

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

УДК 004.94:006.78

**С.В. Скворцов, Т.С. Скворцова, В.И. Хрюкин**  
**МЕТОДИКА ВЕРОЯТНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ**  
**ДОПУСКОВ И ПОСАДОК**  
**ДЛЯ САПР МЕХАНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Рассмотрены вопросы формализации расчетных процедур для определения параметров механических узлов конструкций с учетом случайного характера размеров компонентов. Предложена методика определения допусков соединений, основанная на вероятностном моделировании с учетом технологических особенностей производства.*

**Ключевые слова:** допуски и посадки, поле допуска, коэффициентный метод расчета, вероятностное моделирование.

**Введение.** В процессе автоматизированного конструирования современных электронных вычислительных средств (ЭВС) часто возникает задача расчета параметров соединений деталей и узлов их электромеханических компонентов. При решении такой задачи наиболее часто используется детерминистический подход, предполагающий применение расчетных формул Единой системы допусков и посадок (ЕСДП). Эта система соответствует международным стандартам ISO 286–1:2010 [1] и ISO 286–2:2010 [2].

При таком подходе отклонения размеров от номинальных считаются предельными, а допуск посадки определяется как сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение. Здесь «вал» и «отверстие» – термины, применяемые для условного обозначения наружных и внутренних элементов деталей соответственно, включая и нецилиндрические элементы. Допуск размера вала  $Td$  (отверстия  $TD$ ) определяется как разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями [3]. В этом случае обеспечивается полная взаимозаменяемость изделий. Однако при таком способе расчетов ужесточаются требования к точности размеров деталей и сборочных узлов, что приводит к удорожанию конструкций ЭВС [4].

Существует возможность, позволяющая снизить требования на точность изготовления деталей и узлов практически без ухудшения па-

раметров их соединений, что в конечном итоге обеспечивает значительное уменьшение затрат на их производство и сборку.

**Краткий обзор известных решений.** Известные методы решения задачи снижения требований к точности изготовления деталей основаны на использовании теоретико-вероятностного подхода [3,4]. Он базируется на предположении о том, что сочетание действительных размеров деталей в соединении носит случайный характер и вероятность того, что все детали с самыми неблагоприятными сочетаниями размеров окажутся в одном изделии, весьма мала. При этом считается, что поля допусков деталей и их соединений подчиняются определенным законам распределения.

В частности, при нормальном законе распределения полей допусков вала и отверстия, что характерно для серийного (массового) производства изделий, распределение поля допуска соединения также будет подчиняться нормальному закону, а при равномерном законе распределения допусков вала и отверстия, характерном для индивидуального и мелкосерийного производства изделий, – закону Симпсона [3].

Наиболее известный *коэффициентный метод расчета* [4] позволяет применять стандартные соотношения теории размерных цепей для расчета параметров соединений с учетом поправочных коэффициентов, зависящих от законов распределения допусков. В соответствии с работой [4] допуск соединения будет определяться

по формуле:

$$TS = \frac{1}{k_S} \sqrt{k_d^2 \cdot Td^2 + k_D^2 \cdot TD^2}, \quad (1)$$

где  $k_d$ ,  $k_D$ ,  $k_S$  – поправочные коэффициенты для допусков вала, отверстия и их соединения соответственно.

В частности, при использовании указанных выше распределений эти коэффициенты имеют следующие значения [4]:

- для нормального закона  $k = 1$ ;
- для равномерного закона  $k = 1,73$ ;
- для закона Симпсона  $k = 1,22$ .

Тогда, например, требуемый допуск соединения в серийном производстве может быть получен при увеличении приблизительно в 1,4 раза допусков вала и отверстия по сравнению с допусками, обеспечивающими полную взаимозаменяемость. В этом случае только для 0,27 % всех соединений возникает возможность появления брака [4]. Следовательно, учет законов распределения допусков в технологических процессах позволяет существенно снизить стоимость изготовления деталей и сборки узлов.

Существенным недостатком коэффициентного метода расчета является его ограниченная область применения. Он может использоваться только в двух случаях:

- для нормального закона распределения полей допусков вала и отверстия;
- для равномерного закона распределения полей допусков вала и отверстия при соизмеримости величин этих допусков.

В других обстоятельствах возникает необходимость определения коэффициента  $k_S$ , который не будет совпадать ни с одним из указанных выше значений. То же самое касается коэффициентов  $k_d$ ,  $k_D$ , если поля допусков вала или отверстия не подчиняются рассмотренным выше законам распределения.

Еще один способ решения рассматриваемой задачи базируется на расчете размерных цепей методом неполной взаимозаменяемости [3,4], который основан на положениях дисперсионного анализа и в общем случае допускает использование любых законов распределения. Однако в этом случае возникает проблема определения величины поля допуска соединения по значению дисперсии размера замыкающего звена, что требует индивидуального аналитического решения в каждом конкретном случае [9].

Таким образом, известные варианты применения теоретико-вероятностного подхода предполагают весьма ограниченный перечень законов распределения (нормальный, равномерный, Симпсона), для которых имеются стандартные

расчетные формулы и определены значения коэффициентов, или требуют достаточно сложного анализа для других законов распределения.

Целью данной статьи является разработка универсальной методики вычисления допуска соединения, основанной на вероятностном моделировании, для произвольных законов распределения полей допусков вала и отверстия, а также при отсутствии ограничений на величины этих допусков.

**Постановка задачи.** Пусть в результате исследования технологического процесса установлено, что поля допусков сопрягаемых деталей (вала и отверстия) подчиняются некоторым законам распределения с известными характеристиками.

Требуется определить данные о параметрах соединения этих деталей:

- величину допуска  $TS$ ;
- предельные зазоры ( $S_{\max}$ ,  $S_{\min}$ ) или натяги ( $N_{\max}$ ,  $N_{\min}$ );
- вероятность получения зазора  $P_S$  или натяга  $P_N$ .

Для достижения поставленной цели предлагается использовать метод вероятностного моделирования, который является универсальным и находит широкое распространение при решении инженерных и научных задач. Примером могут служить работы по исследованию вероятностных характеристик вычислительных сетей и их отдельных компонентов, таких как каналы передачи пакетов данных, протоколы, маршрутизаторы и т.п. [5-7].

Для решения задачи исследования характеристик соединений деталей предлагается использовать процедуру формирования последовательности случайных чисел, имитирующих отклонения размеров вала и отверстия от их номинального значения.

Такая процедура может быть реализована на основе метода обратных функций или метода исключения [8].

Пусть случайные величины  $X$  и  $Y$  обозначают размеры вала и отверстия соответственно, где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $y_1, y_2, \dots, y_n$  – совокупности их значений, полученные в результате моделирования по одному из указанных выше методов. Тогда можно вычислить разности  $\Delta_i = y_i - x_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) и на их основе определить предельные зазоры или натяги.

Для посадок с зазором, где все  $\Delta_i > 0$ , получим:

$$S_{\min} = \min \Delta_i; S_{\max} = \max \Delta_i; i = \overline{1, n},$$

а для посадок с натягом, где все  $\Delta_i < 0$ :

$$N_{\min} = \min |\Delta_i|; N_{\max} = \max |\Delta_i|; i = \overline{1, n}.$$

При переходных посадках, где  $\Delta_i$  могут иметь разные знаки, вычисляются максимальный зазор и максимальный натяг. Максимальный зазор определяется для всех  $\Delta_i > 0$  по формуле:

$$S_{\max} = \max \Delta_i; i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Максимальный натяг определяется для всех  $\Delta_i < 0$  по формуле:

$$N_{\max} = \max |\Delta_i|; i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Величина допуска соединения будет определяться из соотношения:

$$TS = \max \Delta_i - \min \Delta_j; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Вероятность получения зазора и натяга можно оценить по частоте появления величин  $\Delta_i$  с разными знаками:

$$P_1 \approx n_1/n; P_2 \approx n_2/n, \quad (5)$$

где  $n_1, n_2$  – количество положительных и отрицательных значений  $\Delta_i$  соответственно, причем

$$n_1 + n_2 = n.$$

**Оценка достоверности результатов моделирования.** При вероятностном вычислении параметров соединения деталей возникает вопрос выбора характеристик закона распределения поля допуска, таких как математическое ожидания (м.о.)  $m$ , дисперсия  $D$  или среднее квадратическое отклонение (с.к.о.)  $\sigma$ .

