

УДК 629.735

## МЕТОДИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЕРАРХИЙ СВЯЗЕЙ ПАРАМЕТРОВ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Б.А. ЧИЧКОВ

В статье описаны особенности алгоритмического и программного обеспечения, разработанного для исследования связей параметров, регистрируемых в системах различной природы. Отличительной особенностью реализуемого способа исследования является получение решения задач многомерной статистики не на статичной выборке, а на совокупности последовательных выборок, что соответствует динамическому характеру рассматриваемых систем.

**Ключевые слова:** система, параметр, временной ряд, динамика, многомерная статистика, связи, параметрическое диагностирование, иерархия.

В процессе функционирования систем различной природы (технических, экономических, биологических), как правило, собирают данные в виде временных рядов, отражающих состояние систем.

Так, при эксплуатации авиационных двигателей выполняется регистрация параметрической и непараметрической информации (по результатам срабатывания сигнализаторов).

Оценка технического состояния двигателей осуществляется с использованием диагностических моделей, сочетающих в себе математическое описание и правила принятия диагностических решений по результатам оценки характеристик математического описания изменения параметров в процессе эксплуатации. Для получения количественных оценок тенденций изменения регистрируемых параметров используется тренд-анализ по наработке с использованием линейных регрессионных моделей [3; 6].

Оценка динамики характеристик связей регистрируемых параметров на настоящий момент практически не выполняется. Таким образом, из диагностического рассмотрения исключается физическая составляющая, необходимая для достоверной оценки технического состояния двигателей.

Принципиальной особенностью статистических моделей любых работающих систем является их динамический характер – теснота и характеристики связей между параметрами меняются со временем (например, наработкой двигателя) и зависят от (технического) состояния системы.

Общедоступная информация, формируемая в процессе функционирования экономических систем – временные ряды по курсам валют.

В практическом плане желательно знать, какие связи между регистрируемыми параметрами наиболее значимы, устойчивы, и отражается ли изменение внутреннего состояния системы на характере связей. При этом структура связей не всегда очевидна или ее строгое описание с использованием физического, а не статистического описания может быть затруднено.

По сути решаемая задача по установлению и оценке связей может быть отнесена к разновидности задач, решаемых методами многомерной статистики – методами факторного, дискриминантного и кластерного анализа [2; 4; 5], граф-моделирования. Например, можно предполагать, что идеология направленного граф-моделирования для описания структуры модели заложена и в процедурах модуля SEPATH (Structural Equation Modeling and the Path Diagram) системы STATISTICA®. Для построения Path Diagram необходимо предварительно выполнить построение матрицы ковариаций или корреляций с использованием, например, модуля факторного анализа (Factor Analysis) [2].

Для дистанцирования от прочих алгоритмических и программных разработок следует обратить внимание на то, что указанные выше задачи многомерной статистической обработки данных решаются по отношению к некоторой одной матрице, не учитывается то, что матрица может принципиально изменяться от выборки к выборке. Объем выборки в классических методах постоянен для всех пар переменных. Необходимо задавать предполагаемые связи. Рассматриваемый здесь способ оценок связей предполагает получение решения по результатам оценки связей в последовательности матриц, что соответствует динамическому характеру реально функционирующих систем и в условиях выбора объема выборок наблюдений (длин временных рядов), обеспечивающих наилучшее статистическое качество моделей, описывающих связи между регистрируемыми параметрами по корреляционному критерию.

Укрупненная блок-схема алгоритма построения ранжированных матриц, используемых для исследования динамики связей между регистрируемыми параметрами, представлена на рис. 1.

В дальнейшем использованы следующие обозначения параметров: Нараб – наработка двигателя;  $A_{\text{РУД}}$  – угол установки РУД;  $A_{\text{ВНА}}$  – угол установки входного направляющего аппарата;  $N_{\text{КВД}}$  – частота вращения ротора компрессора высокого давления;  $N_{\text{ВЕН}}$  – частота вращения ротора вентилятора;  $T_{\text{ТНД}}$  – температура газов за турбиной низкого давления;  $P_{\text{т/Рвх}}$  – параметр тяги;  $P_{\text{КВД}}$  – давление за компрессором высокого давления;  $T_{\text{КВД}}$  – температура за компрессором высокого давления;  $P_{\text{т_НР}}$  – давление за насосом-регулятором;  $P_{\text{т_1к}}$  – давление топлива в первом контуре форсунок;  $T_{\text{в_ГГ}}$  – температура воздуха под панелями газогенератора;  $P_{\text{м_в}}$  – давление масла на входе в двигатель;  $P_{\text{суф}}$  – давление в системе суфлирования;  $T_{\text{м_вх}}$  – температура масла на входе;  $T_{\text{м***}}$  – температура масла на выходе из подшипника (опоры), где \*\*\* – узлы КВД, ТВД, ТНД;  $V_{\text{в_Р(К)}}$  – виброскорость в зоне разделительного корпуса по первой гармонике ротора вентилятора;  $V_{\text{в_З(П)}}$  – виброскорость в зоне задней подвески по первой гармонике ротора вентилятора;  $V_{\text{к_Р(К)}}$  – виброскорость в зоне разделительного корпуса по первой гармонике ротора КВД;  $V_{\text{к_З(П)}}$  – виброскорость в зоне задней подвески по первой гармонике ротора КВД.

