

**Ю.В. Попов**

(Научно-исследовательский центр эксплуатации и ремонта авиационной техники;  
e-mail: tov\_popov@rambler.ru)

## **ОБ АТТРАКТОРАХ РАЗВИТИЯ АВИАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ**

*Показаны этапы развития авиационной транспортной системы. Установлено, что с переходом на новую модель развития страны авиационная транспортная система перешла в состояния неустойчивого равновесия. Показана необходимость создания отлаженной многоступенчатой системы управления развитием авиационной транспортной системы.*

*Ключевые слова: авиационная транспортная система, аттрактор, безопасность полётов.*

**Yu.V. Popov**

## **ABOUT ATTRACTORS OF THE AIR TRANSPORT SYSTEM**

*The stages of the development of the air transport system are shown. It was found that the transition to a new model of development of the country's air transport system has passed to a state of unstable equilibrium. The necessity of creating a well-functioning multi-level system of management of development of the air transport system are shown.*

*Key words: air transport system, attractor, flight safety.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 11 мая 2015 г.

**Авиационная транспортная система (АТС)** является сложной нелинейной открытой диссипативной системой, находящейся в состоянии риска [1]. В этих условиях особенно важно понять исходное состояние системы, цели её движения, законы поведения. Обеспечение безопасности полётов всегда было и остаётся одной из важнейших проблем развития авиации. Безопасность выполнения полёта определяется надёжным функционированием всех систем, входящих в АТС. Уровень безопасности полётов оценивается определёнными показателями (индикаторами) [2]. Показатели характеризуют изменения состояния безопасности полётов и потому их правомерно называть также показателями состояния или изменений АТС. Основным показателем качества АТС является количество катастроф на 100 тыс. часов налёта. На рис. 1 представлены изменения относительного показателя – **количества катастроф** на 100 тыс. часов налёта ( $K_K$ ) в целом по парку **воздушных средств (ВС)** за период 1958-2014 гг. для СССР и стран СНГ.

Один из способов изучения различных процессов и явлений состоит в построении и исследовании их математических моделей. При изучении АТС нет возможности получить полную информацию о её внутреннем устройстве и определить зависимости от времени всех координат её состояния. Поэтому возникает проблема определения переменных, которые адекватно описывали бы состояние всех систем, входящих в АТС. Показатель – число катастроф на 100 тыс. часов налета в общем случае описывает эволюцию развития АТС во времени в соответствии с некоторым динамическим законом, то есть как результат действия детерминированного оператора эволюции.