Для ограниченного числа значений  $n$  случайных чисел, по которым определяется величина допуска, можно говорить лишь о получении оценок  $\tilde{m}, \tilde{D}$  указанных характеристик. При замене  $m$  и  $D$  их оценками  $\tilde{m}, \tilde{D}$  совершаются ошибки. Величина каждой ошибки зависит от  $n$  и при  $n \rightarrow \infty$  оценка приближается к параметру, а их разность стремится к нулю. Поэтому возникает задача определения значения  $n$ , при котором ошибка будет меньше заданной величины  $\varepsilon$  (точность оценки) с вероятностью  $\beta$  (надежность оценки).

Найдем минимальное значение  $n$ , удовлетворяющее заданным требованиям при оценке м.о. Полагая, что оценка  $\tilde{m}$  подчиняется нормальному закону, можно определить параметры распределения [9]:

$$M[\tilde{m}] = \tilde{m}; D[\tilde{m}] = \frac{\tilde{D}}{n}; \sigma[\tilde{m}] = \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}}, \quad (6)$$

где  $M[\tilde{m}], D[\tilde{m}], \sigma[\tilde{m}]$  – значения м.о., дисперсии и с.к.о. оценки математического ожидания поля допуска.

Определить значения  $\tilde{m}, \tilde{D}$  можно приближенно, считая, что распределение поля допуска нормальное. Тогда:

$$\tilde{m} = \frac{T_d + T_D}{2}; \tilde{\sigma} = \frac{T_d + T_D}{6}; \tilde{D} = \tilde{\sigma}^2. \quad (7)$$

Более точная оценка может быть осуществлена по первым  $n_0$  значениям сгенерированной с.в. (значениям допуска  $TS_i$ ):

$$\tilde{m} = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} TS_i}{n_0}; \tilde{D} = \frac{1}{n_0 - 1} \sum_{i=1}^{n_0} (TS_i - \tilde{m})^2.$$

В работе [9] показано, что уже при  $n_0 > 30$  такие оценки будут состоятельными, несмещенными и эффективными.

Величину  $\sigma[\tilde{m}]$  в формуле (2) можно определить, принимая, что вероятность отклонения оценки  $\tilde{m}$  от м.о.  $m$  меньше чем  $\varepsilon_m$ , равна  $\beta_m$ :

$$P\{|\tilde{m} - m| < \varepsilon_m\} = \beta_m,$$

где  $\varepsilon_m, \beta_m$  – точность и надежность оценки м.о.

В силу принятого выше предположения о нормальном распределении  $\tilde{m}$  такая вероятность определяется с использованием функции Лапласа  $\Phi(x)$  следующим образом:

$$P\{|\tilde{m} - m| < \varepsilon_m\} \approx 2\Phi\left(\frac{\varepsilon_m}{\sigma[\tilde{m}]}\right) \approx \beta_m.$$

Отсюда будем иметь:

$$\sigma[\tilde{m}] = \frac{\varepsilon_m}{\Phi^{-1}\left(\frac{\beta_m}{2}\right)}, \quad (8)$$

где  $\Phi^{-1}(x)$  – обратная функция Лапласа.

Величина  $\varepsilon_m$  обычно задается как доля  $\Delta_m$  от м.о. поля допуска, но так как известна только оценка  $\tilde{m}$ , то принимается  $\varepsilon_m = \tilde{m} \Delta_m$ .

Тогда на основании (6) и (8) получим:

$$n = \frac{\tilde{D}}{\sigma^2[\tilde{m}]} = \frac{\tilde{D}[\Phi^{-1}(\beta_m/2)]^2}{(\tilde{m}\Delta_m)^2}. \quad (9)$$

Минимальное значение  $n$  для получения оценки дисперсии также вычисляется в предположении, что  $\tilde{D}$  подчиняется нормальному закону. Отсюда можно определить параметры распределения следующим образом [9]:

$$M[\tilde{D}] = \tilde{D}; D[\tilde{D}] = \frac{2}{n-1} \tilde{D}^2; \sigma[\tilde{D}] = \tilde{D} \sqrt{\frac{2}{n-1}}. \quad (10)$$

Величину  $\sigma[\tilde{D}]$  можно найти аналогично, принимая, что вероятность отклонения оценки  $\tilde{D}$  от дисперсии  $D$  меньше чем  $\varepsilon_D$ , равна  $\beta_D$ :

$$P\{|\tilde{D} - D| < \varepsilon_D\} \approx 2\Phi\left(\frac{\varepsilon_D}{\sigma[\tilde{D}]}\right) \approx \beta_D,$$

где  $\varepsilon_D$ ,  $\beta_D$  – точность и надежность оценки дисперсии. Отсюда:

$$\sigma[\tilde{D}] = \frac{\varepsilon_D}{\Phi^{-1}\left(\frac{\beta_D}{2}\right)}. \quad (11)$$

Величина  $\varepsilon_D$  также может быть определена как  $\varepsilon_D = \tilde{D}\Delta_D$ . Тогда с учетом (10) и (11) получим:

$$n = \frac{2\tilde{D}^2}{\sigma^2[\tilde{D}]} + 1 = \frac{2[\Phi^{-1}(\beta_D/2)]^2}{\Delta_D^2} + 1. \quad (12)$$

Очевидно, что требуемое значение  $n$  будет определяться как максимальное из чисел, полученных по формулам (9) и (12):

$$n = \max\left\{\frac{[\tilde{D}\Phi^{-1}(\beta_m/2)]^2}{(\tilde{m}\Delta_m)^2}; \frac{2[\Phi^{-1}(\beta_D/2)]^2}{\Delta_D^2} + 1\right\}. \quad (13)$$

**Пример.** Произведем расчет параметров соединения  $\varnothing 60$  Н7/м6 или  $\varnothing 60 \begin{smallmatrix} +0,03 \\ +0,011 \end{smallmatrix}$ .

Схема полей допусков в этом случае будет иметь вид, представленный на рисунке 1, где используются следующие обозначения:  $ES$ ,  $es$  – верхние предельные отклонения отверстия и вала от номинального размера;  $EI$ ,  $ei$  – нижние предельные отклонения отверстия и вала от номинального размера.

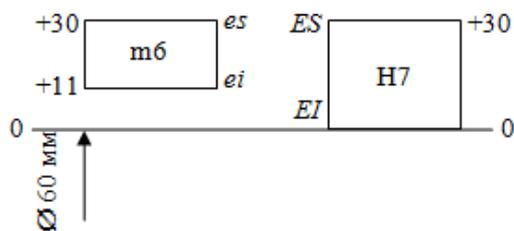


Рисунок 1 – Схема полей допусков посадки  $\varnothing 60$  Н7/м6

Рассчитаем параметры соединения методом полной взаимозаменяемости, т.е. воспользуемся стандартными соотношениями ЕСДП [3]. В результате для соединения  $\varnothing 60$  Н7/м6 получим:

- предельный натяг  $N_{\max} = es - EI = 30$  мкм;
- предельный зазор  $S_{\max} = ES - ei = 19$  мкм;
- допуск посадки  $TS = S_{\max} + N_{\max} = 49$  мкм.

