

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРЕВЕНТИВНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРУЕМЫХ ИНФОКОММУКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ДЕКОМПОЗИЦИИ И РЕДУКЦИИ

Д. М. Ненадович

ОАО «Ростелеком»

Поступила в редакцию 28.10.2012 г.

Аннотация. В представленной статье отражены результаты разработки алгоритмов декомпозиции и редукции исходного множества показателей качества функционирования инфокоммуникационных систем (ИКС) с целью создания экспертных систем показателей качества (ЭСПК), обладающих свойствами оптимальности (безызыточности), состоятельности, адекватности условиям функционирования и задачам стоящим перед перспективными ИКС. Реализация сформированных ЭСПК в моделях процессов (подпроцессов) функционирования проектируемых ИКС, позволит существенно снизить вычислительные затраты и обеспечить рост степени объективности процесса формирования экспертных оценок качества проектно-технических решений, реализуемых на различных этапах разработки инфокоммуникационных систем.

Ключевые слова: инфокоммуникационные системы, системный анализ, проектно-технические решения, экспертные оценки качества, экспертные показатели качества, экспертные системы показателей качества, глобальные экспертные системы показателей качества, структурная декомпозиция, декомпозиция, параметрическая декомпозиция, редукция, функция чувствительности, функция предпочтения.

Annotation. In this article shown the results of development of algorithms of decomposition and reduction of the initial set of quality indicators of functioning infocommunication systems (IKS) to create an expert systems of quality indicators (ESQI) with the properties of optimality (break-even), consistency and adequacy to modalities and challenges facing prospective IKS. Implementation of formed ESQI in models of process (sub process) of functioning developed IKS will significantly reduce the computational cost and to increase the degree of objectivity of the formation, expert assessments of quality of design and technical solutions implemented in different phases of the development of infocommunication systems.

Keywords: infocommunication systems, system analysis, project and technical decisions, expert assessments of quality, expert systems of quality, global expert assessments of quality, structural decomposition, decomposition, parametric decomposition, reduction, sensitivity function, preference function.

ВВЕДЕНИЕ

В качестве одного из основных аспектов формирования исходных данных для реализации алгоритма формирования превентивных экспертных оценок качества проектируемой инфокоммуникационных систем (ИКС), является формирование экспертных систем показателей качества (ЭСПК). В рамках системного подхода к учёту всего многообразия свойств ИКС, рассмотрим методы синтеза таких ЭСПК, которые обладали бы свойствами оптимальности (безызыточности), состоятельности и адекватности условиям и задачам организации

процессов разработки и экспертизы проектно-технических решений, принимаемых в ходе создания перспективных ИКС. Принимая во внимание большое количество и качественное многообразие ПК, подлежащих оценке в ходе разработки и эксплуатации ИКС, становится очевидным, что для достижения этих целей реализации методов функциональной факторизации явно не достаточно. Анализ литературы, посвящённой рассмотрению проблем анализа качества функционирования сложных систем, позволяет сделать вывод о возможности наиболее корректного решения поставленных задач на основе сочетания методов теорий декомпозиции и редукции.

АЛГОРИТМЫ ДЕКОМПОЗИЦИИ СИСТЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИКС

Основы теории декомпозиции сложных систем были заложены в работах [1–3], в которых были рассмотрены методы математически корректного разделения описания метапроцесса функционирования сложной информационной системы на совокупность описаний вспомогательных процессов (подпроцессов). На основе реализации методов теории декомпозиции в процессе проектирования ИКС, предполагается существенно снизить размерность решения задач анализа и синтеза сложных информационных систем.

Рассмотрим один из вариантов математически корректного решения задачи декомпозиции исходной глобальной экспертной системы показателей качества (ГЭСПК) функционирования ИКС, разработанной с целью оценки качества разработки сложных информационных систем. Следует отметить, что корректное завершение решения задачи в рассматриваемой постановке, возможно только на основе разработки алгоритмов декомпозиции и редукции, которые позволяют преобразовать исходную ГЭСПК на ряд оптимальных ЭСПК функционирования.

В общем случае, декомпозиция глобальной экспертной системы показателей качества предусматривает замену эквивалентным множеством локальных ЭСПК. Это достигается путем поэтапной декомпозиции, при которой: на пер-

вом этапе глобальной экспертной системы показателей качества инфокоммуникационных систем преобразовывается в вид, удобный для реализации алгоритмов декомпозиции; на втором этапе осуществляется формальная декомпозиция ГСПК, а на третьем этапе – непосредственная декомпозиция ГЭСПК на локальные ЭСПК проектируемых инфокоммуникационных систем.

Классификация математических методов теории декомпозиции представлена на рис. 1.

Первые три метода, из существующих шести ключевых методов математической теории декомпозиции, а именно факторизация, параметрическая и структурная декомпозиция, лежат в основе различных способов разделения глобальной экспертной системы показателей качества на несколько локальных ЭСПК. При этом метод факторизации позволяет делить глобальные экспертные системы показателей качества на независимые локальные экспертные системы ПК, а два других позволяют реализовать разбиение ГЭСПК на пары взаимосвязанных локальных экспертных систем показателей качества инфокоммуникационной системы. Методы преобразования переменных, преобразования Лагранжа и эволюции (развития) могут быть ориентированы на различные преобразования глобальных экспертных систем показателей качества подлежащих оценке в ходе экспертизы проектируемой ИКС. Преобразование переменных позволяет вводить новые переменные состояния, а реализация метода

