

290 / 3  
1983



თბილისის უნივერსიტეტის ურომეზი  
ТРУДЫ ТБИЛИССКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
PROCEEDINGS OF TBILISI UNIVERSITY

236

ISSN—0376 2637

ციბერნეტიკა • გამოყენებითი მათემატიკა  
КИБЕРНЕТИКА • ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА  
CYBERNETICS • APPLIED MATHEMATICS

4

თბილისი Тбилиси Tbilisi  
1984



161038  
 20-ლიეტიუი  
 20-ლიეტიუი

Посвящается 20-летию проблемной  
 лаборатории физической кибернетики

ეძღვნება ფიზიკური კიბერნეტიკის  
 პრობლემური ლაბორატორიის შექმნის  
 ოცი წლისთავს

Dedicated to the 20th anniversary  
 of the establishment of the Problems  
 Laboratory of Physical Cybernetics

საბჭოთა კავშირის  
 აკადემიის ფიზიკური  
 კიბერნეტიკის პრობლემური  
 ლაბორატორიის  
 20-ლიეტიუი

57



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТБИЛИССКОГО УНИВЕРСИТЕТА

თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა

TBILISI UNIVERSITY PRESS





თბილისის უნივერსიტეტის შრომები  
PROCEEDINGS OF TBILISI UNIVERSITY.  
ტ. 236 V.

---

**კიბერნეტიკა  
გაოყენებითი მათემატიკა  
CYBERNETICS  
APPLIED MATHEMATICS**

თბილისი 1983 Tbilisi

290 /  
1983 / 3

**КИБЕРНЕТИКА  
ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА**

Тбилиси 1983

Редакционная коллегия

Г.Л.Арсенишвили, Н.Н.Вахания, Р.В.ГамкRELIDZE  
Т.Г.Гачечиладзе, Р.А.Кордзадзе, Р.П.Мегрелишвили  
(секретарь), Г.В.Меладзе, В.В.Чавчанидзе (редактор)

სარედაქციო კოლეგია

გ.არსენიშვილი, რ.გამყრელიძე, თ.გაჩეჩილაძე,  
ნ.ვახანია, რ.კორძაძე, რ.მეგრელიშვილი (მდივანი)  
ჰ.მელაძე, ვ.ჭავჭავანიძე (რედაქტორი)

Editorial Board

G.Arsenishvili, V.Chavchanidze (editor), T.Gachechiladze,  
R.Gamkrelidze, R.Kordzadze, R.Megrelishvili (secretary),  
H. Meladze, N.Vakhanian.





Труды Тбилисского ордена Трудового Красного Знамени  
государственного университета

მდიდრისნი მშრომის წიგნი რჩობის მრავლობის სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის მშრომები

17.632

236, 1983

ДИАГНОСТИКА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ В ПРОЦЕССЕ  
ИХ ПРОИЗВОДСТВА

Н.С.Кобуладзе

I. Введение

Проблема повышения качества изделий электронной техники (ИЭТ) является чрезвычайно сложной и многоплановой. Важнейшей составной частью системы повышения качества является подсистема технической диагностики, представляющая собой совокупность методов и средств определения, обеспечения и прогнозирования качества и надежности путём получения, накопления и обработки информации о конструктивных и технологических дефектах ИЭТ, о параметрах технологического процесса (ТП), электрических параметрах изделий и результатах испытательных воздействий на этапах разработки, производства и эксплуатации ИЭТ.

Основную задачу данной работы можно сформулировать следующим образом: на основании имеющейся принципиальной электрической схемы, структурной схемы ТП изготовления интегральной микросхемы (ИС) ИСОЛМОИ и данных контроль-

ქ. მდინარის სს. სს. სს.  
სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების ფაკულტეტი

ных операций ТП произвести разработку ряда вопросов диагностики ИС в процессе производства.

## 2. Модели технологических операций изготовления ИС типа IOOJMOI

Информация, используемая в данной работе, была получена в процессе производства ИС как результат контрольных операций. Поэтому, прежде чем строить на основе этого материала модели и какие-либо выводы, нужно произвести первичную оценку исходных данных с точки зрения степени влияния отдельных параметров на целевую функцию. Такую оценку информативности (значимости) параметров даёт дисперсионный анализ результатов контроля ТП.

Для удобства анализа полученные экспериментальные данные сводятся, обычно, в таблицу. Так, для однофакторного дисперсионного анализа таблица будет иметь следующий вид (см. табл.). Здесь  $\bar{X}$  - оценка среднего арифметического значения по всем  $N$  наблюдениям.

Дисперсия  $S_{\#}^2$ , связанная с действием исследуемого фактора, вычисляется по формуле

$$S_{\#}^2 = \frac{1}{\ell-1} \sum_{i=1}^{\ell} m_i \left( \frac{\sum_{n=1}^{m_i} X_{in}}{m_i} - \frac{\sum_{n=1}^{m_i} \sum_{i=1}^{\ell} X_{in}}{\ell m_i} \right)^2; \quad (I)$$

а остаточная дисперсия  $S_R^2$ , согласно /I/, равна:

$$S_R^2 = \frac{1}{N-\ell} \sum_{i=1}^{\ell} \sum_{n=1}^{m_i} \left( X_{in} - \frac{\sum_{n=1}^{m_i} X_{in}}{m_i} \right)^2; \quad (2)$$



Смысл обозначений ясен из таблицы.

Сравнение  $S_A^2$  и  $S_R^2$  производится с помощью  $F$ -критерия Фишера:

$$F_{расч.} = \frac{S_A^2}{S_R^2} \quad (3)$$

Если  $F_{расч.} \geq F_{табл.}$  (для данных  $q$  и  $u_1 = \ell - 1$ ,  $u_2 = N - \ell$  степеней свободы), можно сделать вывод, что изучаемый технологический фактор оказывает влияние на качество ИС.

Дисперсионный анализ дает возможность ответить на вопрос, влияет или не влияет изучаемый фактор на параметры изделия, но он не позволяет определить ни степень этого влияния, ни его характер. Для решения последних вопросов можно использовать корреляционный и регрессионный анализ.

При изучении сложных ТП трудно или невозможно расшифровать механизм тех или иных явлений, происходящих при изготовлении изделия.

Часто бывает достаточно ограничиться линейной аппроксимацией функции отклика / 1 /

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad (4)$$

Для оценки коэффициентов регрессии  $b_i$  можно использовать метод наименьших квадратов (МНК) / 2 /.

Регрессионный анализ применим лишь при условии, если независимую переменную  $X$  можно считать неслучайной величиной.

Силу связи между  $Y$  и  $X$  можно характеризовать



корреляционным отношением

$$\theta = \sqrt{1 - \eta}, \quad (5)$$

где

$$\eta = \frac{(N-t) S_R^2}{(N-1) S_y^2}, \quad (6)$$

$t$  - число коэффициентов в уравнении регрессии, а  $S_y^2$  - общая дисперсия, определяемая формулой:

$$S_y^2 = S_x^2 + S_R^2. \quad (7)$$

Чем больше  $\theta$ , тем сильнее связь. При  $\theta \approx 1$  можно говорить о функциональной зависимости между параметрами.

При анализе ТП производства ИС в качестве рассматриваемого признака (оптимизируемого параметра) брался процент выхода годных ИС в конце технологического процесса. Дисперсионному анализу подвергался каждый фактор в отдельности по схеме однофакторного дисперсионного анализа, для чего в каждом отдельном случае производилось группирование значений рассматриваемого признака по сериям и проверялась гипотеза о равенстве центров распределения значений в каждой серии.

В результате обработки экспериментальных данных выяснилось, что фактором, являющимся информативным о уровне значимости  $q = 0,025$ , является сопротивление эмиттерного слоя  $R_3$  транзистора. Поэтому значения  $R_3$  и связанные с ним значения процента выхода годных ИС использова-



лись для построения модели ТП.

В качестве модели технологического процесса было выбрано уравнение вида:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2,$$

где  $y$  - процент выхода годных ИС,  $X_1 = R_3$ ,  $X_2 = R_3^2$ .

В результате вычислений были получены следующие значения коэффициентов модели:

$$b_0 = 381,65; \quad b_1 = -88,083 \text{ Ом}^{-1}; \quad b_2 = 5,339 \text{ Ом}^{-2}.$$

Данную модель можно считать адекватной с уровнем значимости  $q = 0,05$ .

Коэффициенты модели значимо отличаются от нуля с ошибкой 2%. Величина  $\theta$ , оценивающая силу связи равна 0,83.

При анализе операции создания области эмиттера в качестве параметра оптимизации был выбран статический коэффициент усиления по току  $\beta_{ст}$  транзистора. В этом случае факторами, оказывающими влияние на рассматриваемый параметр оптимизации, являются поверхностное сопротивление  $R_s$  и пробивное напряжение  $p-n$  перехода между базой и эмиттером  $U_{пр}$  (с уровнем значимости  $q = 0,025$ ).

Значения этих параметров и связанные с ними значения  $\beta_{ст}$  были использованы для построения модели операции создания области эмиттера.

После расчетов была получена модель вида:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2,$$

где



$$X_1 = R_S; \quad X_2 = U_{np}; \quad b_0 = 90,36; \quad b_1 = -2,44 \left( \frac{Q_4}{\sigma} \right)^{-1},$$
$$b_2 = 2,39 B^{-1},$$

а  $\gamma$  - статический коэффициент усиления по току  $\beta_{cm}$ .  
Данная модель является адекватной с уровнем значимости  $q = 0,05$ , а коэффициенты  $b_0$ ,  $b_1$  и  $b_2$  значимо отличаются от нуля с ошибкой 2%.

### 3. Тестовый диагноз ИС типа 100ДМО1

Задачи диагностики возникли как логическое продолжение и развитие задач контроля. Цель диагностики можно сформулировать таким образом: определить, в каком из заранее установленного множества различных состояний находится исследуемый объект.

Замена реальных систем соответствующими моделями позволяет широко использовать формальный аппарат современной математики. Модели систем позволяют найти диагностические тесты и оптимальные диагностические программы.

Располагая множеством проверок  $\Pi = \{ \rho_i \}$ , которые являются результатом контроля ответной реакции элементов на определенную совокупность допустимых воздействий, можно для заданной функциональной модели построить таблицу состояний, которая содержит все исходные данные, необходимые для построения диагностических тестов. Для большого числа возможных неисправностей полная проверка схемы становится невозможной.

В нашем случае объектом диагностики являлась логическая ИС типа 100ДМО1. В этой ИС нет возможности контроллиро-



вать реакцию всей схемы на допустимые воздействия.

Вывод, который можно сделать сразу из анализа реакции схемы на возможные допустимые воздействия, - вывод о работоспособности схемы и (или) о наличии в ней дефектов.

Но задача стоит гораздо сложнее: на основе анализа реакций схемы на допустимые воздействия произвести дешифровку результатов с целью определения подозреваемых дефектов схемы, чтобы найти операции ТП, отклонения в проведении которых могут вызвать дефекты.

Для решения данной задачи использование функциональной модели невозможно, и поэтому на основе анализа принципиальной электрической схемы была построена логическая модель I/4 схемы в предположении, что в физических узлах схемы осуществляются те или иные логические операции над сигналами (ИЛИ и И). Т.к. полное число всевозможных комбинаций дефектов схемы очень велико и построенная на этой основе таблица состояний потеряет наглядность, то приходится сознательно ограничивать число возможных состояний схемы. Один из возможных путей такого ограничения - группировка однородных дефектов схемы и приведение им в соответствие операций ТП, при которых возможно возникновение этих дефектов.

В результате анализа экспериментальных данных было установлено, что большинство дефектов схемы, которые могут быть зафиксированы контролем реакций схемы на допустимые воздействия, связаны с операциями фотогравировки. Но связь дефектов схемы с этапами ТП неоднозначная. Кроме того, причинами возникновения дефектов могут быть и не-

технологические воздействия / 3 /. Поэтому рекомендуется провести фотолитографию на контрольной окисленной пластине, отделив тем самым брак фотолитографии от брака, вызванного другими причинами.

В данной микросхеме существуют неразличимые отказы, которые делают невозможной точную расшифровку результатов контроля реакций микросхемы и определения физических дефектов.

Для устранения неразличимых отказов следует несколько изменить структуру объекта диагностики, введя дополнительную возможность контроля реакций отдельных функциональных элементов, что связано с изменением технологического процесса изготовления микросхем.

Другим путем для устранения неразличимых отказов является использование, вместо двухуровневого спектра сигналов, спектра из пяти значений сигналов: от низкого до высокого уровней (переход на 5-значную логику). Но этот путь связан с разработкой новой модели объекта диагностики. При этом число возможных сочетаний выходных сигналов возрастет от  $2^8 = 256$  до  $5^8 = 390625$ .

#### 4. Заключение

В результате однофакторного дисперсионного анализа выявлены факторы, влияющие на процент выхода годных ИС в конце ТП и на статический коэффициент передачи тока транзистора при операции создания области эмиттера (с уровнем значимости  $q = 0,025$ ).

В результате регрессионного анализа построены модели



ТП производства ИС и операции создания области эмиттера

Модели адекватны с уровнем значимости 0,05, а коэффициенты регрессии значимо отличаются от нуля с ошибкой 2%.

На основе анализа принципиальной электрической схемы объекта диагностики построена логическая модель 1/4 схемы (одного логического элемента).

На основе логической модели и анализа ТП изготовления микросхем построены диагностические тесты для обнаружения физических дефектов элементов объекта диагностики.

Указываются возможные пути устранения неразличимых отказов.

Поступила 4.У.1981

Кафедра  
радиотехники

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н.Черняев, Технология производства интегральных микросхем, М., "Энергия", 1977.
2. Ю.П.Адлер, Е.В.Маркова, Ю.В.Грановский, Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий, М., "Наука", 1976.
3. Ф.П.Пресс, Фотолитография в производстве полупроводниковых приборов, М., "Энергия", 1968.





| Уровни фактора | Результаты наблюдений |          |     |            | Суммы                                  | Средние арифм. значения |
|----------------|-----------------------|----------|-----|------------|--|-------------------------|
|                | 1                     | 2        | ... | $m_i$      |  |                         |
| 1              | $X_{11}$              | $X_{12}$ | ... | $X_{1m_1}$ | $\sum_{n=1}^{m_1} X_{1n}$              | $\bar{X}_1$             |
| 2              | $X_{21}$              | $X_{22}$ | ... | $X_{2m_2}$ | $\sum_{n=1}^{m_2} X_{2n}$              | $\bar{X}_2$             |
| ⋮              | ...                   | ...      | ... | ...        | ...                                    | ...                     |
| $l$            | $X_{l1}$              | $X_{l2}$ | ... | $X_{lm_l}$ | $\sum_{n=1}^{m_l} X_{ln}$              | $\bar{X}_l$             |
| -              | -                     | -        | -   | -          | $\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^{m_i} X_{ij}$ | $\bar{X}$               |



ნ. კობულაძე

ინტეგრირებული მიკროსტრუქტურების დიაგნოსტიკა  
წარმოების პროცესში

რეზიუმე

დისპერსიული და რეტრესიული ანალიზის საფუძველზე მიღებულია 100 J M 01 მიკროსტრუქტურების წარმოების ფუნქციონირების პროცესისა და ვიზუალური ანის შექმნის სპერაციის მათემატიკური მოდელები.

შეფასებულია მიღებული მოდელების ადეკვატურობა.

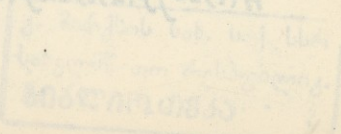
პრინციპული ელექტრული სქემის ანალიზის საფუძველზე შექმნილია საკვლევი ობიექტის 1/4-ის ლოგიკური მოდელი. ამ ლოგიკური მოდელისა და მიკროსტრუქტურების წარმოების ფუნქციონირების პროცესის ანალიზის საფუძველზე დიანოსტიკური ტესტების გამოკვლევის მიზნით შექმნილია დიაგნოსტიკური ტესტები.

N. Kobuladze

DIAGNOSIS OF INTEGRATED CIRCUITS IN THE  
PRODUCTION PROCESS

Summary

Mathematical models of the operation of forming an emitter region and of the technological process of producing 100 J M 01 microcircuits have been derived on the basis of variance and regression analysis. The adequacy of the models is estimated. A logical model of 1/4 of the research object has been built. Diagnostic tests have been constructed on the basis of an analysis of the proposed logical model and of the technological process of microcircuit production. The tests are designed for the detection of physical defects.





Труды Тбилисского ордена Трудового Красного Знамени  
государственного университета

თბილისის შრომის წითელი რბიშის ორდენის სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის შრომები

236, 1983

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ И  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ КРИТЕРИИ ЭВОЛЮЦИИ

Н. В. Бокучава

Целью предлагаемой работы является установление связи между информационно-статистическим и стохастическим методами моделирования неравновесных процессов и определение информационных критериев эволюции динамической системы.

Обозначим через  $f(x, t) dx$  вероятность нахождения динамической системы в момент времени  $t$  в  $dx$  окрестности точки  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  пространства состояний  $X$  и займемся отысканием таких плотностей  $f(x, t)$ , которые, максимизируя соответствующую локально-временную информационную энтропию, будут являться и решениями стохастического уравнения Фоккера-Планка [1].

Задача отыскания плотностей  $f(x, t)$ , максимизирующих локально-временную информационную энтропию

$$H(t) = - \int f(x, t) \ln f(x, t) dx \quad (1)$$

при дополнительных ограничениях

$$\int f(x,t) T_i(x,t) dx = \langle T_i(x,t) \rangle \equiv \lambda_i(t), \quad (2)$$

$$\int f(x,t) dx = 1, \quad (3)$$

17639  
 где  $T_i(x,t)$ ,  $i = \overline{1, m}$ , - экстенсивные величины, характеризующие исследуемую систему, решается при помощи метода множителей Лагранжа  $\lambda_0, \lambda_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ , из следующего дифференциального уравнения

$$\frac{\partial H(t)}{\partial f(x,t)} - \frac{\partial}{\partial f(x,t)} \left[ (\lambda_0 - 1) + \sum_{i=1}^m \lambda_i f(x,t) T_i(x,t) \right] = 0. \quad (4)$$

Легко показать, что из (4)

$$f(x,t) = \exp \left\{ \lambda_0(t) - \sum_{i=1}^m \lambda_i(t) T_i(x,t) \right\}, \quad (5)$$

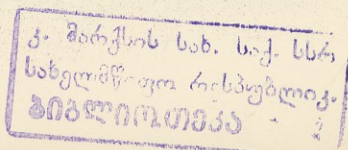
где

$$\lambda_0(t) = \ln Z(\lambda_1, \dots, \lambda_m),$$

$$Z(\lambda_1, \dots, \lambda_m) = \int \exp \left\{ - \sum_{i=1}^m \lambda_i(t) T_i(x,t) \right\} dx,$$

для которых максимум локально-временной информационной энтропии

$$H_{\max}(t) = \lambda_0(t) + \sum_{i=1}^m \lambda_i(t) T_i(t), \quad (6)$$







Локально-временные изменения плотности вероятности и информационной энтропии соответственно равны

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,t)}{\partial t} &= -f(x,t) \frac{\partial}{\partial t} \left[ \lambda_0(t) + \sum_{i=1}^m \lambda_i(t) T_i(x,t) \right] = \\ &= -f(x,t) \left[ \frac{1}{Z(\lambda_1, \dots, \lambda_m)} \frac{\partial}{\partial t} Z(\lambda_1, \dots, \lambda_m) + \right. \\ &+ \left. \sum_{i=1}^m \frac{\partial \lambda_i(t)}{\partial t} T_i(x,t) + \lambda_i(t) \frac{\partial T_i(x,t)}{\partial t} \right] = \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &= f(x,t) \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{\partial \lambda_i(t)}{\partial t} \left[ \langle T_i(x,t) \rangle - T_i(x,t) \right] + \right. \\ &+ \left. \lambda_i(t) \left[ \left\langle \frac{\partial T_i(x,t)}{\partial t} \right\rangle - \frac{\partial T_i(x,t)}{\partial t} \right] \right\}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_{max}(t)}{\partial t} &= \frac{\partial \lambda_0(t)}{\partial t} + \sum_{i=1}^m \frac{\partial \lambda_i(t)}{\partial t} \langle T_i(x,t) \rangle + \\ &+ \sum_{i=1}^m \lambda_i(t) \frac{\partial \langle T_i(x,t) \rangle}{\partial t} = \\ &= \sum_{i=1}^m \lambda_i(t) \left[ \frac{\partial \langle T_i(x,t) \rangle}{\partial t} - \left\langle \frac{\partial T_i(x,t)}{\partial t} \right\rangle \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Поскольку локально-временные распределения (5) описывают лишь обратимые, хотя и неравновесные, процессы и не являются решениями стохастического уравнения, то, естественно, они не могут описывать процессы переноса и, следовательно, необратимые процессы. Выясним, при каких усло-

виях распределения (5) будут решениями стохастического уравнения.

Известно, что при стохастическом моделировании для марковских процессов плотность вероятности (вероятность) состояния системы удовлетворяет кинетическому уравнению Фоккера-Планка [1/

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x,t)}{\partial t} &= \sum_{\nu=1}^n \frac{\partial}{\partial x_{\nu}} [K_{\nu}(x) f(x,t)] + \frac{1}{2} \sum_{\nu,j} Q_{\nu j} \frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial x_{\nu} \partial x_j} = \\ &= - \nabla_x [K(x) f(x,t)] + \frac{1}{2} \sum_{\nu,j} \frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial x_{\nu} \partial x_j}, \end{aligned} \quad (9)$$

а координата пространства состояния системы удовлетворяет уравнению Ланжевена

$$\frac{dx_{\nu}}{dt} = K_{\nu}(x) + F_{\nu}(t), \quad (10)$$

где  $K_{\nu}(x)$  - внешние силы, действующие на систему,  $F_{\nu}(t)$  - случайные силы, вызывающие флуктуации, а  $Q_{\nu j}$  - коэффициенты диффузии, удовлетворяющие условию

$$\begin{aligned} \langle F_{\nu}(t) F_j(t') \rangle &= Q_{\nu j} \delta(t-t') = \\ &= \delta_{\nu j} \delta(t-t') Q. \end{aligned} \quad (11)$$

Налагая на  $f(x,t)$  "естественные" граничные условия для стационарной функции плотности распределения, из





уравнения (9) получаем /1/:

$$f(x) = Z^{-1} \exp \left\{ -\frac{2}{Q} V(x) \right\}, \quad (12)$$

где нормировочный множитель  $Z$  определяется из соответствующего условия нормировки, а потенциал  $V(x)$  — из условия

$$K_{\eta}(x) = -\frac{\partial}{\partial x_{\eta}} V(x).$$

Сравнивая (5) с (12), получаем следующие условия стационарности для локально-временных распределений:

1.  $T_i(x, t) = T_i(x)$  \*
2.  $V(x) = \frac{Q}{2} \sum_{i=1}^m \lambda_i T_i(x),$  (13)
3.  $K_{\eta}(x) = -\frac{Q}{2} \sum_{i=1}^m \lambda_i \frac{\partial T_i(x)}{\partial x_{\eta}}.$

Используя теперь информационную меру Кульбака /2/, получим информационные критерии эволюции системы и покажем, что при весьма общих ограничениях произвольное решение кинетического уравнения Фоккера-Планка, независимо от начальных условий, асимптотически стремится к однозначно определенному стационарному решению (12) или (5) при условиях (13).

---

\*  $T_i(x, t) = T_i(x)$  соответствует независимости экстенсивных величин от времени.

Обозначим через  $f_0(x)$  стационарное решение, а через  $f(x,t)$  произвольное решение кинетического уравнения (9) и рассмотрим различающую информационную меру Кульбака [2]

$$J(t) = J(f_0 : f) = \int f_0(x) \ln \frac{f_0(x)}{f(x,t)} dx.$$

Дифференцируя это выражение по времени и принимая во внимание, что  $\frac{df_0(x)}{dt} = 0$  и  $\int \frac{df_0(x)}{dt} dx = 0$  (следующие из условия стационарности и нормировки  $f_0(x)$ ), после несложных вычислений находим, что

$$\frac{dJ(t)}{dt} = - \int \frac{f_0(x)}{f(x,t)} \frac{df(x,t)}{dt} dx. \quad (14)$$

Из соотношения (14) видно, что для вычисления скорости изменения различающей информации необходимо знать скорость изменения плотности вероятности при приближении системы к стационарному состоянию.

Предполагая, исходя из общих соображений, что

$$\frac{df(x,t)}{dt} = \varphi[f(x,t)], \quad (15)$$

где  $\varphi[f(x,t)]$  — бесконечно дифференцируемая функция в окрестности точки  $f_0(x)$ , разложим (15) в ряд





Тейлора:

$$\begin{aligned} \frac{df(x,t)}{dt} = & \varphi[f_0(x)] + \frac{\varphi'[f_0(x)]}{1!} [f(x,t) - f_0(x)] + \\ & + \frac{\varphi''[f_0(x)]}{2!} [f(x,t) - f_0(x)]^2 + \dots \end{aligned} \quad (16)$$

Ограничиваясь в разложении (16) линейным членом вблизи стационарного состояния и квадратным членом вдали от неё, после введения обозначений

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 &= -\varphi'[f_0(x)] \\ \beta_2 &= \frac{\varphi''[f_0(x)]}{2!} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

при учете, что  $\varphi[f_0(x)] = 0$  (т.к.  $\frac{df_0(x)}{dt} = 0$ )

получим для скорости изменения плотности вероятности следующие дифференциальные уравнения:

$$\frac{df(x,t)}{dt} = \beta_1 [f_0(x) - f(x,t)] \quad (18)$$

для линейной области, и

$$\begin{aligned} \frac{df(x,t)}{dt} = & \beta_1 [f_0(x) - f(x,t)] + \\ & + \beta_2 [f_0(x) - f(x,t)]^2 \end{aligned} \quad (19)$$

для нелинейной области разложения (16), решениями которых,

с граничным условием  $f(x, t \rightarrow \infty) = f_0(x)$  соответственно, являются /3/

$$f(x, t) = f_0(x) [1 - B \exp(-\beta_1 t)], \quad (20)$$

где  $B$  - произвольная положительная константа, и

$$f(x, t) = f_0(x) + \frac{\beta_1 \exp(-\beta_1 t)}{\beta_2 [c + \exp(-\beta_1 t)]}, \quad (21)$$

где  $c = \beta_1 f_0(x) + \beta_2 f_0'(x)$ .

Воспользуясь теперь (18) и (20) с учетом  $\int f_0(x) dx = 1$  и  $B \exp(-\beta_1 t) \leq 1$ , из (14) для скорости изменения различающей информации получим

$$\begin{aligned} \frac{dJ(t)}{dt} &= - \int \beta_1 [1 - B \exp(-\beta_1 t)]^{-1} [f_0(x) - f(x, t)] dx = \\ &= \beta_1 \int f_0(x) B \exp(-\beta_1 t) [1 - B \exp(-\beta_1 t)]^{-1} dx \leq \\ &\leq \beta_1 \end{aligned} \quad (22)$$

Так как скорость изменения плотности вероятности при переходе системы в стационарное состояние должна убывать, то из разложения (16) следует  $\varphi'[f_0(x)] < 0$  и  $\varphi''[f_0(x)] < 0$ , а из (17) и (21)  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  и



$$\frac{dJ(t)}{dt} \leq 0.$$

(23)

Исходя из неравенства (23), заключаем, что функционал  $J(t)$  при условии (18) с течением времени убывает до тех пор, пока  $\frac{dJ(t)}{dt} = 0$ , т.е. пока произвольное решение кинетического уравнения (9)  $f(x, t)$  не совпадет со стационарным решением  $f_0(x)$  того же уравнения.

Что же касается нелинейных областей разложения (16), ограничивающихся условием (19), будем иметь следующие соотношения:

$$\frac{df(x, t)}{dt} \geq 0, \quad \text{если } \left| \beta_2 [f_0(x) - f(x, t)] \right| \leq \beta_4, \quad (24)$$

$$\frac{df(x, t)}{dt} \leq 0, \quad \text{если } \left| \beta_2 [f_0(x) - f(x, t)] \right| \geq \beta_4,$$

для которых из (14) следует

$$\frac{dJ(t)}{dt} \geq 0. \quad (25)$$

В силу сходства (23) и (25) с критериями эволюции Глансдорфа-Пригожина /1/ будем именовать их информационными критериями эволюции системы во времени.

Поступила 23.VI.1981

Проблемная лаборатория  
физической кибернетики



ЛИТЕРАТУРА

1. В.Эбелинг, Образование структур при необратимых процессах, М., "Мир", 1979.
2. С.Кульбак, Теория информации и статистика, М., "Мир", 1967.
3. Э.Камке, Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям, М., ИЛ, 1951.

ბ.ბოკუჩავა

არანონბალანსური პროცესების მართვითი და  
 ევოლუციის ინფორმაციული კრიტერიუმები

რეზიუმე

ნათარბში დადგენილია კავშირი არანონბალანსური პროცესების ინფორმაციულ და სტოხასტიურ მართვითების მეთოდებს შორის. მართვითი სისტემის ევოლუციის ინფორმაციული კრიტერიუმები.

N. Bokuchava

MODELLING OF NONEQUILIBRIUM PROCESSES AND INFORMATIONAL CRITERIA OF EVOLUTION.

Summary

The connection between statistic-informational and stochastic methods of modelling is stated. Informational criteria of the evolution of a dynamic system are developed.



236, 1983

ОЦЕНКА СКОРОСТИ УСТАНОВЛЕНИЯ СТАЦИОНАРНОГО РАСПРЕ-  
ДЕЛЕНИЯ В ОДНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДВУМЕРНОЙ ИГРЫ ГУРА

Г.Н.Церцвадзе

Простейшая игра двух коллективов многих одинаковых автоматов (двумерная игра Гура /1/) состоит в следующем. Пусть в первом коллективе имеется  $N_1$  автоматов, а во втором -  $N_2$  автоматов, каждый с двумя действиями и емкостью памяти  $n$ , обладающие оптимальным поведением в простейших ситуациях - стационарных случайных средах. Как и любая игра автоматов /2/, эта игра состоит из многократно повторяющихся партий, в каждой из которых автоматы-участники игры штрафуются (поощряются) независимо друг от друга с вероятностью, зависящей от доли  $\frac{m_i}{N_i} = x_i$ ,  $i=1,2$ , общего числа автоматов, совершающих первое действие как в первом, так и во втором коллективе. Автоматы в соответствии с полученным штрафом или поощрением меняют свои состояния (действия). В указанных условиях поведение двух коллективов автоматов описывается однородной цепью Маркова с  $(2n)^{N_1+N_2}$  состояниями. За-



дача состоит в получении асимптотической оценки скорости установления стационарного распределения при неограниченно возрастающем числе участников игры в зависимости от роста емкости памяти.

В настоящей работе исследуется следующая модификация этой задачи. Именно, предполагается, что в каждой партии игры штрафуются или поощряются только один случайно выбранный автомат. При этом, в отличие от /1/, автоматы по-разному штрафуются в состояниях, соответствующих разным действиям. Указанное предположение значительно усложняет задачу в ее первоначальной постановке и сводит простейшую двумерную игру Гурэ к несимметричной игре указанного типа.

Будем предполагать, что в игре участвуют асимптотически оптимальные автоматы  $V_{2n,2}$  с двумя действиями и емкостью памяти  $n$ , тактика поведения которых в стационарных случайных средах подробно описана в /3/. Для этих автоматов процесс смены действий в стационарной случайной среде описывается однородной цепью Маркова с двумя состояниями, если рассматривать лишь моменты времени  $t$ , кратные емкости памяти  $n$ . При этом смена действия  $f_k, k=1,2$ , происходит с вероятностью  $P_k = \mathcal{P}_k^n$  (указанное действие сохраняется соответственно с вероятностью  $q_k = 1 - \mathcal{P}_k^n$ ).

