

## ВПЛИВ ВИСОКОГІРНОЇ ГІПОКСІЇ НА СТУПІНЬ ДЕСИНХРОНІЗАЦІЇ ЗОРОВО-МОТОРНОЇ ТА СЕРЦЕВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ

Ю.В. Кравченко<sup>1</sup>, В.М. Ільїн<sup>2</sup>, М.М. Михайлович<sup>3</sup>, С.Б. Коваль<sup>2</sup>, Ю.А. Попадюха<sup>4</sup>

*Міжнародний центр астрономічних і медико-екологічних досліджень НАН України<sup>1</sup>,  
Київ, Україна*

*Національний університет фізичного виховання і спорту України<sup>2</sup>, Київ, Україна*

*Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича<sup>3</sup>*

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"<sup>4</sup>*

Ступінь десинхронізації зорово-моторної та серцевої діяльності людини під час дозованого інформаційного навантаження з одночасною реєстрацією кардіоінтервалів відповідає рівню адаптації нервової системи до інформаційного навантаження і гіпоксії. Когерентний аналіз одержаних в умовах високогір'я сенсомоторних хвиль і коливань серцевого ритму дозволяє визначити ступінь тренуваності людини під час праці в умовах екстремальної переробки інформації і гіпоксії.

**Ключові слова:** гіпоксія, когерентний аналіз, інформаційне навантаження.

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГОРНОЙ ГИПОКСИИ НА СТЕПЕНЬ ДЕСИНХРОНИЗАЦИИ ЗРИТЕЛЬНО-МОТОРНОЙ И СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Ю.В. Кравченко<sup>1</sup>, В.Н. Ильин<sup>2</sup>, М.М. Михайлович<sup>3</sup>, С.Б. Коваль<sup>2</sup>, Ю.А. Попадюха<sup>4</sup>

*Международный центр астрономических и медико-экологических исследований НАН  
Украины<sup>1</sup>, Киев, Украина*

*Национальный университет физического воспитания и спорта Украины<sup>2</sup>, Киев, Украина*

*Черновицкий национальный университет им. Ю.Федьковича<sup>3</sup>*

*Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"<sup>4</sup>*

Степень десинхронизации зрительно-моторной и сердечной деятельности человека при дозированной информационной нагрузке с одновременной регистрацией кардиоинтервалов соответствует уровню адаптации нервной системы к информационной нагрузке и гипоксии. Когерентный анализ полученных в условиях высокогорной гипоксии сенсомоторных волн и колебаний сердечного ритма позволяет определять уровень тренированности человека при работе в условиях экстремальной переработки информации и гипоксии.

**Ключевые слова:** гипоксия, когерентный анализ, информационная нагрузка.

## EFFECT OF HIGHMOUNTAIN HYPOXIA ON THE DEGREE OF DESYNCHRONIZATION VISUAL-MOTOR AND CARDIAC HUMAN ACTIVITIES

Y.V. Kravchenko<sup>1</sup>, V.N. Ilyin<sup>2</sup>, M.M. Mihaylovich<sup>3</sup>, S.B. Koval<sup>2</sup>, Yu.A. Popadiuha<sup>4</sup>

*International Center for Astronomical, Medical and Environmental Research, National Academy  
of Sciences of Ukraine<sup>1</sup>, Kiev, Ukraine*

*National University of Physical Education and Sport of Ukraine<sup>2</sup>, Kiev, Ukraine  
Chernivtsi National University by Yu Fedkovich<sup>3</sup>*

*National technical universities of Ukraine "Kiev polytechnic institute"<sup>4</sup>*

The degree of desynchronization visual-motor and cardiac activity in the human during dosage information load with simultaneous recording of cardiointervals corresponds to the level of adaptation of the nervous system to the information load, and hypoxia. Coherent analysis of the conditions of high altitude hypoxia in sensomotor waves and heart rate variability allows to determine the level of the training people working in extreme conditions of processing information and hypoxia.