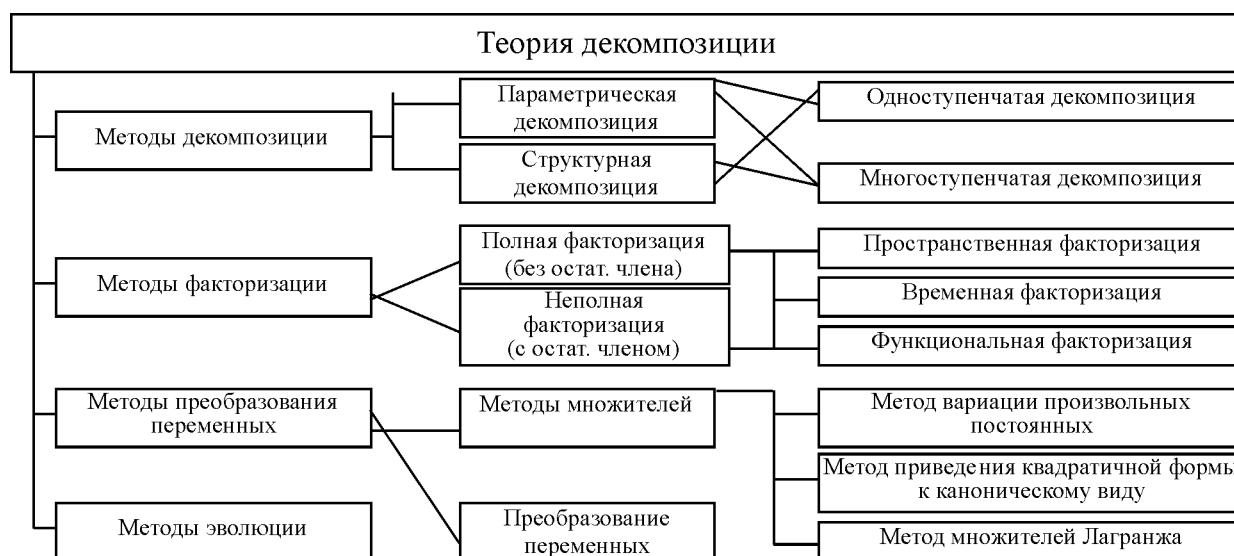


Рис. 1. Классификация математических методов теории декомпозиции

Лагранжа позволяет устранить ограничения, налагаемые на локальные ЭСПК за счет введения множителей Лагранжа в целевую функцию. Метод эволюции позволяет преобразовать глобальную экспертную систему показателей качества за счет введения определенного рода допущений. При выборе метода (группы) методов теории декомпозиции в интересах синтеза оптимальной экспертной системы показателей качества для организации экспертной деятельности в ходе проектирования ИКС должны быть учтены следующие основные положения [4]:

- в процессе декомпозиции необходимо вводить определенные ограничения, поскольку ГСПК требуется декомпозировать на совокупность иерархически связанных локальных ЭСПК. Это обуславливает необходимость применения методов (теорем) структурной и параметрической декомпозиции;

- поскольку взаимосвязь между отдельными процессами, которые предполагаются к реализации в инфокоммуникационных системах (процессами, протекающими на физическом, канальном и сетевом уровнях) является первичной по отношению к взаимосвязи между соответствующими локальными ЭСПК, то структура ГЭСПК, иерархия ее локальных ЭСПК зависят от того, каким образом инфокоммуникационная система может быть функционально-корректно декомпозирована;

- для того, чтобы применять рассмотренные методы декомпозиции в задаче синтеза локальных ЭСПК, необходимо поэтапно проанализировать весь процесс декомпозиции, с учетом того, что на каждом этапе проектирования применяется отдельный, предварительно обоснованный метод (теорема) декомпозиции.

Результаты анализа применимости методов декомпозиции для формирования экспертных СПК позволяют сделать вывод о целесообразности реализации подхода, впервые предложенного Дж. Пирсоном, И. Такахарой, И. Лефковичем и Дж. Шиффером. Суть подхода состоит в формировании такого оптимального множества ПК, которое соответствует (адекватно) совокупности свойств сложных систем влияющих на выполнение конкретных задач, поставленных перед системой. Затем, если необходимо, производится синтез дополнительных ЭПК, позволяющих соединить исходные ЭСПК в ГЭСПК, характеризующую в целом всю основную задачу (цель) функционирования (ОЗФ), сложной системы.

Необходимо отметить, что ОЗФ могут корректироваться при переходе от одного этапа проектирования к другому, кроме того, в ходе проектирования системы, могут быть разработаны принципиально новые технические (технологические) решения по построению инфокоммуникационных систем. В соответствии с изменением исходных данных проектирования и требований к разрабатываемой ИКС от этапа к этапу должны корректироваться и исходные локальные экспертные системы показателей качества.

С учетом основных постулатов выбранного подхода и рассмотренных ограничений, сформулируем задачу декомпозиции в виде определения подзадач Y_i , на которые можно декомпозировать ОЗФ проектируемой ИКС $W\{Y\}$, определения их содержания и взаимосвязи между ними при условии, что множество ограничений x , налагаемых на эти подзадачи, принадлежит множеству допустимых ограничений X [1–3]:

$$W\{Y\} = W_{x \in X}\{Y = R(Y_i)\}, \quad i = \overline{1, I}, \quad (1)$$

где $R(Y_i)$ – функция взаимосвязи между подзадачами.

Поскольку общая цель функционирования (ОЗФ) характеризуется глобальной экспертной системой показателей качества, а подзадачи, на которые эта цель может быть декомпозирована для организации экспертизы – локальные ЭСПК, можно предположить, что глобальную экспертную систему показателей качества, определяющую общую цель функционирования проектируемой ИКС (ОЗФ), формулирует Заказчик в виде комплекса требований и допусков на ЭПК проектируемой системы. В этом случае, формализация процесса синтеза локальной ЭСПК состоит в декомпозиции ГЭСПК на иерархическую совокупность локальных ЭСПК физического, канального и сетевого уровней может быть представлена следующим образом:

- представим ГЭСПК $\vec{Y}_{\text{ТКС}}(k)$ на k -ом этапе проектирования ИКС в виде функционала

$$\vec{Y}_{\text{ИКС}}(k) = F(\vec{Y}_1(k); \vec{Y}_2(k), \dots, \vec{Y}_N(k)), \quad (2)$$

где $\vec{Y}_1(k); \vec{Y}_2(k), \dots, \vec{Y}_N(k)$ – соответственно векторные локальные ЭСПК процессов, которые должны быть реализованы в ИКС на различных уровнях ЭМ ВОС;

