЛИ 2

Для создания и настройки модели 2 на выбранную предметную область (см. рис.2) специалистами по применению анализируемой ТС на МОДЕЛИ 1 формируется обучающая выборка, пример которой для $K = 3$, $L = 4$ и $N^P = 16$ приведен в табл.1.

Т а б л и ц а 1

j	x_1	x_2	x_3	y^1_1	y^1_2	y^1_3	y^1_4
1	12	0.6	0.6	6.2	4.4	3.9	21.9
2	12	0.6	0.75	6.3	5.1	3.6	24.5
3	12	0.8	0.6	9.1	6.7	3.6	24.3
4	12	0.8	0.75	11.3	6.9	3.3	26.5
5	18	0.6	0.6	8.7	7.0	3.6	26.5
6	18	0.6	0.75	9.6	6.8	3.3	26.5
7	18	0.8	0.6	10.4	9.2	2.9	26.4
8	18	0.8	0.75	13.4	9.4	2.3	30.0
9	18	0.75	0.6	11.5	8.1	2.8	27.6
10	16	0.8	0.7	11.8	7.9	2.6	26.6
11	15	0.7	0.7	8.7	5.6	3.7	22.7
12	12	0.7	0.6	8.7	4.3	3.7	21.7
13	12	0.6	0.7	7.6	4.9	3.8	22.8
14	15	0.8	0.75	11.3	8.2	3.0	26.0
15	15	0.6	0.6	7.6	6.1	3.8	25.2
16	18	0.6	0.7	8.5	7.7	3.4	26.1

При настройке МОДЕЛИ 2 на МОДЕЛЬ 1 значения характеристик $y^1_{1j}, \dots, y^1_{4j}$, $j = \overline{1,16}$, приведенные в табл.1, считаются эталонными. Выбор q -го способа определения значения характеристик $y^2_{1jq}, \dots, y^2_{4jq}$, обеспечивающего заданную точность, осуществляется на основе сравнения $y^1_{1j}, \dots, y^1_{4j}$ и $y^2_{1jq}, \dots, y^2_{4jq}$ при $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{1,9}$. Результаты сравнения приведены ниже.

§7. Точностные характеристики способов решения задачи прогноза при проведении ТЭО вариантов построения ТС

7.1. Точностные характеристики способа 1. В табл.2 приведены результаты прогноза значений характеристик y^2_{ijl} и значения величин относительной ошибки Δ_{ijl} вычисления y^2_{ijl} в процентах при $i = \overline{1,4}$ и $j = \overline{1,16}$.

Т а б л и ц а 2

j	y^2_{1jl}	y^2_{2jl}	y^2_{3jl}	y^2_{4jl}	Δ_{1jl}	Δ_{2jl}	Δ_{3jl}	Δ_{4jl}
1	7.60	4.88	3.79	22.72	22.5	10.9	2.79	3.77
2	7.75	6.23	3.31	23.70	14.0	22.1	7.96	3.26
3	11.5	8.34	2.87	26.50	26.4	24.4	20.0	9.08
4	10.8	8.18	3.69	26.57	4.37	18.6	12.0	.286
5	8.91	8.02	3.25	24.74	2.48	14.6	9.61	6.61
6	11.5	8.34	3.16	26.54	20.6	22.6	3.96	.181
7	11.6	8.13	2.77	29.99	11.5	11.6	4.18	13.6
8	10.7	9.20	3.00	26.75	19.9	2.12	30.4	10.8
9	9.61	8.49	3.00	26.15	16.4	4.85	7.36	5.23
10	12.3	8.30	3.02	28.50	4.36	5.14	16.4	7.17
11	8.97	5.85	3.68	24.22	3.14	4.60	.356	6.69
12	7.65	5.55	3.75	23.44	12.0	29.0	1.60	8.02
13	6.60	4.98	3.60	23.59	13.1	1.74	5.00	3.47
14	10.6	7.04	3.46	25.59	5.91	14.0	15.3	1.55
15	7.45	6.03	3.63	24.12	1.97	1.10	4.25	4.27
16	8.52	6.87	3.56	26.24	.329	10.7	4.79	.551

Из табл.2 следует, что средние значения относительных ошибок составляют:

$$\bar{\Delta}_{1l} = 11.216\%, \bar{\Delta}_{2l} = 12.413\%, \bar{\Delta}_{3l} = 9.1372\%, \bar{\Delta}_{4l} = 5.2889\% \quad (13)$$

и по табл. 2 в целом (ошибка способа):

$$\bar{\Delta}_1 = 9.5137\%. \quad (14)$$

7.2. Точностные характеристики способа 2. В табл. 3 при - введены результаты прогноза значений характеристик y^2_{ij2} и значения величин относительной ошибки Δ_{ij2} вычисления y^2_{ij2} в процентах при $i = \overline{1,4}$ и $j = \overline{1,16}$.

Т а б л и ц а 3

j	y^2_{1j2}	y^2_{2j2}	y^2_{3j2}	y^2_{4j2}	Δ_{1j2}	Δ_{2j2}	Δ_{3j2}	Δ_{4j2}
1	7.60	6.09	3.80	25.19	22.58	38.48	2.56	15.0
2	7.75	6.23	3.67	23.69	14.08	22.18	2.16	3.30
3	11.5	8.34	3.02	26.18	26.49	24.48	15.9	7.74
4	10.8	8.18	3.93	25.06	4.371	18.61	19.3	5.42
5	9.91	7.24	3.19	25.57	13.93	3.522	11.1	3.49
6	11.5	8.34	2.78	27.82	20.65	22.65	15.5	4.98
7	11.6	8.13	2.62	29.50	11.53	11.61	9.31	11.7
8	10.6	9.20	2.99	26.63	20.22	2.127	30.0	11.2
9	9.32	7.84	3.25	26.01	18.92	3.165	16.3	5.73
10	12.3	8.30	2.77	28.42	4.364	5.143	6.75	6.86
11	8.92	5.84	3.56	23.95	2.586	4.396	3.77	5.52
12	7.65	5.55	3.75	23.55	12.06	29.07	1.35	8.52
13	6.38	4.41	3.70	23.57	16.00	9.949	2.60	3.39
14	11.0	6.29	3.72	26.45	2.212	23.25	24.0	1.75
15	7.45	6.03	3.64	24.20	1.973	1.018	4.03	3.96
16	9.23	6.95	3.42	27.57	8.623	9.696	.697	5.63

Из табл. 3 следует, что средние значения относительных ошибок составляют:

$$\bar{\Delta}_{12} = 12.539\%, \bar{\Delta}_{22} = 14.336\%, \bar{\Delta}_{32} = 10.352\%, \bar{\Delta}_{42} = 6.5226\% \quad (15)$$

и по табл. 3 в целом (ошибка способа):

$$\bar{\Delta}_2 = 10.938\%. \quad (16)$$

7.3. Точностные характеристики способа 3. В табл.4 приве- дены результаты прогноза значений характеристик y^2_{ij3} и зна- чения величин относительной ошибки Δ_{ij3} вычисления y^2_{ij3} в процентах при $i = \overline{1,4}$ и $j = \overline{1,16}$.