**Key words:** hypoxia, coherent analysis, the information load.

**Вступ.** Актуальними є одержання стійких показників адаптованості людини до гіпоксії за результатами серцевої діяльності та моделювання функціональних робочих станів в умовах інтенсивного розумового навантаження та високогірної гіпоксії. Спрямованість і ступінь виразності фізіологічних реакцій на перебування в умовах високогір'я в основному визначаються рівнем парціального тиску кисню й реактивністю організму [1, 2]. У практично здорових людей на висоті 2100 м розвиваються реакції, які відповідають тільки початковим проявам гіпоксії. Для цього стану характерний помірний розвиток рефлекторних й зворотних тканинних пристосувальних реакцій. Функціональні відхилення у формі порушення з боку центральної нервової системи позначаються на роботі інших органів й у значній мірі визначають характер відповідної реакції організму на перебування в цих умовах. Оскільки для кори головного мозку характерна висока чутливість до кисневої недостатності, організм при високогірній гіпоксії прагне зберегти достатнє кисневе забезпечення, у першу чергу центральної нервової системи [3 - 5]. Дослідження вищої нервової діяльності показали, що в перші дні перебування на висоті 2100 м погіршуються сенсомоторні показники, а при адаптації до цієї висоти на дев'яту добу перебування в горах відбувається достовірне покращання параметрів вищої нервової діяльності [5, 6]. Відомо, що результат діяльності систем керування в живому організмі проявляється у вигляді коливань структурної, енергетичної й інформаційної рівноваги, які відбуваються на всіх рівнях - від клітини до організму. Ці коливання відображають діяльність механізмів безперервної регуляції серцево-судинної системи й поточний функціональний стан організму [7 - 10]. Коливальні процеси характеризують активність відповідних регуляторних систем, ступінь напруги певних керуючих механізмів. Збільшення амплітуди коливань означає, що витрати енергії й інформації на керування відповідними функціональними системами збільшилися. Наявність коливальних процесів з різними періодами й амплітудою, які відображають діяльність механізмів центрального керування й саморегуляції, може бути виявлена за допомогою реєстрації кардіоритмограм [11] і сенсомоторограм [12].

**Мета роботи:** дати кількісну оцінку ступеня адаптації до високогірної гіпоксії на підставі когерентного

аналізу сенсомоторних і ритмокардіографічних коливань на початку й наприкінці перебування в умовах високогір'я на висоті 2100 м (с. Терскол).

**Результати роботи і їх обговорення.** Розглянемо модель людського організму як суперпозицію фізіологічних сигналів, отриманих у результаті перетворення фізіологічних величин кінцевим числом датчиків медичного обладнання у функції часу. Відомо, що синхронно взаємодіючі коливальні системи характеризуються мінімальними енергетичними витратами, й чим вищий ступінь когерентності їхньої взаємодії, тим більш узгодженими вважаються розглянуті системи [13, 14]. Основою для об'єднання окремих фізіологічних сигналів на різних ділянках спектра в лінійно зв'язані групи може служити апарат функцій звичайної когерентності [15]. Функція звичайної когерентності відображає міру статистичного лінійного зв'язку двох процесів на певних частотах. При цьому найбільший внесок у величину функції звичайної когерентності (в інтервалі від 0 до 1) вносить величина кореляції фаз гармонік спектрів аналізованих двох процесів. Розглянемо два коливальних нервових процеси:  $X_i$  - серцевий ритм та  $Y_i$  - сенсомоторний ритм. Спосіб реєстрації сенсомоторних коливань  $Y_i$  описаний у методиці моделювання функціональних робочих станів головного мозку при дозованому розумовому навантаженні й гіпоксії [12]. Сила інформаційного керуючого впливу в розглянутій системі визначається періодом пред'явлення першосигнальних подразників і залежить від поточного значення безвідмовності функціонування центральної нервової системи. Імовірність відмови задається програмно й лежить у діапазоні  $P_0=0,05-0,5$ . У результаті визначення відповідності заданого й поточного ступенів безвідмовності центральної нервової системи відбувається або посилення, або ослаблення сили вхідного впливу. Цей процес має коливальний характер, а рівень швидкості нервових процесів у вигляді сенсомоторних коливань  $Y_i$  реєструється засобами обчислювальної техніки (рис. 1-2). Паралельно відбувається реєстрація величин кардіоциклів  $X_i$  за допомогою програмно-апаратного комплексу "Ритм-1" [11].