Объединим оба коллектива автоматов  $V_{2n,2}$  в один, численностью  $N_1 + N_2 = N$ . Вероятность случайного выбора из этого ансамбля автомата, принадлежащего пер-





вому коллективу, равна  $N_1/N$ , а автомата, принадлежащего второму коллективу, -  $N_2/N$ . Предположим теперь, что в состояниях действия  $f_j$ ,  $j=1,2$ , автоматы  $i$ -го коллектива,  $i=1,2$ , штрафуются, либо поощряются с вероятностями соответственно  $\mathcal{P}_{ij}\left(\frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2}\right)$ ,

$$\tau_{ij}\left(\frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2}\right) = 1 - \mathcal{P}_{ij}\left(\frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2}\right).$$

Функция штрафа  $\mathcal{P}(x)$ ,  $x \in [0,1]$ , имеет минимум

в точке  $(x_{10} = \frac{m_{10}}{N_1}, x_{20} = \frac{m_{20}}{N_2})$ . При этом

$$0 < \mathcal{P}_{ij}\left(\frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2}\right) < 1 \quad \text{для всех значений } i, j, m_1, m_2.$$

В указанных предположениях переход из состояния  $(m_1, m_2)$ , в котором  $m_1$  автоматов первого коллектива и  $m_2$  автоматов второго коллектива совершают первое действие, в состояние  $(K_1, K_2)$ , в котором первое действие совершают  $K_1$  автоматов первого коллектива и  $K_2$  автоматов второго коллектива, происходит с вероятностью

$$P_{(m_1, m_2)}^{(K_1, K_2)} = \frac{N_1}{N} \frac{m_2}{N_2} \mathcal{P}_{11}^{m_1}\left(\frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2}\right) \delta[K_1 - (m_1 - 1)] \delta[K_2 - m_2]$$



$$+ \frac{N_1}{N} \frac{N_1 - m_1}{N_1} \mathcal{P}_{12}^n \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) \delta [K_1 - (m_1 + 1)] \delta (K_2 - m_2)$$

$$+ \frac{N_2}{N} \frac{m_2}{N_2} \mathcal{P}_{21}^n \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) \delta [K_2 - (m_2 - 1)] \delta (K_1 - m_1) +$$

(I)

$$+ \frac{N_2}{N} \frac{N_2 - m_2}{N_2} \mathcal{P}_{22}^n \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) \delta [K_2 - (m_2 + 1)] \delta (K_1 - m_1) +$$

$$+ \left\{ \frac{N_1}{N} \frac{m_1}{N_1} \left[ 1 - \mathcal{P}_{11}^n \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) \right] + \frac{N_1}{N} \frac{N_1 - m_1}{N_1} \left[ 1 - \mathcal{P}_{12}^n \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) \right] \right\} \prod_{i=1}^2 \delta (K_i - m_i) +$$

$$+ \left\{ \frac{N_2}{N} \frac{m_2}{N_2} \left[ 1 - \mathcal{P}_{21}^n \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) \right] + \frac{N_2}{N} \frac{N_2 - m_2}{N_2} \left[ 1 - \mathcal{P}_{22}^n \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) \right] \right\} \prod_{i=1}^2 \delta (K_i - m_i),$$

где

$$\delta(\alpha - \alpha') = \begin{cases} 1 & \text{при } \alpha = \alpha', \\ 0 & \text{при } \alpha \neq \alpha'. \end{cases}$$

Легко заметить, что вышеописанная модификация двумерной игры Гурэ порождает однородную цепь Маркова с матрицей переходных вероятностей

$$P = \left\| \begin{matrix} P(K_1, K_2) \\ P(m_1, m_2) \end{matrix} \right\|, \quad \begin{matrix} (m_1, m_2) = 0, 1, \dots, N, \\ (K_1, K_2) = 0, 1, \dots, N, \end{matrix} \quad (2)$$

где  $P \begin{matrix} (K_1, K_2) \\ (m_1, m_2) \end{matrix}$  определяется из (I).

Ниже решается задача получения оценок собственных значений матрицы переходных вероятностей (2).



Обозначим через  $\lambda_s^{(N)}$  ( $s=0,1,\dots,N$ ) собственные

значения матрицы (2) и воспользуемся известной связью между следом матрицы и его собственными значениями:

$$S_0 P = \sum_{s=0}^N \lambda_s^{(N)}, \quad (3)$$

где след матрицы  $P$  по определению равен

$$S_P P = \sum_{(m_1, m_2)=0}^N P^{(m_1, m_2)}. \quad (4)$$

Так как в интересующем нас случае рассматриваемая игра является эргодической, то всегда существует единственное собственное значение матрицы (2), равное единице. Поэтому, принимая для определенности  $\lambda_0^{(N)} = 1$  и учитывая (1), (3), (4), получим

$$1 + \sum_{s=1}^N \lambda_s^{(N)} = \sum_{(m_1, m_2)=0}^N \left\{ 1 - \left[ \frac{m_1}{N} \mathcal{P}_{11}^n \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) + \frac{N_1 - m_1}{N} \mathcal{P}_{12}^n \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{m_2}{N} \mathcal{P}_{21}^n \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) + \frac{N_2 - m_2}{N} \mathcal{P}_{22}^n \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) \right] \right\}. \quad (5)$$

Введем

$$\mathcal{P}_{\max} = \max_{m_1, m_2} \left[ \mathcal{P}_{11} \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right), \mathcal{P}_{12} \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right), \mathcal{P}_{21} \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right), \mathcal{P}_{22} \left( \frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2} \right) \right] \quad (6)$$

Тогда выражение (5) примет следующий вид:

$$1 + \sum_{s=1}^N \lambda_s^{(N)} \geq (N+1) (1 - \mathcal{P}_{\text{макс}}^n). \quad (7)$$

Представим собственные числа  $\lambda_s^{(N)}$  в следующем виде:

$$\lambda_s^{(N)} = 1 - \eta_s^{(N)}, \quad (s=1, 2, \dots, N), \quad (8)$$

где  $\operatorname{Re} \eta_s^{(N)} > 0$ . По-видимому, собственные значения матрицы (2) являются действительными. Однако приводимое ниже доказательство основного утверждения (13) не опирается на этот факт.

В силу условия  $|\lambda_s^{(N)}| < 1$  имеем

$$|\eta_s^{(N)}|^2 < 2 \operatorname{Re} \eta_s^{(N)} \quad (s=1, 2, \dots, N). \quad (9)$$

Выражения (7), (8) позволяют получить оценку

$$\sum_{s=1}^N \eta_s^{(N)} \leq \xi_n^{(N)}, \quad (10)$$

где

$$\xi_n^{(N)} = (N+1) \mathcal{P}_{\text{макс}}^n. \quad (11)$$





Из последних оценок следует, что

$$|\eta_s^{(N)}|^2 < 2\xi_N^{(N)} \quad (s=1,2,\dots,N). \quad (I2)$$

Полученная оценка (I2) позволяет исследовать, как и в /3/, асимптотическое поведение собственных значений  $\lambda_s^{(N)}$  ( $s=1,2,\dots,N$ ) при неограниченно возрастающем числе  $N$  автоматов двух коллективов в зависимости от роста емкости памяти  $n$ .

Если емкость памяти  $n$  имеет тот же порядок, что и число  $N$  участников игры, то легко доказать следующее утверждение:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \max_s |1 - \lambda_s^{(N)}| = 0 \quad (s=1,2,\dots,N). \quad (I3)$$

Действительно, если  $N \sim n$ , то  $(N+1)P_{\max}^n \rightarrow 0$  при  $N \rightarrow \infty$  и поэтому  $\xi_N^{(N)} \rightarrow 0$ , откуда доказательство (I3) представляется очевидным.

Доказанное утверждение означает, что время установления стационарного распределения вероятностей  $W\left(\frac{m_1}{N_1}, \frac{m_2}{N_2}\right)$  в игре двух коллективов автоматов неограниченно растет с ростом числа автоматов.

В заключение следует заметить, что аналогичный результат может быть сформулирован и для двумерной игры Гурта оптимальных автоматов иных конструкций, если восполь-

зоваться гипотезой "медленности" /4/. На основе этой гипотезы двумерная игра Гура любым оптимальных автоматов может быть сведена к игре автоматов-триггеров и описана цепью Маркова. Вероятность смены действия каждого "эквивалентного автомата-триггера" для различных конструкций автоматов может быть вычислена по формулам, приведенным в /5/.

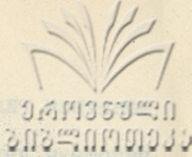
Поступила 16.УП.1981

Проблемная лаборатория  
физической кибернетики

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.Шмуклер, Одномерная и двумерная игра Гура. Автоматика и телемеханика, 10, 1970.
2. В.А.Боровиков, Приближенное решение игры Гура, Проблемы кибернетики, 20, 1968.
3. Г.Н.Церцвадзе, О скорости установления финального распределения в одной игре многих одинаковых автоматов, Автоматика и телемеханика, 4, 1970.
4. В.А.Волконский, Асимптотические свойства поведения простейших автоматов в игре, Проблемы передачи информации, т.1, вып.2, 1965.
5. Г.Н.Церцвадзе, Об асимптотических свойствах целесообразных автоматов в стационарной случайной среде, Автоматика и телемеханика, 9, 1968.





ც. ცერცვაძე

სახეობის  $n$  ავტომატების მდგომარეობის სტაციონარული განაწილების კვლევა

რეზიუმე

მნიშვნელოვანი საკითხი იქნა აღიარებული მდგომარეობის სტაციონარული განაწილების კვლევის საკითხი. აღიარებული მდგომარეობის სტაციონარული განაწილების კვლევის საკითხი აღიარებული მდგომარეობის სტაციონარული განაწილების კვლევის საკითხი.

G. Tsertsvadze

THE RATE OF ESTABLISHING STATIONARY DISTRIBUTION IN A CERTAIN MODIFICATION OF GUHR'S TWO-DIMENSIONAL GAME

Summary

Eigenvalue estimations in a modification of Guhr's two-dimensional game of identical automata have been obtained.

The asymptotic behaviour of the estimations at an infinite increase of the number of automata and their memory capacity has been studied

Труды Тбилисского ордена Трудового Красного Знамени  
государственного университета

თბილისის შრომის ნიშნის ორდენის მტკიცებასა და სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის შრომები

236, 1983

О СУЩЕСТВОВАНИИ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОДНОЙ ЗАДАЧИ  
НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ ПЛАСТИНОК

Д. Г. Перадзе

Пусть  $\Omega$  — срединная поверхность пластинки  
постоянной толщины  $2h$ ,  $\Gamma$  — ее граница. Обозначим через  
 $u_k(x, y, \epsilon)$ ,  $u(x, y, \epsilon)$  и  $v_k(x, y, \epsilon)$ ,  $k=1, 2$ ,  
зависящие от параметра  $\epsilon$ ,  $0 < \epsilon < 1$ , функции, которые  
удовлетворяют в  $\Omega$  системе уравнений

$$\mu \Delta u_1 + (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\epsilon}{h} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[ (\lambda + 2\mu) v_1 \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda v_2 \frac{\partial u}{\partial y} \right] + \mu \frac{\partial}{\partial y} \left( v_1 \frac{\partial u}{\partial y} + v_2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} = 0,$$

$$\mu \Delta u_2 + (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial y} - \frac{\epsilon}{h} \left\{ \mu \frac{\partial}{\partial x} \left( v_1 \frac{\partial u}{\partial y} + v_2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda v_1 \frac{\partial u}{\partial x} + (\lambda + 2\mu) v_2 \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right\} = 0,$$

$$\mu \Delta u + \frac{\mu}{h} \rho = F(x, y),$$

$$\frac{\mu}{3} \Delta v_1 + \frac{\lambda + \mu}{3} \frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{\mu}{h} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\mu}{h^2} v_1 + \frac{\epsilon}{h} \frac{\partial u}{\partial x} \left[ (\lambda + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial x} + \right.$$



$$+ \lambda \frac{\partial u_2}{\partial y} - \frac{\sigma(\lambda + 2\mu)}{h} v_1 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\sigma(\lambda + \mu)}{h} v_2 \frac{\partial u}{\partial y} \Big] + \frac{\sigma \mu}{h} \frac{\partial u}{\partial y} \left( \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial u_2}{\partial x} - \frac{\sigma v_1}{h} \frac{\partial u}{\partial y} \right) = F_1(x, y), \quad (I)$$

$$\frac{\mu}{3} \Delta v_2 + \frac{\lambda + \mu}{3} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\mu}{h} \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\mu}{h^2} v_2 + \frac{\sigma}{h} \frac{\partial u}{\partial y} \left[ \lambda \frac{\partial u_1}{\partial x} + (\lambda + 2\mu) \frac{\partial u_2}{\partial y} - \frac{\sigma(\lambda + \mu)}{h} v_1 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\sigma(\lambda + 2\mu)}{h} v_2 \frac{\partial u}{\partial y} \right] + \frac{\sigma \mu}{h} \frac{\partial u}{\partial x} \left( \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial u_2}{\partial x} - \frac{\sigma v_2}{h} \frac{\partial u}{\partial x} \right) = F_2(x, y)$$

и граничным условиям

$$u_{,\kappa} \Big|_{\Gamma} = u \Big|_{\Gamma} = v_{,\kappa} \Big|_{\Gamma} = 0, \quad (2)$$

где  $\lambda$  и  $\mu$  - постоянные Ламе,  $\theta = \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{\partial u_2}{\partial y}$ ,  $\rho = \frac{\partial v_1}{\partial x} + \frac{\partial v_2}{\partial y}$ ,  $F(x, y)$ ,  $F_1(x, y)$ ,  $F_2(x, y) \in L_2(\Omega)$  - функции, выражаемые через компоненты векторов заданных внешних поверхностных напряжений, приложенных к лицевым поверхностям пластинки, и объемной силы.

Рассмотрим вопрос разрешимости задачи (I)-(2) при  $\sigma = 1$ . При этом значении параметра  $\sigma$  система (I) описывает геометрически нелинейные деформации пластинки (/I/, стр. 16). В /I/ система дифференциальных уравнений равновесия содержит шесть уравнений. Однако, следуя классическому подходу (/2/, стр. 61), для пластинок, не претерпевающих больших тангенциальных деформаций, шестым уравнением можно пренебречь.

Предположим, что для области  $\Omega$  существует функция Грина  $G(P, Q)$  оператора  $\Delta$  при однородном граничном условии Дирихле.\*

Тогда

$$u = \int_{\Omega} G(P, Q) \left[ -\frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial v_1}{\partial x} + \frac{\partial v_2}{\partial y} \right) + \frac{1}{\mu} F(Q) \right] dQ. \quad (3)$$

Предположим также, что для области  $\Omega$  существует тензор Грина плоской задачи теории упругости. В таком случае

$$u_1 = \int_{\Omega} [G_{11}(P, Q)e_1(Q) + G_{12}(P, Q)e_2(Q)] dQ, \quad (4)$$

$$u_2 = \int_{\Omega} [G_{21}(P, Q)e_1(Q) + G_{22}(P, Q)e_2(Q)] dQ,$$

где

$$e_1 = \frac{\sigma}{\mu} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[ (\lambda + 2\mu)v_1 \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda v_2 \frac{\partial u}{\partial y} \right] + \mu \frac{\partial}{\partial y} \left( v_1 \frac{\partial u}{\partial y} + v_2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\},$$

$$e_2 = \frac{\sigma}{\mu} \left\{ \mu \frac{\partial}{\partial x} \left( v_1 \frac{\partial u}{\partial y} + v_2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda v_1 \frac{\partial u}{\partial x} + (\lambda + 2\mu)v_2 \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right\}.$$

\* Здесь применяются точки  $P = (x, y)$ ,  $Q = (x', y')$ ,  $\Pi = (x'', y'') \in \Omega$ .

Для удобства обозначений условимся штрихи опускать.





Кроме того,

$$v_1 = 3 \int_{\Omega} [G_{11}(P, Q) f_1(Q) + G_{12}(P, Q) f_2(Q)] dQ, \quad (5)$$

$$v_2 = 3 \int_{\Omega} [G_{21}(P, Q) f_1(Q) + G_{22}(P, Q) f_2(Q)] dQ,$$

где

$$f_1 = \frac{\mu}{h} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\mu}{h^2} v_1 - \frac{\epsilon}{h} \frac{\partial u}{\partial x} \left[ (\lambda + 2\mu) \frac{\partial u_1}{\partial x} + \lambda \frac{\partial u_2}{\partial y} - \frac{\epsilon(\lambda + 2\mu)}{h} v_1 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\epsilon(\lambda + \mu)}{h} v_2 \frac{\partial u}{\partial y} \right] - \frac{\epsilon \mu}{h} \frac{\partial u}{\partial y} \left( \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial u_2}{\partial x} - \frac{\epsilon v_2}{h} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + F_1(Q), \quad (6)$$

$$f_2 = \frac{\mu}{h} \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\mu}{h^2} v_2 - \frac{\epsilon}{h} \frac{\partial u}{\partial y} \left[ \lambda \frac{\partial u_1}{\partial x} + (\lambda + 2\mu) \frac{\partial u_2}{\partial y} - \frac{\epsilon(\lambda + \mu)}{h} v_1 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\epsilon(\lambda + 2\mu)}{h} v_2 \frac{\partial u}{\partial y} \right] - \frac{\epsilon \mu}{h} \frac{\partial u}{\partial x} \left( \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial u_2}{\partial x} - \frac{\epsilon v_2}{h} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + F_2(Q).$$

Используя оценки

$$|G_{ij}(P, Q)| \leq \alpha |\ln r_{PQ}| + \beta, \quad (7)$$

$$\left| \frac{\partial G_{ij}(P, Q)}{\partial x} \right| \leq \frac{\gamma}{r_{PQ}}, \quad \left| \frac{\partial G_{ij}(P, Q)}{\partial y} \right| \leq \frac{\delta}{r_{PQ}},$$

$i, j = 1, 2$ , получим из (4)

$$\frac{\partial u_1}{\partial x} = \int_{\Omega} \left[ \frac{\partial G_{11}(P, Q)}{\partial x} e_1(Q) + \frac{\partial G_{12}(P, Q)}{\partial x} e_2(Q) \right] dQ,$$



$$\frac{\partial u_1}{\partial y} = \int_{\Omega} \left[ \frac{\partial G_{11}(P, Q)}{\partial y} e_1(Q) + \frac{\partial G_{12}(P, Q)}{\partial y} e_2(Q) \right] dQ$$

и аналогичные выражения для  $\frac{\partial u_2}{\partial x}$  и  $\frac{\partial u_2}{\partial y}$ .

Применяя эти выражения в (6), убеждаемся в том, что (3) и (5) приводят к системе интегро-дифференциальных уравнений относительно  $u, v_1$  и  $v_2$

$$u = \int_{\Omega} G(P, Q) M(u, v_1, v_2, \epsilon) dQ,$$

$$v_1 = \int_{\Omega} [G_{11}(P, Q) N_1(u, v_1, v_2, \epsilon) + G_{12}(P, Q) N_2(u, v_1, v_2, \epsilon)] dQ, \quad (8)$$

$$v_2 = \int_{\Omega} [G_{21}(P, Q) N_1(u, v_1, v_2, \epsilon) + G_{22}(P, Q) N_2(u, v_1, v_2, \epsilon)] dQ.$$

С помощью принципа Лере-Шаудера (/3/, стр. 324) докажем существование решения системы (8). Представим её в операторном виде

$$w = \mathcal{A}(w, \epsilon),$$

где  $w = (u, v_1, v_2)$ .

Обозначим через  $[\overset{\circ}{W}_2^{(2)}(\Omega)]^S$  произведение  $S$  подпространств  $\overset{\circ}{W}_2^{(2)}(\Omega)$ .

Покажем, что

а)  $\mathcal{A}$  - вполне непрерывный оператор в  $[\overset{\circ}{W}_2^{(2)}(\Omega)]^3$ .

Правые части уравнений (8) являются линейными комбинациями интегралов



$$\int_{\Omega} G(P, Q) \varphi_{\ell}(Q) dQ, \quad \ell=1, 2,$$

$$\int_{\Omega} G_{i,j}(P, Q) \varphi_{\ell}(Q) dQ, \quad \ell=3, 4, \dots, 7,$$

где

$$\varphi_1(Q) = F(\omega), \quad \varphi_2(Q) = \frac{\partial v_{\kappa}(Q)}{\partial z}, \quad \varphi_3(Q) = F_{\kappa}(Q),$$

$$\varphi_4(Q) = v_{\kappa}(Q), \quad \varphi_5(Q) = \frac{\partial u(Q)}{\partial z}, \quad \varphi_6(Q) = v_{\kappa}(Q) \frac{\partial u(Q)}{\partial z} \frac{\partial u(Q)}{\partial z_1},$$

$$\varphi_7(Q) = \frac{\partial u(Q)}{\partial z} \int_{\Omega} \frac{\partial G_{i,j_1}(Q, R)}{\partial z_1} \frac{\partial}{\partial z_2} \left[ v_{\kappa}(R) \frac{\partial u(R)}{\partial z_3} \right] dR,$$

$$\kappa=1, 2, \quad i, j, i_1, j_1=1, 2, \quad z, z_1, z_2, z_3 = x, y.$$

Как известно, интегральные операторы, выражаемые (9), представляют собой непрерывные операторы из  $L_2(\Omega)$  в  $W_2^{(2)}(\Omega)$ . По условию,  $\varphi_1, \varphi_3 \in L_2(\Omega)$ . Далее, из теорем вложения следует, что остальные функции  $\varphi_{\ell}$  образуют компактные семейства в  $L_2(\Omega)$ , когда функции  $u$  и  $v_{\kappa}$  пробегают единичный шар в  $W_2^{(2)}(\Omega)$ . В самом деле, компактными будут множества  $v_{\kappa}$  в  $C(\Omega)$  и  $\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v_{\kappa}}{\partial z}$  в  $L_p(\Omega)$ ,  $\forall p \in (1, \infty)$ . Отсюда непосредственно следует компактность множеств, соответствующих  $\varphi_2, \varphi_4$  и  $\varphi_5$ . Применяя неравенство Гёльде-

ра, получаем компактность в  $L_2(\Omega)$  множества, по-

рождаемого  $\varphi_6$ . Из включения  $\frac{\partial}{\partial z_2} \left[ \psi_K(R) \frac{\partial u(R)}{\partial z_3} \right] \in L_2(\Omega)$

и свойств интегралов типа потенциала (/4/, стр.49) следу-

$$\int_{\Omega} \frac{\partial G_{i_1 j_1}(Q, R)}{\partial z_1} \frac{\partial}{\partial z_2} \left[ \psi_K(R) \frac{\partial u(R)}{\partial z_3} \right] dR \in L_{2+\varepsilon}(\Omega),$$

$\varepsilon > 0.$

Отсюда вытекает компактность семейства, образованного  $\varphi_7$ .

Обращение в нуль на границе  $\Gamma$  функций  $u, \psi_1$  и  $\psi_2$ , определяемых (8), очевидно.

Докажем теперь, что

б) существует равномерная по  $\delta$  априорная оценка

$$\|w\|_{W_2^{(2)}(\Omega)} \leq \text{Const} \quad (10)$$

для всех решений  $w$  всех уравнений (8),  $0 < \delta \leq 1$ .

Здесь используются обозначения

$$\|w\|_{W_2^{(n)}(\Omega)}^2 = \|u\|_{W_2^{(n)}(\Omega)}^2 + \|\psi_1\|_{W_2^{(n)}(\Omega)}^2 + \|\psi_2\|_{W_2^{(n)}(\Omega)}^2,$$

$$\|\Phi\|_{L_2(\Omega)}^2 = \|F\|_{L_2(\Omega)}^2 + \|F_1\|_{L_2(\Omega)}^2 + \|F_2\|_{L_2(\Omega)}^2.$$



Перенесем свободные члены системы (I) в левые части уравнений, котор ь затем умножим соответственно на  $u_1, u_2, u, v_1, v_2$ , сложим и сумму проинтегрируем по области  $\Omega$ . Результат обозначим через  $I(\epsilon)$ . После некоторых преобразований с учетом (2) будем иметь

$$\begin{aligned}
 -I(\epsilon) = & \int_{\Omega} \left\{ \lambda \left( \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{\partial u_2}{\partial y} - \frac{\epsilon}{h} v_1 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\epsilon}{h} v_2 \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \mu \left[ \left( \frac{\partial u_1}{\partial y} + \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + \frac{\partial u_2}{\partial x} - \frac{\epsilon}{h} v_1 \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\epsilon}{h} v_2 \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{h} v_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{h} v_2 \right)^2 \right. \right. \\
 & \left. \left. + 2 \left( \frac{\partial u_1}{\partial x} - \frac{\epsilon}{h} v_1 \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial u_2}{\partial y} - \frac{\epsilon}{h} v_2 \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right] + \frac{\mu}{3} \left[ \left( \frac{\partial v_1}{\partial x} \right)^2 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \left( \frac{\partial v_1}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_2}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_2}{\partial y} \right)^2 \right] + \frac{\lambda + \mu}{3} \left( \frac{\partial v_1}{\partial x} + \frac{\partial v_2}{\partial y} \right)^2 + \right. \\
 & \left. + Fu + F_1 v_1 + F_2 v_2 \right\} dx dy.
 \end{aligned}$$

Откуда следует

$$\begin{aligned}
 -I(\epsilon) \geq & \int_{\Omega} \left\{ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{h} v_1 \right)^2 + \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{h} v_2 \right)^2 + \frac{\mu}{3} \left[ \left( \frac{\partial v_1}{\partial x} \right)^2 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \left( \frac{\partial v_1}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_2}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_2}{\partial y} \right)^2 \right] + Fu + F_1 v_1 + F_2 v_2 \right\} dx dy.
 \end{aligned}$$

Воспользовавшись неравенством Фридрихса

$$c \int_{\Omega} \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy \geq \int_{\Omega} u^2 dx dy$$

и аналогичными неравенствами для  $v_k$ ,  $k=1,2$ , получим

$$-I(\theta) \geq \tau_1 \|w\|_{W_2^{(1)}(\Omega)}^2 - \tau_2 \|\varphi\|_{L_2(\Omega)} \|w\|_{W_2^{(1)}(\Omega)},$$

где  $c, \tau_1, \tau_2$  - некоторые положительные постоянные.

Если  $u_1, u_2, u, v_1, v_2$  - решение (1)-(2), то

$I(\theta) = 0$ , и приходим к оценке

$$\|w\|_{W_2^{(1)}(\Omega)} \leq \text{Const},$$

$0 \leq \theta \leq 1$ . Отсюда заключаем, что нормы  $\varphi_2, \varphi_4, \varphi_5$  и

$\rho$  в  $L_2(\Omega)$  ограничены. Тогда из третьего уравне-

ния системы (1) следует  $\|\Delta u\|_{L_2(\Omega)} \leq \text{Const}$ , поэтому

$$\left\| \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right\|_{L_2(\Omega)} \leq \text{Const} \quad \text{и вместе с этим} \quad \|\varphi_5\|_{L_p(\Omega)} \leq$$

$\leq \text{Const}, \forall p \in (1, \infty)$ . Применяя неравенство Гёльдера

и свойства интегралов типа потенциала, получим

$$\|\varphi_l\|_{L_2(\Omega)} \leq \text{Const}, \quad l=6,7. \quad \text{В силу свойств интегральных}$$



операторов, определяемых (9),

$$\|u\|_{W_2^{(2)}(\Omega)}, \|v_1\|_{W_2^{(2)}(\Omega)}, \|v_2\|_{W_2^{(2)}(\Omega)} \leq \text{Const.}$$

Это завершает доказательство (10).

И, наконец,

в) вращение векторного поля  $w - A(w, 0)$  на сферах достаточно большого радиуса отлично от нуля.

Действительно, указанное поле имеет вид  $w - Bw - \psi$

где  $B$  - линейный вполне непрерывный оператор в

$$[W_2^{(2)}(\Omega)]^3, \quad \psi \text{ принадлежит этому пространству.}$$

Вращение такого векторного поля на сферах достаточно большого радиуса равно индексу решения уравнения  $w = Bw$ .

Соответствующее однородное уравнение, как следует из операции (10), оправдливой, в частности, при  $\varepsilon = 0$  и

$F = F_1 = F_2 = 0$ , имеет только нулевое решение. Это означает, что рассматриваемый индекс равен  $+1$  или  $-1$ .

Следствием а), б) и в) является разрешимость задачи (1)-(2) в  $[W_2^{(2)}(\Omega)]^5$ .

Следствием а), б) и в) является разрешимость задачи (1)-(2) в  $[W_2^{(2)}(\Omega)]^5$ .

$$(1)-(2) \text{ в } [W_2^{(2)}(\Omega)]^5.$$

Поступила 30.IX.1981

Кафедра математического  
обеспечения ЭВМ

ЛИТЕРАТУРА



1. А.Ф.Гюнтнер, Об одном свойстве уравнений теории оболочек. И.Н.Векуа, Семинар Института прикладной математики Тбилисского государственного университета. Доклады, 12-13, 1978.
2. А.Л.Гольденвейзер, Теория упругих тонких оболочек. "Наука", М., 1976.
3. М.А.Красносельский, П.П.Забрейко, Геометрические методы нелинейного анализа. "Наука", М., 1975.
4. С.Л.Соболев, Некоторые применения функционального анализа в математической физике. Изд-во ЛГУ, Л., 1950.

ჩ. ლეონიძე

ფირფიტების არაწრფივი დამუშავების ურთი პირობების  
პირობების არაპრობის შესახებ

რეზიუმე

განხილულია პირველი სასაბჭოთაო ამოცანა რიფრეინციული  
განყოფილება სისუფობისათვის, რამდენიც აღწერს ფირფიტის კომპლექსი-  
ული არაწრფივი დეფორმაციებს. დურე-შედეგების მიხედვით, მიკროცენტრ  
განვითარებული ამოცანის არსებობა.





D. Peradze

ON THE EXISTENCE OF A SOLUTION OF ONE PROBLEM  
OF THE NON-LINEAR THEORY OF SHELLS

Summary

The paper deals with the first boundary value problem for a system of differential equations describing geometrically non-linear deformations of a plate. The existence of a generalized solution is proved by the Leray-Schauder method.

$$[w_2^{(n)}(\Omega)]^5$$

$$(1)-(2) = [w_2^{(n)}(\Omega)]^5$$

1961.11.30



Труды Тбилисского ордена Трудового Красного Знамени  
государственного университета

ბიბლიოთეკის მუშაობის წიგნი რეზიუმის მრეწველური საბჭოების  
უნივერსიტეტის მუშაობა

236, 1983

თავისთავის დასაჯილადი ერთგვარობაზე დასაჯილადი  
ლიბრარიული ერთგვარობის მიხედვით

ე.სიმონიძე, თ.წილიანი

ავტორის სტატუსის კუთხით ანალიზისას საინფორმაციო დასაჯილადი და-  
მსახურებრივი მუშაობის, როგორც წესი, უხერხულად საკმაოდ დიდი მა-  
სივობის დამუშავება. შესასწავლი მასალის რეკონსტრუქციული საბჭო-  
რების დადგენა რეზიუმე მუშაობაზე ინფორმაციული ხერხი, და რა  
თქმა უნდა, იგი დასაჯილადის მიხედვით, მივყავართ, რომ ავტორი -  
ბის შემთხვევაში ერთგვარობაზე რამდენიმე ფიქსირებული, ხშირად ხმა-  
რებული, ელემენტების მიხედვით საინფორმაციო მუშაობის მუშაობის მუშაობის  
დასაჯილადი მასალებების მუშაობა. /1/, /2/ მუშა-  
ობის დასაჯილადი მუშაობის, როგორც დამუშავების რამდენიმე მუ-  
შაობის ელემენტების ინფორმაციული განმარტების შედეგად. /3/  
მუშაობის მიხედვით და ამჟამად ჩვენს მიერ გამოყენებული მუშა-  
ობის კი გულისხმობს ერთგვარობის კრძალს დასაჯილადის მიხედვით  
შესასწავლის საინფორმაციო საინფორმაციო დასაჯილადის დასაჯილადის, აღნიშნუ-  
ლი მუშაობის გამოყენების საინფორმაციო მუშაობის დასაჯილადის:

1. საინფორმაციო ერთგვარობისა და არა ავტორი რამდენიმე ფიქსირ-  
ებული ელემენტების მიხედვით.
2. საინფორმაციო და არა ავტორის მუშაობის მიხედვით კონკრეტ-  
ული მასალების მუშაობის დასაჯილადი.





ენჭროსივების კრძა ჯამებინ მიმღვერძააა გამოთჯა წარმო-  
 ება  $S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$  ჭრძულინ მიხედიოთ, სადაც  $n$  წარმოადგენს  
 შესასწაჯე ქვემასივების რაოქენობას, ხოლო  $S_i$  - არის ენჭრო-  
 შია  $i$  - ური ქვემასივებისაოქის /ჩვენს შებხვევაში  $n=7$  /.

ჩვენს მიერ დამუშავებულ იქნა ქარხველი ჯასიკოსების ი.ჭავ-  
 ჭავაძის, ალ.ცაბბევის, კ.გამსახურდიას, ა.წერედილის, მ.ჯავახი-  
 შვილის, გ.წერედილის, ე.წინიოშვილის, დ.ჯიოიაშვილის, აგრეშვი-  
 გ.რჩეულიშვილის და რ.ინანიშვილის ნაწარმოებებო.