Т а б л и ц а 4

j	y^2_{1j3}	y^2_{2j3}	y^2_{3j3}	y^2_{4j3}	Δ_{1j3}	Δ_{2j3}	Δ_{3j3}	Δ_{4j3}
1	7.600	4.925	3.750	22.88	22.58	11.9	3.84	4.47
2	7.757	4.902	3.602	22.23	14.08	3.86	.077	9.24
2	11.51	4.301	4.798	25.71	26.49	35.8	33.2	5.83
4	10.80	8.200	.9000	24.73	4.371	18.8	72.7	6.66
5	8.915	7.886	2.993	23.78	2.481	12.6	16.8	10.2
6	11.58	8.486	3.050	27.14	20.65	24.8	7.55	2.42
7	11.60	8.060	3.281	27.31	11.53	12.3	13.1	3.46
8	10.72	7.486	1.426	26.56	19.94	20.3	37.9	11.4
9	9.613	8.741	2.919	23.96	16.40	7.91	4.25	13.1
10	12.31	8.609	3.278	28.27	4.364	8.98	26.0	6.30
11	8.973	6.362	2.885	25.36	3.144	13.6	22.0	11.7
12	7.650	5.550	3.753	23.21	12.06	29.0	1.44	6.99
13	6.604	4.991	3.734	23.70	13.10	1.86	1.72	3.94
14	10.63	7.209	3.565	25.41	5.911	12.0	18.8	2.25
15	7.450	6.005	3.623	23.95	1.973	1.54	4.63	4.94
16	8.528	6.900	3.530	26.50	.3294	10.3	3.82	1.53

Из табл. 4 следует, что средние значения относительных ошибок составляют:

$$\bar{\Delta}_{13} = 11,216\%, \bar{\Delta}_{23} = 14.133\%, \bar{\Delta}_{33} = 16.769\%, \bar{\Delta}_{43} = 6.5427\% \quad (17)$$

и по табл. 4 в целом (ошибка способа):

$$\bar{\Delta}_3 = 12.165. \quad (18)$$

7.4. Точностные характеристики способа 4. В табл.5 приведены результаты прогноза значений характеристик y^2_{ij4} и значения величин относительной ошибки Δ_{ij4} вычисления y^2_{ij4} в процентах при $i = \overline{1,4}$ и $j = \overline{1,16}$.

Из табл. 5 следует, что средние значения относительных ошибок составляют:

$$\bar{\Delta}_{14} = 12.539\%, \bar{\Delta}_{24} = 14.190\%, \bar{\Delta}_{34} = 8.1961\%, \bar{\Delta}_{44} = 6.4616\% \quad (19)$$

и по табл. 5 в целом (ошибка способа):

$$\bar{\Delta}_4 = 10.347\%. \quad (20)$$

7.5. Точностные характеристики способа 5. В табл. 6 при - ведены результаты прогноза значений характеристик y_{ij5}^2 и значения величин относительной ошибки Δ_{ij5} вычисления y_{ij5}^2 в процентах при $i = \overline{1,4}$ и $j = \overline{1,16}$.

Из табл.6 следует, что средние значения относительных ошибок составляют:

$$\bar{\Delta}_{15} = 11.019\%, \bar{\Delta}_{25} = 14.593\%, \bar{\Delta}_{35} = 8.0855\%, \bar{\Delta}_{45} = 5.3598\% \quad (21)$$

и по табл.6 в целом (ошибка способа):

$$\bar{\Delta}_5 = 9.7645 \%. \quad (22)$$

7.6. Точностные характеристики способа 6. В табл.7 приведены результаты прогноза значений характеристик y_{ij6}^2 и значения величин относительной ошибки Δ_{ij6} вычисления y_{ij6}^2 в процентах при $i = \overline{1,4}$ и $j = \overline{1,16}$.

Т а б л и ц а 7

j	y_{1j6}^2	y_{2j6}^2	y_{3j6}^2	y_{4j6}^2	Δ_{1j6}	Δ_{2j6}	Δ_{3j6}	Δ_{4j6}
1	8.01	5.24	3.91	20.3	29.19	19.09	.2564	7.30
2	7.98	5.54	3.65	22.5	17.35	8.627	1.388	8.16
3	9.19	5.78	3.31	22.5	.9890	13.73	8.055	7.40
4	8.79	5.84	3.27	23.7	22.21	15.36	.9090	10.5
5	8.62	6.41	3.37	23.9	.9195	8.428	6.388	9.81
6	8.61	6.48	3.34	26.0	10.31	4.705	1.212	1.88
7	10.2	6.90	2.99	25.6	1.923	25.00	3.103	3.03
8	10.5	7.19	2.91	28.6	21.64	23.51	26.52	4.66
9	9.53	7.20	3.12	25.2	17.13	11.11	11.42	8.69
10	10.1	6.56	3.09	26.1	14.40	16.96	18.84	1.87
11	9.38	6.25	3.18	25.4	7.816	11.60	14.05	11.8
12	8.54	5.97	3.59	21.9	1.839	38.83	2.973	.921
13	7.69	5.44	3.70	22.4	1.184	11.02	2.631	1.75
14	9.74	6.25	3.07	26.1	13.80	23.78	2.333	.384
15	8.48	5.98	3.59	22.8	11.57	1.967	5.526	9.52
16	8.84	6.32	3.37	25.6	4.000	17.92	.8823	1.91

Из табл. 7 следует, что средние значения относительных ошибок составляют:

Т а б л и ц а 5

j	y^2_{1j4}	y^2_{2j4}	y^2_{3j4}	y^2_{4j4}	Δ_{1j4}	Δ_{2j4}	Δ_{3j4}	Δ_{4j4}
1	7.600	4.827	3.800	23.22	22.5	9.72	2.56	6.03
2	7.757	4.902	3.826	22.32	14.0	3.86	6.30	8.87
3	11.51	4.301	3.375	25.71	26.4	35.8	6.22	5.83
4	10.80	8.200	4.200	24.73	4.37	18.8	27.2	6.66
5	9.911	7.835	3.356	24.52	13.9	11.9	6.75	7.44
6	11.58	8.486	2.738	27.14	20.6	24.8	17.0	2.42
7	11.60	7.669	2.850	27.30	11.5	16.6	1.70	3.41
8	10.69	7.256	2.991	27.30	20.2	22.8	30.0	8.98
9	9.324	8.823	3.093	23.86	18.9	8.92	10.4	13.5
10	12.31	8.543	2.670	28.27	4.36	8.14	2.69	6.30
11	8.925	6.359	3.273	25.36	2.58	13.5	11.5	11.7
12	7.650	5.550	3.712	23.21	12.0	29.0	.340	6.99
13	6.384	4.991	3.700	24.49	16.0	1.86	2.63	7.43
14	11.05	7.500	3.000	26.35	2.21	8.53	.000	1.34
15	7.450	6.005	3.616	23.95	1.97	1.54	4.84	4.94
16	9.233	6.856	3.375	26.47	8.62	10.9	.711	1.44

Т а б л и ц а 6

j	y^2_{1j5}	y^2_{2j5}	y^2_{3j5}	y^2_{4j5}	Δ_{1j5}	Δ_{2j5}	Δ_{3j5}	Δ_{4j5}
1	8.01	5.37	3.81	20.5	29.19	22.04	2.307	6.39
2	7.98	5.46	3.48	22.6	17.35	7.058	3.333	7.75
3	9.19	5.51	3.17	22.6	.9890	17.76	11.94	6.99
4	8.79	5.75	3.10	24.0	22.21	16.66	6.060	9.43
5	8.62	6.65	3.22	24.0	.9195	5.000	10.55	9.43
6	8.61	6.75	3.14	26.0	10.31	.7353	4.848	1.88
7	10.2	7.33	2.80	25.9	1.923	20.32	3.448	1.89
8	10.5	7.24	2.85	28.7	21.64	22.97	23.91	4.33
9	9.53	7.65	2.95	25.3	17.13	5.555	5.357	8.33
10	10.1	6.75	2.94	26.6	14.40	14.55	13.07	.000
11	9.38	6.51	3.04	25.7	7.816	16.25	17.83	13.2
12	8.54	5.85	3.52	22.2	1.839	36.04	4.864	2.30
13	7.69	5.40	3.59	22.7	1.184	10.20	5.526	.438
14	9.74	6.42	2.97	26.8	13.80	21.70	1.000	3.07
15	8.48	6.17	3.42	23.0	11.57	1.147	10.00	8.73
16	8.84	6.51	3.22	25.7	4.000	15.45	5.294	1.53

$$\bar{\Delta}_{16} = 11.019\%, \bar{\Delta}_{26} = 15.729\%, \bar{\Delta}_{36} = 6.6570\%, \bar{\Delta}_{46} = 5.6130\% \quad (23)$$

и по табл.7 в целом (ошибка способа):

$$\bar{\Delta}_6 = 9.7545\%. \quad (24)$$

7.7. Точностные характеристики способа 7. В табл.8 приведены результаты прогноза значений характеристик y_{ij}^2 и значения величин относительной ошибки Δ_{ij}^2 вычисления y_{ij}^2 в процентах при $i = \overline{1,4}$ и $j = \overline{1,16}$.