Дані, отримані в результаті обстеження, характеризуються нерівномірним для розглянутих процесів

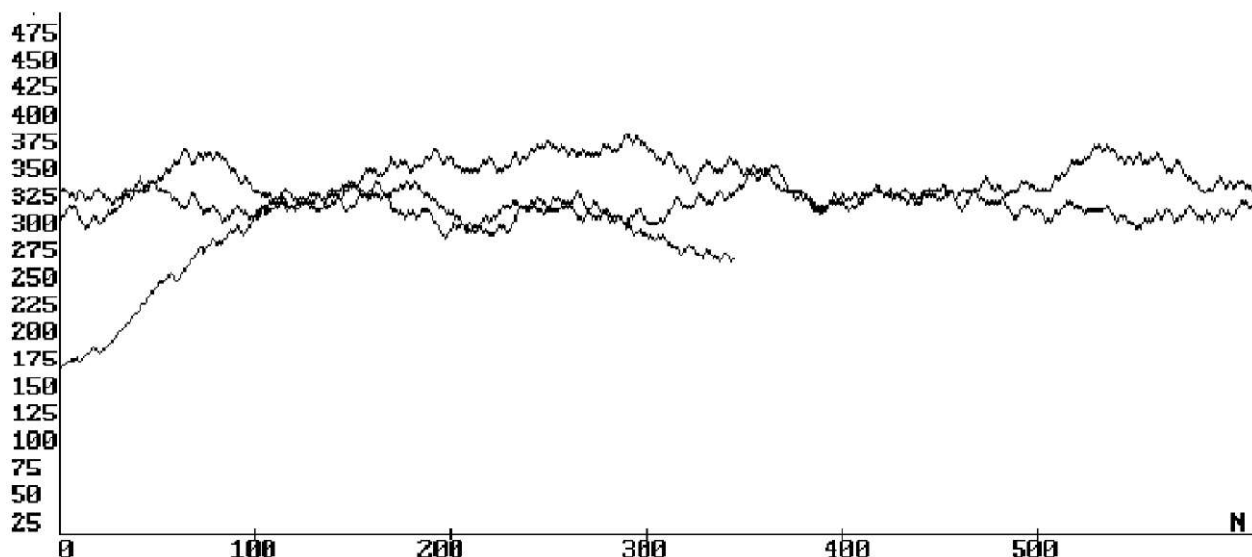


Рис. 1. Початкова крива швидкості переробки інформації. Імовірність безвідмовної роботи  $P=0,5$  (інформаційний стрес).

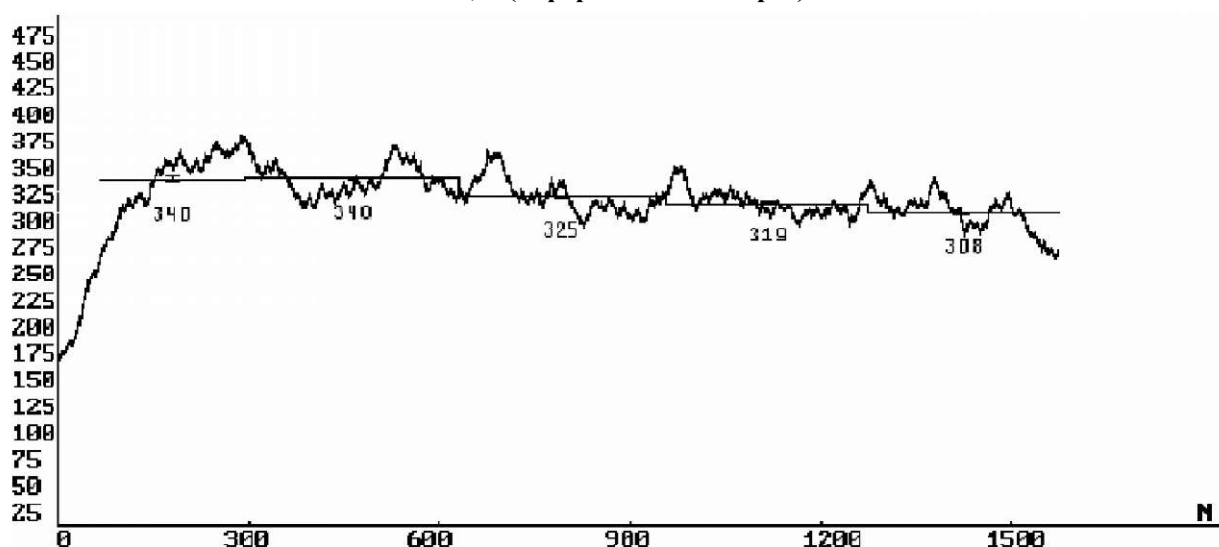


Рис. 2. Остаточний графік моделювання інформаційного стресу. Середня швидкість обробки сигналів - 320 подразників на хвилину.