- на основе (2) введем расширенную запись ГЭСПК, а также запишем отношения ограничений и взаимосвязей между ЭСПК в следующем виде:

$$\vec{Y}_{\text{ИКС}}(k) = [\vec{Y}_1(x_m(k)); \dots; \vec{Y}_i(x_m(k)); \dots; \vec{Y}_I(x_m(k))]^T; \quad (3)$$

$$R_i(\vec{Y}_i(k)) \geq 0; \quad (4)$$

$$\vec{Y}_i(k) = T_{ij}(\vec{Y}_j(k)), \quad (5)$$

где выражение (3) характеризует вид ГЭСПК в котором $i = \overline{1, I}$ – количество локальных ЭСПК, входящих в множество $\vec{Y}_{\text{ИКС}}(k)$ на k -ом этапе проектирования ИКС, $m = \overline{1, M}$ – количество ЭПК, входящих в каждую из экспертных систем показателей качества; выражение (4) характеризует отношения ограничений, налагаемых на локальные ЭСПК $\vec{Y}_i(k)$ и учитывающих степень априорной неопределенности процесса формирования экспертной оценки на k -ом этапе проектирования ИКС; выражение (5) – характеризует отношения взаимосвязи между i -ой и j -ой ЭСПК.

Анализ множества ЭПК существующих и перспективных мультисервисных гетерогенных ИКС показывает, что между векторными ЭПК, входящими в состав (3) может существовать сложная взаимосвязь, без учета которой невозможно осуществить корректную декомпозицию в интересах оптимизации экспертной деятельности в ходе проектирования ИКС. Помимо этого, отдельной задачей является определение эквивалентности, локальных ЭСПК, получаемых в результате декомпозиции исходной ГЭСПК.

Преодолевая отмеченные препятствия, воспользуемся методами декомпозиции. Возьмем за основу, что две локальные ЭСПК являются эквивалентными в том случае, если имеют в своем составе тождественные компоненты (ЭПК). Следует отметить, что, хотя ЭСПК и могут содержать тождественные ЭПК, данные компоненты могут определяться на основе различных, отличных друг от друга аналитических выражений. В работах И. П. Вилсона [1] задача определения эквивалентности решается с помощью сокращенных (сжатых) множеств. Анализируя результаты работ [1–3], можно заметить, что процесс декомпозиции ГЭСПК на иерархически связанную совокупность локальных ЭСПК (процесс поиска адекватного оператора состояния $\vec{R}_c(k)$ в интересах ЭО качества проектируемой ИКС) должен состоять из ряда этапов:

1. Применение метода структурной декомпозиции, позволяющего получить пару взаимо-

зависимых ЭСПК путем видоизменения цели функционирования проектируемой ИКС $W[Y(k)] \rightarrow w[Y_i(k)]$ и (или) множества ЭПК системы $w[Y(k)] \rightarrow w[Y_i(k)]$. Использование данного метода обусловлено структурой (иерархией) процессов, которые призвана реализовать ИКС. Иерархия процессов выстраивается исходя из принадлежности тому или иному уровню ЭМ ВОС. Формализованная запись первого этапа декомпозиции, опирающегося на метод структурной декомпозиции имеет вид:

$$\vec{Y}_{\text{ИКС}}(k) \cup \vec{Y}_{i \text{ ИКС}}(k), \quad (6)$$

$$\begin{matrix} W[Y(k)] \rightarrow w[Y_i(k)]; \\ w[Y(k)] \rightarrow w[Y_i(k)]; \\ \forall (w,y) \in Y_i(k) \end{matrix}$$

$$\vec{Y}_{i \text{ ИКС}}(k) = \{\vec{Y}_{\text{сет.ур.}}(k); \vec{Y}_{\text{кан.ур.}}(k); \vec{Y}_{\text{физ.ур.}}(k)\},$$

где $\vec{Y}_{\text{сет.ур.}}(k)$, $\vec{Y}_{\text{кан.ур.}}(k)$ и $\vec{Y}_{\text{физ.ур.}}(k)$ – соответственно локальные ЭСПК процессов сетевого, канального и физического уровней ЭМ ВОС.

2. Применение метода параметрической декомпозиции, позволяющего декомпонировать локальные ЭСПК $\vec{Y}_{\text{сет.ур.}}(k)$, $\vec{Y}_{\text{кан.ур.}}(k)$ и $\vec{Y}_{\text{физ.ур.}}(k)$ на отдельные пары иерархически взаимосвязанных локальных ЭПК процессов верхнего и нижнего уровней. Для процессов сетевого и канального уровней:

$$\vec{Y}_{\text{пр.верх.ур.}}(k) = \vec{Y}_{\text{сет.ур.}}[Y_1^*(k), Y_2(k)] \cup \cup \vec{Y}_{\text{кан.ур.}}[Y_1(k), Y_2\{Y_1(k)\}], \quad (7)$$

при условии $\forall \{Y_1(k), Y_2(k)\} \in \vec{Y}_{\text{пр.верх.ур.}}(k)$,

$$\exists(Y_2(k) : Y_2(k) \in \vec{Y}_{\text{пр.верх.ур.}}(k); Y_2(k)R Y_1(k));$$

$$\exists(Y_1(k) : Y_1(k) \in \vec{Y}_{\text{пр.верх.ур.}}(k); Y_1(k)R Y_2(k)).$$

Для ЭПК процессов канального и физического уровней $\vec{Y}_{\text{пр.ниж.ур.}}(k)$ задача решается аналогично:

$$\vec{Y}_{\text{пр.ниж.ур.}}(k) = \vec{Y}_{\text{кан.ур.}}[Y_2^*(k), Y_3(k)] \cup \cup \vec{Y}_{\text{физ.ур.}}[Y_2(k), Y_3\{Y_1(k)\}], \quad (8)$$