Т а б л и ц а 8

j	y_{1j}^2	y_{2j}^2	y_{3j}^2	y_{4j}^2	Δ_{1j}^2	Δ_{2j}^2	Δ_{3j}^2	Δ_{4j}^2
1	8.64	5.99	3.56	24.4	39.35	36.13	8.718	11.4
2	8.83	6.30	3.45	24.5	29.85	23.52	4.166	.000
3	8.95	5.85	3.45	24.4	1.648	12.68	4.166	.411
4	9.10	6.29	3.32	24.7	19.46	8.840	.6060	6.79
5	9.19	7.28	3.51	25.9	5.632	4.000	2.500	2.26
6	9.18	7.59	3.38	26.1	4.375	11.61	2.424	1.50
7	9.84	7.43	3.36	26.3	5.384	19.23	15.86	.378
8	9.85	7.67	3.25	26.1	26.49	18.40	41.30	13.0
9	9.31	7.44	3.44	25.7	19.04	8.148	22.85	6.88
10	9.26	7.06	3.32	25.8	21.52	10.63	27.69	3.0
11	9.41	7.37	3.33	25.8	8.160	31.60	10.00	13.6
12	8.63	6.24	3.53	24.6	.8045	45.11	4.594	13.3
13	8.64	6.33	3.48	24.8	13.68	29.18	8.421	8.77
14	9.39	6.73	3.32	25.3	16.90	17.92	10.66	2.69
15	8.78	6.54	3.56	24.9	15.52	7.213	6.315	1.19
16	9.25	7.28	3.44	26.1	8.823	5.454	1.176	.000

Из табл.8 следует, что средние значения относительных ошибок составляют:

$$\bar{\Delta}_{17} = 14.793\%, \bar{\Delta}_{27} = 18.109\%, \bar{\Delta}_{37} = 10.717\%, \bar{\Delta}_{47} = 5.3337\% \quad (25)$$

и по табл.8 в целом (ошибка способа):

$$\bar{\Delta}_7 = 12.238\%. \quad (26)$$

7.8. Точностные характеристики способа 8. В табл. 9 приведены результаты прогноза значений характеристик y_{ij}^2 и

значения величин относительной ошибки Δ_{ij8} вычисления y^2_{ij8} в процентах при $i = \overline{1,4}$ и $j = \overline{1,16}$.

Т а б л и ц а 9

j	y^2_{1j8}	y^2_{2j8}	y^2_{3j8}	y^2_{4j8}	Δ_{1j8}	Δ_{2j8}	Δ_{3j8}	Δ_{4j8}
1	8.43	5.91	3.53	24.4	35.968	34.31	9.487	11.4
2	8.85	6.17	3.43	24.5	30.147	20.98	4.722	.000
3	8.73	5.93	3.43	24.4	4.0659	11.49	4.722	.411
4	8.92	6.29	3.36	24.7	21.062	8.840	1.818	6.79
5	9.60	7.17	3.37	25.9	10.345	2.428	6.388	2.26
6	9.90	7.53	3.28	26.1	3.1250	10.73	.6060	1.50
7	9.81	7.25	3.32	26.3	5.6731	21.19	14.48	.378
8	10.1	7.73	3.21	26.1	24.627	17.76	39.56	13.0
9	9.51	7.17	3.32	25.7	17.304	11.48	18.57	6.88
10	9.53	7.10	3.27	25.8	19.237	10.12	25.76	3.00
11	9.50	6.92	3.25	25.8	9.1954	23.57	12.16	13.6
12	8.27	5.91	3.52	24.6	4.9425	37.44	4.864	13.3
13	8.62	6.02	3.44	24.8	13.421	22.85	9.473	8.77
14	9.36	6.71	3.28	25.3	17.168	18.17	9.333	2.69
15	8.81	6.45	3.50	24.9	15.921	5.737	7.894	1.19
16	9.82	7.33	3.34	26.1	15.529	4.805	1.764	.000

Из табл.9 следует, что средние значения относительных ошибок составляют:

$$\bar{\Delta}_{18} = 15.48\%, \bar{\Delta}_{28} = 16.372\%, \bar{\Delta}_{38} = 10.727\%, \bar{\Delta}_{48} = 5.3777\% \quad (27)$$

и по табл.9 в целом (ошибка способа):

$$\bar{\Delta}_8 = 11.978\%. \quad (28)$$

7.9. Точностные характеристики способа 9. В табл.10 приведены результаты прогноза значений характеристик y^2_{ij9} и значения величин относительной ошибки Δ_{ij9} вычисления y^2_{ij9} в процентах при $i = \overline{1,4}$ и $j = \overline{1,16}$.

Из табл.10 следует, что средние значения относительных ошибок составляют:

$$\bar{\Delta}_{19} = 7.45\%, \bar{\Delta}_{29} = 7.43\%, \bar{\Delta}_{39} = 7.00\%, \bar{\Delta}_{49} = 6.88\% \quad (29)$$

и по табл. 10 в целом (ошибка способа):

$$\bar{\Delta}_9 = 7.1\% \quad (30)$$

Т а б л и ц а 10

j	y^2_{1j9}	y^2_{2j9}	y^2_{3j9}	y^2_{4j9}	Δ_{1j9}	Δ_{2j9}	Δ_{3j9}	Δ_{4j9}
1	5.97	4.9	4.03	23.73	3.80	11.40	3.4	8.40
2	7.67	4.37	3.83	22.33	12.70	14.40	6.5	8.80
3	8.97	6.5	3.57	22.87	1.50	3.00	0.9	5.90
4	10.80	7.33	2.97	27.6	4.40	6.30	10.1	4.20
5	7.70	6.53	3.57	23.6	11.50	6.70	0.9	10.90
6	9.97	7.5	2.97	29.0	3.80	10.30	10.1	9.70
7	11.77	9.36	2.83	28.9	13.10	1.80	2.3	9.50
8	12.67	9.0	2.77	27.83	5.50	4.30	20.3	7.20
9	10.73	8.15	3.05	25.73	6.70	0.60	5.2	2.60
10	11.88	8.5	3.00	27.79	0.60	7.60	15.4	4.50
11	9.88	6.93	3.21	26.03	13.50	23.80	13.4	14.70
12	8.96	4.69	3.38	24.67	3.00	6.60	8.6	13.70
13	6.58	5.29	3.85	23.16	13.50	8.00	1.3	1.60
14	11.35	8.175	2.875	27.45	0.40	0.03	4.2	5.60
15	7.05	5.7	3.725	24.53	7.20	6.60	2.0	2.70
16	10.06	7.13	3.15	26.17	18.40	7.40	7.4	0.01

§8. Вероятностные оценки точностных характеристик

На рис. 3-11 приведены гистограммы плотности эмпирического распределения относительных ошибок Δ_{ijq} при $i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,16}$ для $q = \overline{1,9}$ соответственно.

В табл. 11 приведены значения вероятностных характеристик $P_q^* = P\{\Delta_{ijq} \leq \Delta\}$.

Приведенные в табл. 2-11, на рис. 3-11 и в формулах (13)-(20) данные достаточны для выбора q -го ($q \in Q$) способа при реализации стратегии 1 решения задачи прогноза в ходе ТЭО ва - вариантов построения ТС.

ПРИМЕР 1. При $\bar{\Delta}_{зад.} = 10.0$ и $P_{зад.} = P\{\Delta_{ijq} \leq 6\} = 0.46$ выбираем $q = 1$, так как только для этого способа одновременно соблюдаются условия: $\bar{\Delta}_1 = 9.51 < \bar{\Delta}_{зад.}$ и $P_1^*(6) = 0.469 > P_{зад.}$.