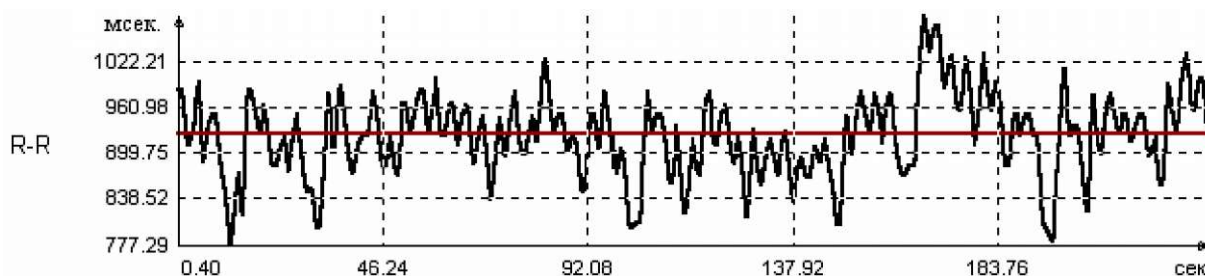


Рис. 3. Кардіоінтервалограма обстежуваного К. після лінійної апроксимації на основі косинус-розкладання Фур'є.

інтервалом дискретизації. Тому ми робимо лінійну апроксимацію масиву кардіоінтервалів  $X_i$  (мал. 3) і масиву сенсомоторної інтервалограми  $U_i$  на основі косинуса-розкладання Фур'є з періодом дискретизації  $\Delta t=0,3$  с;  $i=1\dots 1000$  [16].

Визначаються коваріаційні функції  $R_{xx}(f)$ ,  $R_{yy}(f)$  і кореляційна функція  $R_{xy}(f)$  з максимальним кроком дискретизації. Функція  $R_{xy}(f)$  уже більш явно відображає взаємозалежність центральної і вегетативної нервових систем, а коефіцієнти "ІК" (значення корелограми після

першого кроку дискретизації), "K 0.3" (число кроків дискретизації корелограми до значень коефіцієнта кореляції, менш 0,3), "K0" (число кроків дискретизації корелограми до значень коефіцієнта кореляції, що має перше негативне значення) визначають цей зв'язок кількісно. Потім розраховують ритмокардіографічний  $S_{xx}(f)$  і сенсомоторний  $S_{yy}(f)$  спектри та їх взаємний спектр  $S_{xy}(f)$ . На основі цих розрахунків визначається функція когерентності:  $\psi_{xy}^2(f) = (S_{xy}(f))^2 / (S_{xx}(f) \times S_{yy}(f))$  у діапазоні частот  $\partial \div 1,24$  Гц

Інтегруючи розраховану функцію когерентності на всій області визначення, одержимо абсолютну кількісну оцінку впливу високогірної гіпоксії на організм людини для конкретного часового етапу. Зміна функцій когерентності на початку перебування в умо-

$$J = \int_0^{1.24} \psi_{xy}^2 df$$

вах високогір'я (рис. 4) і наприкінці (рис. 5) відображає збільшення середнього значення при адаптації до гіпоксії. Чим більш адаптований організм людини до гіпоксії, тим більші значення приймає функція когерентності. Відносна оцінка ступеня адаптації до гіпоксії визначається градієнтом абсолютних значень функції когерентності, розрахованих при різних силах гіпоксичного впливу. Як правило, цей показник має негативне значення, абсолютна величина його пропорційна величині гіпоксичного навантаження й відображає ступінь адаптації до гіпоксії. Чим менше його значення, тим вищий ступінь адаптації організму до