თოთოველი მათგანის სხვადასხვა ნაწარმოებოდან საანალიოო  
 აღებულ იქნა ჭვესტის 35 გვერდიანი მიწაკვეთი და გამოკვეთულ.  
 იქნა ერეგვაროვებამეე ჭვესტებული სინჯაქსური ელეშენებების მი-  
 მარე. თოთოველი ქვემასივის მიგულიობა 5 გვერდს წარმოადგენდა.  
 ენჭროსივების კრძა ჯამებინ მიმღვერძააა შესწაჯეამ გვიჩვენა  
 /იხ. ცხრილი № 1/, რეო 30 გვერდიანი ჭვესტის მიწაკვეთი სრული-  
 ად საკმარისია გარკვეული დასკვებების გამოსაჭანად და საჭირო  
 აღარ არის საკვეთე შასადის კრძეუსის გარდა, ვინაიდან ახალი  
 ქვემასივის დამაჭება სურაბს არ ცვლის, რაც ცხრილიდანაც კარ-  
 გად ჩანს /სრული მასივი არის 35 გვერდი, მიოცავს  $n_0 \approx 11\ 000$ .  
 სინჯაქსურ ერეველს, ქვემასივი არის 5 გვერდი და მიოცავს  
 $n_1 \approx 1600$  ერეველს/.

რაც შეეხება ასონიშნების მიმარე ჭვესტების გამოკვეთვას  
 ერეგვაროვებამეე, აქ ჩვენს მიერ შესწაჯელი იქნა გემოთ ჩამოთ-  
 ვილი თოთოველი ავთორისაოქის ჭვესტის შვიდ-შვიდ გვერდიანი მი-  
 ნაკვეთი.

ენჭროსივება კრძა ჯამებინ შესწაჯეამ გვიჩვენა, რეო ასონ-  
 ნიშნებისაოქის საანალიოო 6 გვერდიანი ჭვესტი საქსებინო საკმა-  
 რისია /იხ. ცხრილი № 2/.



სრული მასივი არის 7. გვერდი, ნოტიცაჲ  $\mu_0 \approx 12\ 000$  ერთეულს  
 და ქვემასივი აარის ერთი გვერდი და ნოტიცაჲ  $\mu_1 \approx 1700$  ერთეულს/  
 აქაც ამკარაა, რომ მეშვიდე გვერდის დამატება სურათს არ ცვლის,  
 გემოქმედებიდან ჩანს, რომ 10 000 ღირებვისტური ერთეულის  
 შეშვადელი ტექსტი ერთგვაროვანია გარკვეული ფიქსირებული ელემენ-  
 ტის მიმართ და ტექსტის სტატისტიკური ანალიზის დროს ნებისმი-  
 ერი ასეთი მასივის დამუშავება რაოდენობრივად სავსებშით სავსეა-  
 რისია იზისათვის, რომ გადაკვეთით საიმეოთ დასკვნებში,

შემოსულია 15.X.1981

ფიზიკური კიბერნეტიკის  
პრობლემაური ლაბორატორია





|    |      | $\frac{1}{2} (S_5^1 + S_{10}^2)$ | $\frac{1}{3} (S_5^1 + \dots + S_{15}^3)$ | $\frac{1}{4} (S_5^1 + \dots + S_{20}^4)$ | $\frac{1}{5} (S_5^1 + \dots + S_{25}^5)$ | $\frac{1}{6} (S_5^1 + \dots + S_{30}^6)$ | $\frac{1}{7} (S_5^1 + \dots + S_{35}^7)$ |
|----|------|----------------------------------|--|--|--|--|--|
| 1. | ჯგ   | 0,108                            | 0,114                                    | 0,111                                    | 0,111                                    | 0,111                                    | 0,111                                    |
|    | ბ    | 0,153                            | 0,154                                    | 0,155                                    | 0,155                                    | 0,155                                    | 0,155                                    |
|    | გაბ  | 0,133                            | 0,135                                    | 0,135                                    | 0,136                                    | 0,136                                    | 0,136                                    |
|    | გაბ. | 0,127                            | 0,124                                    | 0,122                                    | 0,121                                    | 0,121                                    | 0,121                                    |
|    | გაბ  | 0,117                            | 0,115                                    | 0,115                                    | 0,115                                    | 0,115                                    | 0,115                                    |
|    | გაგ  | 0,100                            | 0,101                                    | 0,101                                    | 0,102                                    | 0,102                                    | 0,102                                    |
| 2. | ჯგ   | 0,137                            | 0,134                                    | 0,133                                    | 0,131                                    | 0,131                                    | 0,131                                    |
|    | ბგბ  | 0,143                            | 0,144                                    | 0,145                                    | 0,146                                    | 0,146                                    | 0,146                                    |
|    | გაბ  | 0,132                            | 0,132                                    | 0,133                                    | 0,133                                    | 0,133                                    | 0,133                                    |
|    | გაბ  | 0,124                            | 0,125                                    | 0,125                                    | 0,127                                    | 0,127                                    | 0,127                                    |
|    | გაბ  | 0,103                            | 0,105                                    | 0,106                                    | 0,107                                    | 0,107                                    | 0,107                                    |
|    | გაგ  | 0,105                            | 0,106                                    | 0,107                                    | 0,108                                    | 0,108                                    | 0,108                                    |
| 3. | ჯგ   | 0,121                            | 0,119                                    | 0,118                                    | 0,118                                    | 0,118                                    | 0,118                                    |
|    | ბგბ  | 0,142                            | 0,142                                    | 0,142                                    | 0,142                                    | 0,142                                    | 0,142                                    |
|    | გაბ  | 0,142                            | 0,142                                    | 0,141                                    | 0,142                                    | 0,142                                    | 0,142                                    |
|    | გაბ  | 0,137                            | 0,136                                    | 0,137                                    | 0,136                                    | 0,136                                    | 0,136                                    |
|    | გაბ  | 0,090                            | 0,090                                    | 0,090                                    | 0,090                                    | 0,090                                    | 0,090                                    |
|    | გაგ  | 0,090                            | 0,090                                    | 0,091                                    | 0,091                                    | 0,091                                    | 0,091                                    |

|    |    | $\frac{1}{2}(S_5^1 + S_{10}^2)$ | $\frac{1}{3}(S_5^1 + \dots + S_{15}^3)$ | $\frac{1}{4}(S_5^1 + \dots + S_{20}^4)$ | $\frac{1}{5}(S_5^1 + \dots + S_{25}^5)$ | $\frac{1}{6}(S_5^1 + \dots + S_{30}^6)$ | $\frac{1}{7}(S_5^1 + \dots + S_{35}^7)$ |
|----|----|---------------------------------|---|---|---|---|---|
| 4. | ქვ | 0,141                           | 0,143                                   | 0,143                                   | 0,144                                   | 0,144                                   | 0,144                                   |
|    | შვ | 0,155                           | 0,154                                   | 0,155                                   | 0,155                                   | 0,155                                   | 0,155                                   |
|    | რვ | 0,128                           | 0,128                                   | 0,128                                   | 0,127                                   | 0,127                                   | 0,127                                   |
|    | ბვ | 0,107                           | 0,107                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   |
|    | გვ | 0,107                           | 0,107                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   |
|    | დვ | 0,104                           | 0,102                                   | 0,100                                   | 0,099                                   | 0,099                                   | 0,099                                   |
| 5. | ქვ | 0,143                           | 0,143                                   | 0,144                                   | 0,144                                   | 0,144                                   | 0,144                                   |
|    | შ  | 0,151                           | 0,151                                   | 0,151                                   | 0,151                                   | 0,151                                   | 0,151                                   |
|    | რვ | 0,121                           | 0,121                                   | 0,121                                   | 0,121                                   | 0,121                                   | 0,121                                   |
|    | ბვ | 0,117                           | 0,117                                   | 0,117                                   | 0,117                                   | 0,117                                   | 0,117                                   |
|    | გვ | 0,106                           | 0,108                                   | 0,109                                   | 0,109                                   | 0,109                                   | 0,109                                   |
|    | დვ | 0,104                           | 0,103                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   |
| 6. | ქვ | 0,110                           | 0,112                                   | 0,113                                   | 0,115                                   | 0,115                                   | 0,115                                   |
|    | შ  | 0,155                           | 0,155                                   | 0,154                                   | 0,155                                   | 0,155                                   | 0,155                                   |
|    | რვ | 0,136                           | 0,137                                   | 0,136                                   | 0,137                                   | 0,137                                   | 0,137                                   |
|    | ბვ | 0,119                           | 0,117                                   | 0,116                                   | 0,116                                   | 0,116                                   | 0,116                                   |
|    | გვ | 0,129                           | 0,124                                   | 0,124                                   | 0,123                                   | 0,123                                   | 0,123                                   |
|    | დვ | 0,103                           | 0,102                                   | 0,102                                   | 0,103                                   | 0,103                                   | 0,103                                   |





|    |     | $\frac{1}{2}(S_5^1 + S_{10}^2)$ | $\frac{1}{3}(S_5^1 + \dots + S_{15}^3)$ | $\frac{1}{4}(S_5^1 + \dots + S_{20}^4)$ | $\frac{1}{5}(S_5^1 + \dots + S_{25}^5)$ | $\frac{1}{6}(S_5^1 + \dots + S_{30}^6)$ | $\frac{1}{7}(S_5^1 + \dots + S_{35}^7)$ |
|----|-----|---------------------------------|---|---|---|---|---|
| 7. | ქვ  | 0,149                           | 0,147                                   | 0,148                                   | 0,147                                   | 0,147                                   | 0,147                                   |
|    | თ   | 0,153                           | 0,152                                   | 0,153                                   | 0,152                                   | 0,152                                   | 0,152                                   |
|    | ლბ  | 0,116                           | 0,120                                   | 0,122                                   | 0,123                                   | 0,123                                   | 0,123                                   |
|    | ლბ  | 0,105                           | 0,107                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   |
|    | ლარ | 0,110                           | 0,112                                   | 0,111                                   | 0,113                                   | 0,113                                   | 0,113                                   |
|    | კვ  | 0,094                           | 0,095                                   | 0,095                                   | 0,095                                   | 0,095                                   | 0,095                                   |
| 8. | ქვ  | 0,144                           | 0,143                                   | 0,143                                   | 0,144                                   | 0,144                                   | 0,144                                   |
|    | თ   | 0,154                           | 0,153                                   | 0,154                                   | 0,153                                   | 0,153                                   | 0,153                                   |
|    | ლბ  | 0,140                           | 0,139                                   | 0,144                                   | 0,144                                   | 0,144                                   | 0,144                                   |
|    | ლბ  | 0,111                           | 0,110                                   | 0,112                                   | 0,110                                   | 0,110                                   | 0,110                                   |
|    | ლარ | 0,102                           | 0,099                                   | 0,101                                   | 0,102                                   | 0,102                                   | 0,102                                   |
|    | კვ  | 0,104                           | 0,103                                   | 0,103                                   | 0,103                                   | 0,103                                   | 0,103                                   |

X/ უნდა აღინიშნოს კარგი ჯამების მიხედვითაა მოხარულია შეესაბამებინოს სამხრეთის ავტორების მიერ.



|   | $\frac{1}{2}(S_1+S_2)$ | $\frac{1}{3}(S_1+S_2+S_3)$ | $\frac{1}{4}(S_1+\dots+S_4)$ | $\frac{1}{5}(S_1+\dots+S_5)$ | $\frac{1}{6}(S_1+\dots+S_6)$ | $\frac{1}{7}(S_1+\dots+S_7)$ |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| յ | 0,130                  | 0,132                      | 0,133                        | 0,133                        | 0,133                        | 0,133                        |
| ո | ,105                   | ,104                       | ,106                         | ,105                         | ,106                         | ,106                         |
| Չ | ,098                   | ,088                       | ,087                         | ,087                         | ,088                         | ,087                         |
| ւ | ,078                   | ,076                       | ,078                         | ,079                         | ,079                         | ,079                         |
| հ | ,071                   | ,072                       | ,071                         | ,071                         | ,072                         | ,072                         |
| ռ | ,068                   | ,068                       | ,070                         | ,067                         | ,068                         | ,068                         |
| Ր | ,060                   | ,061                       | ,063                         | ,065                         | ,065                         | ,065                         |
| թ | ,051                   | ,052                       | ,053                         | ,054                         | ,053                         | ,053                         |
| Յ | ,055                   | ,053                       | ,051                         | ,050                         | ,050                         | ,050                         |
| Ե | ,055                   | ,054                       | ,052                         | ,054                         | ,054                         | ,054                         |
| ժ | ,071                   | ,073                       | ,070                         | ,072                         | ,072                         | ,072                         |
| բ | ,043                   | ,049                       | ,046                         | ,045                         | ,046                         | ,046                         |
| ժ | ,047                   | ,052                       | ,049                         | ,047                         | ,047                         | ,047                         |
| ժ | ,035                   | ,037                       | ,039                         | ,040                         | ,040                         | ,040                         |
| Յ | ,032                   | ,027                       | ,024                         | ,026                         | ,027                         | ,027                         |
| Ե | ,035                   | ,034                       | ,033                         | ,033                         | ,032                         | ,032                         |
| Ե | ,017                   | ,018                       | ,022                         | ,021                         | ,022                         | ,022                         |
| Ե | ,013                   | ,014                       | ,017                         | ,018                         | ,018                         | ,018                         |



| I |                        |                            |                              |                              |                              |                              |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|   | $\frac{1}{2}(S_1+S_2)$ | $\frac{1}{3}(S_1+S_2+S_3)$ | $\frac{1}{4}(S_1+\dots+S_4)$ | $\frac{1}{5}(S_1+\dots+S_5)$ | $\frac{1}{6}(S_1+\dots+S_6)$ | $\frac{1}{7}(S_1+\dots+S_7)$ |
| ბ | 0,016                  | 0,013                      | 0,014                        | 0,015                        | 0,014                        | 0,014                        |
| ვ | ,023                   | ,023                       | ,025                         | ,026                         | ,026                         | ,026                         |
| გ | ,023                   | ,020                       | ,018                         | ,022                         | ,020                         | ,020                         |
| დ | ,018                   | ,020                       | ,019                         | ,019                         | ,019                         | ,019                         |
| ე | ,017                   | ,014                       | ,016                         | ,016                         | ,017                         | ,017                         |
| ვ | ,014                   | ,011                       | ,009                         | ,011                         | ,011                         | ,011                         |
| ზ | ,012                   | ,011                       | ,012                         | ,012                         | ,011                         | ,011                         |
| ა | ,011                   | ,013                       | ,012                         | ,012                         | ,011                         | ,011                         |
| ბ | ,011                   | ,006                       | ,007                         | ,007                         | ,007                         | ,012                         |
| გ | ,010                   | ,007                       | ,009                         | ,008                         | ,009                         | ,009                         |
| დ | ,006                   | ,008                       | ,012                         | ,011                         | ,012                         | ,012                         |
| ე | ,002                   | ,001                       | ,002                         | ,002                         | ,002                         | ,002                         |
| ვ | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |
| გ | ,001                   | ,001                       | ,002                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |
| დ | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,002                         | ,001                         | ,001                         |

|   | $\frac{1}{2}(S_1+S_2)$ | $\frac{1}{3}(S_1+S_2+S_3)$ | $\frac{1}{4}(S_1+\dots+S_4)$ | $\frac{1}{5}(S_1+\dots+S_5)$ | $\frac{1}{6}(S_1+\dots+S_6)$ | $\frac{1}{7}(S_1+\dots+S_7)$ |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| ა | 0,127                  | 0,130                      | 0,133                        | 0,133                        | 0,133                        | 0,132                        |
| ბ | ,109                   | ,111                       | ,109                         | ,110                         | ,109                         | ,109                         |
| გ | ,086                   | ,085                       | ,085                         | ,085                         | ,085                         | ,081                         |
| დ | ,087                   | ,085                       | ,084                         | ,082                         | ,081                         | ,081                         |
| ე | ,074                   | ,075                       | ,077                         | ,078                         | ,077                         | ,077                         |
| ვ | ,073                   | ,065                       | ,067                         | ,068                         | ,068                         | ,068                         |
| ზ | ,064                   | ,061                       | ,062                         | ,060                         | ,060                         | ,060                         |
| თ | ,061                   | ,058                       | ,057                         | ,056                         | ,056                         | ,056                         |
| ი | ,050                   | ,050                       | ,052                         | ,052                         | ,052                         | ,053                         |
| კ | ,066                   | ,061                       | ,058                         | ,057                         | ,057                         | ,057                         |
| ლ | ,074                   | ,075                       | ,077                         | ,076                         | ,077                         | ,077                         |
| მ | ,048                   | ,046                       | ,047                         | ,046                         | ,045                         | ,054                         |
| ნ | ,042                   | ,041                       | ,042                         | ,043                         | ,043                         | ,041                         |
| ო | ,044                   | ,041                       | ,038                         | ,037                         | ,037                         | ,037                         |
| პ | ,036                   | ,033                       | ,032                         | ,032                         | ,031                         | ,031                         |
| ჟ | ,035                   | ,030                       | ,026                         | ,028                         | ,030                         | ,030                         |
| რ | ,021                   | ,019                       | ,017                         | ,020                         | ,020                         | ,020                         |
| ს | ,018                   | ,017                       | ,017                         | ,016                         | ,017                         | ,017                         |





11

|   | $\frac{1}{2}(S_1+S_2)$ | $\frac{1}{3}(S_1+S_2+S_3)$ | $\frac{1}{4}(S_1+\dots+S_4)$ | $\frac{1}{5}(S_1+\dots+S_5)$ | $\frac{1}{6}(S_1+\dots+S_6)$ | $\frac{1}{7}(S_1+\dots+S_7)$ |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| ბ | 0,010                  | 0,012                      | 0,012                        | 0,012                        | 0,013                        | 0,013                        |
| წ | ,016                   | ,018                       | ,021                         | ,021                         | ,021                         | ,021                         |
| ყ | ,015                   | ,016                       | ,015                         | ,016                         | ,018                         | ,018                         |
| შ | ,016                   | ,017                       | ,013                         | ,017                         | ,017                         | ,017                         |
| ჩ | ,012                   | ,013                       | ,015                         | ,016                         | ,015                         | ,015                         |
| ც | ,015                   | ,014                       | ,013                         | ,013                         | ,013                         | ,013                         |
| ძ | ,011                   | ,010                       | ,012                         | ,011                         | ,010                         | ,010                         |
| წ | ,013                   | ,008                       | ,009                         | ,008                         | ,009                         | ,009                         |
| ბ | ,013                   | ,011                       | ,012                         | ,011                         | ,011                         | ,008                         |
| ძ | ,012                   | ,015                       | ,014                         | ,014                         | ,014                         | ,013                         |
| ჯ | ,007                   | ,008                       | ,010                         | ,009                         | ,009                         | ,009                         |
| ბ | ,001                   | ,001                       | ,002                         | ,002                         | ,002                         | ,002                         |
| შ | ,001                   | ,002                       | ,001                         | ,002                         | ,001                         | ,001                         |
| შ | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |
| ბ | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |

|   | $\frac{1}{2}(S_1+S_2)$ | $\frac{1}{3}(S_1+S_2+S_3)$ | $\frac{1}{4}(S_1+\dots+S_4)$ | $\frac{1}{5}(S_1+\dots+S_5)$ | $\frac{1}{6}(S_1+\dots+S_6)$ | $\frac{1}{7}(S_1+\dots+S_7)$ |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| ა | 0,151                  | 0,141                      | 0,138                        | 0,139                        | 0,139                        | 0,139                        |
| ბ | ,094                   | ,098                       | ,102                         | ,103                         | ,103                         | ,103                         |
| გ | ,081                   | ,079                       | ,089                         | ,086                         | ,085                         | ,085                         |
| დ | ,087                   | ,085                       | ,084                         | ,080                         | ,080                         | ,080                         |
| ე | ,071                   | ,074                       | ,073                         | ,072                         | ,072                         | ,072                         |
| ვ | ,07                    | ,071                       | ,0,8                         | ,071                         | ,071                         | ,071                         |
| ზ | ,064                   | ,063                       | ,065                         | ,066                         | ,066                         | ,066                         |
| თ | ,060                   | ,057                       | ,058                         | ,058                         | ,058                         | ,058                         |
| ი | ,053                   | ,050                       | ,052                         | ,051                         | ,051                         | ,051                         |
| კ | ,051                   | ,052                       | ,054                         | ,055                         | ,055                         | ,055                         |
| ლ | ,071                   | ,073                       | ,072                         | ,072                         | ,072                         | ,072                         |
| მ | ,050                   | ,047                       | ,043                         | ,045                         | ,043                         | ,043                         |
| ნ | ,042                   | ,041                       | ,041                         | ,043                         | ,043                         | ,043                         |
| ო | ,033                   | ,040                       | ,039                         | ,040                         | ,039                         | ,039                         |
| პ | ,028                   | ,029                       | ,027                         | ,026                         | ,026                         | ,026                         |
| ჟ | ,024                   | ,032                       | ,030                         | ,031                         | ,031                         | ,031                         |
| რ | ,019                   | ,020                       | ,024                         | ,021                         | ,020                         | ,020                         |
| ს | ,023                   | ,025                       | ,021                         | ,020                         | ,021                         | ,021                         |

1363-0  
216-010100





111

|   | $\frac{1}{2}(S_1+S_2)$ | $\frac{1}{3}(S_1+S_2+S_3)$ | $\frac{1}{4}(S_1+\dots+S_4)$ | $\frac{1}{5}(S_1+\dots+S_5)$ | $\frac{1}{6}(S_1+\dots+S_6)$ | $\frac{1}{7}(S_1+\dots+S_7)$ |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| ბ | 0,016                  | 0,015                      | 0,016                        | 0,018                        | 0,017                        | 0,01                         |
| წ | ,017                   | ,019                       | ,017                         | ,018                         | ,019                         | ,019                         |
| ყ | ,028                   | ,022                       | ,022                         | ,022                         | ,021                         | ,021                         |
| ფ | ,014                   | ,016                       | ,012                         | ,012                         | ,015                         | ,015                         |
| ჯ | ,007                   | ,010                       | ,012                         | ,011                         | ,010                         | ,010                         |
| ჰ | ,008                   | ,011                       | ,010                         | ,012                         | ,010                         | ,010                         |
| ტ | ,006                   | ,007                       | ,009                         | ,009                         | ,008                         | ,008                         |
| კ | ,006                   | ,007                       | ,007                         | ,007                         | ,008                         | ,008                         |
| ჩ | ,009                   | ,007                       | ,010                         | ,010                         | ,010                         | ,010                         |
| ც | ,013                   | ,014                       | ,016                         | ,011                         | 0,12                         | ,011                         |
| ძ | ,007                   | ,006                       | ,005                         | ,006                         | ,005                         | ,005                         |
| წ | ,002                   | ,002                       | ,003                         | ,002                         | ,002                         | ,002                         |
| ჭ | ,002                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |
| ხ | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |
| ც | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |

158

X ცხრილის პირველ ნაწილში წარმოდგენილია მონაცემები ფაქტური ჩამოთვლილი რიცხის მიხედვით, პირველი ხუთი ავტორისათვის, ხოლო II ნაწილში - მეთრე ხუთი ავტორისათვის. ცხრილის III ნაწილში - მონაცემები ავტორთა რიცხის აღებზე ამ ათი ავტორიდან. ცხრილში ასტრინომებიცაა



1. С. Кульбак, Теория информации и статистика, М., 1967.
2. Т.Г.Гачечиладзе, К.Т.Микеладзе, Т.П.Цилосани, Исследование текстов на статистическую однородность фиксированного элемента, Тезисы всесоюзной школы - семинара по прикладной и инженерной лингвистике, Махачкала, 1978.
3. В.Фукс, Математическая теория словообразования, Сборник "Теория передачи сообщений", М., 1957.

Э.Д.Симонишвили, Т.П.Цилосани

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКСТОВ НА ОДНОРОДНОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНО  
ФИКСИРОВАННЫХ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ

Резюме

Исследованы тексты классиков грузинской литературы на однородность относительно некоторых синтаксических единиц и относительно всех букв грузинского алфавита.

Указаны предполагаемые минимальные объемы обрабатываемых массивов.

E.Simonishvili, T.Tsilosani

TEXT ANALYSIS FOR HOMOGENEITY OF FIXED  
LINGUISTIC UNITS

Summary

Texts of Georgian classics are analysed for homogeneity of some syntactic units and all the letters of the Georgian alphabet. Minimal quantities of the analysed material is indicated.







გაბრუნვის გავლენის აღბათური მეთოდებით კვლევა.

პარამეტრული საიმპულსობა არის საკონტრულტო პარამეტრის წინ-  
ნახარ არჩეული ინტერვალს შიგნით მიხვედრის აღბათობა. აღნიშ-  
ნული ინტერვალის ჭარბებში ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის  
აჩრჩევა ჩვენს მიერ. მიცემული განმარტებებიდან გამომდინარე პა-  
რამეტრული საიმპულსობა ღუნქციონალურ დამოკიდებულებაშია ინტერ-  
ვალისა ანდა საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრის სიძიძვისთან.

$$F = \varphi(|\Delta x/x|), \quad (1)$$

$F$  - პარამეტრული საიმპულსობა,

$\Delta x/x$  - საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრის სიძიძვი.

(1) ღუნქცია შეიძლება მიცემული იყოს ანალიტურად ან გრაფიკულად.

პარამეტრული საიმპულსობის კონტრულტობიდან შეიძლება ავიღოთ  
აგრეთვე საშუალო კვაძრატული გადახრის  $\epsilon$  ან საშუალო კვაძრატუ-  
ლი გადახრის საშუალო მნიშვნელობასთან შეჭარბება  $\epsilon/\mu$ .

ინისათვის, რთი შევისწავლოთ. რბიქვის პარამეტრული საიმპ-  
ულსობა, უნდა ვიცოქოთ მისი შემადგენელი ელემენტების პარამეტრუ-  
ლი საიმპულსობა, ვ.ი. - შემადგენელი ელემენტების პარამეტრების  
გაბრუნვა, ეს უკანასკნელნი განმინრბებული არიან წარმოების პირ-  
ცესში გამიწვეული ნომინალების გაშვილილი მნიშვნელობიდან აუსილი-  
ბელი გადახრით, რთიქციათა განსაზღვრავს ტექნოლოგიური პრცესნი,  
გამიწობი აპარატურის ცოქილიება და მისთ. გარდა ამისა ექსპერტ-  
ტაციის პრცესში ხდება პარამეტრების ჭაქტორ მნიშვნელობათა  
გადახრის გამიწვეული დაძველებით ან გარემო ჭაქტორების გავლენით.  
ყველაჭეით ეს შემთხვევიზიზა და ამიჭომ პარამეტრების გაბრუნვის  
შესწავლა დაკავშირებულა სჭაჭისტიკასთან.

მიცემული რბიქვის გამოსავალი  $K$  პარამეტრის განსაზღვრავს



მისი შემადგენელი ელემენტების პარამეტრები  $x_i, i=1, n / n$  არის პარამეტრების რაოდენობა/ და მათ შორის გარკვეული ფუნქციონალური დამოკიდებულება არსებობს

$$K = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$  არის შემადგენელი ელემენტების პარამეტრების ფაქტორი მნიშვნელობები, პარამეტრებისა, რომლებიც ხასიათდებათ  $a_1, a_2, \dots, a_n$  საშუალო მნიშვნელობებით, საშუალო კვარანტული გადანაწილებით და შესაბამისი განაწილების ფუნქციებით.

ამოცანა მიმოხილავს შემდეგში: ავიღოთ რა შემადგენელი ელემენტების პარამეტრების განაწილება /შესაყალი პარამეტრები/ ვიპოვოთ გამოსავალი პარამეტრების განაწილება.

აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტა ანალიზურად შესაძლებელია მხოლოდ რაიმე რამდენიმე უმარტივესი სქემისათვის. სხვა შემთხვევებში უნდა გამოვიყენოთ სტატისტიკური მეთოდების მეშვეობით.

ჩვენს მიერ შესწავლილ იქნა რამდენიმე კვანძების /რეგისტრირი, კონტინენტური, ინტეგრირება/ პარამეტრული საიმპროვიზაციო მათემატიკური მეთოდების მეშვეობით.

სტატისტიკურად შესწავლილია რეგისტრირებისა და კონტინენტურების პარამეტრების /წინააღმდეგობა და ტვინობა/. /3/-ში ნაჩვენებია, რომ პასიური ელემენტების პარამეტრების მნიშვნელობები განსაზღვრულია ნორმალური კანონით, რაც განპირობებულია იმით, რომ მათ რჩება მასიური ხასიათისა და ამიტომ სუბიექტური და დამატებითი ფაქტორების გავლენა ისევ არაა. ამასთან ერთად ნორმალის მნიშვნელობები მოხატულია არიან ინტეგრირებაში  $(a-3\sigma; a+3\sigma)$ , სადა  $a$  - საშუალო მნიშვნელობაა, ხოლო  $\sigma$  — საშუალო კვარანტული



გადახრა. კავშირი ნომინალის მაქსიმალურ გადახრასა /პროცენტში/ ში/ და  $\epsilon$ -ის შიშის მიხედვით ფორმულით

$$\epsilon = \frac{\alpha \cdot P\%}{300}$$

ამავე დროს ტექნოლოგიური პროცესი ითვალისწინებს მაღალი სიზუსტის დატვირთვის ამოწმებას. როგორც წესი, ამოწმება ხდება შედეგ-განაჩნად: ჯერ ირჩევენ მაღალი სიზუსტის ელემენტებს, შედეგად და-რჩენილი პარტიაში უფრო ნაკლები სიზუსტისა და ა.შ. მაგალითად, 20%-იანი გადახრის მქონე დატვირთვიდან ჯერ ირჩევენ დატვირთვას 5%-იანი გადახრით, შედეგად დარჩენილი ელემენტებიდან 10%-იანი გადახრის მქონე დატვირთვას და საბოლოოდ დატვირთვას 20%-იანი გა-დახრის მქონე ელემენტები. მათი პარამეტრების განაწილების სა-ხეობი მოცემულია ნახ. 1-8. გამომთვლელ მანქანაზე იმიტირებულ იქნა სამივე სახის განაწილებები, აქვე ავლნიშნოთ, რომ ნომი-ნალური აჩიან შემთხვევითი სიდიდეები და წარმოვაგონებთ მათი პარამეტრები შედეგგანაჩნად:

$$x_i = f a_i,$$

სადაც  $f$  არის დატვირთვითი კოეფიციენტი. იგი წარმოადგენს მოცემული პარამეტრის საშუალო მნიშვნელობას, ხოლო  $a_i$  - შემთხვე-ვითი რიცხვითი საშუალო მნიშვნელობები 1 და მისი განაწილების სი-მკვრივის სახე მოცემულია ნახ. 1-8.

გამოკვლეული იქნა სხვადასხვა ფაზის დარღვევებით სტრუ-ქტურის პარამეტრული საიმპორტობა. შედეგად კვანძის ყველა ელემენ-ტი აღებულია ერთნაირი, ვ.ი.  $f = const$ . მიღებული შედეგები მო-ყვანილია ქვემოთ მოცემულ ცხრილებსა და გრაფიკებზე.

! სტრუქტურში მოცემული სტრუქტურის პარამეტრის /წინააღმ-







საქართველოს  
აკადემიის  
საბუნებისმეტყველო  
მეცნიერებათა  
ინსტიტუტი

სრული მასივი არის 7. გვერდი, მოცულობა  $\mu_0 \approx 12\ 000$  ერთეული  
და ქვემასივი არის ერთი გვერდი და მოცულობა  $\mu_1 \approx 1700$  ერთეული.  
აქაც ამკარაა, რომ მეშვიდე გვერდის დამატება სურათს არ ცვლის.