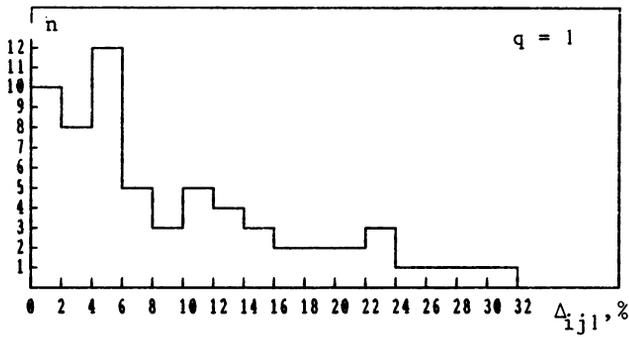


Рис. 3

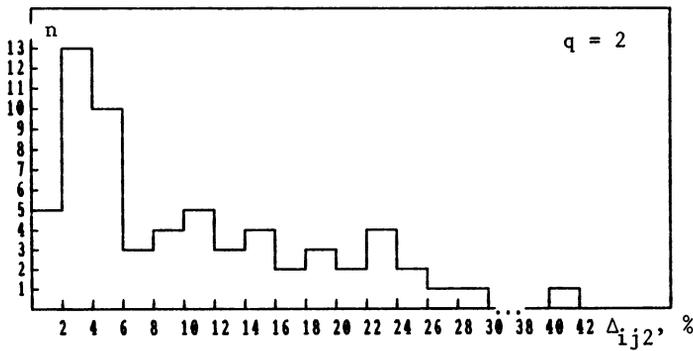


Рис. 4

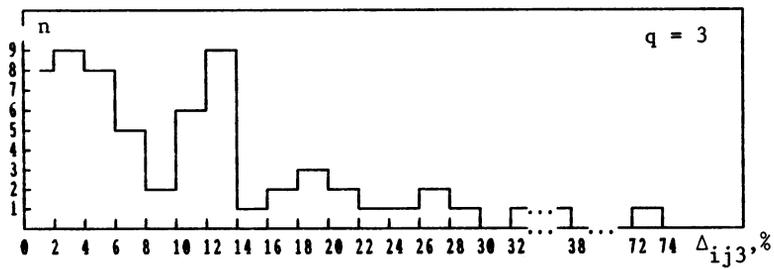


Рис. 5

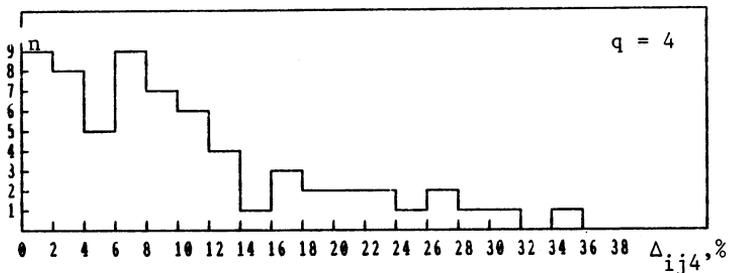


Рис. 6

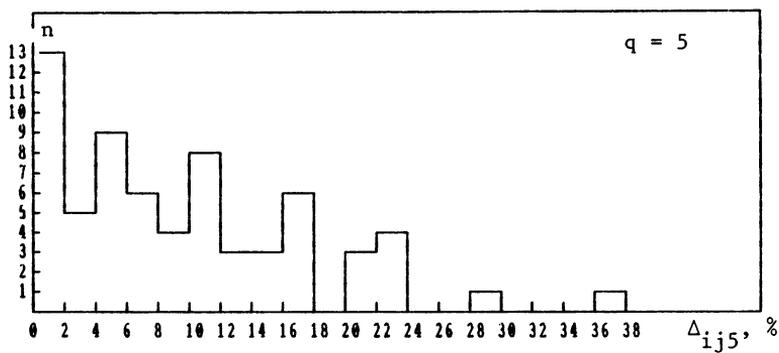


Рис. 7

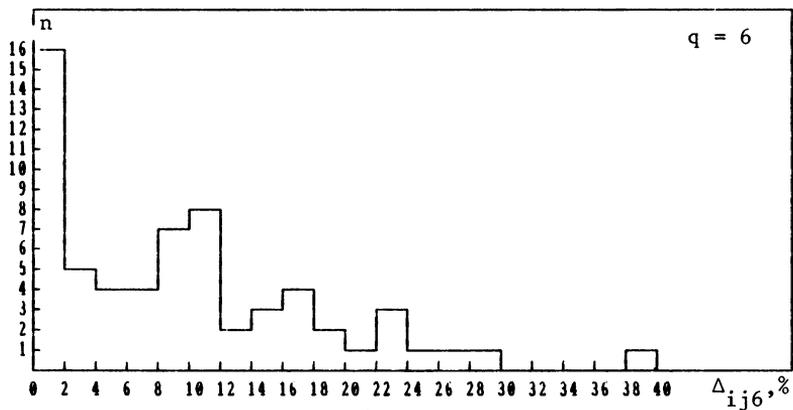


Рис. 8

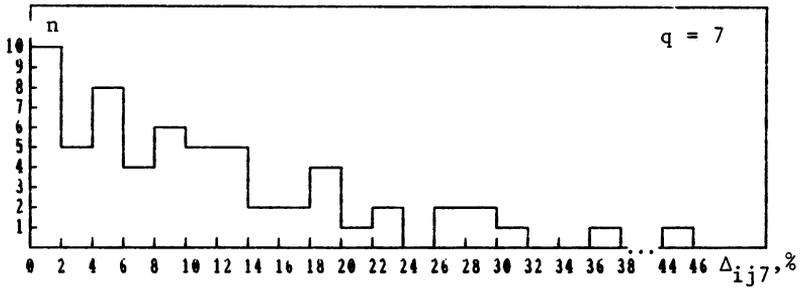


Рис. 9

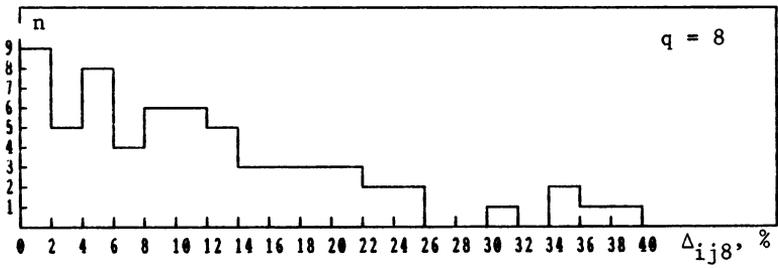


Рис.10

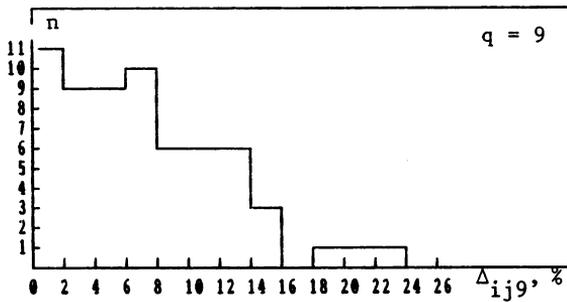


Рис.11

Таблица 11

Δ %	P_1^*	P_2^*	P_3^*	P_4^*	P_5^*	P_6^*	P_7^*	P_8^*	P_9^*
52	1.000	1.000	0.984	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
50	1.000	1.000	0.984	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
48	1.000	1.000	0.984	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
46	1.000	1.000	0.984	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
44	1.000	1.000	0.984	1.000	1.000	1.000	0.969	1.000	1.000
42	1.000	1.000	0.984	1.000	1.000	1.000	0.969	1.000	1.000
40	1.000	1.000	0.984	1.000	1.000	1.000	0.953	1.000	1.000
38	1.000	0.953	0.984	1.000	1.000	0.984	0.938	0.984	1.000
36	1.000	0.938	0.969	1.000	0.969	0.984	0.922	0.969	1.000
34	1.000	0.938	0.953	0.984	0.969	0.984	0.922	0.938	1.000
32	0.984	0.938	0.938	0.984	0.969	0.984	0.922	0.938	1.000
30	0.969	0.938	0.938	0.969	0.969	0.984	0.906	0.922	1.000
28	0.953	0.938	0.922	0.953	0.938	0.969	0.875	0.922	1.000
26	0.938	0.922	0.891	0.922	0.938	0.953	0.844	0.922	1.000
24	0.922	0.906	0.875	0.906	0.938	0.938	0.844	0.891	1.000
22	0.875	0.875	0.859	0.875	0.938	0.891	0.812	0.859	0.938
20	0.844	0.812	0.828	0.844	0.891	0.875	0.797	0.812	0.921
18	0.812	0.766	0.781	0.812	0.891	0.844	0.734	0.766	0.906
16	0.781	0.734	0.750	0.766	0.797	0.781	0.703	0.719	0.891
14	0.734	0.672	0.734	0.750	0.750	0.734	0.672	0.672	0.891
12	0.672	0.625	0.594	0.688	0.703	0.703	0.594	0.594	0.797
10	0.594	0.547	0.500	0.594	0.578	0.578	0.516	0.500	0.703
8	0.547	0.484	0.469	0.484	0.516	0.469	0.422	0.406	0.609
6	0.469	0.438	0.391	0.344	0.422	0.406	0.359	0.344	0.453
4	0.281	0.281	0.266	0.266	0.281	0.344	0.234	0.219	0.312
2	0.156	0.078	0.125	0.141	0.203	0.266	0.156	0.141	0.172

ПРИМЕР 2. При $\bar{\Delta}_{\text{зад.}} = 8.0$ и $P_{\text{зад.}} = P\{\Delta_{ijq} \leq 8\} = 0.60$ выбираем $q = 9$, так как только для этого способа одновременно соблюдаются условия: $\bar{\Delta}_9 = 7.19 < \bar{\Delta}_{\text{зад.}}$ и $P_9^*(8) = 0.609 > P_{\text{зад.}}$.