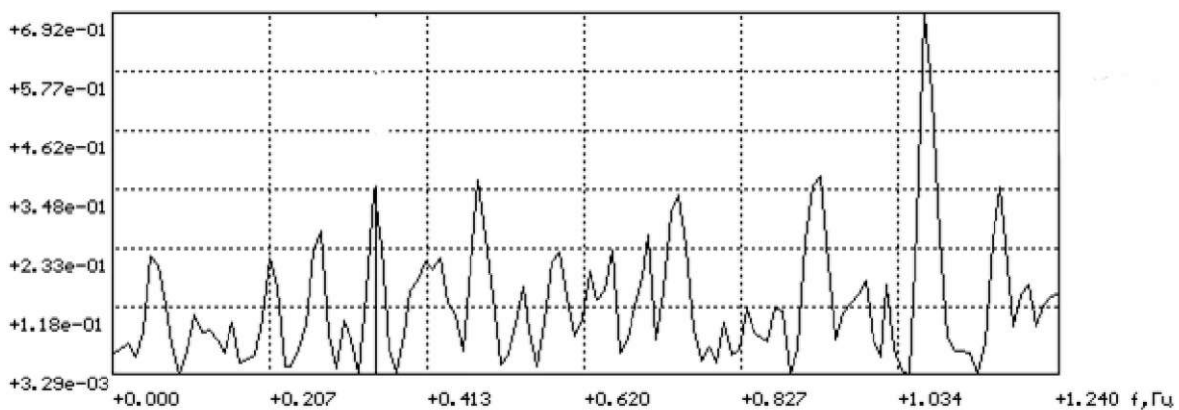


Рис. 4. Графік функції часткової когерентності  $\psi_{xy}^2(f)$  при початковому гіпоксичному впливі (2100 м, 2-га доба).

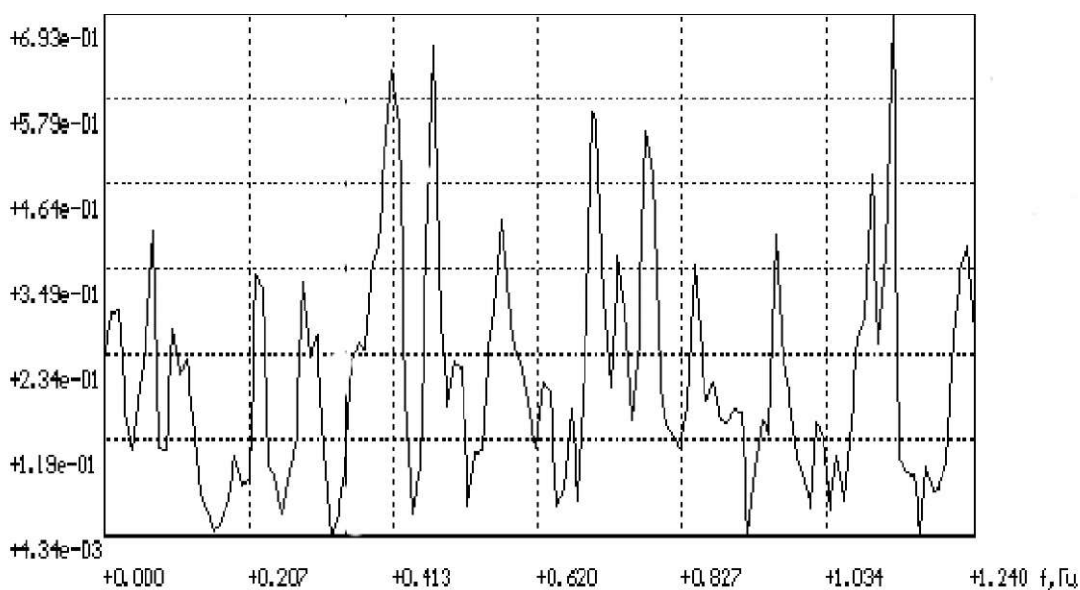


Рис. 5. Графік функції часткової когерентності  $\psi_{xy}^2(f)$  після адаптації до гіпоксії (2100 м, 20-га доба).