Определим параметры этого же соединения, считая, что рассеяние размеров отверстий и валов, а также зазоров (натягов) подчиняется закону нормального распределения. Положим также, что допуск размера каждой детали равен полю

рассеяния, т.е.  $T = 6\sigma$ . В результате получим значения допусков:

- для отверстия  $\varnothing 60$  Н7:  
 $TD = 6\sigma_D = ES - EI = 30$  мкм;
- для вала  $\varnothing 60$  м6:  
 $Td = 6\sigma_d = es - ei = 19$  мкм.

Допуск посадки можно рассчитать коэффициентным методом по формуле (1). Для нормального распределения получим:

$$TS^B = \frac{1}{1,73} \sqrt{1,73^2 \cdot 19^2 + 1,73^2 \cdot 30^2} = 35,5 \text{ мкм.}$$

Отсюда с.к.о. допуска соединения составит:

$$\sigma_S = TS^B / 6 = 5,92 \text{ мкм.}$$

Вероятностные значения предельных натяга  $N_{\max}^B$  и зазора  $S_{\max}^B$  можно получить как отклонения  $\pm 3\sigma_S$  от средней величины натяга, которая определяется по средним значениям размеров вала и отверстия:

$$N_{\text{cp}} = (es + ei)/2 - (ES + EI)/2 = 5,5 \text{ мкм.}$$

В результате получим:

$$N_{\max}^B = N_{\text{cp}} + 3\sigma_S = 23,25 \text{ мкм;}$$

$$S_{\max}^B = -(N_{\text{cp}} - 3\sigma_S) = 12,25 \text{ мкм.}$$

Эти величины близки к предельным значениям, так как только примерно в трех случаях из тысячи соединений значения зазоров (натягов) могут превышать расчетные [4].

Вероятность появления натяга (зазора) в соединении определяется площадью под кривой распределения в диапазоне  $N$  от 0 до 23,25 мкм (рисунок 2).

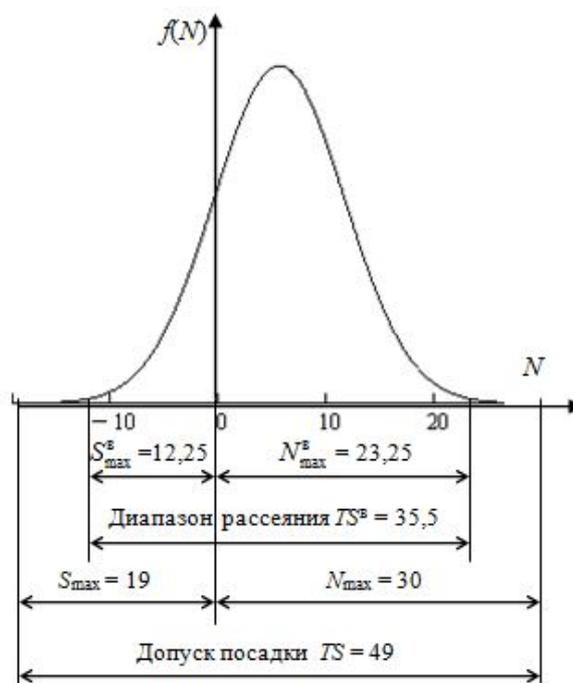


Рисунок 2 – Функция плотности распределения натягов посадки  $\varnothing 60$  Н7/м6

Вычислим это значение как вероятность попадания в интервал  $(0, N_{\max}^B)$  по формуле:

$$P_N \{0 \leq N \leq N_{\max}^B\} = \int_0^{N_{\max}^B} f(N) dN.$$

С учетом нормального закона распределения и значений м.о. и с.к.о. получим:

$$P_N \{0 \leq N \leq 23,25\} = \int_0^{23,25} \frac{1}{5,92\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(N-5,5)^2}{2 \cdot 5,92^2}\right] dN = 0,8186.$$

Таким образом, вероятность получения в соединении натягов составит 81,86 %, а зазоров – 18,14 %.

Оценим значения характеристик соединения методом вероятностного моделирования. Сначала вычислим по формулам (7) оценки м.о. и с.к.о.:

$$\tilde{m} = 24,5 \text{ мкм}; \quad \tilde{\sigma} = 8,1 \text{ мкм}.$$

Затем, примем:

$$\Delta_m = \Delta_D = 0,1; \quad \beta_m = \beta_D = 0,95$$

и на основании (13) получим  $n = 835$ .

Сформировав  $n$  пар  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  случайных величин с нормальным законом распределения, по формулам (2) – (5) получим следующие значения искомых характеристик соединения: предельный зазор – 11,6 мкм; предельный натяг – 21,8 мкм; допуск посадки – 33,4 мкм; вероятность натяга в соединении 81,2 %.

Объединим результаты расчетов, полученные разными методами, и представим их в таблице. Эта таблица показывает, что при использовании стандартных соотношений ЕСДП для расчета параметров соединений деталей, изготавливаемых серийно, получаемые значения существенно отличаются от практических результатов.

#### Сводные результаты расчетов параметров соединения $\varnothing 60 \text{ Н7/м6}$

Характеристики соединения	Метод расчета		
	ЕСДП	коэффициентный	моделирование
Предельный зазор, мкм	19	12,25	11,6
Предельный натяг, мкм	30	23,25	21,8
Допуск посадки, мкм	49	35,5	33,4
Вероятность натяга, %	61,22	81,86	81,2
Вероятность зазора, %	38,78	18,14	18,8

В частности, значение предельного зазора более чем в 1,5 раза превышает величину, полученную коэффициентным методом, учитывающим технологические особенности сборки деталей. Кроме того, коэффициентный метод показывает, что зазор появляется примерно в 19 % случаев, в то время как в условиях полной взаимозаменяемости (методика ЕСДП) получается, что это возможно для 39 % соединений. Заметим, что вероятность натяга (зазора) для условий полной взаимозаменяемости получена в предположении о равномерном распределении допуска посадки.

Также нетрудно заметить, что результаты вероятностного моделирования близки к значениям, полученным коэффициентным методом. Максимальное отличие соответствует предельным натягам и составляет около 6 %, а вероятности появления натягов в соединении практически совпадают, что подтверждает эффективность предлагаемого подхода расчета характеристик допусков и посадок.

**Заключение.** Полученные результаты позволяют предложить следующую обобщенную методику расчетов параметров соединений (допусков и посадок).

1. Проводится анализ технологических процессов изготовления деталей и сборки узлов.

2. В случае необходимости обеспечения полной взаимозаменяемости расчет производится с использованием *стандартных формул ЕСДП* [3].

3. При отсутствии требования полной взаимозаменяемости расчет выполняется *коэффициентным методом* [4]. Для этого законы распределения полей допусков вала и отверстия должны быть одновременно нормальными или равномерными. В последнем случае также требуется, чтобы вал и отверстие выполнялись по одному качеству.

4. Если указанные требования к законам распределения полей допусков вала и отверстия не выполняются, расчет параметров соединений производится *методом вероятностного моделирования*.

Представленная методика ориентирована на применение в САПР электронно-вычислительных средств [10] и может применяться при конструировании механических и электромеханических узлов [11].

Кроме того, предложенный подход к вероятностному моделированию может быть использован при исследовании диагностических процессов в многопроцессорных вычислительных системах [12-15], включая тестирование их программного обеспечения [16].

**Библиографический список**

1. ISO 286-1:2010. Geometrical Product Specifications (GPS) – ISO code system for tolerances on linear sizes – Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosstandart.gov.by/txt/Actual-info/docs/gost-25346-89.pdf> (дата обращения 21.02.14).