при условии $\forall \{Y_2(k), Y_3(k)\} \in \vec{Y}_{\text{пр.ниж.ур.}}(k)$,

$$\exists(Y_2(k) : Y_2(k) \in \vec{Y}_{\text{пр.ниж.ур.}}(k); Y_2(k)R Y_3(k));$$

$$\exists(Y_3(k) : Y_3(k) \in \vec{Y}_{\text{пр.ниж.ур.}}(k); Y_3(k)R Y_2(k));$$

Рассмотрим содержание процесса параметрической декомпозиции. Параметрическая декомпозиция разноуровневых ЭСПК позволяет установить парную иерархическую взаимозависимость ЭСПК посредством временного установления (фиксации) значений ЭПК процессов нижних уровней по отношению к верхним: $(Y_{\text{кан.ур.}}^* \{Y_{\text{сет.ур.}}^{\text{opt}}(k)\})$, $(Y_{\text{физ.ур.}}^* \{Y_{\text{кан.ур.}}^{\text{opt}}(k)\})$

(показатель нижнего уровня $Y^*(k)$ считается фиксированным, в то время как показатель более высшего уровня должен изменяться до фиксации в своем оптимальном значении). Кроме того, отобранные в результате параметрической декомпозиции ЭПК должны обеспе-

чивать однозначное соответствие между однородными ЭПК, принадлежащими ЭСПК различных уровней ЭМ ВОС. Структурная схема алгоритма параметрической декомпозиции ЭСПК проектируемой ИКС представлена на рис. 2. Общая последовательность декомпози-

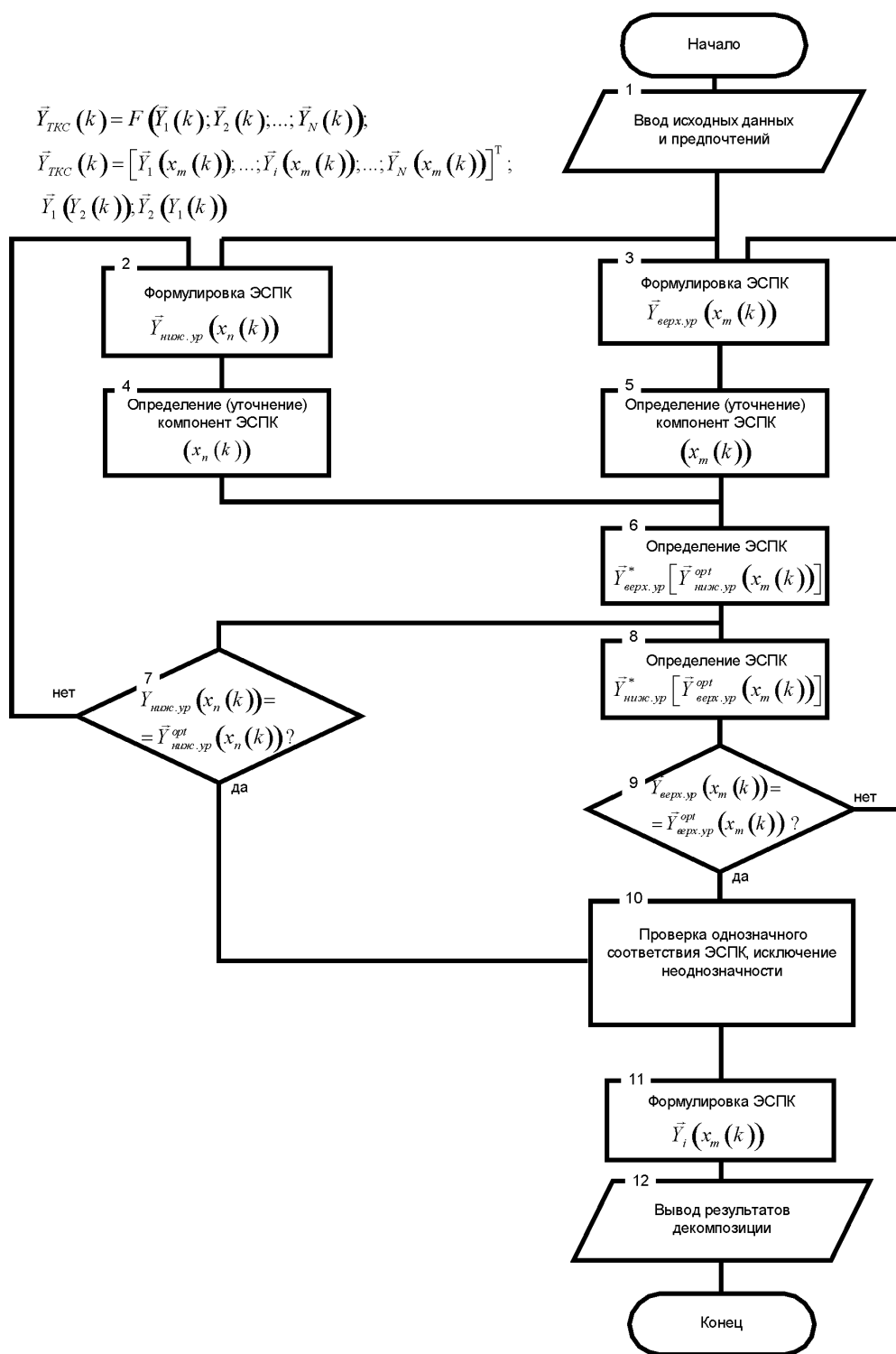


Рис. 2. Структурная схема алгоритма параметрической декомпозиции ГЭСПК на локальные ЭСПК проектируемой ТКС

ции ГЭСПК на взаимосвязанные ЭСПК представлена в виде структурной схемы на рис. 3.