§9. Стратегия 2 решения задачи прогноза при проведении ТЭО вариантов построения ТС

9.1. Точностные характеристики. В табл. 12-15 приведены значения относительных погрешностей Δ_{ijq} и их средних значений $\bar{\Delta}_{iq}$ вычисления величины u_{ijq}^2 при $i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{1,9}$ в процентах.

На рис.12-19 приведены диаграммы значений Δ_{ijq} при $i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{1,9}$. По оси X отложены значения величины j , по оси Y - величины Δ_{ijq} . При каждом значении j последовательно (слева направо) на рис.12,14,16 и 18 приведены значения величин Δ_{ij1} , Δ_{ij2} , Δ_{ij3} , Δ_{ij4} , на рис.13,15,17 и 19 - значения величин Δ_{ij5} , Δ_{ij6} , Δ_{ij7} , Δ_{ij8} , Δ_{ij9} .

9.2. Вероятностные оценки точностных характеристик. В табл.16-19 приведены значения вероятностных оценок точностных характеристик: $P_{iq}^* = P\{\Delta_{ijq} \leq \Delta\}$ при $i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{1,9}$.

Приведенные в табл.12-19 и на рис.12-19 данные достаточны для выбора значений q при реализации стратегии 2 решения задачи прогноза при проведении ТЭО вариантов построения ТС.

ПРИМЕР 1. Пусть $\bar{\Delta}_{\text{зад.}i}$ и $P_{\text{зад.}i}(\Delta) = P\{\Delta_{ijq} \leq \Delta\}$ - условие (8), индивидуально задаваемое для каждого значения $i = \overline{1,4}$. При $\bar{\Delta}_{\text{зад.}1} = 8.0$ и $P_{\text{зад.}1}(10) = 0.60$; $\bar{\Delta}_{\text{зад.}2} = 7.5$ и $P_{\text{зад.}2}(10) = 0.70$; $\bar{\Delta}_{\text{зад.}3} = 6.7$ и $P_{\text{зад.}3}(8) = 0.65$; $\bar{\Delta}_{\text{зад.}4} = 5.4$ и $P_{\text{зад.}4}(10) = 0.90$ выбираем для $i = 1$ $q = 9$, для $i=2$ $q =$

Т а б л и ц а 12

j	Δ_{1j1}	Δ_{1j2}	Δ_{1j3}	Δ_{1j4}	Δ_{1j5}	Δ_{1j6}	Δ_{1j7}	Δ_{1j8}	Δ_{1j9}
1	22.58	22.58	22.58	22.58	29.19	29.19	39.36	35.97	3.8
2	14.09	14.09	14.09	14.09	17.35	17.35	29.85	30.15	12.7
3	26.49	26.49	26.49	26.49	.989	.989	1.65	4.07	1.5
4	4.37	4.37	4.37	4.37	22.21	22.21	19.47	21.06	4.4
5	2.48	13.93	2.48	13.93	.92	.92	5.63	10.35	11.5
6	20.66	20.66	20.66	20.66	10.31	10.31	4.38	3.13	3.8
7	11.54	11.54	11.54	11.54	1.92	1.92	5.39	5.67	13.1
8	19.94	20.22	19.94	20.22	21.64	21.64	26.49	24.63	5.5
9	16.41	18.92	16.41	18.92	17.13	17.13	19.04	17.30	6.7
10	4.36	4.36	4.36	4.36	14.41	14.41	21.53	19.24	0.6
11	3.15	2.59	3.15	2.59	7.82	7.82	8.16	9.195	13.5
12	12.07	12.07	12.07	12.07	1.84	1.84	.805	4.94	3.0
13	13.10	16.00	13.10	16.00	1.18	1.18	13.68	13.42	13.5
14	5.91	2.21	5.91	2.21	13.81	13.81	16.90	17.17	0.4
15	1.97	1.97	1.97	1.97	11.58	11.58	15.51	15.92	7.2
16	.329	8.62	.329	8.62	4.00	4.00	8.82	15.53	18.4
Δ_{1q}	11.22	12.54	11.22	12.54	11.02	11.02	14.79	15.48	7.45

Т а б л и ц а 13

j	Δ_{2j1}	Δ_{2j2}	Δ_{2j3}	Δ_{2j4}	Δ_{2j5}	Δ_{2j6}	Δ_{2j7}	Δ_{2j8}	Δ_{2j9}
1	10.97	38.48	11.94	9.72	22.05	19.09	36.14	34.32	11.4
2	22.18	22.18	3.87	3.87	7.06	8.63	23.53	20.98	14.4
3	24.49	24.49	35.80	35.80	17.76	13.73	12.69	11.49	3.0
4	18.61	18.61	18.84	18.84	16.67	15.36	8.84	8.84	6.3
5	14.65	3.52	12.67	11.94	5.00	8.43	4.00	2.43	6.7
6	22.66	22.66	24.80	24.80	.735	4.71	11.62	10.74	10.3
7	11.62	11.62	12.39	16.64	20.33	25.00	19.24	21.20	1.8
8	2.13	2.13	20.35	22.81	22.98	23.51	18.40	17.77	4.3
9	4.85	3.17	7.92	8.93	5.56	11.11	8.15	11.48	0.6
10	5.14	5.14	8.98	8.15	14.56	16.96	10.63	10.13	7.6
11	4.60	4.396	13.62	13.57	16.25	11.61	31.61	23.57	23.8
12	29.07	29.07	29.07	29.07	36.05	38.84	45.12	37.44	6.6
13	1.74	9.95	1.87	1.87	10.20	11.02	29.18	22.86	8.0
14	14.08	23.25	12.08	8.54	21.71	23.78	17.93	18.17	0.03
15	1.11	1.02	1.55	1.55	1.15	1.97	7.21	5.74	6.6
16	10.72	9.696	10.39	10.96	15.46	17.92	5.46	4.81	7.4
Δ_{2q}	12.41	14.34	14.13	14.19	14.59	15.73	18.11	16.37	7.43

Т а б л и ц а 14

j	Δ_{3j1}	Δ_{3j2}	Δ_{3j3}	Δ_{3j4}	Δ_{3j5}	Δ_{3j6}	Δ_{3j7}	Δ_{3j8}	Δ_{3j9}
1	2.795	2.57	3.85	2.56	2.31	.256	8.72	9.49	3.4
2	7.97	2.16	.078	6.30	3.33	1.39	4.17	4.72	6.5
3	20.01	15.93	33.28	6.23	11.94	8.06	4.17	4.72	0.9
4	12.00	19.33	72.73	27.27	6.06	.909	.606	1.82	10.1
5	9.61	11.16	16.85	6.76	10.56	6.39	2.50	6.39	0.9
6	3.97	15.55	7.55	17.01	4.85	1.21	2.42	.60	10.1
7	4.19	9.31	13.10	1.70	3.45	3.10	15.86	14.48	2.3
8	30.44	30.00	37.96	30.07	23.91	26.52	41.30	39.56	20.3
9	7.36	16.39	4.26	10.50	5.38	11.43	22.86	18.57	5.2
10	16.47	6.75	26.10	2.69	13.08	18.85	27.69	25.77	15.4
11	.357	3.77	22.00	11.53	17.84	14.05	10.00	12.16	13.4
12	1.61	1.35	1.45	.341	4.87	2.97	4.595	4.86	8.6
13	5.003	2.60	1.73	2.63	5.53	2.63	8.42	9.47	1.3
14	15.37	24.02	18.86	.00	1.00	2.33	10.67	9.33	4.2
15	4.25	4.04	4.63	4.84	10.00	5.53	6.32	7.895	2.0
16	4.797	.697	3.83	.712	5.29	.882	1.18	1.76	7.4
$\bar{\Delta}_{3q}$	9.14	10.35	16.77	8.196	8.09	6.66	10.72	10.73	7.0