Нормирование значений коэффициентов корреляции (RR), дисперсионных отношений выполняется относительно табличных значений для соответствующей длины ряда наблюдений и уровня значимости.

После построения ранжированных матриц (в динамике, например, для последних 30 выборок данных) проводится оценка частоты появления в первом ранге матрицы той или иной связи и на граф наносится наиболее часто встречающаяся связь.

В условиях ограниченного объема настоящей статьи приведены лишь некоторые типичные примеры результатов оценок по описанному выше алгоритму и с использованием разработанного программного обеспечения.

Сначала представим результаты по оценке связей параметров, регистрируемых в процессе эксплуатации одного из отечественных ТРДД.

Для взлетного режима работы оценки могут быть выполнены по 24 параметрам.

Для получения примеров, приведенных на рис. 3, использовались данные ряда исправных и неисправных двухвальных ТРДД, штатно зарегистрированные в процессе их эксплуатации. Приведены результаты только по показателю “параметр тяги” (по сути – интегральный показатель состояния ГТД). Количество выборок, если особо не оговорено, – 50; количество рангов – 1.

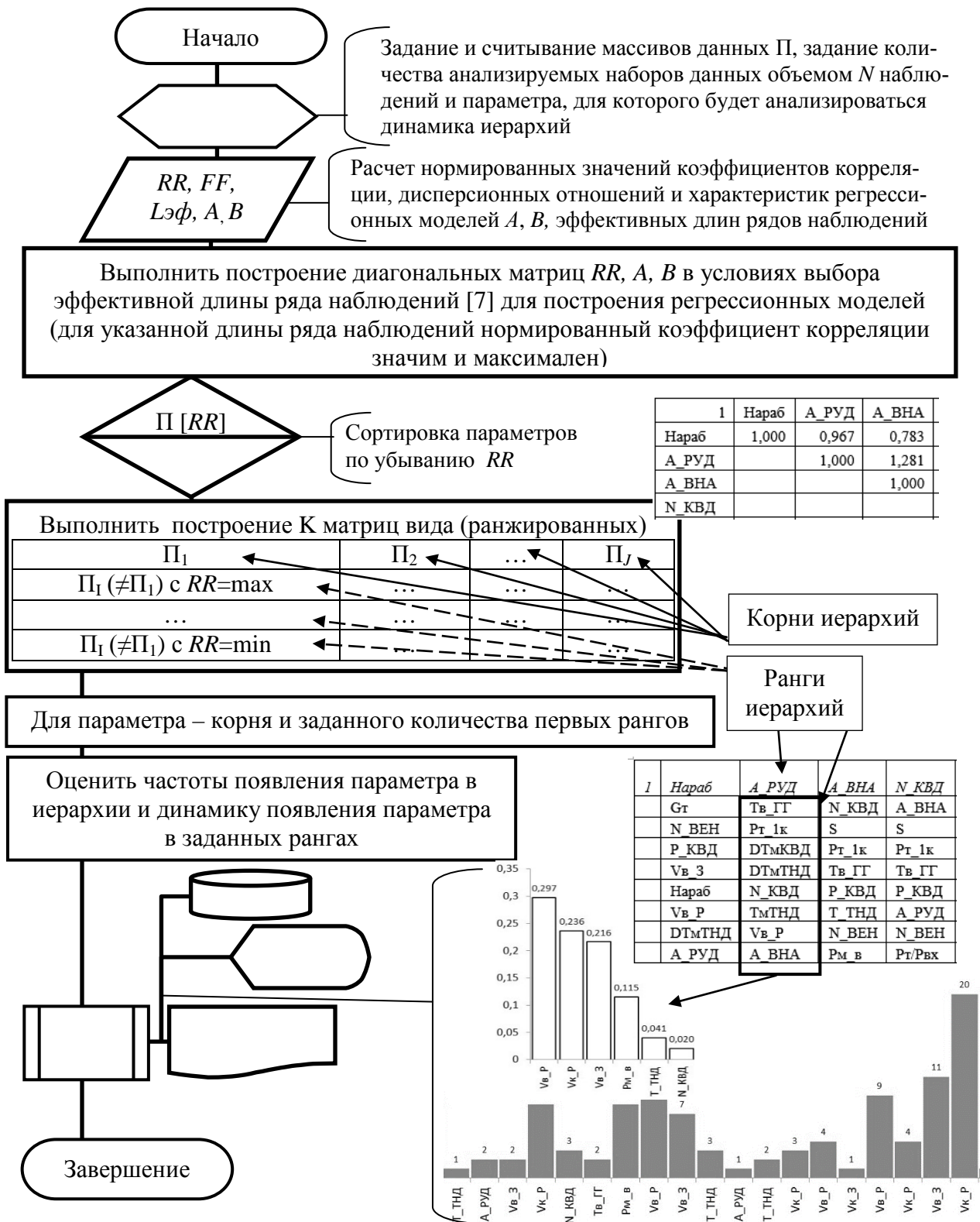


Рис. 1. Укрупненная блок-схема алгоритма оценки иерархий

Базы данных, с которыми работает программа, представляют из себя книги Excel, на листах которых в первой строке приводятся наименования параметров, а сами данные вводятся в хронологическом порядке по столбцам.