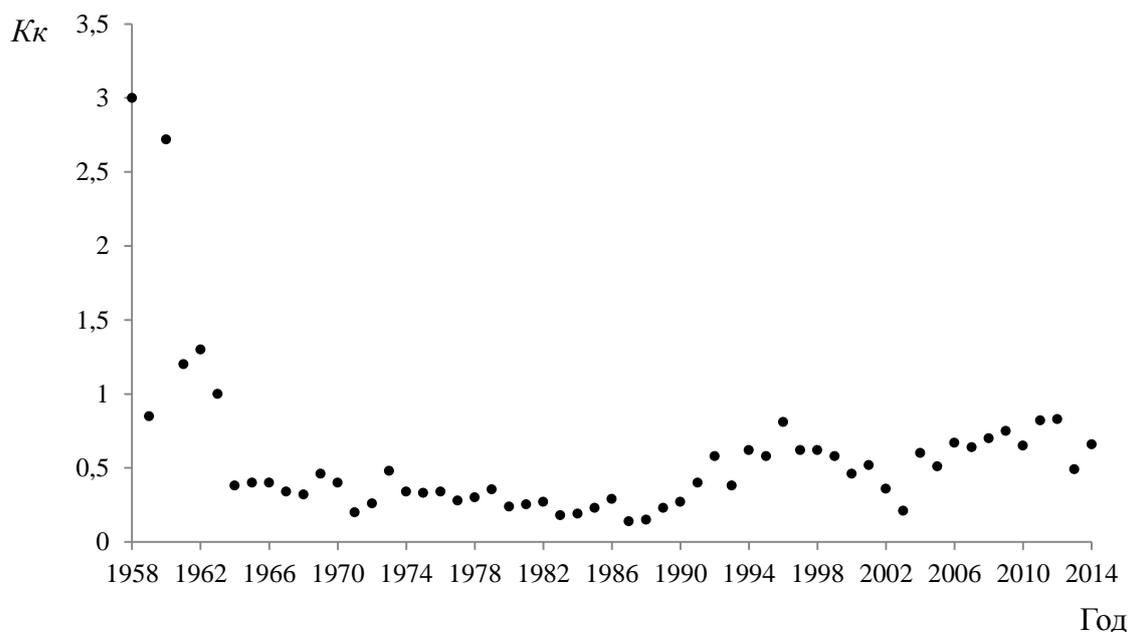


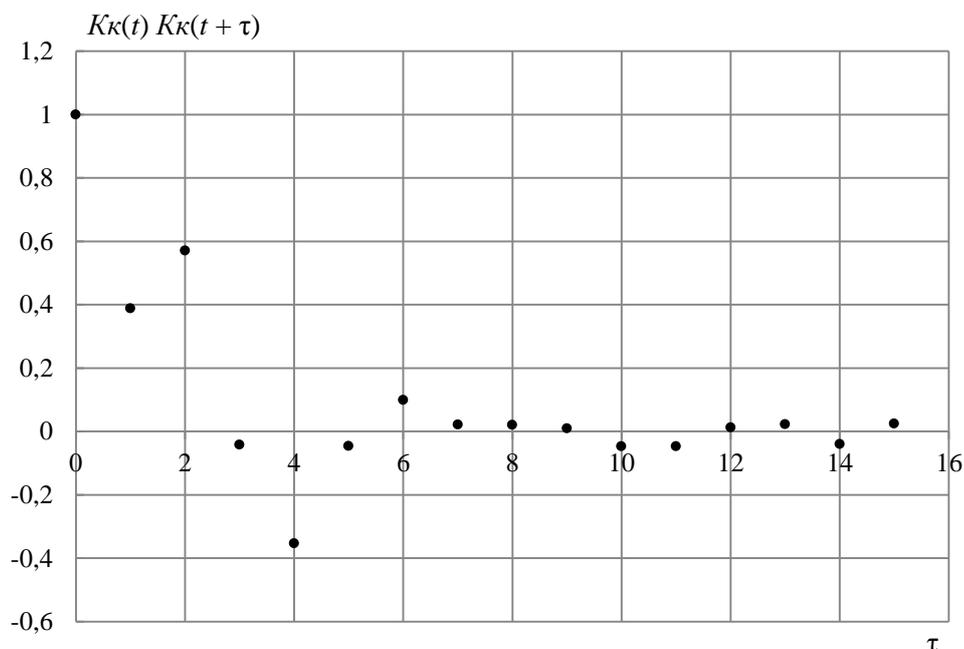
Рис. 1. Количество катастроф на 100 тыс. часов налёта

Для ответа на вопрос о режимах поведения АТС, которые могут устанавливаться в данной системе, необходимо построить фазовые портреты – совокупности всех её траекторий, изображённых в пространстве фазовых переменных (фазовом пространстве).

Путь к решению проблемы построения фазовых портретов динамических систем был предложен Паккардом и др. Основная идея состоит в возможности восстановления фазового портрета методом задержки по одномерной реализации, который основывается на теореме Ф. Такенса [3]. Восстановленный портрет отражает качественное поведение функционирующей системы и является топологическим эквивалентным её аттрактору.