2. ISO 286-2:2010. Geometrical Product Specifications (GPS) – ISO code system for tolerances on linear sizes – Part 2: Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosstandart.gov.by/txt/Actual-info/docs/gost-25347-82.pdf> (дата обращения 21.02.14).

3. Зайцев С.А., Куранов А.Д., Толстов А.Н. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении. М.: Академия, 2004. 238 с.

4. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1987. 352 с.

5. Шибанов А.П., Корячко В.П., Ижванов Ю.Л. Моделирование агрегированного телекоммуникационного канала с технологией открытых потоков // Радиотехника. 2012. № 3. С. 109–113.

6. Шибанов А.П. Метод эквивалентных упрощающих преобразований GERT-сетей и его приложения // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2012. № 39–2. С. 76–83.

7. Ижванов Ю.Л., Корячко В.П., Шибанов А.П., Сапрыкин А.Н., Лукьянов О.В. Оптимизация сетей с дозированной балансировкой нагрузки и пиринговыми каналами // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 1 (43). С. 67–74.

8. Корячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические основы САПР. М.: Энергоатомиздат, 1987. 400 с.

9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятно-

стей и ее инженерные приложения. М.: Высшая школа, 2000. 480 с.

10. Корячко В.П., Скворцов С.В., Таганов А.И., Шибанов А.П. Эволюция автоматизированного проектирования электронно-вычислительных средств // Радиотехника. 2012. № 3. С. 97–103.

11. Скворцов Н.В., Скворцов С.В., Хрюкин В.И. Разработка программных средств теоретико-вероятностных расчетов в Единой системе допусков и посадок // Информационные технологии в научных исследованиях: Межвуз. сб. / Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2012. С. 134–136.

12. Скворцов Н.В., Скворцов С.В., Хрюкин В.И. Дешифрация диагностического синдрома многопроцессорной системы в реальном времени // Системы управления и информационные технологии. 2010. № 1 (39). С. 49–53.

13. Скворцов Н.В., Скворцов С.В., Хрюкин В.И. Синтез диагностических графов для многопроцессорных систем с активной отказоустойчивостью // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2012. № 39–2. С. 83–89.

14. Скворцов Н.В., Скворцов С.В. Автоматизация проектирования процессов самодиагностики для многопроцессорных систем с активной отказоустойчивостью // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 4–2 (46). С. 71–77.

15. Скворцов С.В. Применение симметричной диагностической модели при организации активной отказоустойчивости многопроцессорных систем // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 1998. № 4. С. 57–64.

16. Рудаков В.Е., Скворцов С.В. Построение базового множества независимых путей потокового графа для тестирования программных модулей // Системы управления и информационные технологии. 2012. Т. 50. № 4. С. 67–70.

УДК 62.681.5

**О.В. Фалеев**

## СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ АГРЕГАТНОГО КОМПЛЕКСА

*Предложен метод решения задачи синтеза систем автоматизации испытаний изделий ракетно-космической техники с использованием средств агрегатного комплекса.*

**Ключевые слова:** метод агрегатного построения, синтез агрегатного комплекса средств, системы автоматизации испытаний.

**Введение.** Все функциональные процессы, протекающие в агрегативных системах, то есть в системах, организованных путем агрегации модулей из агрегатного комплекса средств, связаны так или иначе с преобразованием и передачей информации [1]. Взаимодействие модулей в со-

ставе агрегативной системы возможно лишь при наличии связей между ними. Информационные связи обеспечивают обмен информацией между модулями.

Формальное описание агрегативной системы может быть выражено в виде описания отноше-

ний преобразований и отношений связей в модулях этой системы [2]. Отношение преобразований характеризуется отношениями между потоками  $\omega_i, i \in I(M_k); j \in J(M_k)$  информации на входах  $I(M_k)$  и выходах  $J(M_k)$  модулей рассматриваемой системы. Отношения связей характеризуют способность пространственно распределенных модулей системы вступать во взаимодействие между собой и окружающей средой. При этом имеют место непосредственные и опосредствованные связи. Связи являются непосредственными при пространственном совмещении модулей. При пространственном распределении модулей преобразования информации требуются специальные модули связи  $\{M_c\}$ , обеспечивающие передачу потоков информации в пространстве системы.

Отношения преобразования отображаются математической моделью процесса обработки информации [3]. Эти отношения реализуются модулями преобразования информации, образующими вместе со связями трехмерное метрическое пространство  $\Psi(X, Y, Z)$  распределенной системы модулей агрегатного комплекса [4, 5]. Объединение пространства процессов обработки  $\Phi(G, P) = (g_1, \dots, g_m) \cup (p_1, \dots, p_l)$  с трехмерным метрическим пространством  $\Psi$  дает неоднородное дискретное топологическое пространство  $B$  агрегатного комплекса:

$$B = \Phi(G, P) \cup \Psi(X, Y, Z) = (g_1, \dots, g_m) \cup (p_1, \dots, p_l) \cup \Psi(X, Y, Z). \quad (1)$$

Если  $\vec{\omega}_i$  вектор, соответствующий входному потоку модуля  $M_k \in M$ , а  $\vec{\omega}_j$  – вектор, соответствующий выходному потоку модуля  $M_k \in M$  в неоднородном дискретном топологическом пространстве  $B$  агрегатного комплекса, то можно сказать, что каждый модуль обеспечивает дискретное перемещение вектора  $\vec{\omega}$  из точки  $i$  в точку  $j$  пространства  $B$ .

Для каждой агрегативной системы из семейства систем автоматизации испытаний (САИ) известны координаты источника первичной информации и пользователя конечного продукта в пространстве  $B$ . В этом случае задача создания агрегативной системы сводится к поиску оптимальной траектории вектора  $\vec{\omega}$  [6]. Выбор оптимальной организации агрегативной системы осуществляется с помощью критериальных показателей  $\Pi_s^\xi, \xi \in \Sigma$ . При этом многообразие возможных значений  $\Pi(\Pi_s^1, \dots, \Pi_s^\xi), \xi \in \Sigma$

этих показателей отображается  $\xi$  – мерным параметрическим пространством. Объединение неоднородного топологического пространства  $B$  агрегатного комплекса с параметрическим пространством  $\Pi$  дает некоторое гиперпространство

$$\Gamma(B, \Pi) = \Phi(G, P) \cup \Psi(X, Y, Z) \cup \Pi(\Pi_s^1, \dots, \Pi_s^\xi), \quad (2)$$

отображающее информационные, пространственные, параметрические и экономические аспекты различимости возможных вариантов организации агрегативной системы.

*Цель работы* – решение задачи композиционного проектирования агрегативной системы [7], состоящей в поиске такой комбинации модулей, значений их параметров, информационных связей, пространственного положения модулей в системе, которые обеспечили бы преобразование первичной информации в конечный результат наилучшим образом.

**Теоретическая часть.** Как уже отмечалось ранее, агрегатный комплекс представляет собой совокупность модулей, образующих информационно совместимое множество элементов. Каждый элемент этого множества (модуль) реализует определенное преобразование информации и информационно связан с некоторым подмножеством модулей агрегатного комплекса. Из всего множества связей  $L^*$  между модулями агрегатного комплекса выделим подмножества параметрически совместимых связей  $L \subset L^*$ . Отобразим множество модулей агрегатного комплекса в виде графа  $AK(P, L)$ , где множество вершин отображает множество процедур обработки, реализуемых модулями агрегатного комплекса, а множество дуг – информационно и параметрически совместимые связи между модулями, причем длина дуги, выходящей из вершины, пропорциональна обобщенной стоимости реализации подмножества процедур, выполняемых данными модулями.