გემოთქმულიდან ჩანს, რომ 10 000 ღონისძიების ერთეულის  
შეშლადიანი ფუნქციის ერთგვაროვანობა გარკვეული ფუნქციონალური ელემენ-  
ტის მიმართ და ფუნქციის სტატისტიკური ანალიზის დროს ნებისმი-  
ერი ასეთი მასივის დამუშავება რაოდენობრივად სავსებით საკმა-  
რისია იმისათვის, რომ გადაკვეთით საიმედო დასკვნები,

შემოსულია 15.X.1981

ფიზიკური კიბურნეფიკის  
პრობლემატიკის  
ლაბორატორია



|    |    | $\frac{1}{2} (S_5^1 + S_{10}^2)$ | $\frac{1}{3} (S_5^1 + \dots + S_{15}^3)$ | $\frac{1}{4} (S_5^1 + \dots + S_{20}^4)$ | $\frac{1}{5} (S_5^1 + \dots + S_{25}^5)$ | $\frac{1}{6} (S_5^1 + \dots + S_{30}^6)$ | $\frac{1}{7} (S_5^1 + \dots + S_{35}^7)$ |
|----|----|----------------------------------|--|--|--|--|--|
| 1. | აბ | 0,108                            | 0,114                                    | 0,111                                    | 0,111                                    | 0,111                                    | 0,111                                    |
|    | ბ  | 0,153                            | 0,154                                    | 0,155                                    | 0,155                                    | 0,155                                    | 0,155                                    |
|    | გ  | 0,133                            | 0,135                                    | 0,135                                    | 0,136                                    | 0,136                                    | 0,136                                    |
|    | დ  | 0,127                            | 0,124                                    | 0,122                                    | 0,121                                    | 0,121                                    | 0,121                                    |
|    | ე  | 0,117                            | 0,115                                    | 0,115                                    | 0,115                                    | 0,115                                    | 0,115                                    |
|    | ვ  | 0,100                            | 0,101                                    | 0,101                                    | 0,102                                    | 0,102                                    | 0,102                                    |
| 2. | აბ | 0,137                            | 0,134                                    | 0,133                                    | 0,131                                    | 0,131                                    | 0,131                                    |
|    | ბ  | 0,143                            | 0,144                                    | 0,145                                    | 0,146                                    | 0,146                                    | 0,146                                    |
|    | გ  | 0,132                            | 0,132                                    | 0,133                                    | 0,133                                    | 0,133                                    | 0,133                                    |
|    | დ  | 0,124                            | 0,125                                    | 0,125                                    | 0,127                                    | 0,127                                    | 0,127                                    |
|    | ე  | 0,103                            | 0,105                                    | 0,106                                    | 0,107                                    | 0,107                                    | 0,107                                    |
|    | ვ  | 0,105                            | 0,106                                    | 0,107                                    | 0,108                                    | 0,108                                    | 0,108                                    |
| 3. | აბ | 0,121                            | 0,119                                    | 0,118                                    | 0,118                                    | 0,118                                    | 0,118                                    |
|    | ბ  | 0,142                            | 0,142                                    | 0,142                                    | 0,142                                    | 0,142                                    | 0,142                                    |
|    | გ  | 0,142                            | 0,142                                    | 0,141                                    | 0,142                                    | 0,142                                    | 0,142                                    |
|    | დ  | 0,137                            | 0,136                                    | 0,137                                    | 0,136                                    | 0,136                                    | 0,136                                    |
|    | ე  | 0,090                            | 0,090                                    | 0,090                                    | 0,090                                    | 0,090                                    | 0,090                                    |
|    | ვ  | 0,090                            | 0,090                                    | 0,091                                    | 0,091                                    | 0,091                                    | 0,091                                    |

|    |     | $\frac{1}{2}(S_5^1 + S_{10}^2)$ | $\frac{1}{3}(S_5^1 + \dots + S_{15}^3)$ | $\frac{1}{4}(S_5^1 + \dots + S_{20}^4)$ | $\frac{1}{5}(S_5^1 + \dots + S_{25}^5)$ | $\frac{1}{6}(S_5^1 + \dots + S_{30}^6)$ | $\frac{1}{7}(S_5^1 + \dots + S_{35}^7)$ |
|----|-----|---------------------------------|---|---|---|---|---|
| 4. | ქვ  | 0,141                           | 0,143                                   | 0,143                                   | 0,144                                   | 0,144                                   | 0,144                                   |
|    | მკმ | 0,155                           | 0,154                                   | 0,155                                   | 0,155                                   | 0,155                                   | 0,155                                   |
|    | რამ | 0,128                           | 0,128                                   | 0,128                                   | 0,127                                   | 0,127                                   | 0,127                                   |
|    | ბაბ | 0,107                           | 0,107                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   |
|    | ბარ | 0,107                           | 0,107                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   |
|    | ჯვ  | 0,104                           | 0,102                                   | 0,100                                   | 0,099                                   | 0,099                                   | 0,099                                   |
| 5. | ქვ  | 0,143                           | 0,143                                   | 0,144                                   | 0,144                                   | 0,144                                   | 0,144                                   |
|    | მ   | 0,151                           | 0,151                                   | 0,151                                   | 0,151                                   | 0,151                                   | 0,151                                   |
|    | რამ | 0,121                           | 0,121                                   | 0,121                                   | 0,121                                   | 0,121                                   | 0,121                                   |
|    | ბაბ | 0,117                           | 0,117                                   | 0,117                                   | 0,117                                   | 0,117                                   | 0,117                                   |
|    | ბარ | 0,106                           | 0,108                                   | 0,109                                   | 0,109                                   | 0,109                                   | 0,109                                   |
|    | ჯვ  | 0,104                           | 0,103                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   | 0,108                                   |
| 6. | ქვ  | 0,110                           | 0,112                                   | 0,113                                   | 0,115                                   | 0,115                                   | 0,115                                   |
|    | მკ  | 0,155                           | 0,155                                   | 0,154                                   | 0,155                                   | 0,155                                   | 0,155                                   |
|    | რამ | 0,136                           | 0,137                                   | 0,136                                   | 0,137                                   | 0,137                                   | 0,137                                   |
|    | ბაბ | 0,119                           | 0,117                                   | 0,116                                   | 0,116                                   | 0,116                                   | 0,116                                   |
|    | ბარ | 0,129                           | 0,124                                   | 0,124                                   | 0,123                                   | 0,123                                   | 0,123                                   |
|    | ჯვ  | 0,103                           | 0,102                                   | 0,102                                   | 0,103                                   | 0,103                                   | 0,103                                   |







|   | $\frac{1}{2}(S_1+S_2)$ | $\frac{1}{3}(S_1+S_2+S_3)$ | $\frac{1}{4}(S_1+\dots+S_4)$ | $\frac{1}{5}(S_1+\dots+S_5)$ | $\frac{1}{6}(S_1+\dots+S_6)$ | $\frac{1}{7}(S_1+\dots+S_7)$ |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| ა | 0,130                  | 0,132                      | 0,133                        | 0,133                        | 0,133                        | 0,133                        |
| ბ | ,105                   | ,104                       | ,106                         | ,105                         | ,106                         | ,106                         |
| გ | ,098                   | ,088                       | ,087                         | ,087                         | ,088                         | ,087                         |
| დ | ,078                   | ,076                       | ,078                         | ,079                         | ,079                         | ,079                         |
| ე | ,071                   | ,072                       | ,071                         | ,071                         | ,072                         | ,072                         |
| ვ | ,068                   | ,068                       | ,070                         | ,067                         | ,068                         | ,068                         |
| ზ | ,060                   | ,061                       | ,063                         | ,065                         | ,065                         | ,065                         |
| თ | ,051                   | ,052                       | ,053                         | ,054                         | ,053                         | ,053                         |
| ი | ,055                   | ,053                       | ,051                         | ,050                         | ,050                         | ,050                         |
| კ | ,055                   | ,054                       | ,052                         | ,054                         | ,054                         | ,054                         |
| ლ | ,071                   | ,073                       | ,070                         | ,072                         | ,072                         | ,072                         |
| მ | ,043                   | ,049                       | ,046                         | ,045                         | ,046                         | ,046                         |
| ნ | ,047                   | ,052                       | ,049                         | ,047                         | ,047                         | ,047                         |
| ო | ,035                   | ,037                       | ,039                         | ,040                         | ,040                         | ,040                         |
| პ | ,032                   | ,027                       | ,024                         | ,026                         | ,027                         | ,027                         |
| ჟ | ,035                   | ,034                       | ,033                         | ,033                         | ,032                         | ,032                         |
| რ | ,017                   | ,018                       | ,022                         | ,021                         | ,022                         | ,022                         |
| ს | ,013                   | ,014                       | ,017                         | ,018                         | ,018                         | ,018                         |



| I |                        |                            |                              |                              |                              |                              |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|   | $\frac{1}{2}(S_1+S_2)$ | $\frac{1}{3}(S_1+S_2+S_3)$ | $\frac{1}{4}(S_1+\dots+S_4)$ | $\frac{1}{5}(S_1+\dots+S_5)$ | $\frac{1}{6}(S_1+\dots+S_6)$ | $\frac{1}{7}(S_1+\dots+S_7)$ |
| ბ | 0,016                  | 0,013                      | 0,014                        | 0,015                        | 0,014                        | 0,014                        |
| ფ | ,023                   | ,023                       | ,025                         | ,026                         | ,026                         | ,026                         |
| ვ | ,023                   | ,020                       | ,018                         | ,022                         | ,020                         | ,020                         |
| გ | ,018                   | ,020                       | ,019                         | ,019                         | ,019                         | ,019                         |
| დ | ,017                   | ,014                       | ,016                         | ,016                         | ,017                         | ,017                         |
| ე | ,014                   | ,011                       | ,009                         | ,011                         | ,011                         | ,011                         |
| თ | ,012                   | ,011                       | ,012                         | ,012                         | ,011                         | ,011                         |
| კ | ,011                   | ,013                       | ,012                         | ,012                         | ,011                         | ,011                         |
| ლ | ,011                   | ,006                       | ,007                         | ,007                         | ,007                         | ,012                         |
| ძ | ,010                   | ,007                       | ,009                         | ,008                         | ,009                         | ,009                         |
| წ | ,006                   | ,008                       | ,012                         | ,011                         | ,012                         | ,012                         |
| ხ | ,002                   | ,001                       | ,002                         | ,002                         | ,002                         | ,002                         |
| ყ | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |
| შ | ,001                   | ,001                       | ,002                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |
| ჩ | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,002                         | ,001                         | ,001                         |

|   | $\frac{1}{2}(S_1+S_2)$ | $\frac{1}{3}(S_1+S_2+S_3)$ | $\frac{1}{4}(S_1+\dots+S_4)$ | $\frac{1}{5}(S_1+\dots+S_5)$ | $\frac{1}{6}(S_1+\dots+S_6)$ | $\frac{1}{7}(S_1+\dots+S_7)$ |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| ა | 0,127                  | 0,130                      | 0,133                        | 0,133                        | 0,133                        | 0,132                        |
| ბ | ,108                   | ,111                       | ,109                         | ,110                         | ,109                         | ,109                         |
| გ | ,086                   | ,085                       | ,085                         | ,085                         | ,085                         | ,081                         |
| დ | ,087                   | ,086                       | ,084                         | ,082                         | ,081                         | ,081                         |
| ე | ,074                   | ,075                       | ,077                         | ,078                         | ,077                         | ,077                         |
| ვ | ,073                   | ,055                       | ,067                         | ,068                         | ,068                         | ,068                         |
| ზ | ,064                   | ,061                       | ,062                         | ,060                         | ,060                         | ,060                         |
| თ | ,061                   | ,058                       | ,057                         | ,056                         | ,056                         | ,056                         |
| ი | ,050                   | ,050                       | ,052                         | ,052                         | ,052                         | ,053                         |
| კ | ,066                   | ,061                       | ,058                         | ,057                         | ,057                         | ,057                         |
| ლ | ,074                   | ,075                       | ,077                         | ,076                         | ,077                         | ,077                         |
| მ | ,048                   | ,046                       | ,047                         | ,046                         | ,045                         | ,054                         |
| ნ | ,042                   | ,041                       | ,042                         | ,043                         | ,043                         | ,041                         |
| ო | ,044                   | ,041                       | ,038                         | ,037                         | ,037                         | ,037                         |
| პ | ,036                   | ,033                       | ,032                         | ,032                         | ,031                         | ,031                         |
| ჟ | ,035                   | ,030                       | ,026                         | ,028                         | ,030                         | ,030                         |
| რ | ,021                   | ,019                       | ,017                         | ,020                         | ,020                         | ,020                         |
| ს | ,018                   | ,017                       | ,017                         | ,016                         | ,017                         | ,017                         |





11

|   | $\frac{1}{2}(S_1+S_2)$ | $\frac{1}{3}(S_1+S_2+S_3)$ | $\frac{1}{4}(S_1+\dots+S_4)$ | $\frac{1}{5}(S_1+\dots+S_5)$ | $\frac{1}{6}(S_1+\dots+S_6)$ | $\frac{1}{7}(S_1+\dots+S_7)$ |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| ბ | 0,010                  | 0,012                      | 0,012                        | 0,012                        | 0,013                        | 0,013                        |
| ვ | ,016                   | ,018                       | ,021                         | ,021                         | ,021                         | ,021                         |
| გ | ,015                   | ,016                       | ,015                         | ,016                         | ,018                         | ,018                         |
| დ | ,016                   | ,017                       | ,013                         | ,017                         | ,017                         | ,017                         |
| ე | ,012                   | ,013                       | ,015                         | ,016                         | ,015                         | ,015                         |
| ი | ,015                   | ,014                       | ,013                         | ,013                         | ,013                         | ,013                         |
| კ | ,011                   | ,010                       | ,012                         | ,011                         | ,010                         | ,010                         |
| ლ | ,013                   | ,008                       | ,009                         | ,008                         | ,009                         | ,009                         |
| მ | ,013                   | ,011                       | ,012                         | ,011                         | ,011                         | ,008                         |
| ნ | ,012                   | ,015                       | ,014                         | ,014                         | ,014                         | ,013                         |
| ო | ,007                   | ,008                       | ,010                         | ,009                         | ,009                         | ,009                         |
| პ | ,001                   | ,001                       | ,002                         | ,002                         | ,002                         | ,002                         |
| ჟ | ,001                   | ,002                       | ,001                         | ,002                         | ,001                         | ,001                         |
| რ | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |
| ს | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |







|   | $\frac{1}{2}(S_1+S_2)$ | $\frac{1}{3}(S_1+S_2+S_3)$ | $\frac{1}{4}(S_1+\dots+S_4)$ | $\frac{1}{5}(S_1+\dots+S_5)$ | $\frac{1}{6}(S_1+\dots+S_6)$ | $\frac{1}{7}(S_1+\dots+S_7)$ |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| ბ | 0,016                  | 0,015                      | 0,016                        | 0,018                        | 0,017                        | 0,01                         |
| წ | ,017                   | ,019                       | ,017                         | ,018                         | ,019                         | ,019                         |
| ყ | ,028                   | ,022                       | ,022                         | ,022                         | ,021                         | ,021                         |
| ფ | ,014                   | ,016                       | ,012                         | ,012                         | ,015                         | ,015                         |
| ჯ | ,007                   | ,010                       | ,012                         | ,011                         | ,010                         | ,010                         |
| ჩ | ,008                   | ,011                       | ,010                         | ,012                         | ,010                         | ,010                         |
| ც | ,006                   | ,007                       | ,009                         | ,009                         | ,008                         | ,008                         |
| კ | ,006                   | ,007                       | ,007                         | ,007                         | ,008                         | ,008                         |
| ლ | ,009                   | ,007                       | ,010                         | ,010                         | ,010                         | ,010                         |
| ძ | ,013                   | ,014                       | ,016                         | ,011                         | 0,12                         | ,011                         |
| წ | ,007                   | ,006                       | ,005                         | ,006                         | ,005                         | ,005                         |
| ხ | ,002                   | ,002                       | ,003                         | ,002                         | ,002                         | ,002                         |
| ც | ,002                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |
| ძ | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |
| წ | ,001                   | ,001                       | ,001                         | ,001                         | ,001                         | ,001                         |

1  
28  
1

X ცხრილის პირველ ნაწილში წარმოდგენილია მონაცემები ჭეშვთი ჩამოთვლილი რიგის მიხედვით, ხოლო მეორე ნაწილში - მეორე ხუთი ავტორისაგან. ცხრილის III ნაწილში - მონაცემები ავტორებისაგან, რომლებიც ამ სამი ავტორიდან-ცხრილში ასრულებდნენ რა-

1. С. Кульбак, Теория информации и статистика, М., 1967.
2. Т.Г.Гачечиладзе, К.Т.Микеладзе, Т.П.Цилосани, Исследование текстов на статистическую однородность фиксированного элемента, Тезисы всесоюзной школы - семинара по прикладной и инженерной лингвистике, Махачкала, 1978.
3. В.Фукс, Математическая теория словообразования, Сборник "Теория передачи сообщений", М., 1957.

Э.Д.Симонишвили, Т.П.Цилосани

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКСТОВ НА ОДНОРОДНОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНО ФИКСИРОВАННЫХ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ

### Резюме

Исследованы тексты классиков грузинской литературы на однородность относительно некоторых синтаксических единиц и относительно всех букв грузинского алфавита.

Указаны предполагаемые минимальные объемы обрабатываемых массивов.

E.Simonishvili, T.Tsilosani

## TEXT ANALYSIS FOR HOMOGENEITY OF FIXED LINGUISTIC UNITS

### Summary

Texts of Georgian classics are analysed for homogeneity of some syntactic units and all the letters of the Georgian alphabet. Minimal quantities of the analysed material is indicated.







გაბნევის გავლენის აღბათური მეთოდებში კვლევა.

პარამეტრული საიმედიოობა არის საკონტროლო პარამეტრის წინასწარ არჩეულ ინტერვალს შიგნით მიხედვრის აღბათობა. აღნიშნული ინტერვალის ფარგლებში ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის აირჩევა ჩვენს მიერ. მოცემული განმარტვებთან გამომდინარე პარამეტრული საიმედიოობა ფუნქციონალურ დამოკიდებულებაშია ინტერვალისა ანდა საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრის სიდიდესთან.

$$F = \varphi(|\Delta x/x|), \quad (1)$$

$F$  — პარამეტრული საიმედიოობა,

$\Delta x/x$  — საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრის სიდიდე.

(1) ფუნქცია შეიძლება მოცემული იყოს ანალიტიკურად ან გრაფიკურად.

პარამეტრული საიმედიოობის კონტროლში შეიძლება ავიღოთ აგრეთვე საშუალო კვალიფიკაციის გადახრა  $\epsilon$  ან საშუალო კვალიფიკაციის გადახრის საშუალო მნიშვნელობასთან შეფარდება  $\epsilon/\mu$ .

იშისათვის, რომ შევსწავლოთ. ობიექტის პარამეტრული საიმედიოობა, უნდა იცოდეთ მისი შემადგენელი ელემენტების პარამეტრული საიმედიოობა, ე.ი. — შემადგენელი ელემენტების პარამეტრული გაბნევა, ეს უკანასკნელი განპირობებული არის წარმოების პროცესში გამოწვეული ნორმალუბის გამოყოფილი მნიშვნელობიდან აუცილებელი გადახრის, რომელიც განსაზღვრავს ტექნოლოგიური პროცესი, გამომწევი პარამეტრის ცენტრიუბა და მისი. გარდა ამისა ექსპლექტაციის პროცესში ხდება პარამეტრების ფუნქციურ მნიშვნელობათა გადახრა გამოწვეული დამუდგენილ ან გარემო ფაქტორების გავლენით. ყველაფერი ეს შემთხვევითია და ამისათვის პარამეტრების გაბნევის შესწავლა დაკავშირებულია სტატისტიკასთან.

მოცემული ობიექტის დამოსავალი  $K$  პარამეტრის განსაზღვრავს



მისი შემადგენელი ელემენტების პარამეტრები  $x_i, i=1, n / n$  არის პარამეტრების რაოდენობა / და მათ შორის გარკვეული ფუნქციონალური და მოკიდებულია არსებობს

$$K = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$  არის შემადგენელი ელემენტების პარამეტრების ფაქტორული მნიშვნელობები, პარამეტრებისა, რომლებიც ხასიათდება  $a_1, a_2, \dots, a_n$  საშუალო მნიშვნელობებით, საშუალო კვარანტული გადახრებით და შესაბამისი განაწილების ფუნქციებით.

ამოცანა მიგონაწივს შემდეგში: ავიღოთ რა შემადგენელი ელემენტების პარამეტრების განაწილება /შესავალი პარამეტრები/ ვინაიდან გამოსავალი პარამეტრების განაწილება.

აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტა ანალიტიკურად შესაძლებელია მხოლოდ რამდენიმე უმარტივესი სქემისათვის. სხვა შემთხვევებში უნდა გამოვიყენოთ სტატისტიკური მეთოდების მეშვეობით.

ჩვენს მიერ შესწავლილ იქნა რამდენიმე უმარტივესი /რეგისტრირი, კონტინენტური, ინტეგრირება/ პარამეტრული სანიმუშო მათემატიკური მეთოდების მეშვეობით.

სტატისტიკურად შესწავლილია რეგისტრირებისა და კონტინენტურების პარამეტრების /წინააღმდეგე და ტვარება/. /3/-ში ნაჩვენებია, რომ მასიური ელემენტების პარამეტრების მნიშვნელობები განსაზღვრულია ნორმალური კანონით, რაც განპირობებულია იმით, რომ მათ რთულია მასიური ხასიათისა და ამიტომ სუბიექტური და ემპირიური ფაქტორების გავლენა ისეა. ამასთან ერთად ნორმალის მნიშვნელობები მათემატიკური არიან ინტეგრირებით  $(\alpha - 3\epsilon; \alpha + 3\epsilon)$ , სადა  $\alpha$  - საშუალო მნიშვნელობაა, ხოლო  $\epsilon$  — საშუალო კვარანტული



გადახრა. კავშირი ნომინალის მატრიცულ გადახრასა /პროცენტებში/ და  $\epsilon$ -ის შორის მოიცემა ფორმულით

$$\epsilon = \frac{\alpha \cdot P\%}{300}$$

ამავე დროს ტექნოლოგიური პროცესი იტვირთვების მაღალი სიღრმისთვის დატვირთვის ამორჩევას. როგორც წესი, ამორჩევა ხდება შემდეგნაირად: ჯერ ირჩევენ მაღალი სიღრმის ვლემენტებს, შემდეგ დაირჩევიან პარტიკულარული უფრო ნაკლები სიღრმისა და ა.შ. მაგალითად, 20%-იანი გადახრის მქონე დატვირთვებიდან ჯერ ირჩევენ დატვირთვებს 5%-იანი გადახრით, შემდეგ დაირჩევიან ვლემენტებიდან 10%-იანი გადახრის მქონე დატვირთვები და საბოლოოდ დატვირთვება 20%-იანი გადახრის მქონე ვლემენტები. მათი პარამეტრების განაწილების სახეები მოცემულია ნახ. 1-89. გამომთვლელ მანქანაზე იმიტირებულ იქნა სამივე სახის განაწილებები, აქვე აღნიშნული, რომ ნომინალური არიან შემთხვევითი სიდიდეები და წარმოვაგვიჩვენა მათი პარამეტრები შემდეგნაირად:

$$X_i = A a_i,$$

სადაც  $A$  არის დატვირთვითი კოეფიციენტი. იგი წარმოადგენს მოცემული პარამეტრის საშუალო მნიშვნელობას, ხოლო  $a_i$  - შემთხვევითი რიცხვითი საშუალო მნიშვნელობით 1 და მისი განაწილების სიმკვრივის სახე მოცემულია ნახ. 1-89.

გამოკვლეული იქნა სხვადასხვა ფაზის დარღვევებით სქემების პარამეტრული სანიშნობა. მეთოდური კვანძის ყველა ვლემენტი აღებულია ერთნაირი, ე.ი.  $A = const$ . მიღებული შედეგები მოყვანილია ქვემოთ მოცემულ ცხრილებსა და გრაფიკებში.

1. სტრუქტურული მოცემული სქემებისათვის პარამეტრის /წინააღ-



ბის, გვეპოვების/ კვრძი ბნიშვნილობა

$$X_j = \sum_{i=1}^n x_{ji} = \sum_{i=1}^n A a_{ji} = A \sum_{i=1}^n a_{ji},$$

სადაც  $a_1, a_2, \dots, a_n$  თიბუჯი ვეღმენჭის პარამეტრის ვრთი რადიბ-ცისა. თუ მივახებენთ აღნიშნული პარამეტრების შებ-თხვევითი ბნიშვნილობების რეალიზაციას  $N$ -ჯერ, მაშინ საშუა-ლთ ბნიშვნილობა

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n x_{ji} = \frac{1}{N} A \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n a_{ji} = A \tilde{x},$$

სადაც

$$\tilde{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n a_{ji},$$

(2)

ბოლო საშუალო ვვარაგული ბარახრა

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (A \sum_{i=1}^n a_{ji} - A \tilde{x})^2}{N-1}} = A \tilde{S},$$

სადაც

$$\tilde{S} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \left( \sum_{i=1}^n a_{ji} - \tilde{x} \right)^2}{N-1}}$$

(3)

ანალიტიკურა II სფრიქონში მიღებული სქემებისსაგვის

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^n (x_{ij})^{-1} \right\}^{-1} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^n (A a_{ij})^{-1} \right\}^{-1} = A \tilde{x},$$

სადაც

$$\tilde{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^n (a_{ij})^{-1} \right\}^{-1}.$$

(4)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \left[ \left\{ \sum_{i=1}^n (A a_{ij})^{-1} \right\}^{-1} - A \tilde{x} \right]^2}{N-1}} = A \tilde{S},$$

սարգ

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \left[ \left\{ \sum_{i=1}^n (a_{ij})^{-1} \right\}^{-1} - \tilde{x} \right]^2}{N-1}} \quad (5)$$

III ստրուկտուրի մոդելური սլեյմեծնսառն

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left\{ \sum_{l=1}^m \left( \sum_{k=1}^m \# a_{jik} \right)^{-1} \right\}^{-1} = \# \tilde{x},$$

սարգ

$$\tilde{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^m \left( \sum_{k=1}^m a_{jik} \right)^{-1} \right\}^{-1}, \quad (6)$$

տրոն

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \left[ \left\{ \sum_{i=1}^m \left( \sum_{k=1}^m \# a_{jik} \right)^{-1} \right\}^{-1} - \# \tilde{x} \right]^2}{N-1}} = \# \tilde{\sigma},$$

սարգ

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \left[ \left\{ \sum_{i=1}^m \left( \sum_{k=1}^m a_{jik} \right)^{-1} \right\}^{-1} - \tilde{x} \right]^2}{N-1}} \quad (7)$$

IV ստրուկտուրի մոդելური սլեյմեծնսառն

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^m \left\{ \sum_{k=1}^m (\# a_{jik})^{-1} \right\}^{-1} = \# \tilde{x},$$

սարգ

$$\tilde{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m \left\{ \sum_{k=1}^m (a_{jik})^{-1} \right\}^{-1}, \quad (8)$$

տրոն

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \left[ \sum_{i=1}^m \left\{ \sum_{k=1}^m (\# a_{jik})^{-1} \right\}^{-1} - \# \tilde{x} \right]^2}{N-1}} = \# \tilde{\sigma},$$





სადაც

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \left[ \sum_{i=1}^m \left\{ \sum_{k=1}^m (a_{jik})^{-1} \right\} - \tilde{x}_j \right]^2}{N-1}} \quad (9)$$

ბეჯცმ-6 ტიპის გამომზადებული მანქანაზე იმინისტრაციული იქნა (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9) სიდიდეები. მათგან უფრო სტატისტიკურად გამოანგარიშებული იქნა  $\tilde{x}$  და  $\tilde{\sigma}$ , ნომინალის ურთიერთსახეობის უპირატეს ასევე  $x_0$  და  $\sigma_0$ . შედეგები შეფასებულია ცხრილში. III და IV სტრუქტურში მოცემული სტატისტიკური  $\sigma_0/\tilde{\sigma}$  შეფასებების გამოანგარიშებისას,  $\sigma_0$  აღებულია ურთიერთი ნომინალის მქონე ექვმეტიანი პარამეტრის საშუალო კვალიფიკაციის გამოხატვა.

გარდა ამისა მოქმედებულ იქნა პარამეტრული ელემენტების პარამეტრები, რომელთა განაწილებების ფუნქციის სიმკვრივის სახე მოცემულია ნახ. I-ში, ხოლო საშუალო მნიშვნელობები: I სტრუქტურის სახეობის  $\mu=11, \sigma=1,40$ ; II სტრუქტურის სახეობის  $\mu=11, \sigma=1,40$ . ცხრილში მოცემულია მიღებული ანაკრეპების საშუალო მნიშვნელობები  $x_0$  და საშუალო კვალიფიკაციის გამოხატვა  $\sigma_0$ .

ანათვალთა რაოდენობა ავიღეთ  $N=10000$ . გამოკვლეული იქნა  $P=\pm 5\%$ ,  $P=\pm 10\%$  და  $P=\pm 20\%$  სიზუსტის მქონე ექვმეტიანი აგებული პარამეტრული სტატისტიკური, ნახ. 2,3,4-ში შესაბამისად მოყვანილია (1) გამოკვლეულების მრუდები /N-ით მიხედვითა და პარამეტრების ჯერადობაზე/.

მათგან ცხრილიდან და გრაფიკებიდან გამოდინარეობს შემდეგი შედეგები:

1. გრაფიკებიდან გამოდინარე შევნიშობთ, რომ პარამეტრების შედეგად პარამეტრული საიმედიოობა მათგან, თანაც აღნიშნული მათგან გამოკვლეულია მხოლოდ პარამეტრების ჯერადობა-



ბაბე და ანასა და ნოკრეძეძუნი დარეგერებინს ფორმაზე / მიმდევრობითი /  
 თი, პარადელური პარადელური-მიმდევრობითი, მიმდევრობითი-პარადე-  
 ლური/.

II. ცხრილებიდან საშუალო კვადრატული გადახრის-  
 სივსის შეგვადინა და ვეროთ შედეგთ:

1.

$$\sigma = n \sigma_1$$

$\sigma_1$  — რაღაც  $n$  ნომინალის მიქონე ელემენტის პარამეტრის სა-  
 შუალო კვადრატული გადახრა.

$\sigma$  —  $n$  ნომინალის მიქონე ელემენტის პარამეტრის საშუალო  
 კვადრატული გადახრა.

2.

$$\sigma = \frac{1}{n} \sigma_1$$

$\sigma_1$  — რაღაც  $n$  ნომინალის მიქონე ელემენტის პარამეტრის საშუ-  
 ალო კვადრატული გადახრა.

$\sigma$  —  $n/n$  ნომინალის მიქონე ელემენტის პარამეტრის საშუალო  
 კვადრატული გადახრა.

3.

$$\sigma = \sqrt{n} \sigma_1$$

$\sigma_1$  — რაღაც  $n$  ნომინალის მიქონე ელემენტის პარამეტრის სა-  
 შუალო კვადრატული გადახრა.

$\sigma$  —  $n$  რაოდენობის მიმდევრობითი ჩართული  $n$  ნომინალის მიქო-  
 ნე ელემენტების პარამეტრის საშუალო კვადრატული გადახრა.

4.

$$\sigma = \frac{\sigma_1}{n \sqrt{n}}$$

$\sigma_1$  — რაღაც  $n$  ნომინალის მიქონე ელემენტის პარამეტრის სა-  
 შუალო კვადრატული გადახრა.





$\epsilon$  —  $n$  რაოდენობის პარალელურად ჩარტული  $\mathcal{F}$ -ნორმის მქონე ელემენტების  $\mathcal{Z}$  რამდენობის საშუალო კვადრატული გადახრა,  
5.

$$\epsilon = \frac{\epsilon_0}{\sqrt{n}}$$

$n$  — დარღვევების ჯერადობა.

$\epsilon$  — დარღვევებზე კვანძის პარამეტრის საშუალო კვადრატული გადახრა.

$\epsilon_0$  — შემადგენელი ელემენტების პარამეტრის საშუალო კვადრატული გადახრა.

ამრიგად კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ დარღვევების მქონე ვადასამართლო საბუღალტრო მართლმართა მართლმართა და ეს მართლმართა მართლმართა მართლმართა დარღვევების ჯერადობა.