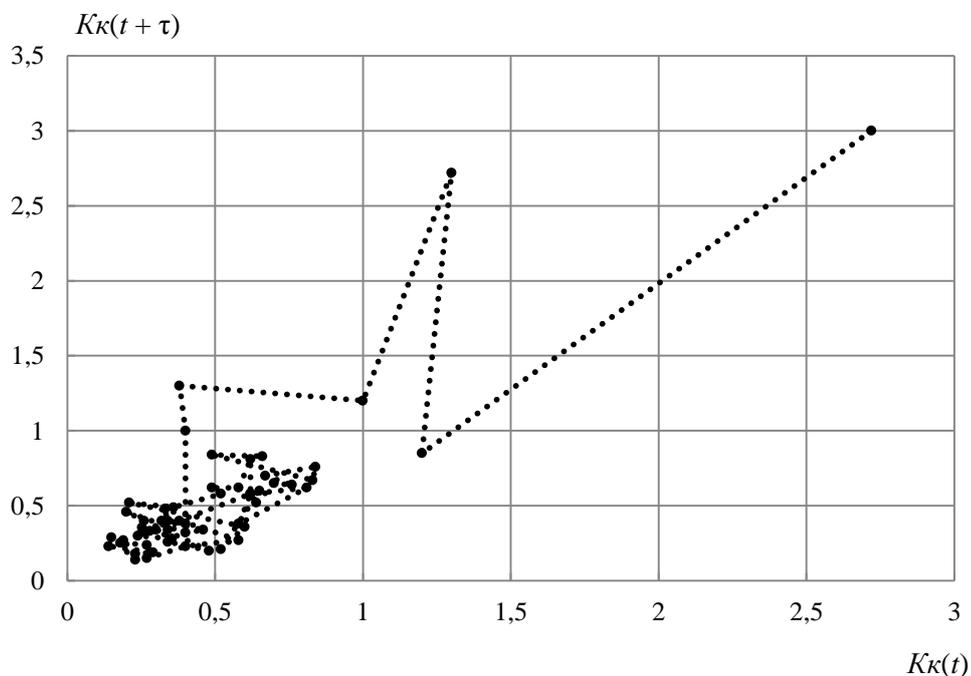
Под **аттрактором** понимается предельное множество точек в фазовом пространстве динамической системы, к которым стремятся все траектории этой системы [4]. Для реконструкции аттрактора исследуем временной ряд  $K_k(t)$ . Отобразим данный временной ряд на плоскость следующим образом: каждому исходному значению процесса  $K_k(i)$  будет соответствовать точка на плоскости, одна координата которой будет равна  $K_k(i)$ , а другая –  $K_k(i + \tau)$ , где  $\tau$  – некоторая произвольно выбранная величина – так называемый **лаг**. Согласно теореме Такенса, можно подобрать такое  $\tau$ , что полученное в результате описанного преобразования множество точек будет по своим метрическим свойствам воспроизводить аттрактор исследуемой системы.

Существует много методов нахождения временной задержки, каждый из которых характерен для определенной задачи. Одним из традиционных является метод нахождения временной задержки как первого "пересечения нуля" автокорреляционной функции между  $K_k(i)$ ,  $K_k(i + \tau)$ . На рис. 2 приведена автокорреляционная функция показателя катастроф на 100 тыс. часов налёта.



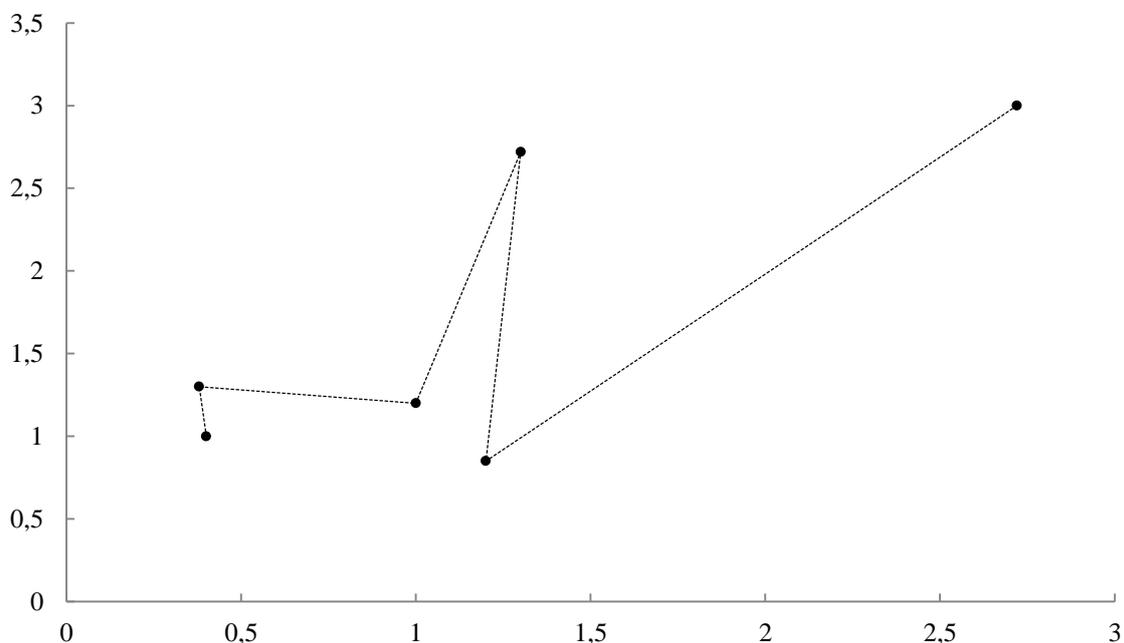
**Рис. 2.** Автокорреляционная функция количества катастроф на 100 тыс. часов налёта