АЛГОРИТМЫ РЕДУКЦИИ ДЕКОМПОЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИКС

Известно, что на практике, общая задача функционирования (цель функционирования) перспективной ИКС в конечном итоге форму-

лирует Заказчик и излагает ее декомпозированный вариант в технических требованиях (ТТ), формируя техническое задание (ТЗ). При формировании ТЗ Заказчик использует,

как правило, вербальные методы, руководствуясь опытом создания аналогичных систем и своим субъективным пониманием тенденций развития ИКС. При этом, ТЗ могут содержать бессистемный набор требований к совокупности параметров или неким обобщающим ПК

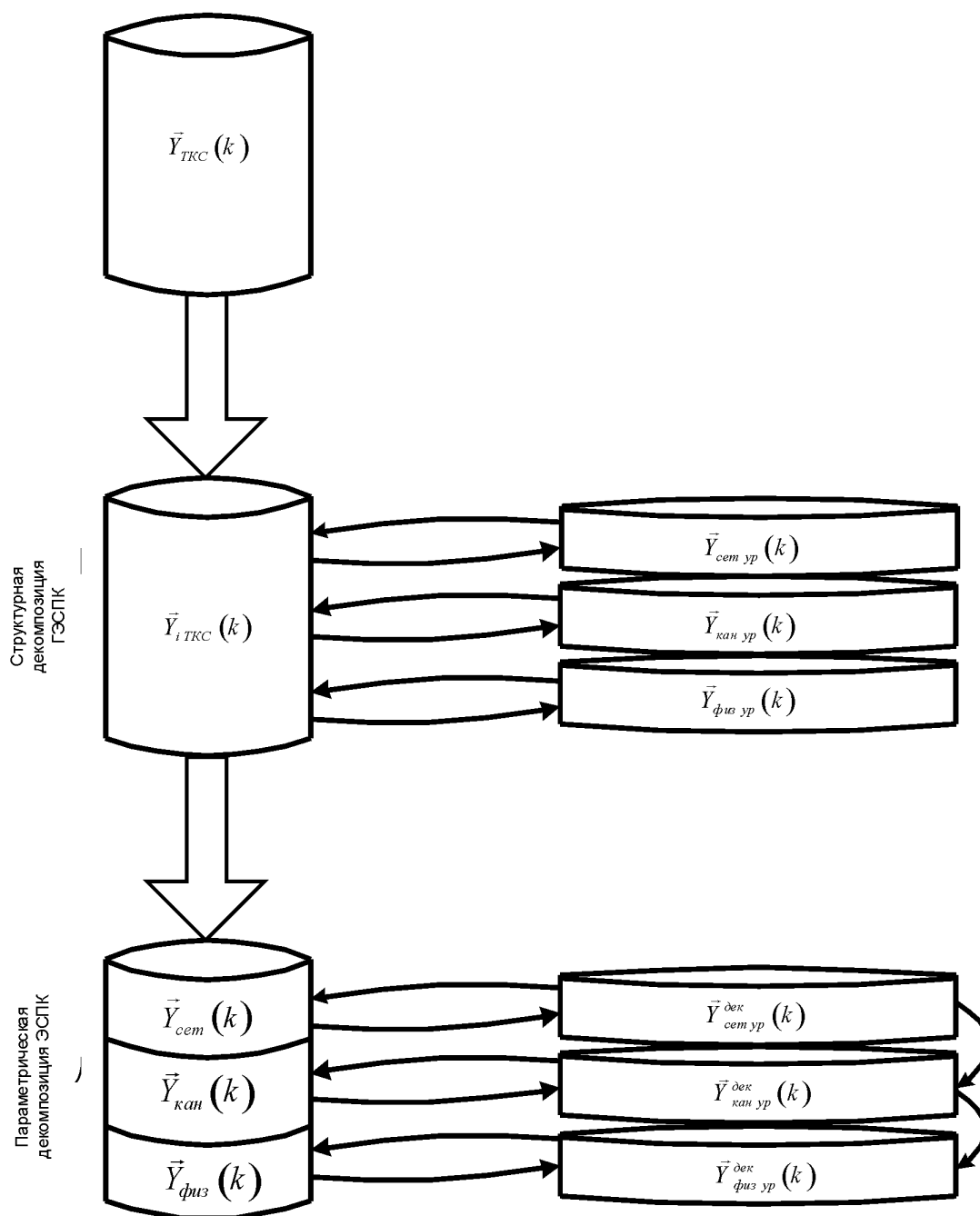


Рис. 3. Последовательность декомпозиции ГЭСПК на взаимосвязанные ЭСПК

функционирования ИКС. Как правило, ТЗ обладает значительной избыточностью и несоместимостью отдельных параметров и требований к ним. Все это не мешает Заказчику осуществлять жесткий контроль за достижением параметрами или же показателями качества (ПК) требуемых значений в ходе проектирования ИКС.

Для уменьшения размерности и увеличения степени корректности технических требований предлагается формировать ТЗ на основе ЭСПК. При этом, с целью оптимизации ЭСПК предлагается использовать методы, основанные на построении системы предпочтений, которая описывается совокупностью отобранных на основе реализации процедуры декомпозиции ЭПК и отношениями предпочтения. В качестве таких методов могут выступать методы определения коэффициентов чувствительности ЭПК к переменным состояния проектируемой ИКС (непосредственно зависящим от особенностей тех или иных проектно-технических решений (ПТР)) и методы определения линейной независимости ЭПК [1]. Эти методы позволяют определить в составе ЭСПК такие ЭПК, которые являются линейно-зависимыми и имеют одинаковый физический смысл. Измерение и оценивание данных показателей без использования алгоритма редукции приведет к неоправданному увеличению затрат на организацию экспертной деятельности, существенному усложнению программного обеспечения ИКС.

Рассмотрим один из вариантов построения алгоритма редукции ЭСПК, проектируемой ИКС, который позволит либо сократить число ЭПК, подлежащих оценке в ходе организации экспертизы проектных решений, либо принять решение о нецелесообразности сокращения.