Т а б л и ц а 15

j	Δ_{4j1}	Δ_{4j2}	Δ_{4j3}	Δ_{4j4}	Δ_{4j5}	Δ_{4j6}	Δ_{4j7}	Δ_{4j8}	Δ_{4j9}
1	3.78	15.04	4.48	6.04	6.39	7.31	11.42	11.42	8.4
2	3.26	3.31	9.25	8.88	7.76	8.16	.00	.00	8.8
3	9.08	7.75	5.83	5.83	6.996	7.41	.412	.412	5.9
4	.287	5.43	6.66	6.66	9.43	10.57	6.79	6.79	4.2
5	6.62	3.49	10.26	7.44	9.43	9.81	2.26	2.26	10.9
6	.181	4.98	2.42	2.42	1.89	1.89	1.51	1.51	9.7
7	13.60	11.74	3.46	3.42	1.89	3.03	.379	.379	9.5
8	10.82	11.22	11.44	8.98	4.33	4.67	13.00	13.00	7.2
9	5.24	5.74	13.18	13.52	8.33	8.696	6.88	6.88	2.6
10	7.18	6.87	6.31	6.31	.00	1.88	3.01	3.01	4.5
11	6.696	5.52	11.73	11.73	13.22	11.89	13.66	13.66	14.7
12	8.03	8.53	6.995	6.995	2.30	.922	13.36	13.13	13.7
13	3.47	3.399	3.95	7.44	.439	1.75	8.77	8.77	1.6
14	1.55	1.75	2.25	1.34	3.08	.385	2.69	2.69	5.6
15	4.27	3.96	4.94	4.94	8.73	9.52	1.19	1.19	2.7
16	.552	5.640	1.53	1.44	1.53	1.92	.00	.00	0.01
$\bar{\Delta}_{4q}$	5.29	6.52	6.54	6.46	5.36	5.61	5.33	5.33	6.88

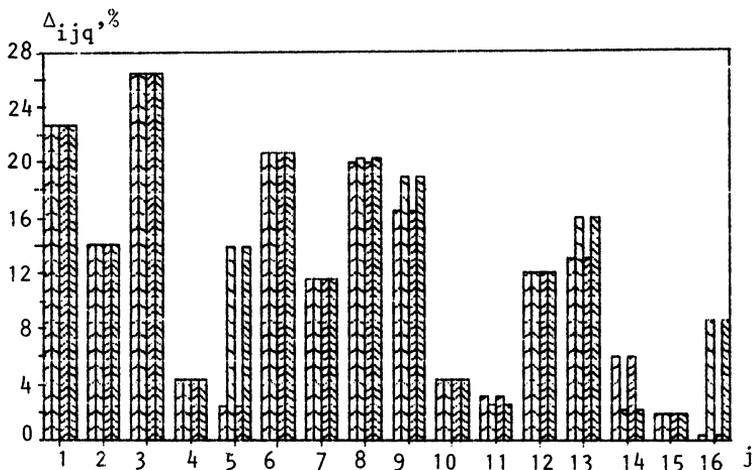


Рис.12. Диаграмма значений Δ_{ijq} для $i = 1$ при $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{1,4}$.

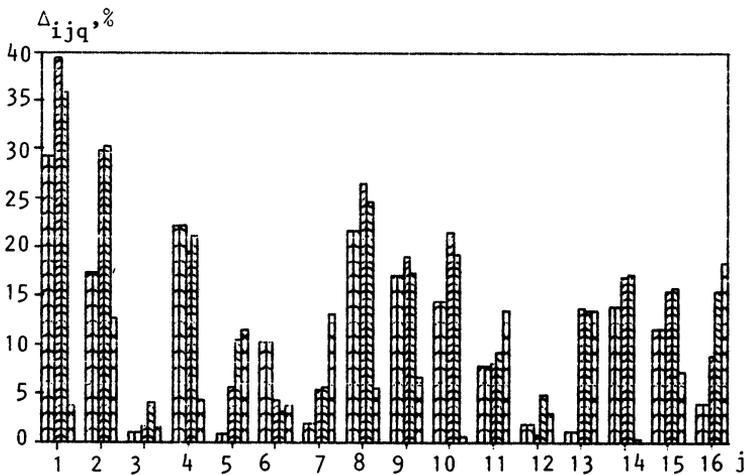


Рис.13. Диаграмма значений Δ_{ijq} для $i = 1$ при $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{5,9}$.

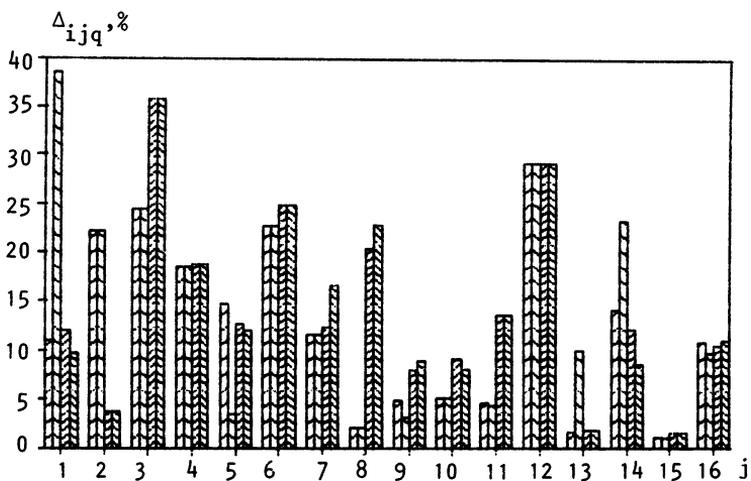


Рис.14. Диаграмма значений Δ_{ijq} для $i = 2$ при $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{1,4}$.

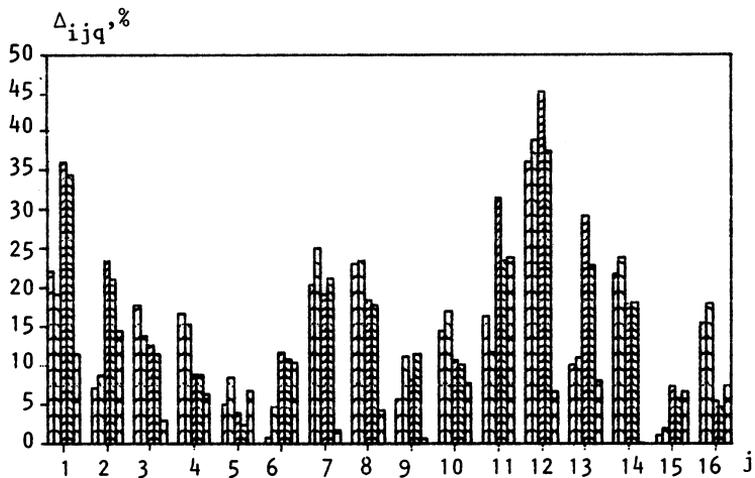


Рис.15. Диаграмма значений Δ_{ijq} для $i = 2$ при $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{5,9}$.