Задержка  $\tau$  выбирается равной времени первого "пересечения нуля" автокорреляционной функции. Недостатком данного метода является чувствительность к шуму. Анализ рис. 2 показывает, что  $\tau \approx 3$ . Для этого лага на рис. 3 приведён аттрактор.



**Рис. 3.** Аттрактор количества катастроф на 100 тыс. часов налёта за период 1958-2014 гг.

Анализ аттрактора (рис. 3) показывает, что его можно разделить на три части. Первая часть относится к началу эксплуатации ВС с газотурбинными двигателями и создания АТС для этих типов ВС. На рис. 4 приведён вид данного аттрактора.



**Рис. 4.** Аттрактор количества катастроф на 100 тыс. часов налёта за период 1953-1963 гг.

Анализ аттрактора показывает, что в начальный период развития АТС сопровождалось неожиданными скачкообразными изменениями, что позволяет говорить о наличии неустойчивого равновесия. Были разработаны мероприятия по повышению безопасности полётов. Решающую роль в этих мероприятиях сыграл волевой фактор, который позволил осознать взаимосвязь цели и средства достижения. В результате проведённых мероприятий была создана многоступенчатая АТС, структура которой приведена на рис. 5.

Согласно общесистемным закономерностям, накапливающиеся количественные изменения на определённом этапе ведут к качественной трансформации. И если необходимые изменения в системе осуществляются целенаправленно, то основой разрешения противоречия станут механизмы самоорганизации и система перейдёт в устойчивое состояние. На рис. 6 приведён аттрактор количества катастроф на 100 тыс. часов налёта за период 1964-1991 гг.