Реализация первого этапа алгоритма редукции [2, 3] направлена на формирование состава ЭСПК путем выбора экспертом (группой экспертов) из некоторого множества ЭСПК $\vec{Y}_{\text{ТКС}}(k)$ проектируемой ИКС, определяемого на основе методов декомпозиции некоторого подмножества ЭПК $\vec{Y}'_{\text{ТКС}}(k)$, которые были бы чувствительны к изменениям, происходящим в процессе функционирования (моделирования) проектируемой ИКС, при реализации в ней различных технических решений. В качестве метода исследования предлагается использовать функцию чувствительности ЭПК к изменениям переменных состояний. Под переменными со-

стояния ИКС ($P_n(k), n = \overline{1, N}$) будем понимать набор значений переменных ЭПК (элементов векторного ЭПК) системы, несущих информацию об отдельных свойствах ИКС прямо связанных с особенностями того или иного ПТР.

Таким образом, если $y_i(p_1(k)...p_n(k)), \dots, y_m(p_1(k)...p_n(k))$ – ЭПК (элементы векторного ЭПК) проектируемой ИКС, тогда частные производные h -го порядка от величин $Y_i(k)$ по аргументам $p_1(k)...p_n(k)$, могут быть определены в соответствии с выражениями:

$$\frac{\partial^h Y_i(k)}{\partial p_1^{h_1}(k), \dots, \partial p_m^{h_m}(k)}, \quad (9)$$

$$h_1 + \dots + h_m = h;$$

и называются функциями чувствительности h -го порядка по соответствующим комбинациям переменных [1], при изменении значений переменных состояния $p_i(k) = p_i(k) + \mu_i(k)$ ЭПК (элементы векторного ЭПК) $Y_i(k)$ получают новое движение

$$Y_i(k) = y_i(p_1(k) + \mu_1(k), \dots, p_m(k) + \mu_m(k)) = Y_i(p(k) + \mu(k)), \quad (10)$$

Далее определим $\Delta Y_i(k)$ как дополнительное движение элементов векторного ЭПК, а $\Delta P_i(k)$ как дополнительное приращение переменных состояния. При этом динамика $\Delta Y_i(k)$ и $\Delta P_i(k)$ характеризует изменения интересующих нас потенциальных свойств проектируемых ИКС при изменении переменных состояния на k -ом этапе проектирования ИКС

$$\Delta P_i(k) = P_i(k, y(k) + \mu(k)) - P_i(k, y), \quad (11)$$

$$\Delta Y_i(k) = Y_i(y(k) + \mu(k)) - Y_i(y(k)), \quad (12)$$

В этом случае выражение

$$\Delta^{(1)} Y(p(k)) = U_1(p(k))\mu_1(k) + \dots + U_i(p(k))\mu_m(k) \quad (13)$$

характеризует первое приближение дополнительного приращения ЭПК, а соответствующая функция чувствительности равна:

$$U_i(k) = \frac{\partial Y_i(p(k))}{\partial p(k)}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (14)$$

Таким образом, при реализации первого этапа алгоритма редукции, определяются функции чувствительности совокупности ЭПК $\vec{Y}_{\text{ТКС}}(k)$, входящих в состав ЭСПК различных уровней ЭМ ВОС. Функции позволяют изучить степень влияния на ЭПК дополнительных при-

ращений $\Delta P_i(k)$. Далее, определив граничные значения функций чувствительности, необходимо произвести соответствующие упрощения исходных ЭСПК, без нарушения связей между ними.

На втором этапе общего алгоритма редукции определяется наличие ведущих (наиболее значимых) ЭПК, среди показателей, сформированных на первом этапе реализации общего алгоритма редукции и относящихся к одной группе (например, показателей производительности ИКС) локальных ЭСПК $Y_i(p_1(k)), \dots, Y_i(p_m(k))$.

В работе [3] для решения подобного класса задач использован механизм линейной зависимости, мерой которой является взаимная корреляционная функция (ВКФ) i -го и j -го ЭПК, имеющая вид:

$$Y_{ij}(p_m(k), p_{m'}(k)) = M[Y_i(p_m(k)), Y_j(p_{m'}(k))]. \quad (15)$$

При этом, коэффициент взаимной корреляции представляет собой нормированную ВКФ и определяется:

$$r_{ij}(p_m(k), p_{m'}(k)) = \frac{R_{ij}(p_m(k), p_{m'}(k))}{\sigma_i(p_m(k))\sigma_j(p_{m'}(k))}, \quad (16)$$

где $\sigma_i(p_m(k)) = \sqrt{D_i(p_m(k))}$ – среднеквадратическое отклонение (СКО) элемента i -го ЭПК, а $\sigma_j(p_{m'}(k)) = \sqrt{D_j(p_{m'}(k))}$ – СКО элемента j -го ЭПК. Если r_{ij} близок к 1, например, $r_{ij} \geq 0,9$, можно с большой долей уверенности исключить один из ЭПК, $Y_i(k)$ или $Y_j(k)$, т.к. между ними имеется зависимость, близкая к линейной. Порядок редукции ЭПК заключается в следующем. На основе экспериментальных данных о системах-аналогах, результатах имитационного моделирования или учета экспертных мнений (в зависимости от этапа проектирования и, связанного с ним, уровня и характера априорной неопределенности), формулируется приближенная корреляционная матрица $[r_{ij}(k)]$ с элементами, определяемыми в соответствии с выражением

$$r_{ij}(k) = \frac{\bar{Y}_{ij}(k) - \bar{Y}_i(k)\bar{Y}_j(k)}{\sqrt{(\bar{Y}_{ii}(k) - \bar{Y}_i^2(k))(\bar{Y}_{jj}(k) - \bar{Y}_j^2(k))}}, \quad (17)$$

$i, j = 1, I,$

где $\bar{Y}_{ij}(k)$ – ВКФ i -го и j -го ЭПК, определяемая как:

$$\bar{Y}_{ij}(k) = M[Y_i(k)Y_j(k)] \cong \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L Y_i'(p_l(k))Y_j'(p_l(k)), \quad (18)$$

где $l = 1, L$ – количество испытаний (количество экспертов), а среднее значение i -го (j -го) ведущих ЭПК проектируемой ИКС определяется по формуле:

$$\bar{Y}_{i(j)}(k) = M[Y_{i(j)}(k)] \cong \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L Y_{i(j)}'(x_l(k)). \quad (19)$$