гіпоксичного стимулу. В окремих випадках, наприклад, у висококваліфікованих альпіністів, при помірній

гіпоксії можуть спостерігатися позитивні значення відносного показника, що говорить про високий енер-

гетичний баланс розглянутих систем організму, стійкість до синхронізації тимчасових процесів в організмі, а, отже, високий рівень адаптації до високогірної гіпоксії. Даний метод визначення рівня адаптації до гіпоксії характеризується більш високою повторюваністю результатів, тому що не залежить від ряду факторів, які вносять похибку у результати обстеження. Якщо емоційний фактор впливає на функціонування вегетативної та центральної нервових систем, то ступінь синхронізації біоритмів даних систем, обумовлений середнім значенням функції когерентності  $I$ , не змінюється.

**Висновки.** Розроблена методика визначення ступеня адаптації людського організму до гіпоксії при дозованому інформаційному навантаженні з одночас-

ною реєстрацією кардіоінтервалів і сенсомоторних хвиль реалізована апаратно й програмно. Проведено апробацію методики на людях, що перебувають в умовах Приельбрусья на висотах 2100 м й 3900 м. За результатами тестування можна визначати основні властивості нервових процесів, ступінь адаптації нервової системи до інформаційного навантаження й гіпоксії, фізіологічну вартість нейродинамічного навантаження. Дана модель розраховує рівень когерентності структурно-функціональних взаємин центральної і вегетативної нервових систем, що визначає ступінь адаптації організму людини до високогірної гіпоксії за результатами аналізу зорово-моторної діяльності й варіабельності серцевого ритму при зорово-моторному навантаженні.

### Література

1. Березовский В.А., Дейнега В.Т. Физиологические механизмы саногенных эффектов горного климата. - К.: Наукова думка, 1988. - 224 с.
  2. Малкин В.Б. Острая гипоксия: В кн. Экологическая физиология человека. Адаптация человека к экстремальным условиям среды. - М.: Наука, - 1979. - С. 333-405.
  3. Барабашова З.И. Акклиматизация к гипоксии и ее физиологические механизмы. - М., Л.,: изд-во АН СССР, 1960. - 216 с.
  4. Березовский В. А. Напряжение кислорода в тканях животных и человека. - К.: Наукова думка, 1975. - 277 с.
  5. Саламанина О.М. Влияние умеренной степени гипоксии на функциональное состояние человека-оператора // Системный подход к психофизиологической проблеме. - М., 1982. - С. 140-142.
  6. Макаренко Е. В., Вороновская В.Н., Киенко В. М. Состояние некоторых свойств высшей нервной деятельности и кратковременной зрительной памяти у людей в процессе адаптации к горному климату Приэльбрусья // Адаптация человека в различных климато-географических и производственных условиях: Тез. докл. - Новосибирск, 1981. - Т. 2. - С. 128-129.
  7. Анохин П.К. Узловые процессы теории функциональной системы. - М.: Наука, 1980. - 198 с.
  8. Кутерман Э.М., Хаспекова Н.Б. Закономерности взаимосвязанных изменений амплитуды и частоты колебательных составляющих ритма сердца // Физиол. человека. - 1989. - Т. 15, №5 - С. 48-53.
  9. Хаспекова Н.Б. Регуляция вариативности ритма сердца у здоровых и спортсменов с психогенной и органической патологией мозга: Дис...д-ра мед. наук: 14.00.16/М.:ИВНД и НД РАН, 1996. - 217 с.
  10. Ільїн В.М., Кальниш В.В., Курданов Х.А. Структурно-лінгвістичний підхід до оцінки функціонального стану організму людини // Доп. НАНУ - 2001. - №6. - С. 185-189.
  11. Ільїн В.Н., Попадюха Ю.В., Кравченко Ю. В. Программно-апаратний комплекс по ритмокардиографічській оцінці функціонального стану організму людини // Електроніка і зв'язь. - 2001. - Т. 12. - С. 69-71.
  12. Кравченко Ю.В. Методика моделювання функціональних робочих станів при нейродинамічному навантаженні та гіпоксії // Фізіол. журн. - 2003. - Т. 49, №3. - С. 161-168.
  13. Ухтомский А. А. Доминанта. - М., Л.: Наука, 1956. - 273 с.
  14. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. - М.: Мир, 1989.
- Осипов Л. А. Обработка сигналов на цифровых процессорах. Линейно-аппроксимирующий метод. - М.: Горячая линия- Телеком, 2001. - 112 с.