Рис. 5. Структура АТС

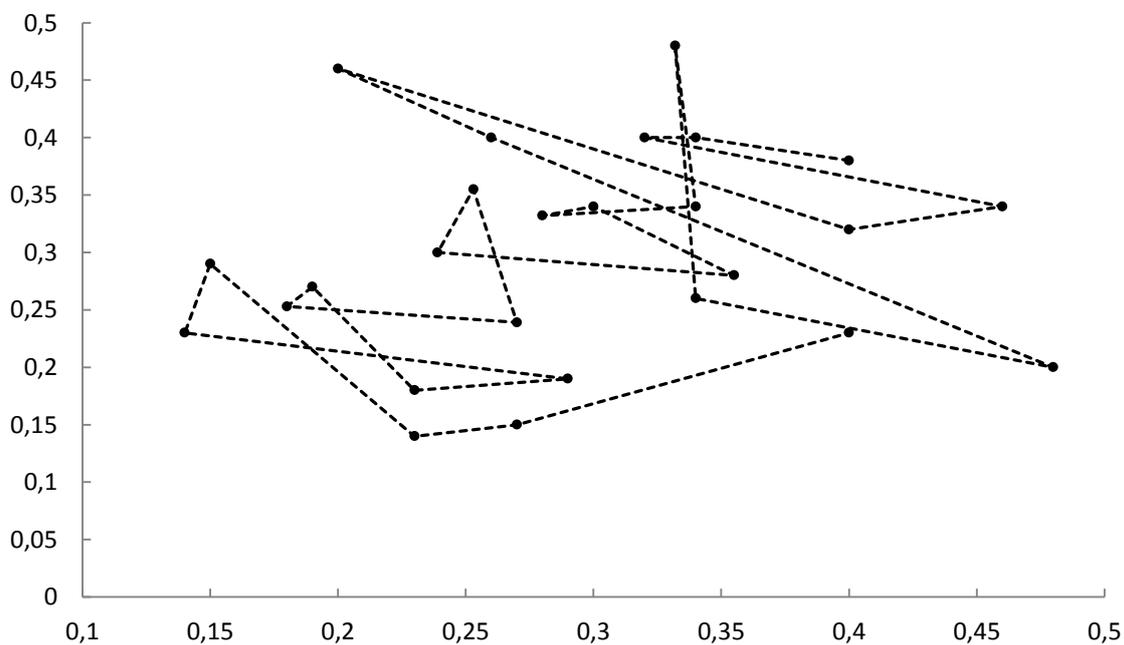
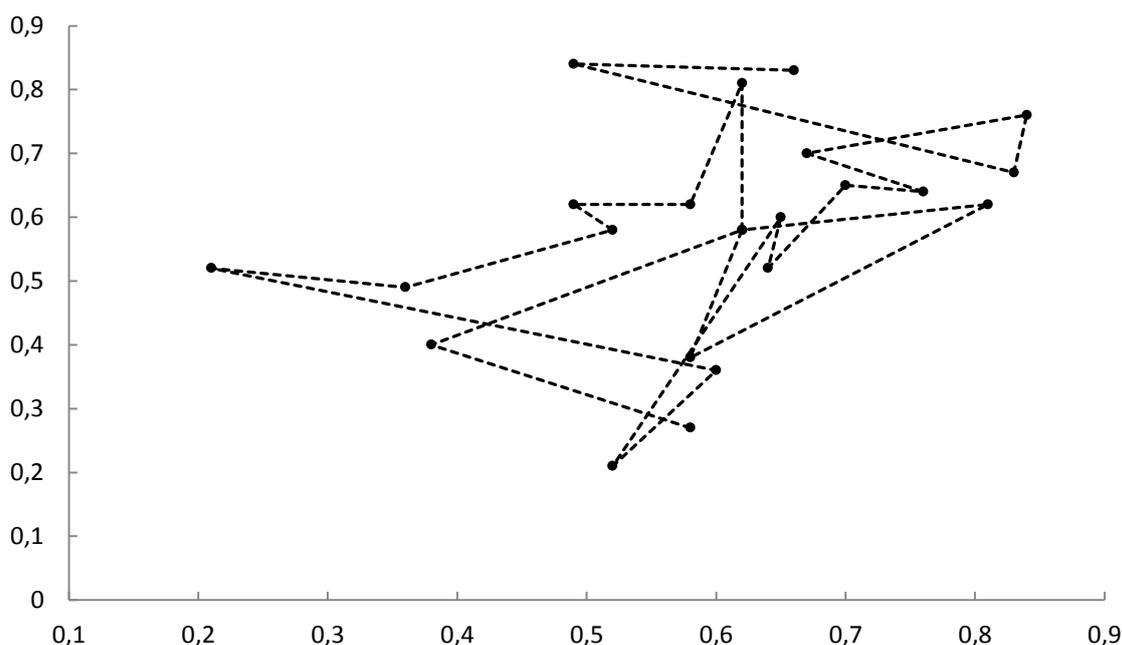


Рис. 6. Аттрактор количества катастроф на 100 тыс. часов налёта за период 1964-1991 гг.

Аттрактор показателя количество катастроф на 100 тыс. часов налёта за период 1964-1991 гг. показывает, что многоуровневая АТС в своём развитии устойчива и управляема. В АТС существуют подсистемы, которые обеспечивают безопасность полётов и осуществляют мониторинг. Такое положение вещей сохранялось до 1991 года. С 1992 года АТС была преобразована во всех сферах социальной и экономической деятельности, в том числе и инфраструктуры гражданской авиации. На рис. 7 приведён аттрактор количества катастроф на 100 тыс. часов налёта за период 1992-2014 гг.



**Рис. 6.** Аттрактор количества катастроф на 100 тыс. часов налёта за период 1992-2014 гг.

Анализ данного аттрактора показывает, что никаких закономерностей в траектории не наблюдается, а это свидетельствует об отсутствии управления АТС. В этот период времени АТС находится в состоянии неустойчивого равновесия. Следует отметить ещё одну особенность этого периода, оказавшую значительное влияние на функционирование АТС – рост количества авиакомпаний (рис. 7).

Это обусловило не только прямое несоответствие интересов коммерции и безопасности полётов, но привело к появлению новых факторов аварийности.