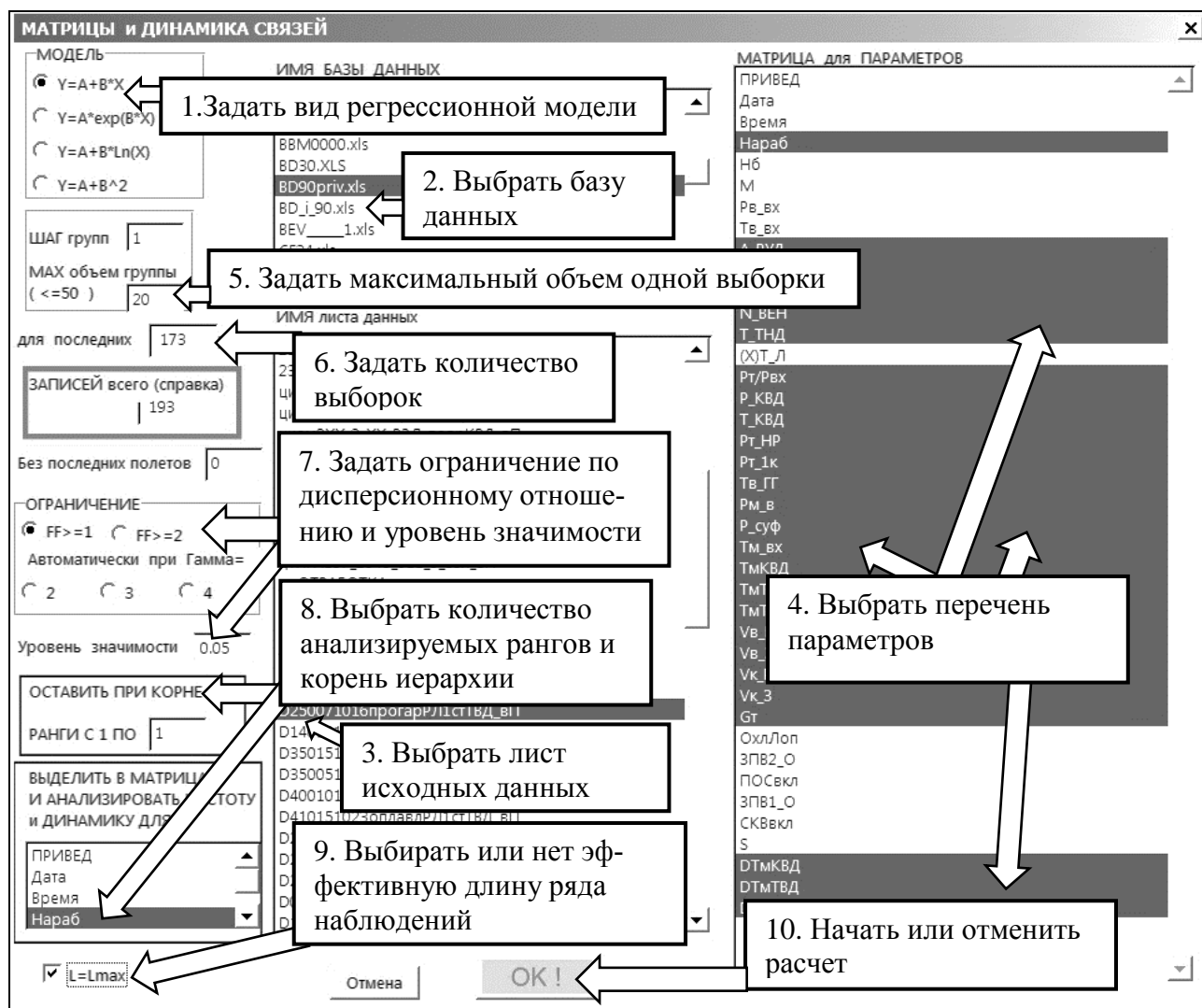