Дополним граф  $AK(P, L)$  множеством начальных вершин,  $\omega_e^u, e \in E$ , отображающим множество источников первичной информации, связанных с соответствующими процедурами обработки, и множеством конечных вершин  $\omega_u^k, u \in U$ , отображающим множество пользователей конечного продукта. В результате получим граф  $S(X^*, Y^*)$ , отображающий множество возможных вариантов реализации системы, где  $X^* = P \cup_{e \in E} \omega_e^u \cup_{z \in U} \omega_u^k; Y^* = L \cup_{e \in E} l_e \cup_{u \in U} l_u$ . Каждый

вариант реализации системы однозначно определяется своим путем из вершины  $\omega_e^u, e \in E$  в вершину  $\omega_u^k, u \in U$ .

Каждая проектируемая агрегативная система предназначена для реализации некоторого множества преобразований информации, выполняемых в определенной последовательности, то есть с информационной точки зрения представляет собой множество процедур, определенным образом связанных между собой. Эта система характеризуется параметрами потока первичной информации и потока конечного продукта. Агрегативная система создается из модулей агрегатного комплекса, каждый из которых характеризуется отношением преобразования информации

$$F_n(I(M_k); R(\omega_i, \omega_j); J(M_k)), \quad (3)$$

отражающим функцию отношений между потоками  $\omega_i, i \in I(M_k); \omega_j, j \in J(M_k)$ , информации на входе  $I(M_k)$  и на выходе  $J(M_k)$  модуля  $M_k \in M$  при выполнении этими модулями операции преобразования информации, и отношением связи

$$F_c(J(M_k); P(\omega_i, \omega_j); I(M_k)), \quad (4)$$

отражающим функцию отношений между потоками при выполнении этим модулем связи, а также функциональной зависимостью  $\xi$ -го показателя эффективности модуля  $M_k \in M$  от параметров потоков и варьируемых внутренних параметров  $\{g^v(M_k)\}, \xi \in \Sigma$

$$\Pi^\xi(M_k) = f_{M_k}^\xi(\omega_i, \omega_j, g^v(M_k)). \quad (5)$$

Для обеспечения композиционного проектирования оптимальных агрегативных систем должна быть установлена связь пространственно-структурно-параметрической организации этих систем с показателями экономической эффективности. Проектирование оптимальных систем предполагает представление принятых критериальных показателей модулей разрабатываемой системы в смысле оценки их влияния на показатели эффективности системы в целом. Так как показатель обобщенной стоимости удовлетворяет условиям аддитивности, то указанное отображение может быть представлено в виде уравнения:

$$\Pi^\xi(M_k) = \sum_{k=1}^{NM_k} \Pi_{\Pi M_k K} \cdot f_{M_k}^\xi(\omega_i, \omega_j, g(M_k)), \quad (6)$$

где  $\Pi^\xi(M_k)$  – значение  $\xi$ -го экономического

показателя проектируемой системы при вводе в нее модуля  $M_k \in M$ ;

$\Pi_{\Pi M_k K}$  – коэффициент приведения, показывающий связь между показателями модуля и системы в целом;

$f_{M_k}^\xi$  – нелинейная функция;

$N_{M_k}$  – число составляющих показателя обобщенной стоимости модуля  $M_k \in M$ .

Задача композиционного проектирования оптимальной агрегативной системы может быть сформулирована следующим образом.

Осуществить композицию формализованного отображения:

$$F^*(I, J) = \bigcup_{M_k \in M_{\Pi}^*} F_n(I(M_k); R(\omega_i, \omega_j); J(M_k)) \cup F_c(J(M_k); P(\omega_j, \omega_i); J(M_k)) \quad (7)$$

отношений преобразований  $F_n(I(M_k); R(\omega_i, \omega_j); J(M_k))$  потоков  $\omega_e, e \in E$ , первичной информации в конечный продукт  $\omega_u, u \in U$ , а также отношение связей  $F_c(J(M_k); P(\omega_i, \omega_j); I(M_k))$ , обеспечивающих передачу потоков преобразуемой информации в заданные точки  $u \in U$  пространства  $\Psi$  проектируемой агрегативной системы при минимизации обобщенной стоимости системы

$$\Pi^0(M_j) = \sum_{M_k \in M_j} \sum_{k=1}^{N_{M_k}} \Pi_{\Pi M_k K}^0 \cdot f_{M_k}^0(\omega_i, \omega_j, g^*(M_k)) \rightarrow \min \quad (8)$$

и при соблюдении налагаемых ограничений на параметры системы

$$g_v^c(M_k) = g_v^c. \quad (9)$$

Использование в качестве математической модели семейства систем ориентированного графа  $S$  позволяет свести сформулированную выше задачу к задаче нахождения минимального пути на графе. Общее правило нахождения пути на графе заключается в присвоении каждой вершине  $x_i \in X$  индекса  $\alpha_i$ , равного длине кратчайшего пути из вершины  $x_i$  в вершину  $\omega_u^k$ . При этом вершине  $\omega_u^k$  приписываются индексы  $\alpha_u^k = 0$ . Для вершин  $x_i$ , смежных с вершинами  $x_j$ , когда  $i > j$ , индексы  $\alpha_i$  определяются по следующей формуле:

$$\alpha_i = \min_j [\alpha_j + l(x_i, x_j)], \quad (10)$$

где  $l(x_i, x_j)$  – длина дуги из вершины  $x_i$  в вершину  $x_j$ .

Процедура присвоения индексов итеративна, она требует при переборе количества шагов, равного:

$$\theta = \sum_i v_j, \quad (11)$$

где  $v_j$  – количество вершин, смежных с  $x_i$ .

Так как обобщенная стоимость реализации модуля  $M_i$  не зависит от того, с каким модулем  $M_j$  он связан, то для дуг, выходящих из вершины  $x_i$ , справедливо равенство:

$$l(x_i, x_v) = l(x_i, x_j) v \neq j; v, j < i, \quad (12)$$

где  $x_v, x_j \in X_j^i$ , а  $X_j^i$  – подмножество вершин, смежных с  $x_i$ . В этом случае

$$\alpha_i = \min_{x_j \in X_j^i} \alpha_j + l(x_i, x_j). \quad (13)$$

Алгоритм поиска кратчайшего пути на графе заключается в следующем: если вершина  $x_i$  уже принадлежит кратчайшему пути, то из подмножества  $X_j^i$  вершин, смежных с  $x_i$ , этому же пути принадлежит та вершина, для которой выполняется равенство:

$$\alpha_i - \alpha_j = l(x_i, x_j). \quad (14)$$

Исходными данными для синтеза системы являются ее функции, формализованное отображение которых может быть представлено в виде кортежа процедур обработки. Имея набор конструктивных модулей, рассматриваем все возможные варианты реализации каждой процедуры этими модулями. Затем строится граф возможных вариантов реализации системы. При этом, если процедура может быть реализована несколькими модулями, то эти модули отображаются вершинами графа, смежными с одной и той же вершиной, которая ближе этих вершин к начальной. Если же процедура реализуется только одним модулем, то любой путь из начальной вершины в конечную должен проходить через вершину, отображающую эту процедуру. Рассмотрим некоторые примеры.

**Пример.** Необходимо синтезировать проблемно-ориентированную систему, предназначенную для обеспечения выполнения следующих функций:

ввода телеметрической информации (ТМИ);  
обработки измерений внешнетраекторных

параметров (ВТИ);

обработки измерений от бортовых источников информации (БИ);

регистрации данных на накопителе (НЖМД);

управления средствами воздействия на объект испытаний (УО);

отображения графиков наиболее важных параметров на дисплее (ГД);

сохранения графиков на накопителе (ГР);

получения твердых копий графиков (КГ).