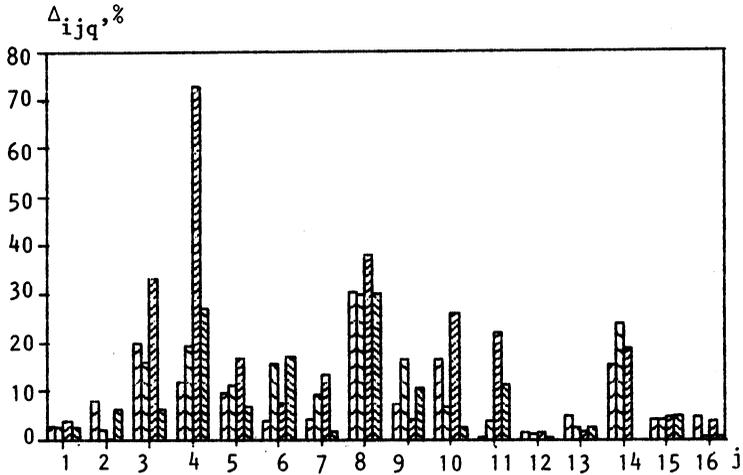


Рис.16. Диаграмма значений Δ_{ijq} для $i = 3$ при $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{1,4}$.

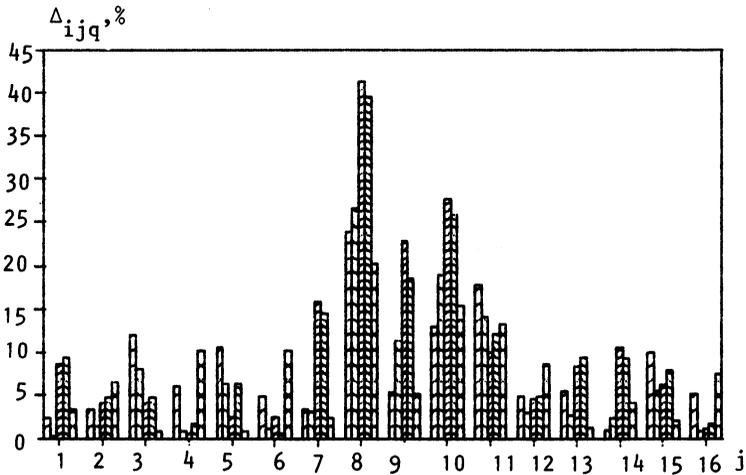


Рис.17. Диаграмма значений Δ_{ijq} для $i = 3$ при $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{5,9}$.

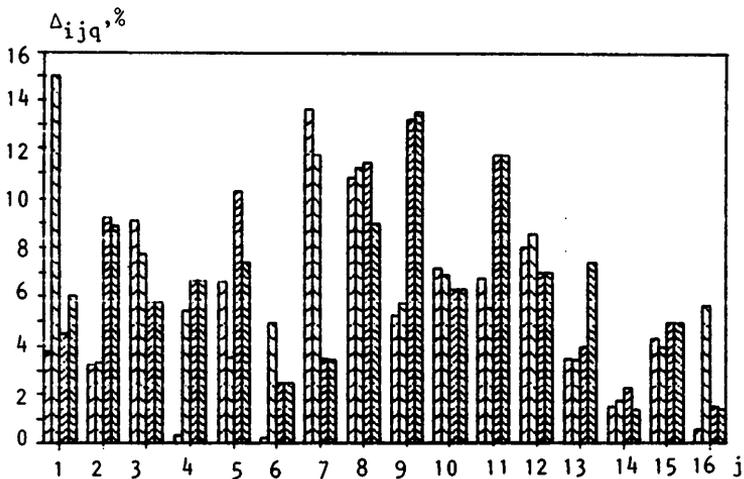


Рис.18. Диаграмма значений Δ_{ijq} для $i = 4$ при $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{1,4}$.

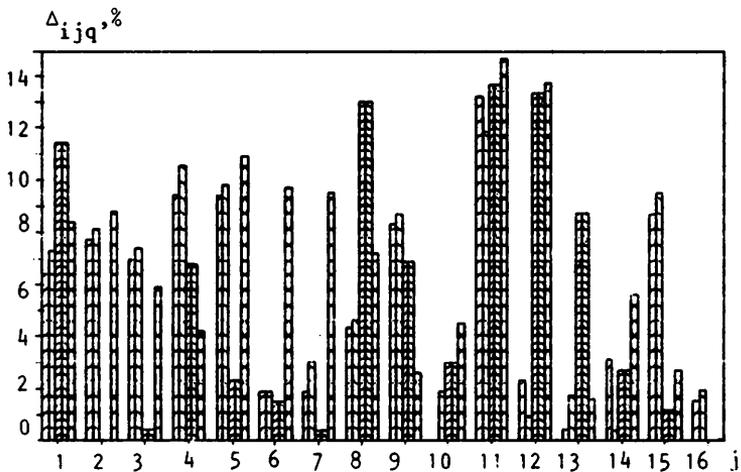


Рис.19. Диаграмма значений Δ_{ijq} для $i = 4$ при $j = \overline{1,16}$ и $q = \overline{5,9}$.

Т а б л и ц а 16

$\Delta, \%$	P_{11}^*	P_{12}^*	P_{13}^*	P_{14}^*	P_{15}^*	P_{16}^*	P_{17}^*	P_{18}^*	P_{19}^*
36	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00
34	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.94	1.00
32	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.94	1.00
30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.88	1.00
28	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.94	0.88	0.88	1.00
26	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.81	0.88	1.00
24	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.81	0.81	1.00
22	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.81	0.81	1.00
20	0.81	0.75	0.81	0.75	0.81	0.81	0.75	0.75	1.00
18	0.75	0.69	0.75	0.69	0.81	0.81	0.63	0.69	0.94
16	0.69	0.63	0.69	0.63	0.69	0.69	0.56	0.56	0.94
14	0.63	0.56	0.63	0.56	0.63	0.63	0.50	0.44	0.94
12	0.50	0.44	0.50	0.44	0.56	0.56	0.44	0.38	0.69
10	0.44	0.38	0.44	0.38	0.44	0.44	0.44	0.31	0.63
8	0.44	0.31	0.44	0.31	0.44	0.44	0.31	0.25	0.63
6	0.44	0.31	0.44	0.31	0.38	0.38	0.31	0.25	0.50
4	0.25	0.19	0.25	0.19	0.31	0.31	0.13	0.06	0.38
2	0.13	0.06	0.13	0.06	0.31	0.31	0.13	0.00	0.19

Т а б л и ц а 17

$\Delta, \%$	P_{21}^*	P_{22}^*	P_{23}^*	P_{24}^*	P_{25}^*	P_{26}^*	P_{27}^*	P_{28}^*	P_{29}^*
46	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
44	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00
42	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00
40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00
38	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	0.94	0.94	1.00	1.00
36	1.00	0.94	1.00	1.00	0.94	0.94	0.88	1.00	1.00
34	1.00	0.94	1.00	0.94	0.94	0.94	0.88	0.94	1.00
32	1.00	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.88	0.88	1.00
30	1.00	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.81	0.88	1.00
28	0.94	0.88	0.88	0.88	0.94	0.94	0.75	0.88	1.00
26	0.94	0.88	0.88	0.88	0.94	0.94	0.75	0.88	1.00
24	0.88	0.81	0.81	0.81	0.94	0.88	0.75	0.88	1.00
22	0.75	0.63	0.81	0.75	0.81	0.75	0.69	0.75	1.00
20	0.75	0.63	0.75	0.75	0.69	0.75	0.69	0.63	0.94
18	0.69	0.56	0.69	0.69	0.69	0.69	0.56	0.56	0.94
16	0.69	0.56	0.69	0.63	0.50	0.56	0.50	0.50	0.94
14	0.56	0.56	0.69	0.63	0.38	0.50	0.50	0.50	0.88
12	0.56	0.56	0.44	0.56	0.38	0.44	0.44	0.50	0.88
10	0.38	0.50	0.31	0.44	0.31	0.25	0.31	0.25	0.75
8	0.38	0.38	0.25	0.19	0.31	0.13	0.13	0.19	0.69
6	0.38	0.38	0.19	0.19	0.25	0.13	0.13	0.19	0.31
4	0.19	0.25	0.19	0.19	0.13	0.06	0.00	0.06	0.25
2	0.13	0.06	0.13	0.13	0.13	0.06	0.00	0.00	0.19