შემოსულობა 12.XI.1981

რადიოტექნიკის კატეგორია







ცხრილი / მარცხენა

$P = \pm 10\%$

|     | $n$ | $\xi_0$ | $x_0$  | $\tilde{\xi}$ | $\tilde{x}$ | $\xi_0/\tilde{\xi}$ | $\tilde{\xi}/\tilde{x}$ | $\xi_0/x_0$ |
|-----|-----|---------|--------|---------------|-------------|---------------------|-------------------------|-------------|
| I   | 1   | 0,07300 | 1,0000 | 0,07300       | 1,0000      | 1,00                | 0,0730                  | 0,0730      |
|     | 2   | 0,14610 | 2,0000 | 0,10360       | 2,0000      | 1,41                | 0,0518                  | 0,0731      |
|     | 3   | 0,21900 | 3,0000 | 0,12730       | 3,0000      | 1,72                | 0,0424                  | 0,0730      |
|     | 4   | 0,29180 | 4,0000 | 0,14590       | 4,0000      | 2,00                | 0,0365                  | 0,0730      |
|     | 5   | 0,36520 | 5,0000 | 0,16310       | 5,0000      | 2,24                | 0,0326                  | 0,0730      |
|     | 6   | 0,43780 | 6,0000 | 0,17870       | 6,0000      | 2,45                | 0,0298                  | 0,0730      |
|     | 7   | 0,51110 | 7,0000 | 0,19290       | 7,0000      | 2,65                | 0,0276                  | 0,0730      |
|     | 8   | 0,58400 | 8,0000 | 0,20640       | 8,0000      | 2,83                | 0,0258                  | 0,0730      |
|     | 9   | 0,65720 | 9,0000 | 0,21910       | 9,0000      | 3,00                | 0,0243                  | 0,0730      |
|     | 10  | 0,73110 | 10,000 | 0,23060       | 10,000      | 3,17                | 0,0231                  | 0,0731      |
| II  | 1   | 0,07300 | 1,0001 | 0,07300       | 1,0000      | 1,00                | 0,0730                  | 0,0730      |
|     | 2   | 0,03650 | 0,5000 | 0,02590       | 0,5000      | 1,42                | 0,0518                  | 0,0730      |
|     | 3   | 0,02434 | 0,3333 | 0,01407       | 0,3333      | 1,73                | 0,0422                  | 0,0730      |
|     | 4   | 0,01828 | 0,2500 | 0,00919       | 0,2501      | 1,99                | 0,0368                  | 0,0731      |
|     | 5   | 0,01460 | 0,2001 | 0,00652       | 0,2000      | 2,24                | 0,0326                  | 0,0730      |
|     | 6   | 0,01217 | 0,1667 | 0,00499       | 0,1667      | 2,44                | 0,0299                  | 0,0730      |
|     | 7   | 0,01043 | 0,1429 | 0,00394       | 0,1429      | 2,65                | 0,0276                  | 0,0730      |
|     | 8   | 0,00910 | 0,1250 | 0,00322       | 0,1250      | 2,83                | 0,0258                  | 0,0728      |
|     | 9   | 0,00812 | 0,1111 | 0,00272       | 0,1111      | 2,99                | 0,0245                  | 0,0731      |
|     | 10  | 0,00729 | 0,1001 | 0,00231       | 0,1000      | 3,16                | 0,0231                  | 0,0728      |
| III | 4   |         |        | 0,0364        | 1,0000      | 2,01                | 0,0364                  |             |
|     | 9   |         |        | 0,0243        | 1,0000      | 3,00                | 0,0243                  |             |
|     | 16  |         |        | 0,0183        | 1,0000      | 3,99                | 0,0183                  |             |
|     | 25  |         |        | 0,0146        | 1,0000      | 5,00                | 0,0146                  |             |
| IV  | 4   |         |        | 0,0365        | 1,0000      | 2,00                | 0,0365                  |             |
|     | 9   |         |        | 0,0244        | 1,0000      | 2,99                | 0,0244                  |             |
|     | 16  |         |        | 0,0182        | 1,0000      | 4,01                | 0,0182                  |             |
|     | 25  |         |        | 0,0146        | 1,0000      | 5,00                | 0,0146                  |             |



ცხრილი / მატრიცა

| P = ±20% |    |                |                |        |        |                    |        |                                |
|----------|----|----------------|----------------|--------|--------|--------------------|--------|--------------------------------|
|          | n  | ε <sub>0</sub> | x <sub>0</sub> | ε̃     | ξ̃     | ε <sub>0</sub> /ε̃ | ε̃/ξ̃  | ε <sub>0</sub> /x <sub>0</sub> |
| I        | 1  | 0,1288         | 1,0000         | 0,1288 | 1,0000 | 1,00               | 0,1288 | 0,1288                         |
|          | 2  | 0,2576         | 2,0000         | 0,1827 | 2,0000 | 1,41               | 0,0914 | 0,1288                         |
|          | 3  | 0,3865         | 3,0000         | 0,2247 | 3,0000 | 1,72               | 0,0749 | 0,1288                         |
|          | 4  | 0,5152         | 4,0000         | 0,2516 | 4,0000 | 2,00               | 0,0644 | 0,1288                         |
|          | 5  | 0,6441         | 5,0000         | 0,2875 | 5,0000 | 2,24               | 0,0575 | 0,1288                         |
|          | 6  | 0,7727         | 6,0000         | 0,3141 | 6,0000 | 2,46               | 0,0524 | 0,1288                         |
|          | 7  | 0,9015         | 7,0000         | 0,3389 | 7,0000 | 2,66               | 0,0485 | 0,1288                         |
|          | 8  | 1,0305         | 8,0000         | 0,3641 | 8,0000 | 2,83               | 0,0455 | 0,1288                         |
|          | 9  | 1,1592         | 9,0000         | 0,3864 | 9,0000 | 3,00               | 0,0429 | 0,1288                         |
|          | 10 | 1,2882         | 10,000         | 0,4077 | 10,000 | 3,16               | 0,0408 | 0,1288                         |
| II       | 1  | 0,1288         | 1,0000         | 0,1288 | 1,0000 | 1,00               | 0,1288 | 0,1288                         |
|          | 2  | 0,0644         | 0,5000         | 0,0454 | 0,5000 | 1,42               | 0,0908 | 0,1288                         |
|          | 3  | 0,0429         | 0,3333         | 0,0249 | 0,3333 | 1,72               | 0,0747 | 0,1287                         |
|          | 4  | 0,0322         | 0,2500         | 0,0161 | 0,2500 | 2,00               | 0,0644 | 0,1288                         |
|          | 5  | 0,0258         | 0,2001         | 0,0115 | 0,2000 | 2,24               | 0,0575 | 0,1289                         |
|          | 6  | 0,0215         | 0,1667         | 0,0088 | 0,1667 | 2,44               | 0,0528 | 0,1290                         |
|          | 7  | 0,0184         | 0,1429         | 0,0069 | 0,1429 | 2,67               | 0,0483 | 0,1288                         |
|          | 8  | 0,0161         | 0,1250         | 0,0057 | 0,1250 | 2,83               | 0,0456 | 0,1288                         |
|          | 9  | 0,0144         | 0,1111         | 0,0048 | 0,1111 | 3,00               | 0,0432 | 0,1296                         |
|          | 10 | 0,0129         | 0,1000         | 0,0041 | 0,1000 | 3,15               | 0,0410 | 0,1290                         |
| III      | 4  |                |                | 0,0644 | 1,0000 | 2,00               | 0,0644 |                                |
|          | 9  |                |                | 0,0429 | 1,0000 | 3,00               | 0,0429 |                                |
|          | 16 |                |                | 0,0322 | 1,0000 | 4,00               | 0,0322 |                                |
|          | 25 |                |                | 0,0257 | 1,0000 | 5,01               | 0,0257 |                                |
| IV       | 4  |                |                | 0,0642 | 1,0000 | 2,01               | 0,0642 |                                |
|          | 9  |                |                | 0,0430 | 1,0000 | 3,00               | 0,0430 |                                |
|          | 16 |                |                | 0,0323 | 1,0000 | 3,99               | 0,0323 |                                |
|          | 25 |                |                | 0,0258 | 1,0000 | 4,99               | 0,0258 |                                |



## ЛИТЕРАТУРА

1. А.Г.Ларин, Д.И.Томашевский и др., Машинная оптимизация электронных узлов РЭА, "Советское радио", 1978.
2. Ю.Е.Смагин, Матричные испытания радио-электронных устройств с помощью ЭВМ, "Энергия", 1979.
3. А.В.Фомин, Ю.Г.Обичкин, Надежность полупроводниковых радиоустройств летательных аппаратов, "Машиностроение", 1968.
4. Г.В.Дружинин, Надежность автоматизированных систем. "Энергия", 1972.
5. И.С.Каширский, Я.К.Трохименко, Обобщенная оптимизация электронных схем, "Техника", 1979.
6. В.В.Белецкий, Теория и практические методы резервирования радио-электронной аппаратуры, "Энергия", 1977.

Ш.Л.Бебиашвили, О.М.Намичейшвили,  
Г.А.Кучава, Н.С.Кобуладзе

## ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ РЕЗЕРВИРОВАННЫХ ЦЕПЕЙ

## Резюме

В работе исследована параметрическая надежность резервированных цепей. Получены количественные и качественные показатели параметрической надежности. Выяснилось, что при резервировании увеличивается параметрическая надежность. При этом увеличение зависит от кратности резервирования и не зависит от вида резервирования (последовательный, параллельный, параллельно-последовательный, последовательно-параллельный).

Sh.Bebiashvili, O.Namicheishvili, G.Kuchava, N.Kobuladze

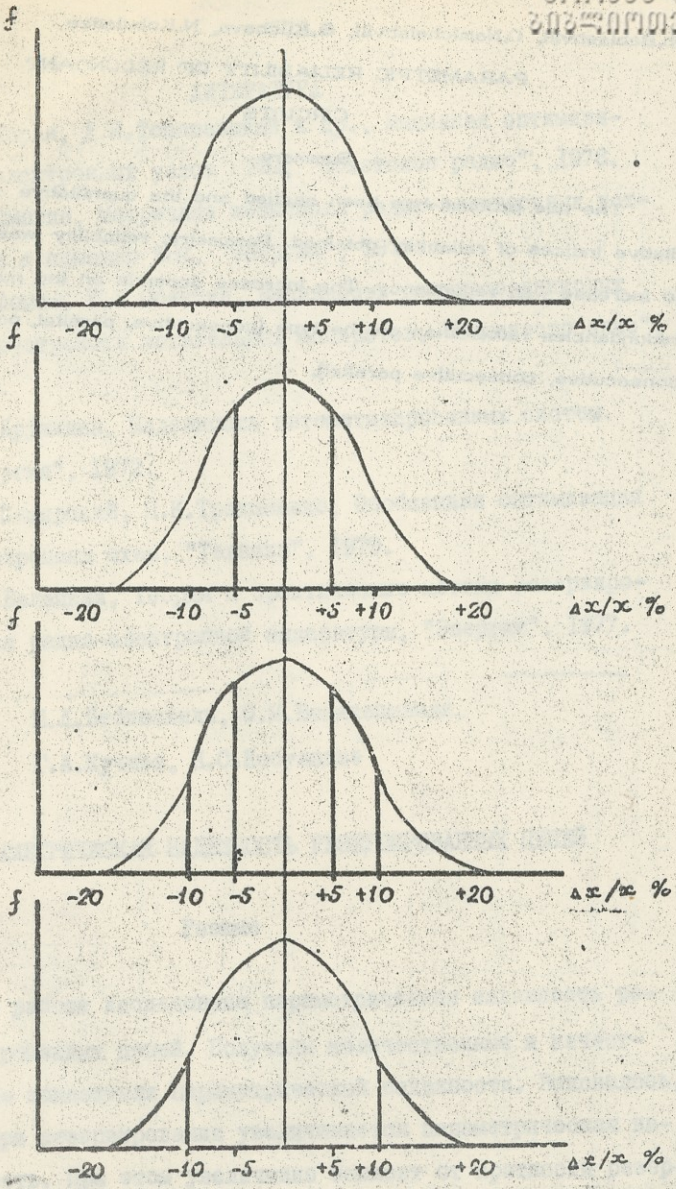
PARAMETRIC RELIABILITY OF REDUNDANT  
CIRCUITS

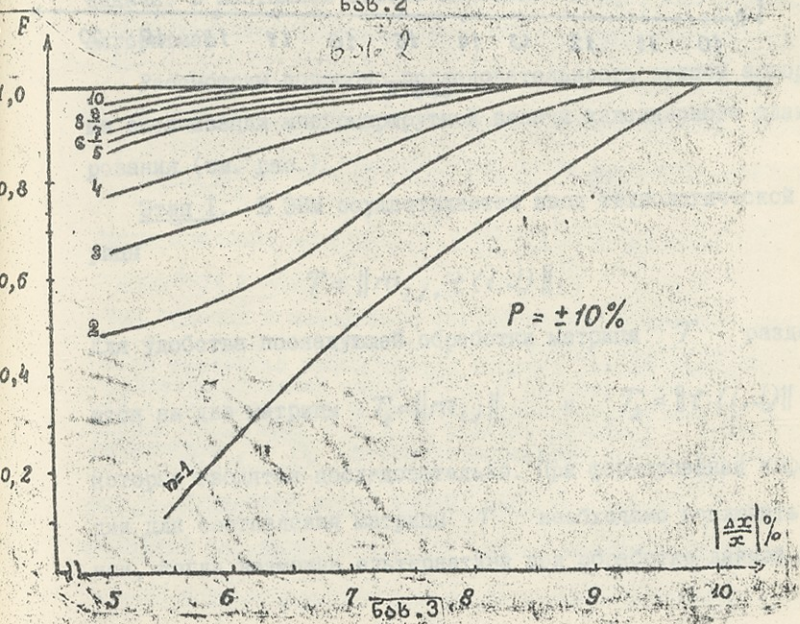
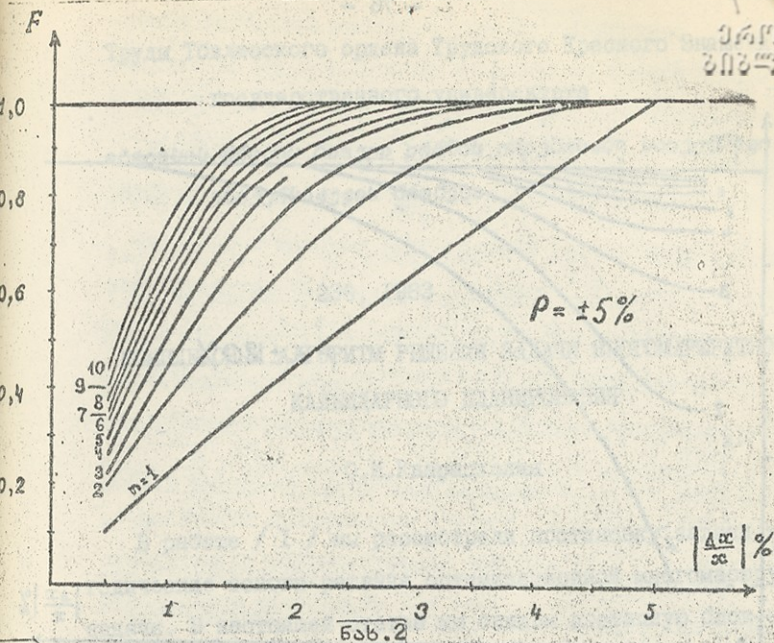
Summary

The title problem has been studied and the quantitative and qualitative indices of reliability obtained. Parametric reliability was found to increase with redundancy. The increase depends on the number of redundancies rather than on the type (consecutive, parallel, parrallel-consecutive, consecutive parallel).

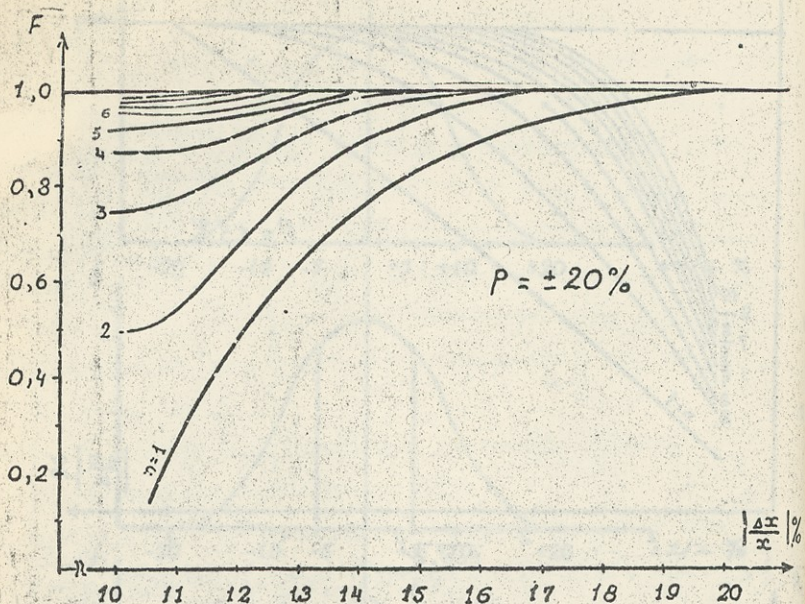












სფ. 4

236, 1983

КОМПЛЕКСНЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МНОГОМАРШРУТНОГО  
КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

О.И.Кварацхелия

В работе / I / мы рассмотрели постановку задачи и методические основы решения оптимизационной многомаршрутной задачи. В настоящей статье мы опишем поэтапную блок-схему алгоритма.

Рассмотрим подробно последовательность этапов алгоритма оптимизации многомаршрутной задачи календарного планирования (см. рис.).

Этап I. В ЭВМ осуществляется ввод технологической матрицы

$$T = \| m_{ij}, t(i, j) \|.$$

Для удобства последующей обработки матрица  $T$  разделяется на две матрицы  $T_1 = \| m_{ij} \|$  и  $T_2 = \| t(i, j) \|$ , которые вводятся последовательно. При формировании информации для составления матрицы  $T$  необходимо исключить случаи, когда возможна альтернатива при обработке данной дета-



операции на различных станках. В данном алгоритме допускается только четкое закрепление детали операции за конкретным станком. Возможна дополнительная доработка алгоритма и на не рассматриваемый здесь случай, однако, мы полагаем, что дополнительное усложнение алгоритма здесь не оправдано.

Этап II. Производится формирование матрицы последовательности операции  $\Pi$ . Формирование матрицы осуществляется путем статистического моделирования случайных перестановок из  $n$  элементов натурального ряда. Всего моделируется  $m_i^*$  серии перестановок из  $n$  элементов. Здесь предполагается, что  $m_i^*$  - максимальное число операций некоторой  $i$ -ой детали.

Чтобы разъяснить применение метода статистического моделирования для формирования матрицы  $\Pi$ , покажем, как получить строку матрицы  $\Pi$  методом статистических испытаний.

Итак, нам необходимо получить случайную перестановку из  $n$  последовательных чисел натурального ряда, т.е.

$$\Pi_i = (j_1^i, j_2^i, \dots, j_n^i).$$

Статистическое моделирование производим с помощью датчика случайных чисел, который вырабатывает случайную величину  $\xi$ , равномерно распределенную в интервале  $(0,1)$ . Для получения случайной последовательности  $\Pi_i$ , моделируем величину  $\xi$  ровно  $n$  раз. После этого некоторый  $k$ -ой реализации присваиваем номер  $j_k^i$ , который она принимает



среди всех реализаций в порядке убывания.

Алгоритмическое осуществление на ЭВМ такого способа формирования вектора  $\mathcal{P}_i$  также несложно. Для получения вектора  $\mathcal{P}_i$  необходимо  $n$  раз промоделировать получение равномерно распределенного числа  $\xi$  и заполнить этими числами некоторый массив  $P_1$ . Затем числа  $\xi$  переписываются в массив  $P_2$  и в нем упорядочиваются по убыванию с помощью стандартного алгоритма. После этого  $K$ -е число  $\xi_K$  массива  $P_2$  отыскивается в массиве  $P_1$  и вместо  $\xi_K$  записывается натуральное число  $K$ . В результате получаем окончательно сформированный вектор  $\mathcal{P}_i$  в виде преобразованного массива  $P_1$ .

Образуется счетчик  $S_i$  числа моделирований матрицы  $\Pi$ . В этот счетчик  $S_i$  прибавляется единица. На этом этап II оканчивается.

Этап III. На данном этапе производится промежуточное преобразование матрицы  $T_i = \|m_{ij}\|$ . Матрица  $T_i$  преобразуется в матрицу  $T' = \|i, m_{ij}\|$ .

Для этого к каждому элементу первой строки матрицы  $T_i$  прибавляется целое число 1000, к каждому элементу второй строки число 2000 и т.д. К каждому элементу  $i$ -ой строки прибавляется целое число вида  $i \times 1000$ . Такой способ преобразования матрицы позволяет существенно упростить реализацию машинного алгоритма отсеивания недействительных планов и применить для нумерации станков и деталей трех-





значные числа.

Этап IV. Производится промежуточное преобразование матрицы последовательности операций  $\Pi$ . Последняя преобразуется в матрицу

$$\Pi' = \|\pi_{ij}, i\|,$$

где  $\pi_{ij}$  - элемент матрицы  $\Pi$ , стоящий на пересечении  $i$ -ой строки и  $j$ -го столбца.

Здесь, как и на предыдущем этапе, для удобства составления машинного алгоритма, совмещаем упорядоченную пару целых чисел в одном числе вида

$$\pi_{ij} \times 1000 + i,$$

где  $i$  - целое число, указывающее номер строки.

Для реализации данного этапа на ЭВМ умножаем все элементы матрицы  $\Pi$  на целое число 1000, после чего к элементам каждой строки прибавляем целое число  $i$ , её номер.

Этап V. С этого начинается реализация алгоритма отсеивания недопустимых расписаний, т.е. расписаний, не удовлетворяющих всем ограничениям.

Такое расписание выявляется путем совместного просмотра матриц  $\Pi'$  и  $T'$  с помощью нижеследующего алгоритма.

I. Сначала формируется множество операций  $\alpha_k$  такое что в  $\alpha_k$  входит из каждой строки матрицы  $T'$  первая слева незачеркнутая операция (элемент матрицы). Последовательность преобразованных матриц  $T'$  будем обозначать

$$T'_{k-1}, T'_k, \dots$$

2. Затем формируется множество операций  $\mathcal{F}_K$  что в  $\mathcal{F}_K$  входит из каждой строки матрицы  $\Pi'_{K-1}$  первая слева незачеркнутая операция. Здесь также последовательность преобразований матриц  $\Pi'$  обозначается как  $\Pi'_{K-1}, \Pi'_K, \dots$

3. Выделяем из множества  $\alpha_K$  и  $\mathcal{F}_K$  операции, принадлежащие одновременно этим множествам, т.е. находим пересечение  $\alpha_K \cap \mathcal{F}_K$  двух множеств. Если такие операции отсутствуют, то процесс на этом заканчивается.

4. Зачеркиваем в  $T'_{K-1}$  и  $\Pi'_{K-1}$  все операции из  $\alpha_K \cap \mathcal{F}_K$  и полученные в результате матрицы обозначаем соответственно  $T'_K$  и  $\Pi'_K$ .

5. Переобозначаем  $K \Rightarrow K+1$  и переходим к первому пункту алгоритма для продолжения процесса вычеркивания.

После конечного числа шагов, не превышающего количества элементов матрицы  $T$ , процесс вычислений обрывается в пункте 3. Если при этом в матрицах  $T'$  и  $\Pi'$  не останется незачеркнутых элементов, то матрице  $\Pi'$  соответствует некоторое действительное расписание, в противном случае, делается заключение, что не существует расписаний, соответствующих матрице  $\Pi'$  и согласованных с технологической последовательностью обработки операций, приведенной к матрице  $T$ .

Для приведенного алгоритма отсеивания недействительных расписаний исходными являются следующие параметры



$$K=1, \quad T'_0 = T', \quad \Pi'_0 = \Pi'$$

Приведенный выше алгоритм интерпретируется для реализации на ЭВМ следующим образом:

1. Выделяется первый столбец матрицы  $T'$ .
2. Выделенный столбец переписывается в массив  $\alpha_K$ , кроме кодов  $K^0$ , которые не учитываются.
3. Выделяется первый столбец матрицы  $\Pi'$ .
4. Первый столбец матрицы  $\Pi'$  переписывается в массив  $\mathcal{F}_K$ , кроме кодов  $K^0$ , которые не учитываются.
5. Производится сравнение каждого элемента массива  $\alpha_K$  с элементами массива  $\mathcal{F}_K$ .

Сравнившиеся элементы запоминаются в массиве  $\alpha'$ . Если ни один элемент не сравнился, то управление передается на пункт IC.

6. Элементы, находящиеся в массиве  $\alpha'$ , сравниваются поочередно с элементами первых столбцов матриц  $T'$  и  $\Pi'$ . Сравнившиеся элементы в матрицах  $T'$  и  $\Pi'$  заменяются нулями.

7. Выделяются последовательно строки матриц  $T'$  и  $\Pi'$ . Строка начинается с нуля, дополняется в конце специальным числовым кодом  $K^0$ , указывающим на то, что информация строки исчерпана, после чего строка сдвигается в пределах поля строки на один элемент влево.

8. Первый столбец матрицы  $\Pi'$  проверяется на наличие кодов  $K^0$ . Если все элементы столбца являются кодами,



то управление передается следующему пункту алгоритма, в противном случае управление передается пункту I.

9. Осуществляется выход из алгоритма для реализации календарного плана для данной матрицы  $\Pi'$ .

10. Осуществляется выход из алгоритма, поскольку матрица  $\Pi'$  оказалась непригодной для построения календарного плана обработки деталей.

На этом алгоритм отсеивания нереализуемых планов оканчивается.

Этап УI состоит в том, что выполняются первые два пункта алгоритма отсеивания, т.е. выделяется первый столбец матрицы  $T'$  и выделенный столбец переписывается в массив  $\alpha_k$ , за исключением кодов  $k^0$ , которые отбрасываются.

Этап УII. Сравниваются элементы множеств  $\alpha_k$  и  $\mathcal{F}_k$ .

Для этого выделяется  $l$ -ный элемент массива  $\alpha_k$  ( $l=1, 2, \dots$ ) и сравнивается поочередно с элементами массива  $\mathcal{F}_k$ . Сравнение продолжается до тех пор, пока не будут просмотрены все элементы массива  $\alpha_k$ . Сравнившиеся в результате такого просмотра элементы записываются в массив  $\alpha'$ . Каждый раз, когда в массив  $\alpha'$  записывается элемент одинаковый для массивов  $\alpha_k$  и  $\mathcal{F}_k$ , в счетчик  $S_2$  добавляется единица.

С помощью счетчика  $S_2$  определяется, есть ли в массивах  $\alpha_k$  и  $\mathcal{F}_k$  одинаковые элементы.



Этап УШ. На этом этапе проверяется содержание счетчика  $S_2$ . Если  $(S_2) = 0$ , следовательно, одинаковых элементов в массивах  $\alpha_k$  и  $\alpha'_k$  нет, и сформированная на этапе II матрица  $\Pi'$  не может быть последовательностью движения деталей на различных станках для данной технологической матрицы  $T'$ . В этом случае в счетчик  $S_3$  прибавляется единица для того, чтобы подсчитать количество нереализуемых планов, получающихся в данном дискретном пространстве перестановок, на котором определена функция, характеризующая календарный план.

Действительно, если предположить, что каждая строка матрицы  $\Pi'$ , представляющая собой перестановку из  $m_i$  последовательных чисел натурального ряда, может быть заменена некоторым числом, то вся матрица  $\Pi'$  может быть представлена  $n$ -мерным вектором, который в пространстве  $n$  переменных характеризует некоторую точку. Таким образом, матрица  $\Pi'$  определяет некоторую точку в  $n$ -мерном пространстве перестановок, и этой точке может соответствовать реальный план или такой план для точки многомерного пространства не существует.

На данном этапе мы выявляем области пространства (или множество точек), в которых не могут быть построены реальные планы,

Следует заметить, что случаи, когда матрица  $\Pi'$  не может быть преобразована в реальный план, возникают только для многомаршрутной задачи календарного планирования. Для



одномаршрутных задач матрица  $\Pi$  имеет все одинаковые строки и превращается, практически, в одну сторону, характеризующую календарный план.

Такая строка в нашей интерпретации есть не что иное, как точка в одномерном пространстве перестановок, что существенно упрощает задачу и позволяет осуществлять моделирование без отсеивания нереализуемых планов.

После того как в счетчик  $S_3$  прибавляется единица, управление передается на этап II для генерации новой матрицы  $\Pi'$  и повторения вычислений.

Если содержимое счетчика  $\langle S_2 \rangle \neq 0$ , то осуществляется переход к следующему этапу, а счетчик  $S_2$  очищается.

Этап IX. Элементы матрицы  $T'$  и  $\Pi'$ , выделенные в массив  $\alpha'$ , отыскиваются среди множества элементов первого столбца матрицы  $T'$  и заменяются в этой матрице нулями. Для этого выделяется  $l$ -ный элемент ( $l=1, 2, \dots$ ) массива  $\alpha'$  и поочередно сравнивается с элементами первого столбца матрицы  $T'$ . Сравнившийся элемент матрицы  $T'$  заменяется нулем. После этого выделяются последовательные строки матрицы  $T'$  и осуществляется проверка на нуль первого элемента этой строки.

Если первый элемент строки  $\pi_{i1} \neq 0$ , то просмотр продолжается. При  $\pi_{i1} = 0$  над соответствующей строкой выполняется следующая процедура. Данная строка дополняется в конце специальным кодом  $K^0$  - признаком конца строки,





и сдвигается на один элемент влево, так что на первом месте в строке  $i$  будет стоять элемент  $n_{i2}$ , а на последнем — код  $K^0$ . После этого строка переписывается на то место, где она стояла в матрице  $T'$ .

Этап оканчивается после просмотра всех строк матрицы  $T'$ .

Этап X. Процедура, описанная в предыдущем этапе, осуществляется для матрицы  $\Pi'$ . Производится сравнение элементов массива  $\alpha'$  с элементами первого столбца матрицы  $\Pi'$ . Сравнившиеся элементы заменяются в матрице  $\Pi'$  нулями. После этого строки матрицы  $\Pi'$ , начинающиеся с нуля, выделяются, дополняются в конце кодом  $K^0$ , сдвигаются на один элемент влево и переписываются на свое место. Этап заканчивается после описанного преобразования всех строк матрицы  $\Pi'$ .

Этап XI. Выделяется первый столбец матрицы  $T'$ . Если все элементы выделенного столбца суть коды  $K^0$ , то осуществляется переход к следующему этапу для построения календарного плана, соответствующего матрицам  $\Pi'$  и  $T'$ .

Если при просмотре элементов первого столбца матрицы  $T'$  установлено, что среди них имеются не только коды  $K^0$ , то необходимо продолжить процесс просмотра матриц  $T'$  и  $\Pi'$  начиная с этапа У.

Таким образом, если число кодов  $K^0$  меньше чем  $n$ , то осуществляется переход к этапу У.

Этап XII. Данный этап является подготовительным для ре-

ализации алгоритма формирования календарного плана, 04-10369-20  
303-70100000  
вечающего технологической матрице  $T$  и матрице последовательности операций  $\Pi$ .

На предыдущих этапах мы установили, что сформированной на этапе II матрице  $\Pi$  соответствует некоторый реальный календарный план, который необходимо построить. Разработанный ниже алгоритм построения такого плана основан на последовательном преобразовании матриц  $\Pi'$  и  $T'$  и требует, помимо уже занятого, небольшого дополнительного места в памяти ЭВМ для хранения промежуточной информации. В приводимом ниже алгоритме частично используются этапы алгоритма отсеивания нереализуемых планов, что позволяет провести некоторую стандартизацию блоков алгоритма и сократить затраты на его разработку. От алгоритмов, использующих методы расчета сетевых графиков, он отличается тем, что значительно сокращается число операций ЭВМ, затрачиваемое на преобразование матриц  $T'$  и  $\Pi'$  в сетевой график, чем существенно уменьшается время расчета.

Рассмотрим последовательно операции, осуществляемые алгоритмом.

I. Производится разметка и формирование основных и вспомогательных массивов информации. Основными массивами для данного алгоритма являются массивы, содержащие матрицы  $T'$ ,  $\Pi'$  и  $T_2$ . Формирование вспомогательных массивов будет описано ниже. Выходной информацией для данного алгоритма является массив, в котором формируется матрица

$$A' = \| t_{ij} (i, j) \|.$$





2. Формируется множество  $\alpha_K$  из матрицы  $\mathcal{F}_K$ .
3. Выделяется множество  $\mathcal{F}_K$  из матрицы  $\Pi'$ .
4. Производится сравнение элементов множеств  $\alpha_K$  и  $\mathcal{F}_K$ . Одинаковые элементы двух множеств (кроме кодов  $K^0$ ) запоминаются во вспомогательном массиве  $\alpha'$ .

5. Организуется просмотр первого столбца матрицы  $T'$  и сравнение их с элементами множества  $\alpha'$ . Сравнившиеся элементы заменяются в матрице  $T'$  нулями.

6. Аналогичная процедура повторяется для матрицы  $\Pi'$ .

7. Организуется просмотр элементов массива  $\alpha' = \{a_\ell\}$ .

Сначала выделяется  $\ell$ -ый элемент массива  $a_\ell$ . Элементы выделяются по порядку номеров  $\ell$ .

8. Из элемента  $a_i$  выделяется номер детали  $i$  и номер станка  $K$ , которые были для удобства алгоритмизации объединены в одно число на этапах III и IV. Номера  $i$  и  $K$  запоминаются.

9. По номеру  $i$  из матрицы  $T_2 = \|t(i, j)\|$  выделяется первый не зачеркнутый элемент  $i$ -ой строки  $t(i, j)$ . Элемент  $t(i, j)$  и номер операции  $j$  запоминаются, а в матрице  $T_2$  элемент  $t(i, j)$  зачеркивается.

Таким образом, известны номер  $j$ -ой операции  $i$ -ой детали, станок, на котором она выполняется  $K$ , и время  $t(i, j)$ , необходимое для ее выполнения.



10. Для того чтобы определить время начала выделяемой операции для составления календарного графика необходимо просмотреть два вспомогательных массива. В одном из них  $M_1$  сохраняется информация о времени окончания предыдущей операции для всех  $n$  деталей. В другом массиве  $M_2$  сохраняется информация о времени освобождения станка для всех  $K$  станков.