Симметричная матрица $[r_{ij}(k)]$ размерности $l \times l$, где элементы (коэффициенты взаимной корреляции) связаны соотношением $r_{ij}(k) = r_{ji}(k)$ и определяются по формуле (8), имеет вид:

$$\|r_{ij}(k)\| = \begin{vmatrix} r_{11}(k) & r_{12}(k) & \dots & r_{1j}(k) & \dots & r_{1l}(k) \\ r_{21}(k) & r_{22}(k) & \dots & r_{2j}(k) & \dots & r_{2l}(k) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{i1}(k) & r_{i2}(k) & \dots & r_{ij}(k) & \dots & r_{il}(k) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{l1}(k) & r_{l2}(k) & \dots & r_{lj}(k) & \dots & r_{ll}(k) \end{vmatrix}. \quad (20)$$

На основе учета свойств коэффициентов взаимной корреляции и в соответствии с первым этапом обобщенного алгоритма редукции, необходимо заметить, что на главной диагонали матрицы (20) стоят l коэффициентов взаимной корреляции соответствующих ЭПК и выполняется условие нормировки

$$Y_{ij}(k) = M[Y_i(k)Y_j(k)] = M[Y_i(x_m(k))Y_j(x_m(k))] = 1. \quad (21)$$

Редукция осуществляется путем удаления из матрицы (12) коэффициентов взаимной корреляции j -го столбца и i -ой строки, если этот элемент $r_{ij}(k) \geq 0,9$. Кроме того, учитывая симметричности исходной матрицы в ходе реализации процедуры редукции следует ограничиться рассмотрением треугольной матрицы и удалить строки и столбцы, соответствующие избыточным ЭПК проектируемой ИКС. Вместе с тем, принятие обоснованного решения об удалении из состава экспертной СПК i -го или j -го линейно зависимого показателя требует введения некоторой системы предпочтений. С этой целью, основываясь на аксиомах теории потребления, необходимо на множестве ЭПК $\vec{Y}_{\text{ТКС}}(k)$ ввести строгий порядок соотношения ЭПК типа (\geq) и определить числовую функцию полезности $\Psi(k)$, являющуюся индикатором предпочтения

того, или иного ЭПК. Тогда для пар ЭПК вида $[Y_i(p_1(k)), Y_i(p_2(k))] \in Y$ справедливо $[Y_i(p_1(k))] \succ [Y_i(p_2(k))]$ (\succ – знак нестрогого предпочтения) лишь тогда, когда выполняется условие $[\Psi_i(p_1(k))] \geq \Psi [Y_i(p_2(k))]$.

Иными словами, предпочтение отдаётся такому ЭПК $Y_i(p_m(k))$, для которого, из неравенства $Y_i(z'(k)) \succ Y_i(z''(k))$, $z', z'' \in Z$ всегда следует неравенство $\Psi[Y_i(z'(k))] \geq \Psi[Y_i(z''(k))]$, где $z', z'' \in Z$ – стратегии экспертного выбора вида функции предпочтения из Z возможных стратегий. При представлении стратегий выбора в виде графиков кривых безразличия и соответствующих бюджетных линий, определяемых исходя из ограничений осуществления экспертной деятельности, задача оптимального выбора ЭПК может быть решена графическим методом.

Третий этап обобщенного алгоритма редукции векторных ЭПК предназначен также для определения функции чувствительности, но теперь уже переменных состояния ведущих ЭПК по соответствующим элементам ЭПК. Отличие от первого этапа общего алгоритма редукции заключается в том, что здесь параметрами чувствительности являются ЭПК, а не переменные состояния $P_n(k)$, $n = 1, N$. Полученные функции чувствительности могут быть использованы экспертами, в рамках принятия окончательного решения об исключении части элементов ЭПК из состава ведущих (наиболее значимых) ЭПК проектируемой ИКС, подлежащей экспертной оценке на том или ином этапе проектирования системы.

Используя подход, рассмотренный в [2], где функции чувствительности ЭПК к переменным состояния определяются как

$$U_i(k) = \frac{\partial P_i(Y(k))}{\frac{\partial Y_1^1(k)}{\partial Y_1^1(k)} \dots \frac{\partial Y_n^1(k)}{\partial Y_n^1(k)}}, \quad (22)$$

$i = 1, m.; n = 1, N,$

подставляем это выражение в (5). Принимая во внимание свойство инвариантности функций чувствительности первого порядка относительно функциональных преобразований пространств параметров, с учетом условий дифференцируемости ЭПК, определяем дополнительное приращение переменных состояния $\Delta P_i(k)$, при этом, ранжирование переменных состояния элементов ведущих ЭПК проектируемой ИКС производится в соответствии с правилом:

$$|\Delta P_i(k)| \geq |\Delta P_{i+1}(k)|, \quad i = \overline{1, I}. \quad (23)$$

Таким образом, может быть реализован обобщенный (разработанный на основе частных взаимосвязанных последовательно реализуемых алгоритмов) алгоритм редукции локальных ЭСПК проектируемой ИКС, позволяющий получать оптимальный (безызбыточный) состав ЭПК, подлежащих экспертной оценке на различных этапах проектирования [3]. Структурная схема обобщенного алгоритма представлена на рис. 4.

Необходимо отметить, что частные алгоритмы, входящие в состав обобщенного алгоритма редукции локальных ЭСПК проектируемой ИКС могут быть использованы самостоятельно в случаях, когда в усложненных операциях редукции нет необходимости.