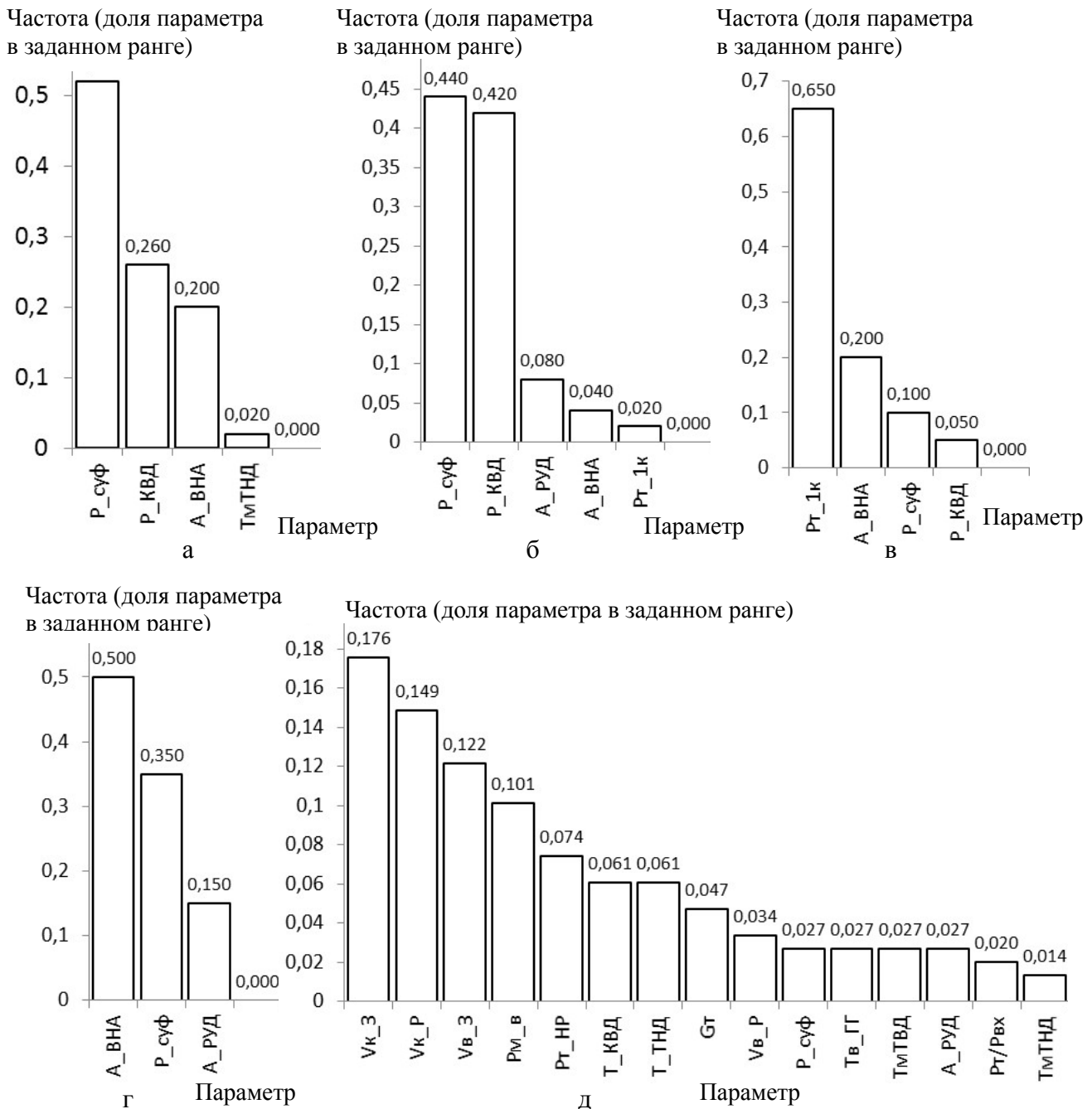