На данном этапе алгоритма из массивов  $M_1$  и  $M_2$  выделяется содержимое ячеек, соответствующих номеру детали  $i$  из массива  $M_1$  и номеру станка  $K$  из массива  $M_2$ . Обозначим эти величины  $t_i$  и  $t_K$ . На основании этого время начала рассматриваемой операции определяется из формулы

$$t_H(i, j) = \max\{t_i, t_K\},$$

а время окончания операции — по формуле

$$t_K(i, j) = \max\{t_i, t_K\} + t(i, j).$$

После этого величина  $t_K(i, j)$  заносится в массивы  $M_1$  и  $M_2$  на места, соответствующие номерам  $i$  и  $K$ , а величина  $t_H(i, j)$  — в массив  $M_3$ , отведенный для матрицы  $A$ .

11. Проверяется, закончен ли просмотр всех элементов массива  $\alpha'$ . Если просмотр всех элементов не окончен, то управление передается на пункт 2.

В противном случае переходим к следующему пункту.





12. Последовательно выделяются строки матрицы  $T$ . Строки, начинающиеся с зачеркнутого элемента, дополняются в конце специальным кодом, после чего сдвигаются на один элемент влево. Затем преобразованная строка записывается на свое место в матрице  $T'$ .

13. Аналогичное п.12 преобразование осуществляется с матрицей  $\Pi'$ .

14. Выделяется первый столбец матрицы  $T'$ . Если все его элементы являются специальными кодами, то просмотр матрицы  $T'$  окончен, и переходим к следующему пункту алгоритма. В противном случае управление передается пункту 2.

15. Печатается матрица

$$A' = \parallel t_{H}(i, j) \parallel,$$

и величина длительности обработки всей партии деталей

$$T = \max \{ t_{H}(i, j) \} + t(i, j).$$

На этом алгоритм формирования календарного плана по матрицам  $T$  и  $\Pi$  оканчивается.

Ниже мы покажем, как этот алгоритм применяется в сочетании с другими алгоритмами для нахождения оптимального календарного плана. На описываемом этапе XII, помимо упомянутых выше массивов, формируются также массивы для сохранения информации об окончании предыдущей операции каждой



детали - массив  $M_1$  и для сохранения информации о времени освобождения станка - массив  $M_2$ . Помимо этого, формируется двумерный массив  $M_3$  для расположения в нем выходной матрицы  $A$ .

Этап XII. На данном этапе производится формирование множеств  $\alpha_K$  и  $\mathcal{F}_K$ . Для этого выделяется из матрицы  $T'$  первый столбец, и все элементы его, кроме кодов  $K^0$ , переписываются в массив для  $\alpha_K$ . После этого из матрицы  $P'$  выделяется первый столбец, и его элементы, за исключением кодов  $K^0$ , переписываются в массив, предназначенный для  $\mathcal{F}_K$ . На этом формирование массивов  $\alpha_K$  и  $\mathcal{F}_K$  заканчивается.

Этап XIII соответствует пунктам 2 и 3 рассмотренного выше алгоритма.

Этап XIV. Сравниваются элементы массивов  $\alpha_K$  и  $\mathcal{F}_K$ . Для этого организуется двойной цикл по количеству элементов  $n$  в массивах  $\alpha_K$  и  $\mathcal{F}_K$ . Каждый элемент массива  $\alpha_K$  сравнивается со всеми элементами массива  $\mathcal{F}_K$ . Сравнившиеся элементы массива  $\alpha_K$  переписываются во вспомогательный массив  $\alpha'$ . Далее, каждый элемент массива  $\alpha'$  сравнивается со всеми элементами первого столбца матрицы  $T'$ . При сравнении соответствующий элемент первого столбца матрицы  $T'$  заменяется нулем.

Подобная же процедура предельвается с матрицей  $P'$ .



Этап XV. Организуется цикл просмотра элементов одномерного массива

$$\alpha' = \{a_\ell\} \quad (\ell = 1, 2, \dots).$$

С данного этапа начинается построение календарного плана, соответствующего технологической матрице  $T'$  и последовательности операций, записанной в матрице  $\Pi'$ . В цикле просмотра выделяется очередной элемент массива  $\alpha'$ , который мы обозначим через  $a_\ell$ .

Этап XVI. На данном этапе производится разделение элемента  $a_\ell$  массива  $\alpha'$ , который был выделен на предыдущем этапе, на составляющие его элементы. Как было показано выше, элемент  $a_\ell$  состоит из двух трехзначных чисел, сгруппированных в одно число. На данном этапе элемент разделяется на два трехзначных числа, из которых первое представляет собой номер детали  $i$ , а второе — номер станка  $K$ . Величины  $i$  и  $K$  запоминаются в соответствующих ячейках ЭВМ.

Этап XVII. На данном этапе из матрицы

$$T_2 = \|t(i, j)\|,$$

элементами которой являются времена  $t(i, j)$  выполнения всех операций для всех деталей, выделяется строка, соответствующая выделенному на этапе XVI номеру детали  $i$ .

В выделенной строке организуется просмотр всех элемен-

тов, начиная с первого. При этом отыскивается первый отрицательный элемент  $\alpha'_\ell$  и номер его места в строке, соответствующий номеру операции  $J$ , запоминается. Величина  $\alpha'_j = t'(i, j)$  тоже запоминается.

По номерам  $i$  и  $j$  в матрице  $T_2$  отыскивается элемент  $t''(i, j)$  и ему присваивается знак минус. Операция присвоения знака минус выполняется для того, чтобы различить уже использованные для построения плана  $A = \{t_H(i, j)\}$  операции от множества остальных операций. Кроме того, таким способом мы существенно экономим память ЭВМ, не выделяя дополнительный рабочий массив для сохранения матрицы  $T_2$ , который необходимо для выполнения промежуточных преобразований, а используя для этого массив исходной информации.

Этап ХУШ. Этот этап является основным для формирования матрицы выходной информации

$$A = \{t_H(i, j)\}.$$

Как указывалось выше (этап XII), введены два специальных массива  $M_1$  и  $M_2$ . При этом

$$M_1 = \{t_i\}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

$$M_2 = \{t_k\}, \quad k = 1, 2, \dots, m_j,$$

где  $t_i$  - время окончания предыдущей операции  $i$ -ой детали, а  $t_k$  - время освобождения  $k$ -го станка, вы-





полняющего некоторую операцию.

С помощью полученных на этапе XVI целых чисел, характеризующих номер детали  $i$  и номер станка  $K$ , выделяем из массивов  $M_1$  и  $M_2$  величины  $t_i$  и  $t_K$ . После этого определяются время начала данной операции

$$t_H(i, j) = \max\{t_i, t_K\}$$

и время ее окончания

$$t_K(i, j) = \max\{t_i, t_K\} + t(i, j).$$

Далее по номеру детали  $i$  и номеру операции  $j$ , который был получен на предыдущем этапе, отыскивается соответствующий элемент матрицы

$$A = \|t_H(i, j)\|$$

и на его место заносится полученная величина  $t_H(i, j)$ .

По известному номеру  $i$  в массив  $M_1$  заносится величина времени окончания предыдущей операции

$$t_i = t_K(i, j).$$

В массив  $M_2$  по известному номеру  $K$  заносится величина времени освобождения станка

$$t_K = t_K(i, j).$$

Таким образом, по мере просмотра элементов матриц  $T'$  и  $P'$ , которые попали в множество  $\alpha'$ , и ряда преобразований постепенно заполняется выходная матрица  $A$ .

Этап XIX. Данный этап завершает цикл просмотра массива  $\alpha'$ . Каждый раз, пока не просмотрены все элементы, управление с данного этапа передается на этап XV и производится повторение всех этапов до настоящего включительно. Как только завершены просмотр и обработка последнего элемента массива  $\alpha'$ , управление передается следующему этапу.

Этап XX. На данном этапе производится вспомогательная обработка матрицы  $T'$ , подобно тому, как это делалось выше. Организуется цикл просмотра строк матрицы  $T'$ . В выделенной строке анализируется первый элемент  $n_{i1}$ . В случае, если

$$n_{i1} \neq 0,$$

просмотр продолжается. При  $n_{i1} = 0$  над строкой выполняется следующая последовательность действий. Строка дополняется в конце кодом  $K^0$ , одвигается на один элемент влево и переписывается на свое место в матрице. После просмотра и преобразования всех строк матрицы  $T'$  этап заканчивается.

Этап XXI. Производится вспомогательная обработка матрицы  $P'$ , подобная той, которая выполнялась над матрицей  $T'$  на предыдущем этапе. Строки матрицы  $P'$ , начи-





нающиеся с нуля, сдвигаются влево на один элемент, а свободные места, остающиеся справа в этих строках, заполняются кодами  $K^0$ .

Этап XXII. Данный этап предназначен для организации выхода из последовательности этапов, формирующих выходную матрицу  $A$ . В соответствии с алгоритмом построения календарного плана, описанного в этапе XII, алгоритм построения календарного плана оканчивается, если закончен просмотр матрицы  $T'$ . В то же время просмотр матрицы  $T'$  считается законченным, когда множество, выделенное из матрицы  $T'$  на некотором цикле ее просмотра, полностью состоит из числовых кодов  $K^0$ . Поэтому основным содержанием этапа XXII является выделение множества  $\alpha_K$  из матрицы  $T'$  и проверка, все ли элементы множества  $\alpha_K$  являются числовыми кодами  $K^0$ . Для этого организуется цикл просмотра выделенного из матрицы  $T'$  первого столбца и сравнение каждого элемента столбца с кодом  $K^0$ . Если число сравнений равно  $n$ , то переходим к следующему этапу для печати матрицы  $A$  и продолжения счета. В противном случае переходим к этапу XIII для продолжения просмотра матриц  $T'$  и  $\Pi'$ .

Этап XXIII. На данном этапе производится предварительная печать результатов, характеризующих движение в пространстве планов алгоритма оптимизации многомаршрутной задачи календарного планирования.

Этап XXIV. На этом этапе запоминается план, соответствующий экстремальному значению  $F^*(A)$  на пройденном ал-



горитмом пути. Для этого сравниваются величины критериев оптимальности на пути до данной точки поиска и для плана

$$F_t(A) ; \text{подсчитанного в этой точке } F_{t-1}(A) < F_t(A).$$

Если данное условие выполняется, то все величины, сохраняемые для дальнейшего анализа, а именно

$$t, A, T_t^{max}, S_1, S_2 \text{ и } F_t(A)$$

заменяются на новые.

В противном случае в "памяти" ЭВМ остаются прежние величины.

Таким образом, после реализации заданного количества испытаний, т.е. моделирования матрицы  $\Pi$  и расчета плана  $A$ , в месте, отведенном для хранения оптимизированного плана, будет в результате работы данного этапа сохраниться оптимизированное значение плана.

Этап XXV. Этап предназначен для реализации остановки при движении в пространстве планов.

В основном, правила остановки при движении системы в пространстве планов выбираются исходя из качественных и экономических предпосылок работы алгоритма. Если необходимо быстро завершить поиск и найти приближенное значение оптимального плана, то достаточно обследовать некоторое выбранное заранее количество точек и на этом завершить поиск.

В основном варианте алгоритма мы приняли упомянутый метод поиска, в котором назначается опытным путем число шагов



а иногда раздражители действовали одновременно (случайная среда), с вероятностью 0,1.

Для того чтобы полученные опытным путем данные можно было подвергнуть количественной оценке и статистическому анализу, для каждого дня отдельно вычислялась оценка вероятности осуществления различных реакций в виде частоты. Это давало возможность вероятностного описания процесса самообучения животных от первоначального нулевого проявления условного рефлекса и других реакций до некоторой конечной величины.

Проверку достоверности влияния разрушения различных областей гиппокампа на процесс самообучения и эмоциональную память проводили согласно статистическим критериям (Бейли, 1962). Вычисления проводились на электронно-вычислительной машине ЕС-1020. Программа для расчетов была составлена на алгоритмическом языке АЛ/Г. На основании полученных результатов можно заключить, что двусторонняя коагуляция переднего дорсального и вентрального гиппокампа не влияет на общую картину выработки и сохранения оборонительных навыков.

Совершенно другая картина наблюдается после двусторонней коагуляции заднего дорсального гиппокампа. Оперированные животные плохо обучаются. Вероятность рефлекса избегания для этих животных по сравнению с нормальными понижена в течение пятнадцати дней в случайной и одиннадцати дней - в фиксированной среде (таблица 1).

Таким образом, влияние коагуляции заднего дорсального гиппокампа в большей степени проявляется в случайной,

чем в фиксированной среде. Разница в динамике рефлекса избегания как в фиксированной, так и в случайной среде наблюдается только лишь в течение трех дней. В последующие дни экспериментальной реакция на болевое — электрическое раздражение у оперированных животных носит такой же характер, как у интактных.

В этих опытах обращает на себя внимание следующее обстоятельство: после коагуляции заднего дорсального гиппокампа частота межсигнальной — спонтанной реакции в период образования оборонительных навыков заметно понижена в обеих средах по сравнению с нормальными животными. Анализируя результаты эксперимента, можно прийти к следующему выводу: после разрушения дорсального гиппокампа меняется установка животного, которая влияет на мотивационные процессы и изменяет пластичность животного. Поэтому, у этих групп животных уровень общей активности понижен.

Билатеральная коагуляция заднего дорсального гиппокампа влияет и на проявление ранее выработанного рефлекса избегания (таблица 3). В фиксированной среде выработанная реакция с вероятностью, равной 1, после операции в первые два дня осуществляется с вероятностью, равной 0,9. В последующие дни эксперимента динамика рефлекса избегания у оперированных животных носит такой же характер, как у нормальных. В случайной среде условная реакция плохо проявляется в течение трех дней, а на четвертый день восстанавливается полностью.

Характер влияния повреждения различных отделов гиппокампа на эмоциональную память мы устанавливали проявлением





O. Kvaratskhelia

COMPLEX ALGORITHM OF MULTIROUTE CALENDAR PLANNING  
PROBLEM SOLUTION

Summary

The paper presents a detailed description of a step-by-step block diagram of the algorithm of multiroute calendar planning optimization problem solution. The algorithm contains 26 steps and is based on a random search apparatus in the space of functioning plans.





Частотная характеристика различных оборонительных навыков  
при обучении

Таблица I.

| Дни опыта | Фиксированная среда            |                                 |                               |  |                                 |                               | Случайная среда                |                                 |                               |  |                                 |                               |
|-----------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|
|           | Интактные животные             |                                 |                               | Животные с коагулированным задним дорсальным гипшокампом |                                 |                               | Интактные животные             |                                 |                               | Животные с коагулированным задним дорсальным гипшокампом |                                 |                               |
|           | Вероятность рефлекса избегания | Вероятность рефлекса избежления | Частота межсигнальной реакции | Вероятность рефлекса избегания                           | Вероятность рефлекса избежления | Частота межсигнальной реакции | Вероятность рефлекса избегания | Вероятность рефлекса избежления | Частота межсигнальной реакции | Вероятность рефлекса избегания                           | Вероятность рефлекса избежления | Частота межсигнальной реакции |
| I         | 2                              | 3                               | 4                             | 5  | 6                               | 7                             | 8                              | 9                               | 10                            | 11   | 12                              | 13                            |
| 1         | 0                              | 0,4                             | 3                             | 0  | 0                               | 1                             | 0                              | 0,3                             | 2                             | 0  | 0,1                             | 0                             |
| 2         | 0                              | 0,5                             | 3                             | 0  | 0,1                             | 1                             | 0                              | 0,4                             | 4                             | 0  | 0,3                             | 1                             |
| 3         | 0,1                            | 0,6                             | 8                             | 0  | 0,2                             | 2                             | 0                              | 0,5                             | 5                             | 0  | 0,4                             | 2                             |
| 4         | 0,2                            | 1                               | 7                             | 0  | 0,6                             | 4                             | 0,3                            | 1                               | 6                             | 0  | 0,5                             | 3                             |
| 5         | 0,5                            | 1                               | 8                             | 0,2  | 1                               | 4                             | 0,3                            | 0,9                             | 8                             | 0,1  | 1                               | 3                             |
| 6         | 0,6                            | 1                               | 9                             | 0,3  | 1                               | 5                             | 0,6                            | 1                               | 10                            | 0,2  | 1                               | 4                             |
| 7         | 0,7                            | 1                               | 10                            | 0,4  | 1                               | 6                             | 0,6                            | 1                               | 12                            | 0,2  | 1                               | 5                             |
| 8         | 0,7                            | 1                               | 12                            | 0,4  | 1                               | 5                             | 0,7                            | 0,9                             | 12                            | 0,3  | 1                               | 6                             |
| 9         | 0,8                            | 1                               | 10                            | 0,5  | 1                               | 5                             | 0,7                            | 1                               | 14                            | 0,3  | 1                               | 5                             |





А3.8-А3.0, ближе к энторинальной коре по атласу Грота (Groot, 1959). Области разрушения схематически показаны на рисунках 1,2,3.

Поисковая активность животного исследовалась на основе электрокожного раздражения в специальной камере (рис. 4). На правой половине камеры была вмонтирована полка, которую в нужный момент можно было опускать и поднимать снаружи. Эта полка служила убежищем для крысы при подаче болевого раздражения. Пол камеры был сделан из металлических перекладин, расположенных параллельно друг другу и включенных в электрическую сеть. Лампа для условного раздражителя была подвешена на стене. С использованием метода статистических испытаний (метод Монте-Карло) мы создали временную программу проведения опытов для действия условно-безусловных раздражителей и интервалов между ними (Бусленко с соавт., 1962).

Поместив крысу в экспериментальную камеру, согласно временной программе, приступали к подаче условного и безусловного раздражителей. Благодаря повышению двигательной активности, связанной с поиском выхода из создавшейся ситуации, крыса случайно прыгала на полку. Найденное движение оказывалось весьма эффективным и быстро закреплялось. Беспорядочные броски из стороны в сторону сменялись четкой двигательной реакцией - при включении переменного тока с напряжением 30в. животное прямо прыгало на полку (рефлекс избавления). При сочетании этой реакции со оветом в процессе тренировки постепенно вырабатывалась

условная реакция на свет — при включении света крыса сразу прыгала на полку, опасаясь от болевого — электрического раздражения (рефлекс избегания).

Во время опыта фиксировали рефлекс избегания и избегания, а также межсигнальную реакцию — количество прыжков между пробами.

Животное рассматривается как автомат, который во взаимодействии со средой получает сигналы на входе и отвечает на них теми или иными реакциями на выходе. В результате такого эксперимента путем самообучения у животных вырабатывалась целесообразная форма поведения, точно соответствующая условиям внешней среды.

Процесс самообучения был изучен в двух разных экспериментальных условиях. В одном варианте поисковая активность животных исследовалась в среде, где болевой раздражитель, действующий на фоне условного, подавался через один и тот же промежуток времени (фиксированная среда). В другом варианте эксперименты проводились в усложненных условиях внешней среды, более соответствующих естественным условиям жизни животных. В этом варианте была создана экспериментальная ситуация, в которой с первого дня до конца работы интервалы времени между раздражителями менялись. Принцип подачи болевого раздражения носил вероятностный характер. С вероятностью, равной 0,3, условный раздражитель не подкреплялся болевым раздражением. В остальных случаях болевое — электрическое раздражение действовало в разное время от одной до двадцати секунд после включения света,





$N_1$  алгоритма до остановки, а после завершения этого числа шагов, движение в пространстве поиска прекращается и печатается информация о достигнутом на этом пути локально-оптимальном плане.

Для этого выполняется проверка на окончание реализации заданного числа шагов  $N_1$ , и содержимое счетчика  $S_1$  сравнивается с  $N_1$

$$\langle S_1 \rangle > N_1,$$

где фигурные скобки  $\langle S_1 \rangle$  обозначают содержимое счетчика.

Если условие выполняется, то переходим к следующему этапу. В противном случае, заданное число шагов еще не пройдено и осуществляет возврат на этап II для моделирования матрицы  $\Pi$ .

Этап XXVI. Этот этап завершает алгоритм поиска оптимального календарного плана. На данном этапе производится окончательная обработка данных, полученных при работе алгоритма. Производится печать результатов работы алгоритма, которые накапливались на этапе XXIV. К таким результатам относятся величины  $t, A, T_t^{max}, F_t(A)$  характеризующие наилучший план, достигнутый на пройденном алгоритмом пути. Кроме того, печатается содержимое счетчиков  $S_1$  и  $S_3$ , характеризующих общее число генерирований матрицы  $\Pi'$ , отражающей последовательность обработки деталей, и, количество

- 107

полученных на этом пути нереализуемых планов.

На этом работа алгоритма заканчивается.

Поступила 12.XI. 1981

Кафедра экономической  
кибернетики

### ЛИТЕРАТУРА

1. О.И.Кварацхелия, Алгоритмизация решения многомаршрутной задачи календарного планирования, Труды Тбилисского университета, "Кибернетика. Прикладная математика", № 224, 1981.
2. О.И.Кварацхелия, Ю.В.Киладзе, Модель локальной оптимизации для одномаршрутной задачи календарного планирования. Труды Тбилисского университета, "Кибернетика. Прикладная математика". 212, 1980.

მეცნიერებათა

მრავალმარშრუტული კალენდარული გეგმვა

სახელოს ალგორითმი მრავალმარშრუტული აღმოჩენის

რეზიუმე

ნაშრომში აღწერილია მრავალმარშრუტული კალენდარული გეგმვის მათემატიკური ამოცანის, ამოხსნის აღმოჩენის უსაპრობლეო მეთოდის აღმოჩენის 26 უსაპრობლეო შედეგები, რომელიც ემყარება შემთხვევითი ძებნის აპარატს ნაშრომი გეგმვის სიტუაციაში.



пищедобывательных реакций после эмоции страха, вызванной сильным болевым раздражением. С этой целью у животных предварительно вырабатывали пищедобывательную условную реакцию. Схема кабины, в которой вырабатывалась пищедобывательная реакция, показана на рис. 5. При достижении установленного критерия ( $R$  реакции = 1; латентный период  $\leq 5$ с) приступали к изучению влияния болевого эмоционального возбуждения на проявление пищевого поведения. Болевое раздражение осуществлялось подачей на металлический пол, окружающий кормушку, напряжения 50-60 в. Становясь лапами на металлические пластинки для получения пищевого подкрепления - пищи из кормушки, животное получало неожиданно сильное болевое электрическое раздражение. В момент действия такого необычного раздражения у животных наступали резкие вегетативные изменения: мочеотделение, дефекация и дрожание тела. Крысы совершали множество различных движений и с криком убегали от кормушки. Возникновение повышенной двигательной и дыхательной активности вместе с другими вегетативными расстройками, наступавшими тотчас же после подачи болевого раздражения, свидетельствовало о наличии сильно выраженной эмоции страха. Результаты этих опытов после групповой статистической обработки материала суммированы в таблице 2.

Из всего вышеизложенного видно, что выработанные ранее оборонительные навыки и упроченные защитные условные рефлексы связаны с функцией заднего дорсального гиппокампа в меньшей степени, чем неполностью консолидированные условные рефлексы. По-видимому, эта область гиппокампа на

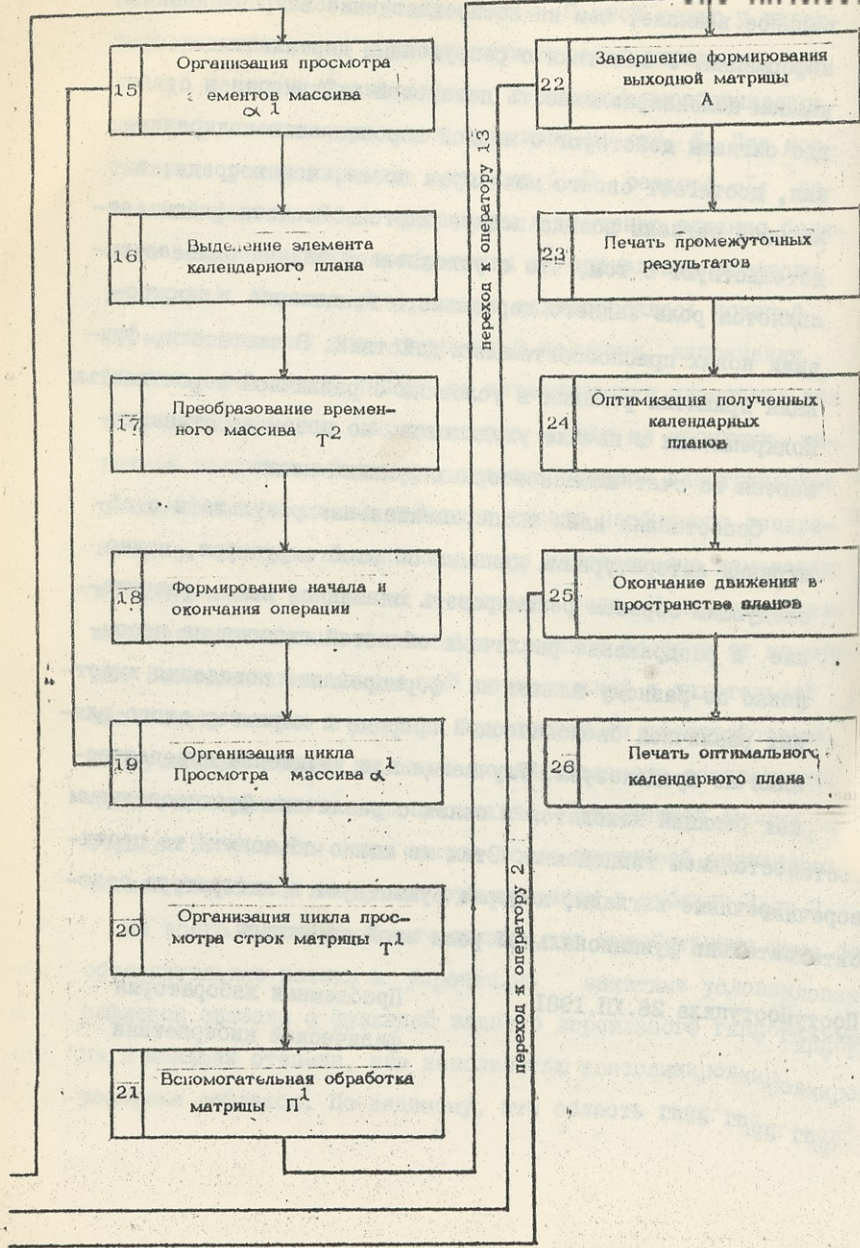
процесс переработки новой информации оказывает более сильное влияние, чем на воспроизведение закреплённой информации. У животных с разрушенным дорсальным гиппокампом целенаправленность поисковой активности в среде, где сигналы действуют с низкой вероятностью подкрепления, достигает своего максимума позже, чем в среде, в которой сигналы всегда подкрепляются. Все эти факты свидетельствуют о том, что с усложнением задачи сильнее выявляется роль заднего дорсального гиппокампа в построении новых приспособительных действий. В частности, функции принятия решения в условиях с различной вероятностью подкрепления в начале ухудшаются, но потом восстанавливаются за счёт компенсаторных функций мозга.

Сопоставляя наши экспериментальные результаты с обширными литературными данными об этой структуре, можно следующим образом резюмировать оказанное выше: разрушение и раздражение различных областей гиппокампа несомненно по-разному влияют на формирование поведения животных различной биологической природы и характер этого влияния не предсказуем. Улучшение или ухудшение поведенческих реакций находится в связи с различным функциональным состоянием гиппокампа. Этим же можно объяснить те противоречивые взгляды, которые существуют в литературе относительно функциональной роли этой структуры.

Поступила 26.XII.1981

Проблемная лаборатория  
физической кибернетики







Труды Тбилисского ордена Трудового Красного Знамени

государственного университета

თბილისის შრომის წითელი რკობის ორდენის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შრომები

236, 1983

О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ЗНАЧЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ  
ГИППОКАМПА В РЕФЛЕКСЕ ИЗБЕГАНИЯ И ЭМОЦИОНАЛЬ-  
НОЙ ПАМЯТИ

С.Н. Цагарели, И.М. Дойджашвили, Ц.А. Лежава,  
Н.Ш. Гагошидзе, Э.Р. Георгадзе

В данной работе предпринята попытка изучения влияния коагуляции переднего и заднего дорсального, а также вентрального гиппокампа на проявление пищедобывательного условного рефлекса после болевого эмоционального возбуждения и на реакцию избегания и избавления при различных условиях внешней среды.

Опыты проводились на половозрелых белых крысах обоего пола с двусторонним повреждением вышеотмеченных областей гиппокампа, в условиях свободного поведения. Повреждение структур мозга проводилось электролитически (ток 2,5-3 мА в течение 20-25 с.). Морфологический контроль показал, что передний дорсальный гиппокамп был поврежден на уровне А5.0-А4.2, задний дорсальный гиппокамп - на уровне А1.8-А1.4, а вентральный гиппокамп - на уровне



Динамика вероятностей осуществления пищедобы-  
вательной реакции после болевого эмоционального  
возбуждения

Таблица 2.

| Животные с разру-<br>шенными различными<br>структурами мозга | Дни после болевого эмоциональ-<br>ного возбуждения |     |   |   |   |     |   |   |
|--|--|-----|---|---|---|-----|---|---|
|  | 1  | 2   | 3 | 4 | 5 | 6   | 7 | 8 |
| Передний дорсальный<br>гиппокамп                             | 0,2  | 0,4 | I | I | I | 0,9 | I | I |
| Задний дорсальный<br>гиппокамп                               | 0,7  | 0,8 | I | I | I | I   | I | I |
| Вентральный<br>гиппокамп                                     | 0,3  | 0,3 | I | I | I | I   | I | I |
| Интактные<br>животные  | 0,2  | 0,2 | I | I | I | I   | I | I |

| Дни опыта | Фиксированная среда            |                                |                               |  |                                |                               | Случайная среда                |                                |                               |  |                                |                               |
|-----------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|
|           | Интактные животные             |                                |                               | Животные с коагулированным задним дорсальным гиппокампом |                                |                               | Интактные животные             |                                |                               | Животные с коагулированным задним дорсальным гиппокампом |                                |                               |
|           | Вероятность рефлекса избегания | Вероятность рефлекса избегания | Частота межсигнальной реакции | Вероятность рефлекса избегания                           | Вероятность рефлекса избегания | Частота межсигнальной реакции | Вероятность рефлекса избегания | Вероятность рефлекса избегания | Частота межсигнальной реакции | Вероятность рефлекса избегания                           | Вероятность рефлекса избегания | Частота межсигнальной реакции |
| 1         | I                              |                                | 10                            | 0,9  | I                              | 9                             | I                              | I                              | 16                            | 0,8  | I                              | 12                            |
| 2         | I                              |                                | 11                            | 0,9  | I                              | 10                            | I                              | I                              | 14                            | 0,9  | I                              | 14                            |
| 3         | I                              |                                | 10                            | I  |                                | 10                            | I                              | I                              | 15                            | 0,8  | I                              | 15                            |
| 4         | I                              | не исследовали                 | 8                             | I  |                                | 8                             | I                              | I                              | 10                            | I  | I                              | 12                            |
| 5         | I                              |                                | 9                             | I  |                                | 6                             | I                              | I                              | 8                             | I  | I                              | 8                             |
| 6         | I                              |                                | 6                             | I  |                                | 7                             | I                              | I                              | 9                             | I  | I                              | 5                             |
| 7         | I                              |                                | 4                             | I  |                                | 4                             | I                              | I                              | 6                             | I  | I                              | 5                             |
| 8         | I                              |                                | 4                             | I  |                                | 4                             | I                              | I                              | 4                             | I  | I                              | 4                             |
| 9         | I                              |                                | 5                             | I  |                                | 5                             | I                              | I                              | 5                             | I  | I                              | 3                             |
| 10        | I                              |                                | 4                             | I  |                                | 4                             | I                              | I                              | 4                             | I  | I                              | 4                             |





S. Tsagareli, I. Doijashvili, Ts. Lezhava, N. Gagoshidze, E. Giorgadze  
ON THE FUNCTIONAL SIGNIFICANCE OF DIFFERENT HIPPOCAMPAL AREAS IN THE MECHANISM OF THE AVOIDANCE REFLEX AND EMOTIONAL MEMORY

Summary

Coagulation of different hippocampal areas variously affects conditioned reflex activity of one or another type.

Coagulation of the anterior dorsal and ventral hippocampus of the albino rat does not affect the dynamics of formation and maintenance of the food-procuring reflex, while that of the posterior-dorsal hippocampus results in delayed formation of conditioned reactions. In operated animals, as compared to intact ones, the development of an avoidance reflex is delayed for ten days.

The experimental data point to the functional heterogeneity of the hippocampus.