Исходными данными для реализации обобщенного алгоритма редукции (блок 2 алгоритма) являются: $Y_i(p_m(k))$, $i \in I$, $m \in M$ – исходная иерархическая структура ЭСПК проектируемой ИКС, определяемых в ТЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработанные на основе совокупности методов структурной и параметрической декомпозиции, методов анализа функций чувствительности ЭПК к переменным состояния инфокоммуникационных систем, а так же, методов определения взаимной линейной независимости отдельных экспертных ПК, алгоритмы декомпозиции-редукции экспертных систем показателей качества, проектируемой ИКС, позволяют формировать безызбыточную, состоятельную и адекватную условиям и задачам экспертизы проектно-технических решений систему показателей качества. Кроме того, необходимо отметить, что сформированные на основе алгоритмов декомпозиции и редукции базовые ЭСПК могут уточняться на различных этапах разработки ИКС, с учетом задач этапа проектирования, а так же, характера и уровня априорной неопределенности исходной информации о проектируемой системе на различных этапах разработки ИКС. Большое значение, в части коррекции общего состава и пороговых значений отдельных компонентов экспертных систем показателей качества, может иметь использование основных результатов теории полезности.

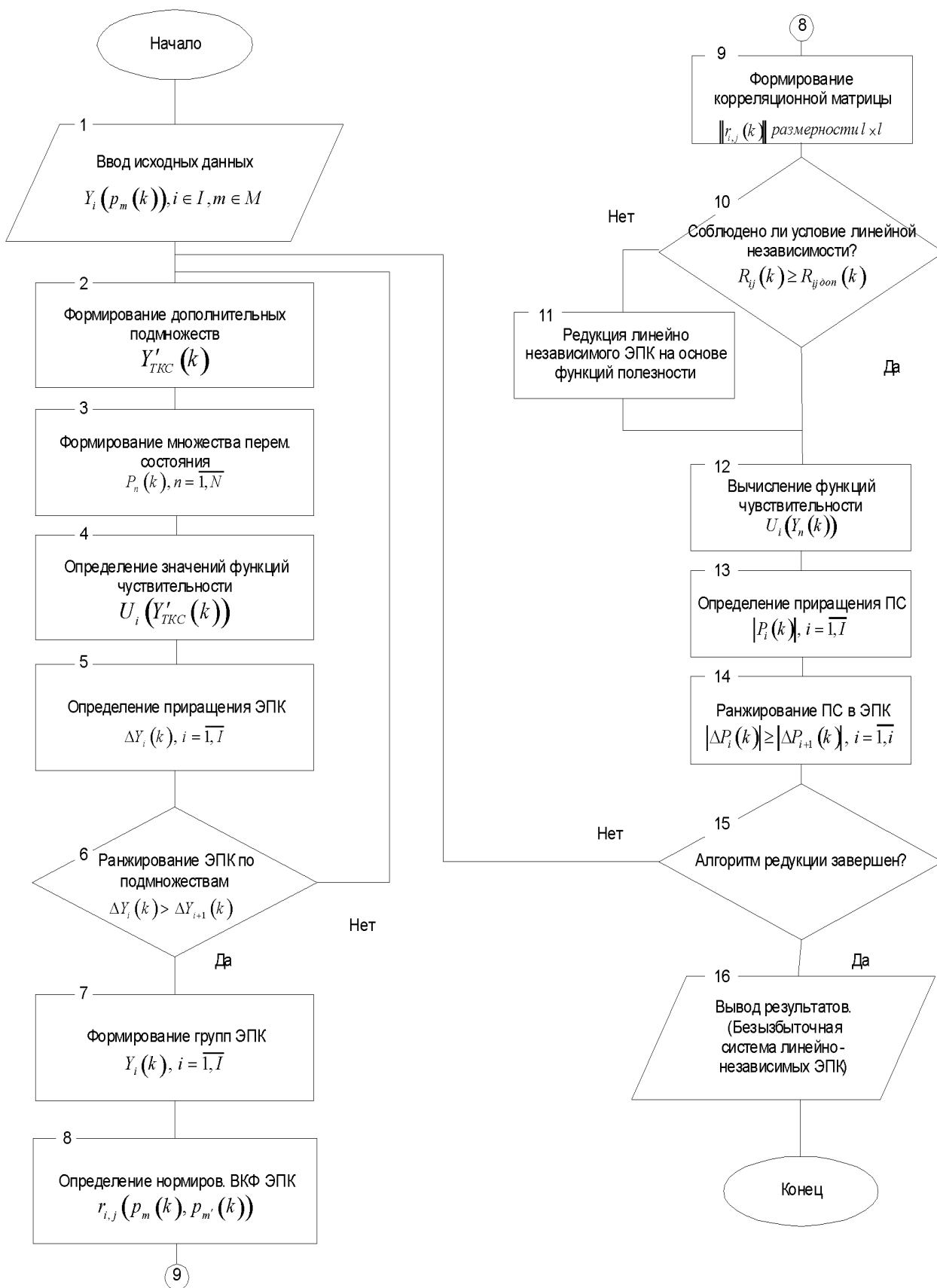


Рис. 4. Структурная схема обобщенного алгоритма редукции векторных ЭПК подлежащих экспертной оценке на различных этапах проектирования ТКС

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wilson I.P.* Tree applications of decomposition method for designing hierarchical control system // *Int. J. Control.* – 1979. – Vol. 29., № 6. – P. 935–947.

2. *Pearson J.D., Takahara Y.* Optimization method for Large-scale System // *Int. J. Control.* – 1975. – Vol. 26., № 4. – P. 107–151.

3. *Lefkowitz I., Schoffler J.D.* Decomposition method for Large-scale System // *Comp. & Elect. Eng.* – 1973. – № 1. – P. 55–71.

4. *Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М.* Чувствительность систем управления. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 464 с.

5. *Терентьев В.М., Паращук И.Б.* Теоретические основы управления сетями многоканальной радиосвязи. – СПб.: ВАС, 1995. – 195 с.

6. *Ненадович Д.М.* Методологические аспекты экспертизы телекоммуникационных проектов. – М. Горячая линия – Телеком, 2008 – 272 с.

Ненадович Дмитрий Михайлович – менеджер проектов Департамента управления проектами Корпоративного центра ОАО «Ростелеком», доктор технических наук. E-mail: nend@mail.ru

Dmitriy Nenadovich – Manager Project Department Management Project Center Corporate, Doctor of Sciences in Technology. E-mail: nend@mail.ru