Система создается на базе ПЭВМ в стационарном исполнении. Для выполнения перечисленных выше требований в состав системы должны входить: ПЭВМ, устройство ввода ТМИ, устройство ввода ВТИ, устройство ввода БИ, контроллеры устройств ГД, ГР, КГ, НЖМД и УО. Функции этих устройств и контроллеров могут быть выполнены следующими модулями (предполагаем, что задача синтеза агрегатного комплекса технических и программных средств решена):

ПЭВМ – модулем М1;

ввода ТМИ – модулями М4 или М7;

ввода ВТИ – модулями М5 или М8;

ввода БИ – модулями М6 или М9;

управления объектом – модулями М6 или М8;

контроллера НЖМД – модулем М7;

контроллера ГД – модулями М6 или М8;

контроллера ГР – модулями М4 или М8;

контроллера КГ – модулем М5.

Граф возможных вариантов реализации системы из модулей М1, М4, М5, М6, М7, М8 и М9 показан на рисунке 1.

Предполагаем, что задача определения обобщенной стоимости каждого из модулей решена и их стоимость равна:

модуля М1 – 1,8 условных единиц стоимости (уес);

модуля М4 – 6,91 уес;

модуля М5 – 9,59 уес;

модуля М6 – 8,39 уес;

модуля М7 – 11,06 уес;

модуля М8 – 7,75 уес;

модуля М9 – 9,83 уес.

На графе вариантов синтезируемой системы отметим значения длин дуг, выходящих из соответствующих вершин графа. Найдем индексы вершин, представляющие собой минимальный путь из данной вершины в конечную  $o_k$ . При этом индекс конечной вершины равен  $L_k=0$ . Для вершины М5  $L_5=9,59$ . Для остальных вершин:

$L_4=9,59+6,91=16,5$ ;

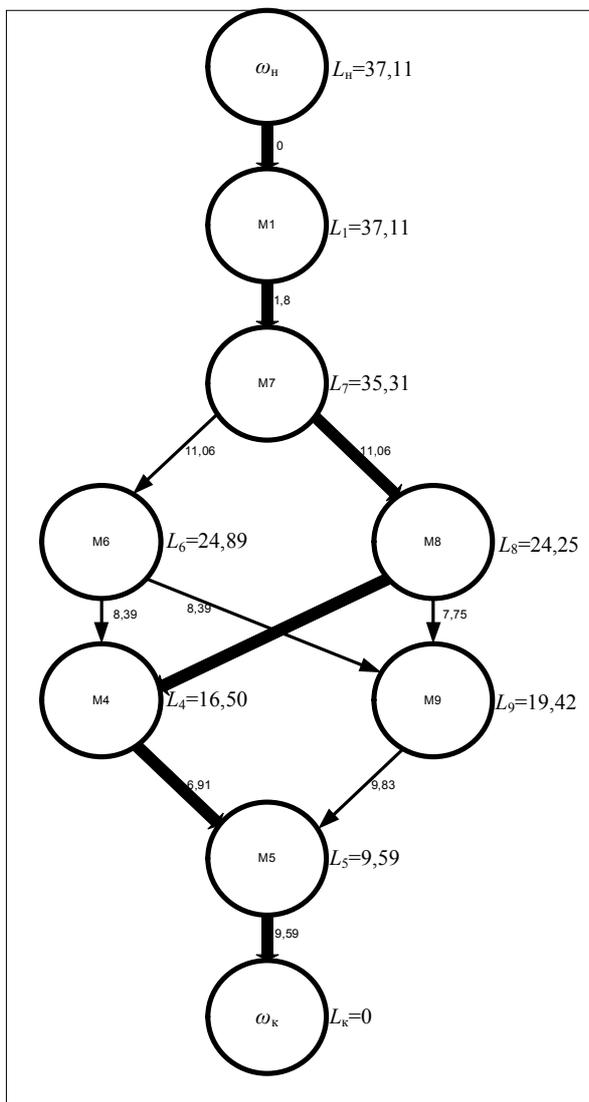
$L_9=9,59+9,83=19,42$ ;

$L_6=\min(16,5; 19,42)+8,39=24,89$ ;

$$L_8 = \min(16,5; 19,42) + 7,75 = 24,25;$$

$$L_7 = \min(24,89; 24,25) + 11,06 = 35,31;$$

$$L_1 = 35,31 + 1,8 = 37,11.$$



Граф системы

Для начальной вершины  $\omega_n$  индекс равен  $L_n = 37,11$ . Найдем минимальный путь из вершины  $\omega_n$  в вершину  $\omega_k$ . Разность индексов вершин  $\omega_n$  и  $M_1$  равна 0 и совпадает с длиной дуги  $l(\omega_n, M_1)$ , поэтому эта дуга принадлежит минимальному пути. Аналогично дуга  $(M_1, M_7)$  также

принадлежит этому пути. Дуга  $(M_7, M_6)$  не принадлежит минимальному пути, так как  $l(M_7, M_6) = 11,06 \neq L_7 - L_6 = 35,31 - 24,89 = 10,42$ . Дуги  $(M_7, M_8)$ ,  $(M_8, M_4)$ ,  $(M_4, M_5)$  и  $(M_5, \omega_k)$  принадлежат минимальному пути, а дуга  $(M_8, M_9)$  – не принадлежит.

**Заключение.** Таким образом, синтезируемая система содержит модули  $M_1, M_4, M_5, M_7$  и  $M_8$ , которые полностью выполняют все функции системы с минимальной обобщенной стоимостью. Изложенная выше методика достаточно проста, единственную трудность составляет построение графа возможных вариантов, для чего необходимо использовать ограничения информационной, параметрической и конструктивной совместимости семейства модулей.

### Библиографический список

1. Бусленко Н.П., Калашиников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. – М.: Сов. радио, 1973. – 439 с.
2. Лазарев И.А., Балужин В.М. Математическая постановка структурно-параметрического синтеза сложных технических систем. – Вопросы кибернетики: системные принципы организации моделей развития. АН СССР, Научный Совет по комплексной проблеме «Кибернетика». – М.: 1981. – С.105-123.
3. Фалеев О.В. Математическая модель модуля агрегатного комплекса технических и программных средств // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 3 (45). С.79-82.
4. Фалеев О.В. Синтез агрегатного комплекса технических и программных средств // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 47. С.103-109.
5. Гоев Н.В. Синтез автоматизированных систем контроля на основе аппаратно-программных модулей // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2010. № 32. С.98-102.
6. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Главная редакция физ.-матем. литературы. 1981. – 487 с.
7. Лазарев И.А. Композиционное проектирование сложных систем. – М.: Радио и связь, 1986. – 312 с.

УДК 004.89

*О.О. Голубятников, В.В. Дубровин, О.А. Остапенко***ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ**

*В статье рассмотрена экспертная система для экспресс-оценки состояния здоровья. Описаны информационные модели экспертной системы, позволяющие наглядно представить структуру и состав экспертной системы.*

**Ключевые слова:** экспертная система, оценка состояния здоровья, информационная модель.

**Введение.** Специалисты в области медицинских и биологических наук сталкиваются с проблемой автоматизации проводимых исследований или мониторинга по оценке состояния различных физиологических систем человека [3]. Для создания конкретной автоматизированной информационной системы (АИС) по оценке состояния различных систем человека привлекаются специалисты в области технических наук. Этап автоматизации и создания АИС занимает значительное время. Более того, часто специалисты предметной области в ходе эксплуатации системы понимают, что те или иные параметры нуждаются в корректировке. Однако модернизация АИС приводит к временным затратам. Поэтому актуальным становится создание системы, позволяющей сделать максимально автономным проведение исследования или мониторинга по оценке состояния здоровья специалистом предметной области. Поставленную задачу решают экспертные системы.