Т а б л и ц а 18

$\Delta, \%$	P_{31}^*	P_{32}^*	P_{33}^*	P_{34}^*	P_{35}^*	P_{36}^*	P_{37}^*	P_{38}^*	P_{39}^*
52	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
50	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
48	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
46	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
44	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
42	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
40	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
38	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	0.94	0.94	1.00
36	1.00	1.00	0.88	1.00	1.00	1.00	0.94	0.94	1.00
34	1.00	1.00	0.81	1.00	1.00	1.00	0.94	0.94	1.00
32	1.00	1.00	0.81	1.00	1.00	1.00	0.94	0.94	1.00
30	0.94	0.94	0.81	1.00	1.00	1.00	0.94	0.94	1.00
28	0.94	0.94	0.75	0.94	1.00	1.00	0.94	0.94	1.00
26	0.94	0.94	0.75	0.88	1.00	1.00	0.88	0.94	1.00
24	0.94	0.88	0.75	0.88	1.00	0.94	0.88	0.88	1.00
22	0.94	0.88	0.69	0.88	0.94	0.94	0.81	0.88	1.00
20	0.88	0.88	0.63	0.88	0.94	0.94	0.81	0.88	1.00
18	0.88	0.81	0.56	0.88	0.94	0.88	0.81	0.81	0.94
16	0.81	0.75	0.56	0.81	0.88	0.88	0.81	0.81	0.94
14	0.75	0.63	0.50	0.81	0.88	0.81	0.75	0.75	0.88
12	0.69	0.63	0.50	0.81	0.81	0.81	0.75	0.69	0.81
10	0.69	0.56	0.50	0.69	0.63	0.75	0.63	0.69	0.69
8	0.63	0.50	0.44	0.69	0.63	0.69	0.50	0.50	0.63
6	0.50	0.44	0.38	0.50	0.56	0.63	0.44	0.38	0.50
4	0.25	0.38	0.31	0.44	0.25	0.56	0.25	0.19	0.38
2	0.13	0.13	0.19	0.25	0.06	0.31	0.13	0.19	0.19

Т а б л и ц а 19

$\Delta, \%$	P_{41}^*	P_{42}^*	P_{43}^*	P_{44}^*	P_{45}^*	P_{46}^*	P_{47}^*	P_{48}^*	P_{49}^*
16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94
12	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	1.00	0.81	0.81	0.88
10	0.88	0.81	0.75	0.88	0.94	0.88	0.75	0.75	0.81
8	0.75	0.75	0.69	0.75	0.69	0.63	0.69	0.69	0.56
6	0.56	0.63	0.50	0.38	0.50	0.50	0.56	0.56	0.50
4	0.44	0.31	0.31	0.25	0.44	0.44	0.56	0.56	0.25
2	0.25	0.06	0.06	0.13	0.31	0.38	0.38	0.38	0.13

= 9, для $i = 3$ $q = 6$, для $i = 4$ $q = 5$, так как только для этих способов одновременно соблюдаются условия примера: $\bar{\Delta}_{19} = 7.45 < \bar{\Delta}_{\text{зад.1}}$ и $P_{19}^*(10) = 0.625 > P_{\text{зад.1}}$; $\bar{\Delta}_{29} = 7.43 < \bar{\Delta}_{\text{зад.2}}$ и $P_{29}(10) = 0.750 > P_{\text{зад.2}}$; $\bar{\Delta}_{36} = 6.657 < \bar{\Delta}_{\text{зад.3}}$ и $P_{36}^*(8) = 0.688 > P_{\text{зад.3}}$; $\bar{\Delta}_{45} = 5.36 < \bar{\Delta}_{\text{зад.4}}$ и $P_{45}^*(10) = 0.938 > P_{\text{зад.4}}$.

ПРИМЕР 2. При $\bar{\Delta}_{\text{зад.1}} = 10.0$ и $P_{\text{зад.1}}(12) = 0.65$; $\bar{\Delta}_{\text{зад.2}} = 12.0$ и $P_{\text{зад.2}}(12) = 0.85$; $\bar{\Delta}_{\text{зад.3}} = 7.5$ и $P_{\text{зад.3}}(14) = 0.87$; $\bar{\Delta}_{\text{зад.4}} = 5.3$ и $P_{\text{зад.4}}(12) = 0.93$ выбираем для $i = \overline{1,3}$ $q = 9$, для $i = 4$ $q = 1$, так как только для этих способов одновременно соблюдаются условия примера: $\bar{\Delta}_{19} = 7.45 < \bar{\Delta}_{\text{зад.1}}$ и $P_{19}^*(12) = 0.688 > P_{\text{зад.1}}$; $\bar{\Delta}_{29} = 7.43 < \bar{\Delta}_{\text{зад.2}}$ и $P_{29}^*(12) = 0.875 > P_{\text{зад.2}}$; $\bar{\Delta}_{39} = 7.0 < \bar{\Delta}_{\text{зад.3}}$ и $P_{39}^*(14) = 0.875 > P_{\text{зад.3}}$; $\bar{\Delta}_{41} = 5.289 < \bar{\Delta}_{\text{зад.4}}$ и $P_{41}^*(12) = 0.938 > P_{\text{зад.4}}$.

Данные, приведенные в формулах (13)-(30), табл. 2-19 и на рис. 3-19, являются исходными для формирования баз знаний, используемых для выбора значения величины q при реализации стратегий 3 и 4 решения задачи прогноза при ТЭО вариантов построения ТС.

З а к л ю ч е н и е

Изложенные в статье концепция, методология и технология решения задач прогнозирования при ТЭО вариантов построения ТС раскрывают содержание нового подхода при решении задач выбора в анализируемой предметной области.

Разработанная технология является ресурсосберегающей. Существенным достоинством технологии является то, что она позволяет проводить ТЭО вариантов построения ТС в реальном времени

и сократить время исследования на 4-5 порядков (перейти от часов к секундам).

При создании инструментальных средств, реализующих изложенную технологию, предполагается, что потенциальный пользователь не является профессионалом-программистом.

Разработанный при создании технологии новый подход универсален и может быть применен без изменения концептуально-методологической основы технологии решения задачи ТЭО вариантов построения ТС любого назначения.

Реализация технологии в выбранной предметной области многовариантна. Например, переход от стратегии 1 (для всех элементов таблицы $L \times N^P$ используется один способ прогноза) к стратегии 4 (для каждого элемента таблицы $L \times N^P$ подбирается свой способ прогноза) решения задачи прогноза при ТЭО вариантов построения рассмотренных в статье сложных ТС позволил уменьшить среднее значение относительной погрешности прогноза в 38 раз, максимальное значение ошибки прогноза в 2,7 раз.

Разработанный подход позволяет обеспечить требуемые значения точности экспресс-анализа.

Автор искренне признателен Н.Г.Загоруйко, В.Н.Елкиной, Т.П.Киприяновой, Е.Н.Шемякиной и Н.В.Ефановой за плодотворное участие в обсуждении изложенной технологии и проведении экспериментальных исследований, результаты которых иллюстрируют содержание статьи.

Л и т е р а т у р а

1. УСТЮГОВ Ю.А. Технология прогнозирования развития технических средств и систем на длительную перспективу при существенно ограниченной обучающей выборке //Анализ последовательностей и таблиц данных. - Новосибирск, 1994. - Вып. 150: Вычислительные системы. - С. 71-93.

2. УСТЮГОВ Ю.А. Технология долгосрочного планирования НИОКР, серийного производства и эксплуатации технических систем на основе прогнозирования их развития с учетом ресурсных ограничений и меняющихся во времени требований //Анализ последовательностей и таблиц данных. - Новосибирск, 1994. - Вып.150: Вычислительные системы. - С. 45-70.

3. ЗАГОРУЙКО Н.Г. Эмпирическое предсказание.-Новосибирск, Наука, 1979. - 160 с.

4. ЗАГОРУЙКО Н.Г. Алгоритм WANGA-CUB //Настоящий сборник. - С. 164-170.

5. ЗАГОРУЙКО Н.Г., БУШУЕВ С.Н., ГРИГОРЬЕВ В.В., УСТЮГОВ Ю.А. Система прогнозирования, основанная на методах получения и обработки знаний //Анализ последовательностей и таблиц данных. - Новосибирск, 1994. - Вып. 150: Вычислительные системы. - С. 17-31.

Поступила в редакцию
25 марта 1995 года