Вышеупомянутые особенности экономической деятельности АТС в сочетании с практически полной дезорганизацией действовавшей в СССР системы государственного регулирования авиационной деятельности, в том числе авиаперевозок и работ, не могли не сказаться негативно на безопасности полётов.

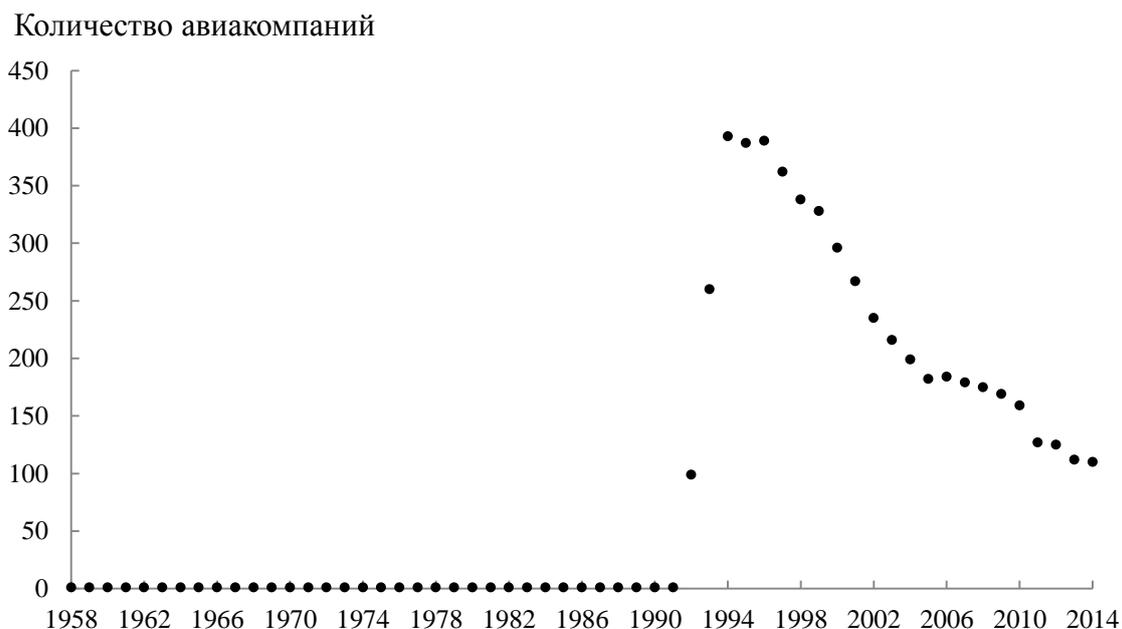


Рис. 7. Количество авиакомпаний

И в этих обстоятельствах особенно немаловажно уяснить исходное состояние АТС, цели её движения, законы поведения. Для принятия верного решения необходима информация, которая бы позволила провести анализ и оценку вариантов, направленных на повышения безопасности полётов. Исходя из комплекса социальных и экономических критериев для повышения уровня безопасности полётов, нужна решающая роль волевого фактора государства. Необходимо создание отлаженной многоступенчатой системы управления развитием АТС, которая бы рассматривала все подсистемы в единстве. Изменение ситуации требует коренной ломки устоявшихся стереотипов поведения и мышления большинства членов АТС.

С точки зрения управляемости, то есть выбора действенных методов управления, важнейшей проблемой является обеспечение адекватности объекта и целей управления, совместимости качественных характеристик АТС и применяемых управленческих воздействий.

### Литература

1. **Попов Ю.В.** Расследование авиационных происшествий – безопасность полётов в исторической ретроспективе // Проблемы безопасности полётов. № 1. 2012. С. 4-22.
2. **Попов Ю.В.** Показатели безопасности авиационных полётов // Технологии техносферной безопасности. 2014. Вып. 6 (58). С. 166-175. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
3. **Takens F.** Detecting strange attractors in turbulence // Dynamical Systems and Turbulence. Heidelberg: Springer-Verlag. 1981. Pp. 366-381.
4. **Петров В.В.** Самоподобие в сетевом трафике // 58-я научная сессия РНТОРЭС им. Попова А.С.: сборник трудов. Т. 2. М., 14-15 мая 2003. С. 126.
5. **Сычев В.В.** Вычисление стохастических характеристик физиологических данных. Пущино, 1999. <http://fractan.boom.ru>