*Цель работы* – сокращение времени и исключение ошибок специалистов предметной области при мониторинге состояния здоровья человека с помощью экспертной системы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- построить информационные модели системы, позволяющие представить структуру и состав ЭС;
- разработать реляционные модели данных ЭС;
- разработать процедурные модели для режимов ввода знаний и консультации;
- апробировать ЭС на конкретном примере.

Объект исследования: система мониторинга состояния здоровья человека.

Предмет исследования: экспертная система.

Методы исследования: ООП, реляционная алгебра.

**Информационный анализ.** Различают 6 основных этапов разработки ЭС: идентификации проблем, извлечения знаний, структурирования знаний, формализации, реализации, тестирования [1].

На этапе извлечения знаний был проведен содержательный анализ проблемной области, выявлены используемые понятия и их взаимосвязи, определены входы и выходы системы, а также методы решения задач. Составлена обобщенная модель 0-го уровня, представляющая собой стандартную модель «черного ящика» (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Модель 0-го уровня системы S**

На рисунке 1:  $X = \{X^1, X^2, \dots, X^k, \dots, X^K\}$  – множество  $K$ -входов системы  $S$ ,  $Y = \{Y^1, Y^2, \dots, Y^l, \dots, Y^L\}$  – множество  $L$ -выходов системы  $S$ ,  $F$  – оператор преобразования.

На этапе структурирования знаний разрабатываются информационные, реляционные и процедурные модели. В статье будут рассмотрены информационные модели ЭС.

**Информационные модели экспертной системы.** Система состоит из множества  $N$ -блоков или подсистем  $S = \{S^1, S^2, \dots, S^n, \dots, S^N\}$ .

Модель 1-го уровня раскрывает стандартную модель 0-го уровня (рисунок 2).

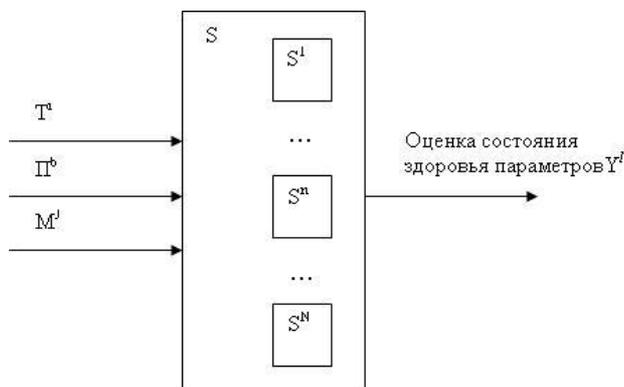


Рисунок 2 – Модель 1-го уровня системы S

Как показал информационный анализ, множество входов  $\{X\}$  можно разделить на 2 группы – множество объективных показателей приборов измерения  $\{P\}$  и субъективных оценок состояния здоровья  $\{T\}$ ,  $\{M\}$ . Для получения объективных показателей в экспертную систему включены приборы измерения: комплекс медицинский диагностический КМД-01 ОАО «ТВЕС» (ростомер, весы, калипер, силомер), реограф-полианализатор «Сопап».

Измеряемые параметры приборов  $P = \{P^1, P^2, \dots, P^b, \dots, P^B\}$  приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Измеряемые параметры приборов  $\{P\}$

$P$	Измеряемый параметр	Прибор измерения
$P^1$	Рост, м	РЭП-1 – электронный ростомер
$P^2$	Вес, кг	ВМЭН-150-50\100-И-Д-А "Норма" – весы для измерения веса
$P^3$	Сила кисти руки, даН	ДЭР-120-0,5-И-Д – электронный динамометр для замера максимальной силы кисти руки
$P^4$	Толщина жировых складок, мм	КЭЦ-100-1-И-Д – электронный калипер для замера толщины жировых складок
$P^5$	Индекс напряжения	Реограф-полианализатор «Сопап»

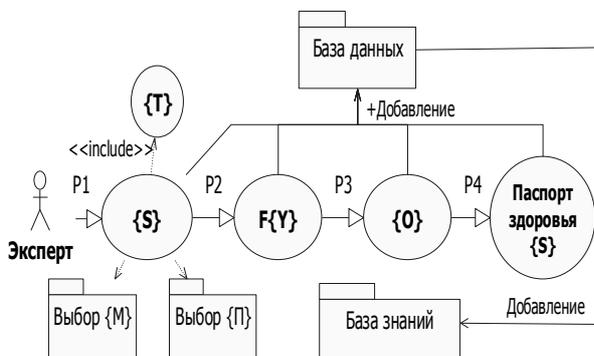
$P^6$	Частота сердечных сокращений	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^7$	Мода, с	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^8$	Амплитуда моды, %	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^9$	Показатель адекватности процессов регуляции, у.е.	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^{10}$	Высокочастотная составляющая спектра, $мс^2$	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^{11}$	Низкочастотная составляющая спектра, $мс^2$	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^{12}$	Очень низкочастотная составляющая спектра, $мс^2$	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^{13}$	Индекс вагосимпатического взаимодействия	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^{14}$	Вариационный размах, с (реограф-полианализатор)	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^{15}$	Индекс централизации	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^{16}$	Индекс активации подкорковых нервных центров	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^{17}$	Среднеквадратическое отклонение	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^{18}$	Индекс активации подкорковых нервных центров	Реограф-полианализатор «Сопап»
$P^{19}$	Суммарная мощность спектра variability сердечного ритма	Реограф-полианализатор «Сопап»

Для получения субъективных оценок состояния здоровья в ЭС включены тесты-опросники  $\{T\}$ ,  $\{M\}$ . Где  $T = \{T^1, T^2, \dots, T^i, \dots, T^I\}$  – субъективные тесты-опросники оценки состояния здоровья, которые формирует эксперт в режиме ввода знаний;  $M = \{M^1, M^2, \dots, M^j, \dots, M^J\}$  – субъективные тесты-опросники оценки состояния здоровья, добавленные в базу знаний на этапе реализации ЭС (таблица 2) [2].

**Таблица 2 – Субъективные тесты-опросники оценки состояния здоровья**

М	Методика оценки	Выходные параметры
М <sup>1</sup>	Расчет индекса напряжения по Баевскому	Индекс напряжения
М <sup>2</sup>	Тест САН по Доскину и Лаврентьеву	Самочувствие, активность, настроение
М <sup>3</sup>	Тест-опросник по методике Басса и Дарки	Уровень агрессии
М <sup>4</sup>	Методика Zig-mond и Snaith	Тревога и депрессия
М <sup>5</sup>	Анкета-опросник по «Самооценке качества сна» Шутовой	Качество сна
М <sup>6</sup>	Анкета-опросник по оценке качества жизни Дудченко	Качество жизни
М <sup>7</sup>	Анкета-тест по Московченко	Никотиновая и алкогольная зависимости
М <sup>8</sup>	Учебно-метод. пособие Гулина, Шутовой и др.	Уровень репродуктивного здоровья
М <sup>9</sup>	Методика Хит-Картера	Соматотип
М <sup>10</sup>	Анкета-опросник по Голубевой	Асимметрия мозга
М <sup>11</sup>	Индивидуальная минута	Индивидуальная минута

Информационная модель создания экспертом подсистемы в режиме ввода знаний представляет собой второй иерархический уровень. Модель отражает 2 режима функционирования ЭС: режим ввода знаний экспертом с помощью инженера по знаниям и так называемый режим консультации, когда пользователь посредством тестирования ведет диалог с ЭС, т.е. система производит оценку состояния здоровья пользователя (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Информационная модель создания экспертом подсистемы в режиме ввода знаний**

**Режим ввода знаний.** Каждое действие эксперта над подсистемой  $S^n$  есть событие. Группы событий объединены в процедуры P1, P2, P3 и P4. Процедуры системы реализованы на процедурных моделях. Эксперт формирует систему S из N-подсистем. Во всех четырех процедурах эксперту предоставляется большой выбор различных атрибутов настройки блоков, что позволяет максимально адаптировать ЭС под множество целей  $\{Z\}$  эксперта. Отношения всех атрибутов отражены в реляционных моделях системы на основе аппарата реляционной алгебры.