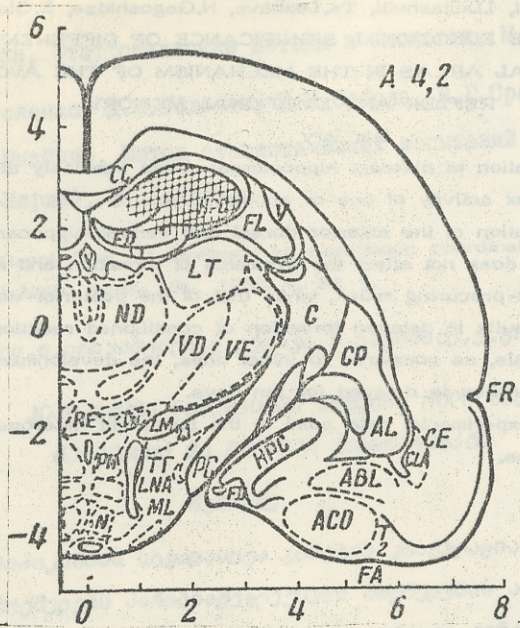


Рис. 1 Разрушение переднего дорсального гиппокампа

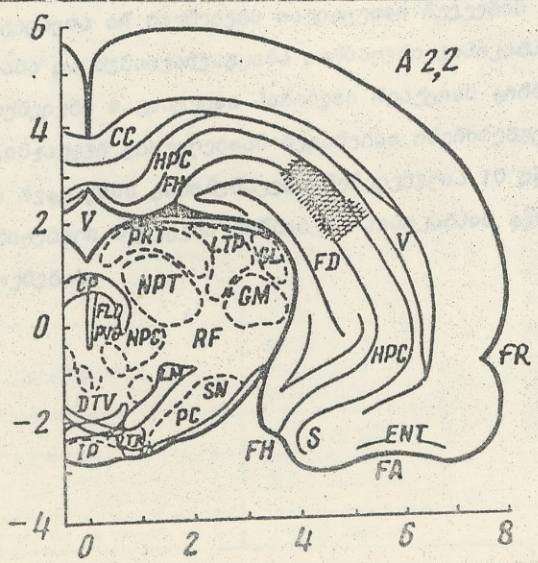


Рис. 2 Разрушение заднего дорсального гиппокампа

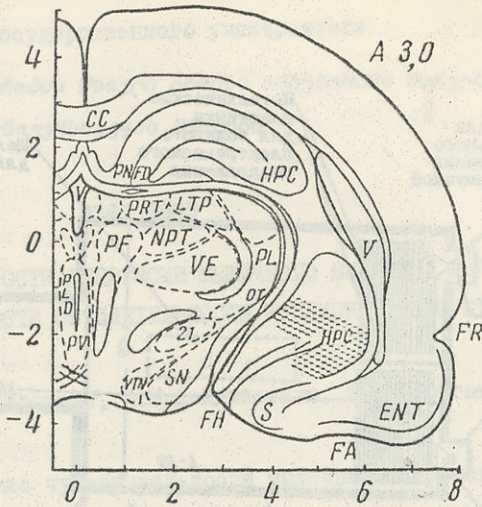


Рис. 3 Разрушение вентрального гиппокампа

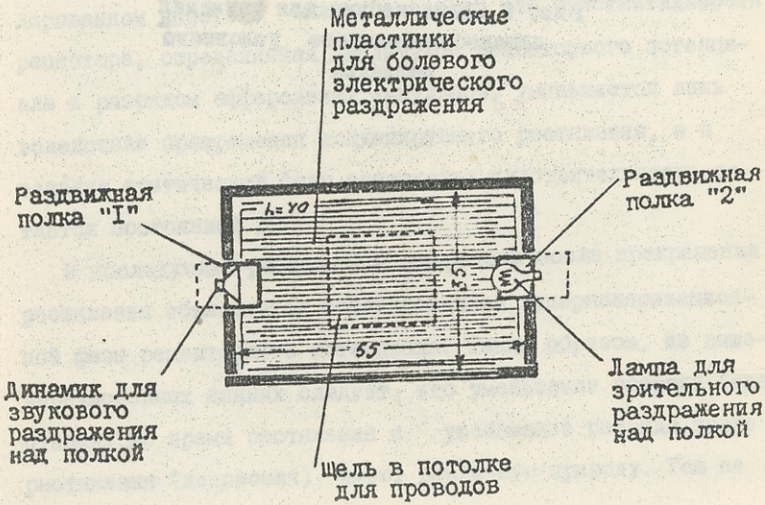


Рис. 4 Схема камеры для изучения рефлекса избегания



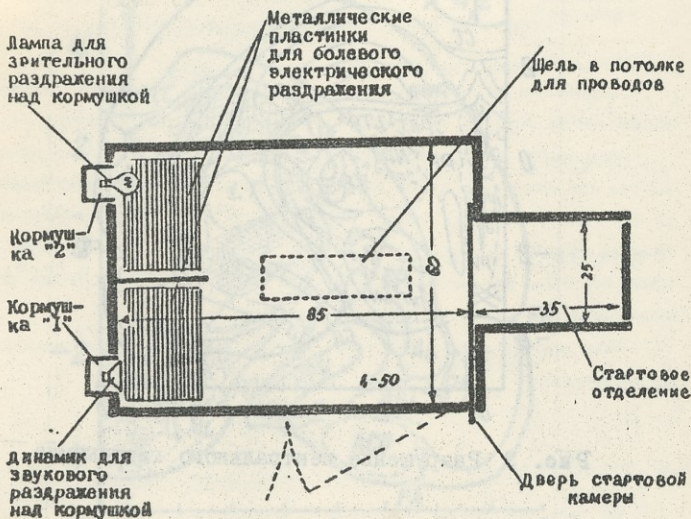


Рис. 5 Схема кабины для изучения  
лицедобывательного условного  
рефлекса

236, 1983

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕПРЕССИИ МЫШЕЧНОГО ВЕРЕТЕНА ЛЯГУШКИ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ КОНДИЦИРУЮЩЕГО СТИМУЛА

Э.А.Метревели, И.М.Дойджашвили, Э.Р.Георгадзе

Уменьшение чувствительности мышечного веретена после прекращения растяжения было изучено Метьюзом, и оно рассматривалось автором как следствие адаптационных процессов / 1 /. Однако, в последнее время, в опытах на изолированном веретене было показано, что чувствительность рецептора, определяемая амплитудой рецепторного потенциала и разрядом афферентных импульсов, уменьшается лишь вследствие прекращения кондицирующего растяжения, а в течение статической фазы растяжения чувствительность остается постоянной / 2 /.

В последующих работах / 3 / депрессия после прекращения растяжения объясняется возникновением гиперполяризационной фазы рецепторного потенциала. Таким образом, из вышечисленных данных следует, что уменьшение разряда (адаптация) во время растяжения и уменьшение разряда после растяжения (депрессия) имеют различную природу. Тем не





менее, надо отметить, что в упомянутых работах исследователи, ставя различные задачи и применяя различные методики, проводили опыты в несовпадающих друг с другом, ограниченных диапазонах параметров растяжения.

В настоящей работе, применяя методику парных стимулов, нами был исследован разряд мышечного веретена, возникающий на тестирующее растяжение (ТР), в зависимости от длительности кондиционирующего растяжения (КР), для всего диапазона допустимых величин растяжений веретена.

Целью настоящего исследования было получение дополнительных данных для внесения некоторой ясности в природу процессов, ответственных за угнетение чувствительности рецептора.

#### МЕТОДИКА

Опыты проводились на мышечном веретене *m. extensor longus digiti* IV лягушки *Rana ridibunda* при температуре 20-22°C в растворе Рингера:  $NaCl$  - 115 мМ,  $KCl$  - 2 мМ,  $CaCl$  - 2,5 мМ. Число импульсов, возникающих на растяжение, регистрировалось пересчетными приборами типа ПИ-16. Изменение длительности КР и величин КР и ТР производили по специально разработанной методике. За меру угнетения брали отношение числа импульсов, возникающих на ТР - ( $n_T$ ) после КР, к числу импульсов /  $n_0$  /, возникающих на то же самое ТР, только без предшествующего КР, в процентах. Длительность ТР брали

равной 2 сек, а длительность КР менялась в зависимости от условий опыта; длительность паузы ( $\Delta t$ ) между ТР и КР оставалась постоянной, равной 0,1 сек.

$\Delta L_T$  и  $\Delta L_K$  соответствовали величинам ТР и КР.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

В работах / 4,5 / нами было показано, что закономерности угнетения и восстановления мышечного веретена от антидромного разряда и от величины кондицирующего растяжения находятся в определенной зависимости от того, в каком диапазоне величин взято ТР. Учитывая этот вывод, мы, естественно, в первую очередь, попытались выяснить существует ли дифференциация стимулов в закономерностях угнетения рецептора от длительности КР. С этой целью были проведены следующие опыты. В качестве ТР выбирали величину  $\Delta L_T$ , порядка максимального растяжения и исследовали угнетение мышечного веретена от длительности КР для  $\Delta L_K$  в диапазоне  $\Delta L_{пор.} \leq \Delta L_K \leq \Delta L_T$ , где  $\Delta L_{пор.}$  - пороговое значение  $\Delta L_K$ . Эти опыты показали, что до некоторого определенного значения величины  $\Delta L_K$  угнетение рецептора от длительности кондицирующего стимула незначительно, всего 5-10%, а при очень больших длительностях, порядка 30-60 сек., наблюдается даже некоторое уменьшение угнетения. Достигнув определенного значения величины КР, угнетение рецептора от длительности КР скачкообразно увеличивается; кривые угнетения приобретают



гиперболическую форму и плавно смещаются вниз с увеличением  $\Delta L_K$  (рис. I). Величины  $\Delta L_K$ , при котором происходит заметное смещение кривых  $\frac{n_T}{n_0} = f(t_K)$ , совпадают с теми величинами растяжений, которые идентифицировались нами, как граничные величины растяжений  $\Delta L_{cr}$ . Абсолютная величина растяжений, соответствующая  $\Delta L_{cr}$ , уменьшается с увеличением начального натяжения мышцы и всегда равна одной трети максимального растяжения.

Учитывая полученный результат, угнетение рецептора от длительности КР исследовали оледующим образом. В первой серии опытов фиксировали некоторую величину  $TR > \Delta L_{cr}$  и исследовали закономерности угнетения от длительности КР для величин  $KP > TR$ . Как видно из представленных на рис. 2 кривых, независимо от величины КР кривые зависимости  $\frac{n_T}{n_0} = f(t_K)$  имеют одинаковую (гиперболическую) форму и аналогичны кривым адаптации. Наибольшее угнетение происходит лишь за первые 1-2 сек. растяжения. Для каждой величины КР наблюдается насыщение угнетения, величина максимального (насыщенного) значения угнетения тем больше, чем больше  $\Delta L_K$ . Полного угнетения рецептора можно достичь лишь для большей разности  $\Delta L_K - \Delta L_{cr}$  и длительности КР больше 16 сек.

Во второй серии опытов  $TR$  выбирали меньше, чем  $\Delta L_{cr}$ , а  $\Delta L_K$  было всегда больше  $\Delta L_T$ . Результаты этих

опытов представлены на рис.3. Опыты показали, что если

$\Delta L_K$  не превосходило  $\Delta L_{кр.}$ , то кривые угнетения были аналогичны тем, которые описывались выше, т.е. достигалось насыщение. С достижением  $\Delta L_K$  значения  $\Delta L_{кр.}$  угнетение в зависимости от длительности КР резко увеличивается, а для длительностей меньше 16 сек. можно достичь полного угнетения. Чем больше  $\Delta L_K$  превышает  $\Delta L_{кр.}$ , тем при меньших длительностях КР достигается полное угнетение.

В отдельной серии опытов нами были исследованы закономерности восстановления для различных длительностей КР в следующих пределах: а.  $\Delta L_K > \Delta L_T > L_{кр.}$

б.  $\Delta L_T < \Delta L_K < \Delta L_{кр.}$

в.  $\Delta L_T < \Delta L_{кр.}, \Delta L_K > \Delta L_{кр.}$

В случае (а) опыты показали, что с увеличением длительности КР кривые восстановления, сохраняя свою форму с ярко выраженными быстрой и медленной фазами, смещаются друг относительно друга к большим значениям угнетений при одинаковых значениях паузы ( $\Delta t$ ) между растяжениями. Кроме того, с увеличением длительности КР увеличивается скорость восстановления быстрой фазы, а скорость восстановления медленной фазы остается без изменения, как видно из рис. 4.

В случае (б) опыты показали, что с увеличением длительности КР скорость восстановления заметно уменьшается





(рис. 5, кривые 1, 2, 3).

В случае (в) кривые восстановления для длительностей КР порядка 2 сек. становятся почти линейными, т.е. различие в фазах полностью исчезает. Для длительностей КР меньше 1 сек. скорость восстановления резко увеличивается и различие между фазами восстановления становится явным (рис. 5, кривые 4, 5).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные нами результаты показывают, что закономерности угнетения и восстановления активности мышечного веретена в зависимости от длительности КР в значительной степени определяются соотношением величин ТР и КР. Длительность растяжения, как угнетающего фактора, различна для разных областей растяжения. Существуют некоторые малые растяжения, которые независимо от их длительности почти не влияют на разряд, возникающий при больших величинах ТР. Скачкообразное увеличение угнетения происходит при т.н. граничных растяжениях, абсолютная величина которых примерно равна одной трети максимально возможного растяжения.

Интересно отметить, что указанные величины растяжений совпадают с теми, при которых амплитуда динамической фазы рецепторного потенциала достигает максимума /6/.

Из всего вышеизложенного следует, что при изучении различных характеристик активности мышечного веретена, при сравнении данных, необходимо учитывать растяжения,



для которых эти данные получены.

Из наших данных видно, что для любых соотношений величин КР и ТР кривые зависимости угнетения разряда мышечного веретена от длительности КР аналогичны кривым адаптации (по форме), так же, как и в /1/. Во всех случаях уменьшение разряда импульсов рецептора, возникающих на ТР, совпадает с уменьшением во времени разряда, возникающего на КР (т.е. с развитием адаптации). Этот факт, по-видимому, указывает на то, что процессы, ответственные за происхождение адаптации должны являться и причиной угнетения мышечного веретена, как это было предложено Метьюзом. Однако, как это было замечено выше, результаты опытов /2/ противоречат такому выводу. Это противоречие, вероятно, обусловлено тем, что в работе /2/ чувствительность веретена во время статической фазы растяжения определялась для очень коротких временных интервалов, порядка 50-100 сек., в течение которых развитие адаптации было настолько незначительным, что изменение чувствительности не обнаруживалось.

Наши результаты в какой-то степени противоречат результатам работ /3/, в которых приведены данные о полном восстановлении чувствительности веретена, происходящем в течение 200-500 мсек. и совпадающем с длительностью гиперполяризационной фазы. В нашем же случае, полное восстановление чувствительности происходит за время, не меньшее, чем 8 сек. для тех же параметров КР. Это разногласие вызвано, по-видимому, тем обстоятельством, что в наших



опытах чувствительность определялась для статической фазы растяжений веретена, тогда как в работе /3/ - для динамической фазы. Как известно, эти две фазы ответа рецептора отличаются не только по характеру восстановления, но и зависимостью от величины растяжения /7/. Как уже отмечалось, динамическая фаза рецепторного потенциала достигает максимума при меньших величинах растяжения, чем статическая /6/. Таким образом, для сопоставления данных надо учитывать не только абсолютные величины растяжений, но и фазы рецепторной активности, при которых эти данные были получены.

Наши результаты представляют интерес с точки зрения понимания механизма градации активности рецептора с увеличением стимула. Известно, что чувствительный аксон мышечного веретена лягушки, разветвляясь, имеет около  $10^4$  чувствительных терминальных единиц, распределенных на различных областях интрафузальных волокон. Вопрос о том, происходит ли при растяжении одновременная деформация всех элементарных единиц или же каждой величине растяжения соответствует деформация лишь части этих терминальных единиц, в настоящее время остается мало изученным.

В работе /6/ показано, что степень синхронной деформации отдельных терминальных единиц увеличивается с увеличением растяжения. Полученные нами результаты незначительного угнетения рецептора от длительности КР, для величин  $KP > \Delta L_{1p}$ , очевидно, должны указывать на то, что для этих значений КР происходит постепенное вовлече-



ние терминальных единиц при увеличении КР, а для величины порядка  $1/3 L_{max}$  происходит полное подключение этих единиц (т.е. полная синхронизация).

Поступила 26.XII.1981

Проблемная лаборатория  
физической кибернетики

### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н.С. Matthews, J. Physiol., 71, 64-110, 1931.
2. D. Ottoson, J.S. McReynolds, G.M. Shepherd, J. Neurophysiol., 23, 24-34, 1969.
3. Н.П. Алексеев, П.О. Макаров, И.Н. Павленко, Биофизика, 18, 153-159, 1973.
4. З.А. Метревели, И.М. Дойджашвили, Е.Р. Георгадзе, Известия АН ГССР, серия биол., т.3, 247-251, 1977.
5. З.А. Метревели, И.М. Дойджашвили, Известия АН ГССР, серия биол., т.3, 133-140, 1977.
6. D. Ottoson, G.M. Shepherd, Hand book of sensory physiol. ed. by Loewenst., Berlin, v.1, 442-499, 1971.
7. D. Ottoson, G.M. Shepherd, Cold spring Harb Symp. quant. Biol., v.30, 95-103, 1965.

Рис. 2. Зависимость угла отклонения от вертикали мускульных волокон от длительности КР при лучах  $\Delta L_1 = 120 \mu$  и  $\Delta L_2 = 140 \mu$

1.  $\Delta L_1 = 90 \mu$ , 2.  $\Delta L_1 = 120 \mu$ , 3.  $\Delta L_1 = 140 \mu$ .
4.  $\Delta L_2 = 160 \mu$ ,  $\Delta L_2 = 800 \mu$

9. Труды, т. 236



მ. მეტრეველი, ი. დოიჯაშვილი, ე. გიორგაძე

კუნთის თითისფარას ეპურსიის კონდინირებაში

დამოკიდებულება კონდინირებაში სტიმულის

ხანგრძლივობაზე

რეზიუმე

შენიშნავდებოდა კუნთის თითისფარაზე მოქმედებულ სტიმულზე აღმოცენებული აფერენციული იმპულსაციის დამოკიდებულება კონდინირებული სტიმულის ხანგრძლივობაზე.

დადგინდა იქნა, რომ ეპურსიის ხარისხი მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული კონდინირებულ და სტიმულირებულ სტიმულთა შესაბამის გაფრთხილებას სიძველეს. არსებობს მცირე გაფრთხილება დამატებით, რომელიც დამოკიდებულად სტიმულის ხანგრძლივობისა არ იწვევს დიდ გაფრთხილებას აფერენციული იმპულსაციის ეპურსიას.

Z. Metreveli, I. Doijashvili, E. Giorgadze

DEPENDENCE OF THE REGULARITIES OF MUSCLE SPINDLE

DEPRESSION ON THE CONDITIONED STIMULUS DURATION

Summary

The dependence of afferent impulses arising to a test stimulus acting on the muscle spindle on the duration of the conditioned stimulus was studied. The degree of depression was found to depend significantly on the corresponding values of stretching of the conditioned and test stimuli. There exists a range of small stretches which, irrespective of the duration of the stimulus, do not suppress the discharges arising at large test stretches.

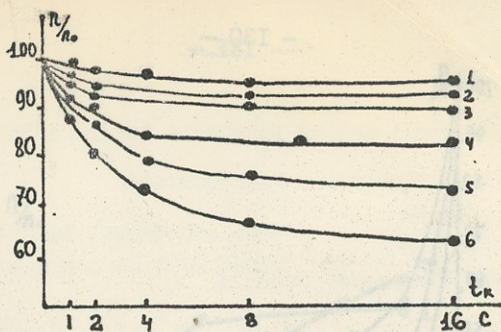


Рис. 1. Зависимость угнетения разряда мышечного веретена от длительности КР для случая:  $\Delta L_{\pi} > \Delta L_{\sigma p}$

$t_k$  - длительность КР,  $\Delta L_{\pi}$  - величина ТР,  $\Delta L_{\pi} = 1200$  мк  
 1.  $\Delta L_{\kappa} = 300$  мк, 2.  $\Delta L_{\kappa} = 400$  мк, 3.  $\Delta L_{\kappa} = 500$  мк,  
 4.  $\Delta L_{\kappa} = 600$  мк, 5.  $\Delta L_{\kappa} = 700$  мк, 6.  $\Delta L_{\kappa} = 800$  мк.

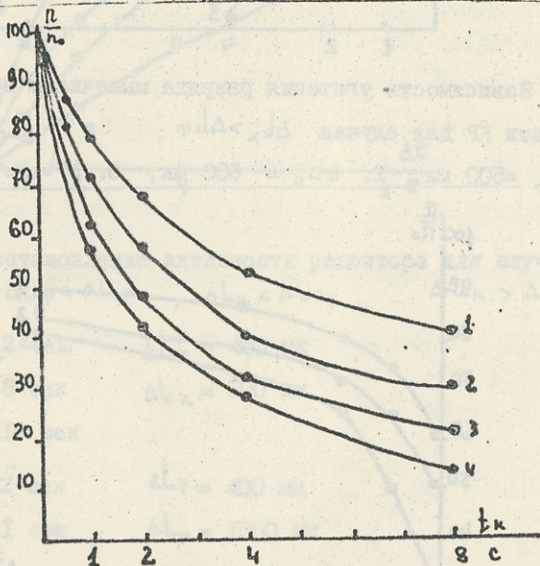


Рис. 2. Зависимость угнетения разряда мышечного веретена от длительности КР для случая  $\Delta L_{\kappa} > \Delta L_{\pi}$  и  $\Delta L_{\pi} > \Delta L_{\sigma p}$

1.  $\Delta L_{\kappa} = 900$  мк, 2.  $\Delta L_{\kappa} = 1200$  мк, 3.  $\Delta L_{\kappa} = 1400$  мк,  
 4.  $\Delta L_{\kappa} = 1500$  мк,  $\Delta L_{\pi} = 800$  мк



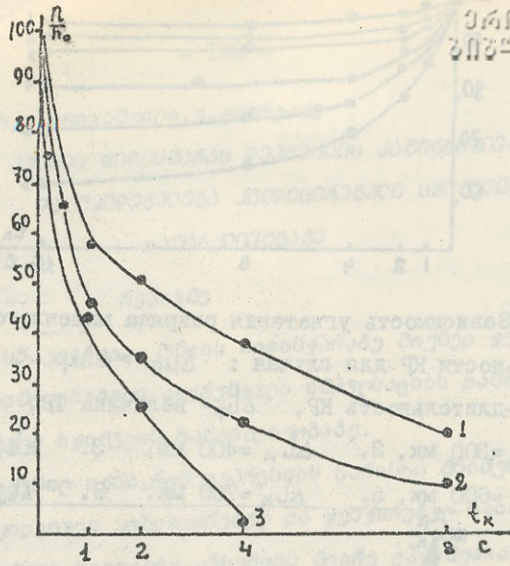


Рис. 3. Зависимость угнетения разряда мышечного веретена от длительности КР для случая  $\Delta t_k > \Delta t_p$  и  $\Delta t_p < \Delta t_{sp}$   
1.  $\Delta t_k = 500$  мк, 2.  $\Delta t_k = 600$  мк, 3.  $\Delta t_k = 700$  мк  $\Delta t_p = 300$  мк

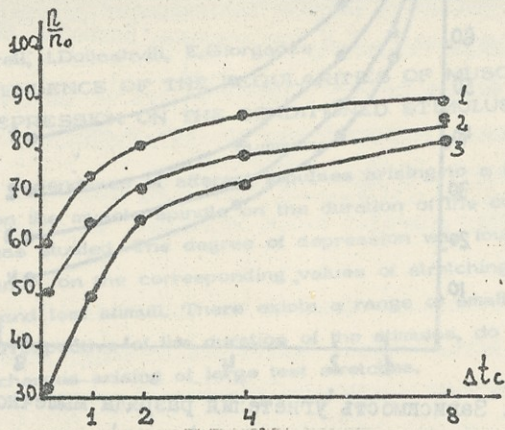


Рис. 4. Закономерности восстановления активности рецептора при различных длительностях КР  $t_k$  при  $\Delta t_p > \Delta t_{sp}$ .  
1.  $t_k = 1$  сек, 2.  $t_k = 2$  сек, 3.  $t_k = 4$  сек  
 $\Delta t_p = 800$  мк,  $\Delta t_k = 1400$  мк

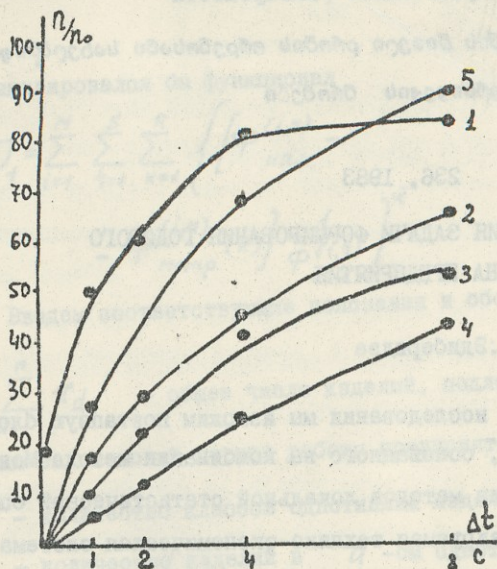


Рис. 5. Восстановление активности рецептора для случаев  
 $\Delta L_{\Gamma} < \Delta L_{\Gamma P}$  ,  $\Delta L_{\kappa} < \Delta L_{\Gamma P}$  ,  $\Delta L_{\kappa} > \Delta L_{\Gamma P}$ .

- |    |                       |                               |
|----|-----------------------|-------------------------------|
| 1. | $t_{\kappa} = 2$ сек  | $\Delta L_{\Gamma} = 400$ МК  |
| 2. | $t_{\kappa} = 8$ сек  | $\Delta L_{\kappa} = 500$ МК  |
| 3. | $t_{\kappa} = 16$ сек |                               |
| 4. | $t_{\kappa} = 2$ сек  | $\Delta L_{\Gamma} = 400$ МК  |
| 5. | $t_{\kappa} = 1$ сек  | $\Delta L_{\kappa} = 1000$ МК |



Труды Тбилисского ордена Трудового Красного Знамени

государственного университета

თბილისის შრომის ნიშნის ორდენის მტკიცესანი სახელმწიფო

უნივერსიტეტის შრომები

236, 1983

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОДОВОГО  
ПЛАНА ПРЕДПРИЯТИЯ

А. А. Эдиберидзе

В настоящем исследовании мы изложим поэтапную блок-схему алгоритма, основанного на комбинации метода Монте-Карло и одного из методов локальной статистической оптимизации. Оптимизируемая технико-экономическая система детально рассмотрена в работе /1/ и состоит в следующем.

Требуется построить такой набор значений  $t_{наг}^{(j)}$ ,

$1 \leq j \leq N$ , чтобы при выполнении ограничений

$$\left. \begin{aligned}
 t_{наг}^{(j)}(gup) &\leq t_{наг}^{(j)}, \quad 1 \leq j \leq \hat{N} < N, \\
 t_{наг}^{(j)} + t_{d(j)} &\leq t_{кон}^{(j)}(gup), \quad 1 \leq j \leq \hat{N}, \\
 0 &\leq t_{наг}^{(j)}, \quad \hat{N} + 1 \leq j \leq N, \\
 t_{кон}^{(j)} &\leq T, \quad \hat{N} + 1 \leq j \leq N, \\
 t_{кон}^{(j)} &= t_{наг}^{(j)} + t_{d(j)}, \\
 \Phi_{потр}^{(i, \kappa)}(\kappa) &\leq \Phi_{наг}^{(i, \kappa)} - \Phi^{(i, \kappa)}(\kappa)
 \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

минимизировался бы функционал

$$J_1 = \sum_{i=1}^M \sum_{\gamma=1}^S \sum_{\kappa=1}^R \left\{ \left[ \varphi_{\text{нал}}^{(i,\gamma)} - \varphi_{\text{потр}}^{(i,\gamma)}(\kappa) \right] \frac{1}{\varphi_{\text{нал}}^{(i,\gamma)}} \right\}^2 \quad (2)$$

Введем соответствующие пояснения и обозначения:

$N = \sum_{d=1}^n x_d$  - общее число изделий, подлежащих изготовлению за плановый период работы предприятия;

$M$  - количество классов однотипных изделий;

$x_d$  - количество изделий в  $d$ -ом однотипном классе;

$S$  - общее число имеющихся на предприятии ресурсов;

$M$  - число подразделений на предприятии;

$\varphi_{\text{нал}}^{(i,\gamma)}$  - мощность ресурса  $\gamma$ -ого вида в  $i$ -ом подразделении;

$h(d,\gamma)$  - общее количество "ступенек" эшоры распределения ресурсов  $\gamma$ -ого вида для изделий  $d$ -ого класса;

$\hat{N}$  - число изделий, для которых существуют директивные сроки начала и окончания их изготовления





$$t_{\text{нач}}^{(j)}(dur), t_{\text{кон}}^{(j)}(dur), 1 \leq j \leq \hat{N};$$

$t_d$  - продолжительность изготовления изделия из  $d$ -ого класса;

$T_{(j)}$  - плановый период работы предприятия (год);

$t_{\text{нач}}^{(j)}, t_{\text{кон}}^{(j)}$  - моменты начала и окончания изготовления  $j$ -ого изделия;

$d(j)$  - однозначное соответствие, которое соотносит изделие с номером  $j$  индекса класса  $d$ ;

$\Phi_K^{(i,\mu)}$  - мощность  $\mu$ -ого ресурса в  $i$ -ом подразделении в  $K$ -ом элементарном подпериоде;

$R$  - число элементарных подпериодов;

$\Phi_{\text{потр}}^{(i,\mu)}(k)$  - фактическая потребность ресурса  $\mu$ -ого вида в  $i$ -ом подразделении в течение  $k$ -ого элементарного подпериода.

Заметим, что должны выполняться очевидные ограничения

$$t_{\text{нач}}^{(j)}(dur) \leq t_{\text{нач}}^{(j)} < t_{\text{кон}}^{(j)} \leq t_{\text{кон}}^{(j)}(dur), \quad (3)$$

$$1 \leq j \leq \hat{N},$$

$$t_{\text{кон}}^{d(j)}(\text{гип}) - t_{\text{нач}}^{d(j)}(\text{гип}) < t_{d(j)}, \quad (4)$$

$$1 \leq j \leq \hat{N}.$$

Настоящая оптимизационная задача, на наш взгляд, носит весьма актуальный характер для производственных систем достаточно широкого профиля, особенно для случая изготовления серийных изделий с длительным производственным циклом.

Переходим к описанию поэтапной блок-схемы алгоритма реализации оптимизационной задачи.

Этап I. В соответствии с рекомендациями /1/ осуществляется выбор величины (продолжительности) элементарного подпериода  $\Delta t$  и общего количества таких подпериодов  $R$ , после чего период планирования  $[0, T]$  разбивается на соответствующие элементарные подпериоды.

Этап II. На основании исходных данных задачи для каждого  $i$ -ого ресурса определяется значение его наличной мощности (объема)  $\varphi_{\text{нач}}^{(i, \kappa)}(\kappa)$ , имеющегося в распоряжении каждого  $i$ -ого производственного подразделения в течение каждого  $\kappa$ -ого по счету элементарного подпериода времени  $1 \leq \kappa \leq R$ . Обычно на этапе II величины  $\varphi_{\text{нач}}^{(i, \kappa)}(\kappa)$  не зависят от конкретного значения индекса подпериода  $\kappa$  и постоянны на протяжении всего периода планирования  $[0, T]$ . Динамические изменения наступают лишь на этапе У описываемой процедуры.