Рис. 2. Вид диалога программы и назначение элементов интерфейса

Для технических систем особое место в анализе связей занимает выявление значимых и устойчивых связей регистрируемых параметров с наработкой (назначается корнем иерархии). Пример результата такого рода анализа представлен на рис. 3д – описываемый здесь способ обеспечивает обнаружение регистрируемых параметров, устойчивые связи которых с наработкой типичны для развития рассматриваемых неисправностей. Состояния двигателей для рис. 3: а – отработка ресурса; б – прогар рабочих лопаток турбины высокого давления – без последних 100 полетов; в – прогар рабочих лопаток турбины высокого давления – последние 20 полетов; г – помпаж в полете, разрушение компрессора высокого давления, последние 20 полетов; д – повышенная вибрация. Вторая группа примеров, которая показывает универсальность описываемого подхода к анализу временных рядов различной природы, получена в результате исследования связей для временных рядов данных по курсам валют. Далее для получения примеров использовались данные по курсам валют к рублю по данным сайта [1] за период 11.01.2012...26.05.2012. Использовались данные по американскому доллару, австралийскому доллару, евро, индийской рупии, канадскому доллару, китайскому юаню, сингапурскому доллару, украинской гривне, японской йене (за 100 йен), южноафриканскому рэнду (за 10 рэнд), турецкой лире. Результаты оценки доминантности связей между валютами с позиций статистических моделей представлены на рис. 4 (из экономии места, оставлены только наиболее значимые связи, задача анализа связей с позиций экономики не ставилась).



**Рис. 3.** Примеры результатов анализа частот нахождения параметров в первом ранге иерархии при корне “параметр тяги” (а-г) и корне “наработка” (д)

### Заключение

Алгоритм и программное обеспечение, разработанное для оценки связей параметров, регистрируемых при функционировании систем различной природы, учитывают динамический характер оцениваемых связей. Результаты, полученные как для технических систем (авиационные двигатели), так и экономических систем, позволяют утверждать о универсальности примененного подхода, дополненного содержательным анализом.



**Рис. 4.** Примеры результатов анализа частот нахождения параметров в первом ранге иерархии при корне: а - "китайский юань"; б - "евро"; в - "турецкая лира"; г - "украинская гривна"

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Архив курсов валют ЦБ РФ. [Электронный ресурс]. URL.: <http://finmarket.ru>.
2. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA® в среде Windows: учеб. пособие. - М.: Финансы и статистика, 1999.
3. Бюллетень № 94148-БЭ-Г. - Пермь, 1996.
4. Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / пер. с англ. / под ред. И.С. Енюкова. - М.: Финансы и статистика, 1989.
5. Харман Г. Современный факторный анализ. - М.: Статистика, 1972.
6. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами: пер. с англ. - М.: Мир, 1973.
7. Чичков Б.А. Методология оптимизации статистических диагностических моделей авиационных ГТД для установившихся режимов работы. - М.: МГТУ ГА, 2001.

#### ALGORITHMIC AND SOFTWARE, WHICH HAVE BEEN DEVELOPED FOR RESEARCH OF COMMUNICATIONS OF PARAMETRES, REGISTERED IN SYSTEMS

Chichkov B.A.

The article deals with algorithmic and software, which have been developed for research of communications of parameters, registered in systems of various nature. Distinctive feature of a realized way of research is reception of the decision of tasks of multidimensional statistics not on static sample, but on set consecutive data that corresponds to dynamic character of real systems.

**Keywords:** system, parameter, dynamics, the multidimensional statistics, parametrical diagnosing, hierarchy.

#### Сведения об авторе

**Чичков Борис Анатольевич**, 1969 г.р., окончил МИИГА (1993), доктор технических наук, профессор кафедры двигателей летательных аппаратов МГТУ ГА, автор более 70 научных работ, область научных интересов – модели систем, параметрическая диагностика авиационных двигателей в эксплуатации.