В процедуре P1 эксперт в зависимости от множества целей  $Z^{\omega}$ , где  $\omega = 1, 2, \dots, \omega, \dots, \Omega$ , производит выбор входов системы из множества  $\{P\}$  и  $\{M\}$ . Эксперт может добавить свои субъективные тесты оценки в базу знаний, формируя множество  $\{T\}$ . Добавить свои измеряемые параметры приборов, не вошедшие в базу знаний на стадии реализации ЭС, добавляя их в множество  $\{P\}$ . Основные настраиваемые атрибуты процедуры P1 для множества  $\{T\}$ : «Тип вопроса», «Имя вопроса», «Номер вопроса», «Тип начисления баллов», «Специальное условие» и т.д. Таким образом, на процедуре P1 эксперт формирует входное множество X подсистемы S.

В процедуре P2 эксперт формирует множество выходных параметров оценки состояния здоровья Y для каждой подсистемы  $S^n$  в зависимости от добавленных входов X. Основные настраиваемые атрибуты процедуры P2: «Имя параметра», «Принадлежность к блоку», «Формула подсчета баллов», «Специальное условие» и т.д.

В процедуре P3 эксперт производит формирование множества критериев оценки выходных параметров  $O = \{O^1, O^2, \dots, O^1, \dots, O^L\}$ , т.е. оценочные шкалы параметров Y. Основные настраиваемые атрибуты процедуры P3: «Деление по баллам: начальный интервал», «Деление по баллам: конечный интервал», «Расшифровка».

Процедура P4 представляет собой настройку экспертом паспорта здоровья. В нем будут отражены результаты тестирования пользователя и рекомендации. Настраиваемые атрибуты процедуры P4 связаны с визуальным представлением паспорта здоровья. По окончании каждой процедуры все выбранные экспертом атрибуты попадают в базу знаний.

**Режим консультации.** Второй режим функционирования ЭС – это режим консультации (тестирования) пользователя (рисунок 4).

Этот режим является основным режимом работы системы, в котором выполняется её целевая функция Z. Тестирование состоит из множества блоков.

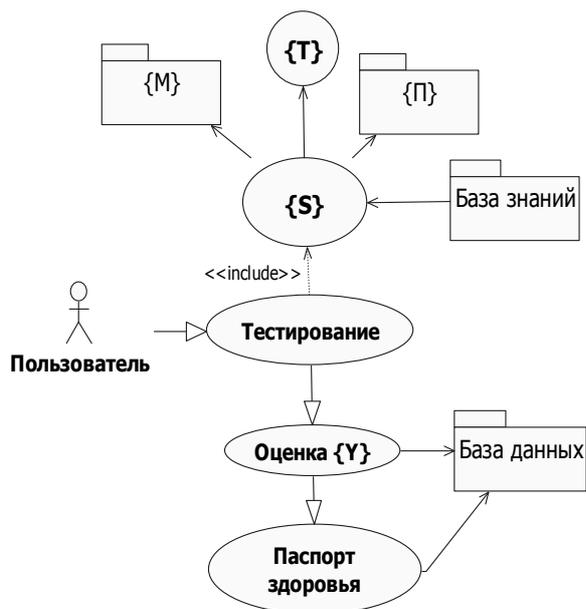


Рисунок 4 – Информационная модель режима тестирования пользователя

Каждый блок или подсистема включает в себя методики оценки состояния здоровья. Тестирование представляет собой взаимосвязь объективных показателей приборов измерения {П} и субъективной оценки параметров {Т}, {М} состояния здоровья. Например, при оценке психоэмоционального состояния подсистемы входом подсистемы  $S^n$  является методика оценки  $M^2$  – тест САН по Доскину и Лаврентьеву, выходными параметрами являются:  $Y^1$  – самочувствие,  $Y^2$  – активность,  $Y^3$  – настроение; оценочные шкалы:  $O^1$  – самочувствие,  $O^2$  – активность,  $O^3$  – настроение. Все данные тестирования хранятся в базе данных и могут быть использованы для дальнейшей статистической обработки. Для статистической обработки данных предлагается использовать встроенную в ЭС подпрограмму «Корреляционный анализ» с широким набором предлагаемых вариантов обработки. После прохождения тестирования пользователь получает паспорт здоровья, в котором отражены результаты тестирования и рекомендации. Лицевая сторона паспорта здоровья приведена на рисунке 5.

**Апробация системы.** В качестве апробации системы на базе ТГУ им. Г.Р. Державина авторами была разработана автоматизированная информационная система (АИС) оценки состояния здоровья иностранных студентов, которая является частным случаем ЭС (рисунок 6).

Создание АИС оценки состояния здоровья иностранных студентов и результаты её работы подробно описаны в статье [3].

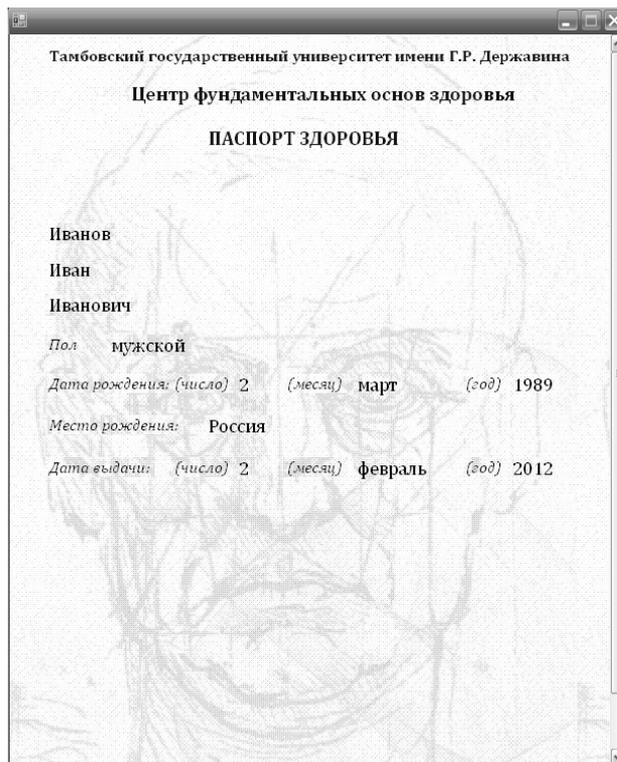


Рисунок 5 – Лицевая сторона паспорта здоровья



Рисунок 6 – Сокращенная диаграмма функционирования АИС оценки состояния здоровья иностранных студентов

**Заключение.** В статье рассмотрена разрабатываемая авторами экспертная система экспресс-оценки состояния здоровья человека, описаны информационные модели экспертной системы. Дальнейшая работа предполагает создание реляционных и процедурных моделей ЭС, а также реализацию ЭС на платформе Visual Basic. NET.

**Библиографический список**

1. Гаврилова Т. А., Хорюшевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: учебник. СПб.: Изд-во «Питер», 2001.

2. Гулин А.В., Шутова С.В., Григорова Л.И., Муравьева И.В., Белов Р.Н., Туманян А.А. Комплексная оценка здоровья иностранных граждан. Тамбов: Издат. дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2010. 55 с.

3. Голубятников О.О., Шутова С.В., Дубро-

вин В.В. Создание автоматизированной информационной системы оценки состояния здоровья иностранных студентов // Вестник тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 4. С. 1306-1314.