Этап III. Для каждого из  $n$  классов изделий и  $S$  различных видов ресурсов формируются эпюры распределения потребления ресурсов  $g_{d\eta_\xi}$ ,  $t_{d\eta_\xi}$ ,  $1 \leq d \leq n$ ,

$$1 \leq \eta \leq S, \quad 1 \leq \xi \leq h(d, \eta).$$

В дальнейшем строятся однозначные переводные схемы  $\Psi$ , соотносящие каждому сложному индексу  $d\eta_\xi$  соответствующий индекс (шифр) подразделения  $i_\xi$ ; иными словами, для изделия  $d$ -ого класса  $\xi$ -ый по счету подинтервал ("ступенька") эпюры распределения ресурса  $\eta$  соответствует подразделению  $i_\xi$ , в котором работает этот ресурс. Разумеется, при этом имеет место соотношение

$$1 \leq i_\xi = \Psi(d\eta_\xi) \leq M.$$

Заметим, что в процессе реализации этапа III необходимо принимать во внимание следующие соображения:

а) переброска ресурсов с одного изделия на другое осуществляется только в момент начала очередного элементарного календарного подпериода; в противном случае следует во избежание простоя ресурсов уменьшить продолжительность подпериода  $\Delta t$ ;

б) в течение одного и того же элементарного календарного подпериода ни один из неделимых по мощности ресурсов не может участвовать в создании нескольких различных изделий; другими словами, если в какой-либо момент времени  $t$ , относящийся к  $K$ -ому подпериоду ( $t \in$



$\in [(k-1)\Delta t, k\Delta t]$  , ресурс  $\gamma$ -ого вида в  $i$ -ом под-  
разделении одновременно участвует в создании  $q$  различных  
изделий с соответствующими интенсивностями  $g_{d_1, \gamma_{\xi_1}}$  ,

$g_{d_2, \gamma_{\xi_2}}, \dots, g_{d_q, \gamma_{\xi_q}}$  . то должно иметь место нера-  
венство

$$\sum_{c=1}^q g_{d_c, \gamma_{\xi_c}} \leq \varphi_{\text{нал}}^{(i, \gamma)}(k). \quad (5)$$

Этап IV. Для каждого из  $R$  элементарных подпериодов, каждого из  $M$  подразделений и каждого из  $S$  видов ре-  
сурсов на основании заранее построенной регрессионной за-  
висимости  $\varphi_{i, \gamma}(k; x_1, x_2, x_3, x_4)$  определяется объем  
ресурсов, необходимых для осуществления комплексов опера-  
ции по созданию дополнительного объема производственной  
программы. В процессе реализации регрессионной модели  
обычно происходит исследование на адекватность не-  
скольких альтернативных аналитических моделей - линейных  
и нелинейных.

Этап V. Осуществляется кор. экция наличных ресурсов

$\varphi_{\text{нал}}^{(i, \gamma)}(k)$  по формуле

$$\varphi_{\text{нал}}^{(i, \gamma)}(k) - \varphi_{i, \gamma}(k; x_1, x_2, x_3, x_4) \Rightarrow \varphi_{\text{нал}}^{(i, \gamma)}(k) \quad (6)$$

$1 \leq i \leq M; \quad 1 \leq \gamma \leq S; \quad 1 \leq k \leq R.$



Этап VI. На этом этапе осуществляется проверка справедливости условия (3) (либо (4)). Если хотя бы для одного значения  $j, 1 \leq j \leq \hat{N}$ , имеют место условия (3) или (4), управление передается на этап  $L$  с последующим аварийным остановом работы алгоритма. Если неравенства (3,4) не имеют места, работает последующий этап алгоритма.

Этап VII. Методом Монте-Карло осуществляется моделирование времен начала и окончания изготовления каждого из  $\hat{N}$  изделий по формулам

$$t_{\text{нач}}^{(j)} = [t_{\text{кон}}^{(j)}(q_{ip}) - t_{\text{нач}}^{(j)}(q_{ip}) - t_{d(j)}] \eta_j + t_{\text{нач}}^{(j)}(q_{ip}),$$

$$t_{\text{кон}}^{(j)} = t_{\text{нач}}^{(j)} + t_{d(j)}, \quad 1 \leq j \leq N, \quad (7)$$

где  $\eta_j$  - значение независимой случайной величины, равномерно распределенной в интервале  $[0, 1]$ .

Этап VIII. На данном этапе производится расчет  $M \times S \times R$  величин  $\Phi_{\text{потр}}^{*(i, r)}(k)$ , определяемых на основе реализации этапа III и значений  $t_{\text{нач}}^{(j)}$  и  $t_{\text{кон}}^{(j)}$ .

Этап IX. Проверяется выполнение неравенств

$$\varphi_{\text{потр}}^{*(i,\gamma)}(k) \leq \varphi_{\text{нал}}^{(i,\gamma)}(k), \quad (8)$$

где величины  $\varphi_{\text{нал}}^{(i,\gamma)}(k)$  определены на основании формулы (6). Если хотя бы для одной пары индексов  $(i, \gamma)$  и значения  $k$  неравенства (8) не имеют места, управление передается на этап ХУП. В противном случае работает последующий этап алгоритма.

Этап X. Исходя из соотношений (6), фиксируется значение оптимизируемого функционала

$$J_1 = \sum_{i=1}^M \sum_{\gamma=1}^S \sum_{k=1}^R \left\{ \frac{\varphi_{\text{нал}}^{(i,\gamma)}(k) - \varphi_{\text{потр}}^{*(i,\gamma)}(k)}{\varphi_{\text{нал}}^{(i,\gamma)}(k)} \right\}^2. \quad (9)$$

Этап XI. Значение  $J_1$  сравнивается с содержащимся в рабочей ячейке  $\pi_1$  (первоначально в эту ячейку записывается заведомо большое число). Если  $J_1 < \langle \pi_1 \rangle$ , то значение  $J_1$  заносится в ячейку  $\pi_1$ ,  $J_1 \Rightarrow \langle \pi_1 \rangle$ . Параллельно с операцией засылки величины  $J_1$  осуществляется пересылка состоящего из  $2\hat{N}$  чисел массива  $t_{\text{нал}}^{(j)}$ ,  $t_{\text{кон}}^{(j)}$  в специальный массив  $\mathcal{A}$  (первоначально пустой). Одновременно производится также засылка  $M \times S \times R$  величин  $\varphi_{\text{потр}}^{*(i,\gamma)}(k)$  в массив  $\mathcal{B}$ . При  $J_1 \geq \langle \pi_1 \rangle$



содержимое массивов  $A$  и  $B$  изменений не претерпевает.

Этап XII. Счетчик удачных "розыгрышей" начальной точки поиска увеличивает свое значение на единицу,  $\langle X \rangle + 1 \Rightarrow \langle X \rangle$  (первоначально счетчик  $X$  был пуст,  $\langle X \rangle = 0$ ).

Этап XIII. В счетчик количества последовательных неудачных "розыгрышей"  $\omega$  заносится нуль  $0 \Rightarrow \langle \omega \rangle$ .

Этап XIV. Значение счетчика  $X$  числа удачных "розыгрышей" начальной точки поиска сравнивается с некоторой заранее фиксированной величиной  $X_{пред}$ . Если  $\langle X \rangle < X_{пред}$ , управление передается на этап XV. В противном случае выполняется этап VII алгоритма.

Этап XV. На данном этапе осуществляется печать промежуточных результатов - содержимого массивов  $A$  и  $B$ , а также ячейки  $\mathcal{D}_1$ .

Этап XVI. Осуществляется расчет  $M \times S \times R$  значений  $\Phi_{нал}^{*(i,r)}(k)$  на основании формулы

$$\Phi_{нал}^{*(i,r)}(k) = \Phi_{нал}^{(i,r)}(k) - \Phi_{потр}^{*(i,r)}(k)_{min}, \quad (10)$$

где под символом  $\Phi_{потр}^{*(i,r)}(k)_{min}$  подразумеваются соответствующие элементы массива  $B$ .



В дальнейшем управление передается на этап XIX алгоритма.

Этап XVII. Содержимое счетчика  $\omega$  количества последовательных неудачных "розыгрышей" начальной точки поиска увеличивается на единицу,  $\langle \omega \rangle + 1 \Rightarrow \langle \omega \rangle$ .

Этап XVIII. Значение счетчика  $\omega$  сравнивается с предельным числом последовательных неудачных "розыгрышей"  $\omega_{пред}$ . Если  $\langle \omega \rangle = \omega_{пред}$ , управление передается на последующий этап алгоритма. В противном случае, при  $\langle \omega \rangle < \omega_{пред}$  управление передается на этап УП.

Этап XIX. Проверяется истинность неравенства  $\langle X \rangle > 0$ . Если неравенство имеет место, управление передается на этап XV. В противном случае ( $\langle X \rangle = 0$ ) построение начальной точки поиска не представляется возможным - соответствующий план выпуска не удастся разработать даже для первых  $\hat{N}$  изделий с заданными директивными сроками - в связи с чем управление передается на этап L аварийного останова алгоритма.

Этап XX. Методом Монте-Карло осуществляется моделирование моментов времени начала и окончания изготовления каждого из оставшихся  $N - \hat{N}$  изделий по формулам

$$t_{нач}^{(j)} = (T - t_{d(j)}) \eta_j, \quad (II)$$
$$t_{кон}^{(j)} = t_{нач}^{(j)} + t_{d(j)}, \quad \hat{N} + 1 \leq j \leq N,$$



где  $\eta_j$  - значение независимой случайной величины, равномерно распределенной в интервале  $[0,1]$ .

Этап XXI. Аналогично процедуре этапа УШ осуществляется расчет  $M \times S \times R$  величины  $\Phi_{\text{потр}}^{**}(i, \eta, \kappa)$  в соответствии с построенными на этапе Ш алгоритма эспрами распределения ресурсов и зафиксированными значениями  $t_{\text{нал}}^{(j)}$ ,  $t_{\text{кон}}^{(j)}$ ,  $\hat{N}+1 \leq j \leq N$ .

Этап XXII. Проверяется выполнение неравенств

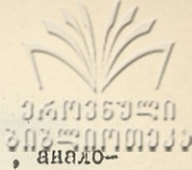
$$\Phi_{\text{потр}}^{**}(i, \eta, \kappa) \leq \Phi_{\text{нал}}^{**}(i, \eta, \kappa), \quad (12)$$

где величины  $\Phi_{\text{нал}}^{**}(i, \eta, \kappa)$  были определены ранее, на этапе XVI настоящего алгоритма. Если хотя бы для одной комбинации - тройки значений индексов  $i, \eta$  и  $\kappa$  неравенство (12) не имеет места, управление передается на этап XXIII. В противном случае работает последующий этап алгоритма.

Этап XXIII. Производится расчет второй компоненты оптимизируемого функционала

$$J_2 = \sum_{i=1}^M \sum_{\eta=1}^S \sum_{\kappa=1}^R \left\{ \frac{\Phi_{\text{нал}}^{**}(i, \eta, \kappa) - \Phi_{\text{потр}}^{**}(i, \eta, \kappa)}{\Phi_{\text{нал}}^{**}(i, \eta, \kappa)} \right\}^2. \quad (13)$$

Этап XXIV. Подобно процедуре этапа XI, значение  $J_2$



сравнивается с содержимым рабочей ячейки  $\mathcal{M}_2$ , аналогичной ячейке  $\mathcal{M}_1$ . Если будет установлено неравенство  $J_2 < \langle \mathcal{M}_2 \rangle$ , осуществляется засылка  $J_2$  в ячейку  $\mathcal{M}_2$ . Аналогичным образом осуществляется переомлка в массив  $C$   $2(N-\hat{N})$  чисел  $t_{\text{наг}}^{(j)}$ ,  $t_{\text{кон}}^{(j)}$ ,  $\hat{N}+1 < j \leq N$  и в массив  $D-N \times S \times R$  величины  $\Phi_{\text{поис}}^{**(\lambda, \kappa)}(k)$ . В случае  $J_2 \geq \langle \mathcal{M}_2 \rangle$  содержимое массивов  $C$  и  $D$ , а также рабочей ячейки  $\mathcal{M}_2$  не меняется.

Этап XXV. Работает счетчик числа удачных "розыгрышей" второй начальной точки поиска  $\tau$ ,  $\langle \tau \rangle + 1 \Rightarrow \langle \tau \rangle$  (разумеется, первоначально  $\langle \tau \rangle = 0$ ).

Этап XXVI. В счетчик последовательных неудачных "розыгрышей" второй начальной точки поиска  $\mathcal{R}$  (имеется в виду  $(N-\hat{N})$ -мерная точка календарного плана изготовления соответствующих изделий, в отличие от  $\hat{N}$ -мерной точки на этапах УП-ХІХ) засылается нуль,  $0 \Rightarrow \langle \mathcal{R} \rangle$ .

Этап XXVII. Содержимое счетчика  $\tau$  сравнивается со значением  $\tau_{\text{прег}}$ . Если этот верхний предел для числа удачных "розыгрышей" точки достигнут ( $\tau = \tau_{\text{прег}}$ ), управление передается на последующий этап алгоритма. В противном случае осуществляется передача управления на этап ХХ.





Этап XXVIII. Производится печать промежуточных результатов работы алгоритма - содержимого массивов  $C$  и  $D$ , а также ячейки  $\delta_2^2$ .

Этап XXIX. Этап завершает процедуру построения комплексной  $N$ -мерной начальной точки поиска оптимального календарного плана по всем  $N$  изделиям. Происходит очистка счетчиков  $X, \omega, \mathcal{N}, \tau$ , а также рабочих ячеек  $\mathcal{M}_1$  и  $\mathcal{M}_2$ . В дальнейшем управление передается на этап XXXIII.

Этап XXX. Содержимое счетчика количества последовательных неудачных "розыгрышей"  $\mathcal{N}$  увеличивается на единицу,  $\langle \mathcal{N} \rangle + 1 \Rightarrow \langle \mathcal{N} \rangle$ .

Этап XXXI. Значение счетчика  $\mathcal{N}$  сравнивается с предельно допустимым числом последовательно неудачных "розыгрышей"  $(N - \hat{N})$ -мерной вектор-точки. Если  $\langle \mathcal{N} \rangle = \mathcal{N}_{\text{пред}}$ , управление передается на последующий этап алгоритма. При  $\langle \mathcal{N} \rangle < \mathcal{N}_{\text{пред}}$  работает этап XX.

Этап XXXII. Проверяется, имеет ли место неравенство  $\langle \tau \rangle > 0$ . Если это неравенство справедливо, управлению передается на этап XXVIII. В противном случае ( $\langle \tau \rangle = 0$ ) управление передается на этап  $L$  аварийного останова алгоритма, поскольку делается вывод о невозможности построения календарного плана изготовления всех  $N$  изделий при ограничениях (I) - хотя расчет календарного плана по

выпуску части из них, а именно  $\hat{N}$ , может быть осуществлен.

Этап XXXIII. В целях проверки необходимости осуществления в дальнейшем процедуры локально случайного поиска определяется значение функционала  $J$ :

$$J = \sum_{i=1}^M \sum_{\eta=1}^S \sum_{k=1}^R \left\{ \left[ \varphi_{\text{нал}}^{(i,\eta)}(k) - \varphi_{\text{потр}}^{(i,\eta)}(k) \right] \frac{1}{\varphi_{\text{нал}}^{(i,\eta)}(k)} \right\}^2, \quad (14)$$

где величина  $\varphi_{\text{нал}}^{(i,\eta)}(k)$  была определена раньше, на этапе  $Y$  настоящего алгоритма, а значение  $\varphi_{\text{потр}}^{(i,\eta)}(k)$  вычисляется на основе соотношения

$$\varphi_{\text{потр}}^{(i,\eta)}(k) = \varphi_{\text{потр}}^{*(i,\eta)}(k) + \varphi_{\text{потр}}^{**}(k); \quad (15)$$

отметим, что величины  $\varphi_{\text{потр}}^{*(i,\eta)}(k)$  и  $\varphi_{\text{потр}}^{(i,\eta)}(k)$  в свою очередь, были определены, соответственно, на этапах УШ и ХХI и отвечают элементам содержимого массивов  $B$  и  $D$ .

Этап XXXIV. На этом этапе осуществляется сравнение значения функционала  $J$ , вычисленного на предыдущем этапе, с нулем. Если  $J=0$ , то это свидетельствует об успешном окончании работы алгоритма, и управление передается на этап ХLУШ. В противном случае, при  $J>0$ , значение  $J$  записывается в ячейку  $\mathcal{M}_3$ , после чего





выполняется следующий по порядку этап.

Этап XXXV. Организуется шаговый случайный поиск в пространстве  $2N$  оптимизируемых переменных. Обозначим  $N$ -мерную точку с координатами  $t_{нач}^{(j)}, t_{кон}^{(j)}, 1 \leq j \leq N$ , символом  $X_1$ . Методом Монте-Карло моделируются  $N$  независимых значений  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$  случайной величины, равномерно распределенной в интервале  $[0, 1]$ .

Этап XXXVI. Определяются  $N$  значений  $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_N$  по формуле

$$\gamma_j = 2\xi_j - 1, \quad 1 \leq j \leq N. \quad (16)$$

Этап XXXVII. Формируется новая точка поиска  $X_2$  координаты  $t_{нач}^{(j)}$ , которую мы впоследствии будем обозначать символами  $t_{нач(a)}^{(j)}, 1 \leq j \leq N$ . Величины  $t_{нач(a)}^{(j)}$  определяются по формулам

$$t_{нач(a)}^{(j)} = t_{нач}^{(j)} + \alpha_j \text{Sign} \gamma_j. \quad (17)$$

Здесь  $\alpha_j$  - заранее фиксированный шаг поиска, меняющийся для различных значений индекса  $j$  в зависимости от характера процесса изготовления соответствующего изделия. Если принять шаг поиска для  $N-\hat{N}$  изделий неизменным и равным  $\alpha$ , то для первых  $\hat{N}$  изделий

его целесообразно определить по формуле

$$\alpha_j = \alpha \frac{t_{\text{кон}}^{(j)}(\text{гир}) - t_{\text{нач}}^{(j)}(\text{гир})}{T}, \quad (18)$$

$$1 \leq j \leq \hat{N},$$

хотя, разумеется, могут быть использованы и другие расчетные формулы.

Этап XXXVIII. На этом этапе определяются новые моменты окончания изготовления  $N$  изделий по формулам

$$t_{\text{кон}(2)}^{(j)} = t_{\text{нач}(2)}^{(j)} + t_{d(j)}, \quad 1 \leq j \leq N. \quad (19)$$

Этап XXXIX. Проверяется выполнение ограничений по срокам запуска-выпуска изделий в производственных подразделениях

$$0 \leq t_{\text{нач}(2)}^{(j)} < t_{\text{кон}(2)}^{(j)} \leq T, \quad \hat{N} + 1 \leq j \leq N. \quad (20)$$

Если хотя бы одно из неравенств не имеет места, то, вообще говоря, шаг поиска следует считать неудачным. Однако в целях ускорения быстрогодействия алгоритма целесообразно ввести следующую эвристическую операцию. При невыполнении неравенства  $0 \leq t_{\text{нач}(2)}^{(j)}$  следует принять величину  $t_{\text{нач}(2)}^{(j)}$  равной нулю, а при  $t_{\text{кон}(2)}^{(j)} > T$  следует считать  $t_{\text{кон}(2)}^{(j)} = T$ . Разумеется, в последнем



случае претерпит изменение и значение  $t_{наг(α)}^{(j)}$ , пос-

кольку при любых обстоятельствах продолжительность изгото-  
вления изделия  $t_{d(j)}$  должна оставаться величиной  
постоянной. Другими словами, в этом случае следует, по-

мимо  $t_{кон(α)}^{(j)} = T$ , принять  $t_{наг(α)}^{(j)} = T - t_{d(j)}$ .

Аналогичным образом, одновременно с  $t_{наг(α)}^{(j)} = 0$

необходимо потребовать  $t_{кон(α)}^{(j)} = t_{d(j)}$ .

Этап XL. Как и на предшествующем этапе алгоритма,  
осуществляется проверка неравенств-ограничений

$$t_{наг}^{(j)}(qур) \leq t_{наг(α)}^{(j)} < t_{кон(α)}^{(j)} \leq t_{кон}^{(j)}(qур). \quad (21)$$

Воспользовавшись эвристическими допущениями этапа

XXXIX, можно в случае выявления неравенства  $t_{наг(α)}^{(j)} < t_{наг}^{(j)}(qур)$

для одного из значений индекса  $j$  положить

$$t_{наг(α)}^{(j)} = t_{наг}^{(j)}(qур), \quad t_{кон(α)}^{(j)} = t_{наг}^{(j)}(qур) + t_{d(j)},$$

равно как и в случае  $t_{кон(α)}^{(j)} > t_{кон}^{(j)}(qур)$

принять  $t_{кон(α)}^{(j)} = t_{кон}^{(j)}(qур)$ ,  $t_{наг}^{(j)} = t_{кон}^{(j)}(qур) - t_{d(j)}$ .

Этап XL I. Осуществляется расчет  $M \times S \times R$  величин  $\Phi_{\text{поиср}}^{(i,n)}(k)$ , определяемых на основе этапа

III и в соответствии со значениями  $t_{\text{нач}}^{(j)}$ ,  $t_{\text{кон}}^{(j)}$ ,  $1 \leq j \leq N$ , претерпевших возможную корректировку в ходе проведения эвристических процедур этапов XXXIX - XL.

Этап XL II. Данный этап в принципе идентичен этапу IX и сводится к проверке выполнения неравенств

$$\Phi_{\text{поиср}}^{(i,n)}(k) \leq \Phi_{\text{нал}}^{(i,n)}(k), \quad (22)$$

$$1 \leq k \leq R, \quad 1 \leq i \leq M, \quad 1 \leq n \leq S,$$

где значения  $\Phi_{\text{нал}}^{(i,n)}(k)$  были определены на этапе V в соответствии с формулой (6). Если хотя бы для одной из комбинаций индексов  $(i, n, k)$  неравенство (22) не имеет места, осуществляется переход к последующему этапу. В противном случае управление передается на этап LI.

Этап XL III. Осуществляется работа счетчика  $\rho$ , вычисляющего число неудачных шагов локального поиска:

$$\langle \rho \rangle + 1 \Rightarrow \langle \rho \rangle.$$

Этап XL IV. Производится сравнение содержимого счетчика  $\rho$  с предельным значением количества неудачных "розыгрышей" в процедуре локального поиска  $\rho_{\text{пред}}$ . При

$\langle \rho \rangle < \rho_{\text{пред}}$  управление передается на этап XXV. В



противном случае ( $\langle \rho \rangle = \rho_{\text{пред}}$ ) мы приходим к ве-  
воду о необходимости прекращения локального поиска и  
переходим к реализации последующего этапа алгоритма.

Этап XLY. Осуществляется печать содержимого массивов  $A$  и  $C$ , а также ячейки  $\mathcal{M}_3$  (печать локального оптимума задачи).

Этап X VI. Работает счетчик числа повторных реализаций построения календарного плана, включая процедуру "розыгрыша" начальной точки поиска  $X_1$

$$\langle \varphi \rangle + 1 \Rightarrow \langle \varphi \rangle.$$

Этап XLVII. Производится сравнение содержимого счетчика  $\varphi$  с предельно допустимым числом "розыгрыша" для задачи годового планирования. Если  $\langle \varphi \rangle < \varphi_{\text{пред}}$ , уравнение передается на этап VII. В случае  $\langle \varphi \rangle = \varphi_{\text{пред}}$  работает последующий этап алгоритма.

Этап XLVIII. Осуществляется (машинным или немашинным образом) выбор оптимального календарного плана на основе сравнения  $\varphi_{\text{пред}}$  результатов реализации этапа XLY алгоритма, то есть выбор глобального оптимума из числа  $\varphi_{\text{пр}}$  локальных. В зависимости от требований задачи управление может быть в дальнейшем передано либо на этап L VIII, либо непосредственно на этап останова (последующий этап алгоритма).

Этап XLIX. Происходит останов работы алгоритма.

Этап L. Осуществляется аварийный останов работы алт



ритма. Если передача управления на этот этап осуществ-  
 ялась с этапа VI, то это означает, что имеет место на-  
 рушение условия (3) или (4). В случае передачи управ-  
 ления с этапа XIX разработка календарного плана изготов-  
 ления изделий в производственных подразделениях не пред-  
 ставляется возможной, поскольку соответствующий план не  
 удается разработать даже для первых  $\hat{N}$  изделий с за-  
 данными директивными сроками. Напротив, если передача  
 управления на этап L осуществилась с этапа XXXII, то  
 построение календарного плана для первых  $\hat{N}$  изделий  
 возможно, однако при рассмотрении всех  $N$  изделий за-  
 дача не имеет допустимого решения.

Этап LI. На данном этапе осуществляется постро-  
 ение функционала  $J$  (аналогично процедуре этапа XXXIII)  
 с последующей оценкой его значения

$$J = \sum_{i=1}^M \sum_{\gamma=1}^S \sum_{\kappa=1}^R \left\{ \left[ \varphi_{\text{нал}}^{(i,\gamma)}(\kappa) - \varphi_{\text{потр}}^{(i,\gamma)}(\kappa) \right] \frac{1}{\varphi_{\text{нал}}^{(i,\gamma)}(\kappa)} \right\}^2,$$

где величины  $\varphi_{\text{потр}}^{(i,\gamma)}(\kappa)$  были определены на этапе  
XL I, а значения  $\varphi_{\text{нал}}^{(i,\gamma)}(\kappa)$  - на этапе V.

Этап LII. Производится сравнение значения функцио-  
 нала  $J$  с содержимым ячейки  $\mathcal{N}_3$ . Если  $J \geq \langle \mathcal{N}_3 \rangle$ ,  
 то это соответствует признанию шага поиска неудачным,  
 ввиду чего уравнение передается назад, на этап XL III.  
 В противном случае работает последующий этап алгоритма.





Этап LIII. Происходит очистка счетчика количества последовательных неудачных шагов локального поиска  $0 \Rightarrow \langle \rho \rangle$ .

Этап LIV. Осуществляется проверка выполнения равенств  $J=0$ . Если равенство имеет место, производится печать величины  $J$ , а также значений  $t_{\text{нач}}^{(j)}$ ,  $t_{\text{кон}}^{(j)}$ ,  $1 \leq j \leq N$ , с последующим обращением к этапу XLVIII. В дальнейшем происходит окончание работы алгоритма. В случае  $J=0$  уравнение принимает следующий по счету этап.

Этап LY. Производится сравнение величины относительно отклонения  $\delta = \left| \frac{J - \langle \delta \delta_3 \rangle}{J} \right|$  с предельной погрешностью решения задачи  $\epsilon$ . Если  $\delta \geq \epsilon$ , происходит передача управления на этап LYI. В противном случае работает этап LYII.

Этап LYI. Осуществляется засылка значения  $J$  в ячейку  $\mathcal{N}_3$ , а множество величин  $t_{\text{нач}}^{(j)}$ ,  $t_{\text{кон}}^{(j)}$ ,  $1 \leq j \leq N$ , - в массивы  $A$  и  $C$  соответственно. Происходит также передача значений  $t_{\text{нач}}^{(j)}$ ,  $t_{\text{кон}}^{(j)}$ ,  $1 \leq j \leq N$ , на соответствующие места прежних величин  $t_{\text{нач}}^{(j)}$  и  $t_{\text{кон}}^{(j)}$ , то есть в рабочие ячейки ЭВМ.

Иными словами, в дальнейшем следующий шаг поиска будет

осуществлен уже из новой точки  $X_2$ , которая с этого момента начнет играть роль прежней точки  $X_1$ . Управление передается на этап XXXV реализации локального поиска.

Этап LУП. Производится засылка значения  $J$  в ячейку  $\mathcal{M}_3$ , а множество величин  $t_{наг(a)}^{(j)}, t_{кон(a)}^{(j)}, 1 \leq j \leq N$ , - в массивы  $A$  и  $C$ . В дальнейшем управление передается на этап XLУ.

Этап LУШ. Осуществляется оценка величин  $\Delta_{опт}^{(i,n)}(k)$  по формулам

$$\Delta_{опт}^{(i,n)}(k) = \varphi_{наг}^{(i,n)}(k) - \varphi_{потр}^{(i,n)}(k) \quad (23)$$

$$1 \leq i \leq M, \quad 1 \leq k \leq R, \quad 1 \leq n \leq S,$$

причем соответствующие величины в правой части равенства (23) являются окончательными и получены в результате функционирования этапа XLУШ. Другими словами определяется возможность высвобождения равномерно (или близко к равномерному) распределенных на интервале планирования  $[0; T]$  ресурсов в разрезе производственных подразделений предприятия и с разбивкой по элементарным подпериодам. В дальнейшем управление передается на этап XLIX алгоритма.

Поступила 28. XII. 1981

Кафедра теории вероятностей  
и математической статистики



ЛИТЕРАТУРА



I. A.A. Эдиберидзе, Постановка оптимизационных задач объектно-календарного планирования на серийных предприятиях, Сообщения АН СССР, т.104, № 3, 1981.

ს. ედებერიძე

ბარბათის წლიური ბაბათის შარბათის აღმართი

რეზიუმე

სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებით შერეული ბაბათის სტრუქტურის სარბათის კვების რეკონსტრუქციის ვარიანტის ძიებისათვის.

A. Ediberidze

AN ALGORITHM FOR COMPILING AN ANNUAL PRODUCTION PLAN

Summary

Using statistical methods, a block-diagram has been constructed for the search of an optimal version of a production plan.



თბილისის შრომის წინა რიგში მრეწველსა და საბავშვო

Труды Тбилисского ордена Трудового Красного Знамени

государственного университета

თბილისის შრომის წინა რიგში მრეწველსა და საბავშვო

უნივერსიტეტის შრომები

236, 1983

О НЕКОТОРЫХ ТИПОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ ОПЕРАТОРОВ  
ЭНЕРГОСИСТЕМ И МЕТОДАХ ИХ ВЫЯВЛЕНИЯ

Ю. В. Филипашвили

Нормальное, оптимальное, функционирование энергосистем, как и других систем с участием человека, во многом определено уровнем взаимосоответствия между "человеческим" и "машинным" элементом системы "Человек-машина".

Достижение отмеченной взаимoadaptивности возможно различными путями. Одним из них является отбор людей в соответствии с профессиографическими и психографическими особенностями профессии оператора. То есть необходим профессиографический анализ профессии оператора энергосистем и выявление дифференциально-психологических особенностей человека, предназначенного для работы в качестве оператора. На основе сравнения профессиографических признаков профессии и дифференциально-психологических особенностей человека можно сделать заключение о профессиональной пригодности или же о степени профессиональной пригодности каждого конкретного человека.

На основе принципов и закономерностей высшей нервной



теятельности К.М.Гуревич и В.Ф.Матвеев разработали и применили психофизиологическую методику определения профессиональной пригодности операторов энергосистем (/2/, стр. 3-96). Однако отмеченная методика, в основном физиологическая, не учитывает в полной мере психологических особенностей как профессии оператора, так и человека. Кроме того, эта методика мало пригодна для количественного выражения профессиональной пригодности.

С учетом специфики работы оператора энергосистем, изложенной в сборнике "Вопросы профессиональной пригодности оперативного персонала энергосистем" /2/ и дополненной психографическим содержанием на основе проведенного нами исследования на ТбилГРЭС-е, было изучено значение внимания, восприятия и наблюдательности, уровня интеллектуальной активности, темперамента и темпа психической активности для определения профессиональной пригодности операторов энергосистем. С этой целью были применены следующие психодиагностические средства: тест Бурдона, прогрессивная матрица Равена, личностная анкета Ейзенка, а также анкета Тейлора.

Примененный нами вариант теста Бурдона (ВоРм-тест, Т-78/1972) является тестом преднамеренной концентрации внимания, точности перцепции, установления темпа психической активности. Он служит также испытанием для определения трудовых характеристик человека и наглядного представления динамики эффективности труда /3/.

Тест "Прогрессивная матрица Равена", по мнению автора этого теста, предназначен для установления способности

воспринимать определенные формы, постичь их содержание и взаимоотношение /4/. Приведенные исследования с применением этого теста свидетельствуют о том, что измеряемые тестом проявления в определенной мере являются репрезентантами интеллигентности.

Тест Равена состоит из 5 субтестов. Они отличаются от друг друга по принципам построения задач. Всего задач в тесте - 60. Перцептивная шкала матриц основана на двух теориях: а) на теории перцепции форм, развиваемой гештальт-психологией и б) на теории неогенеза Спирмена. При решении задач принимают участие внимание, перцепция и мышление. Испытание этим тестом относится к невербальным испытаниям, т.е. вербализация как процесс мышления в данном тесте не имеет значения.

В процессе решения принимают также участие воля и эмоции, напряженность внимания поддерживается заинтересованностью решением.

Личностная анкета Ейзенка предназначена для измерения двух главных, как считает автор анкеты, измерений человека: экстраверсии и невротизма. Комбинация же этих измерений дает возможность определить и темперамент, в классическом смысле этого понятия /5/.

Анкета Ейзенка состоит из двух параллельных форм, чем обеспечивается возможность ретестования после экспериментального обследования и исключения фактора запоминания. Анкета имеет шкалу лживости, дающую возможность выявить тех испытуемых, которым присуща тенденция показать себя в лучшем виде.





В эксперименте приняли участие 21 рядовых и 6 старших операторов ТбилГрЭС-а. С помощью вышеописанных средств они подверглись психодиагностической оценке со стороны экспериментатора и экспертной оценке - со стороны руководства. В качестве эксперта участвовали и сами операторы-испытываемые. На основе экспертных оценок все рядовые и старшие испытуемые были ранжированы от самого хорошего до самого плохого.

Так как исследование давало возможность установить эмпирическую валидность отмеченных средств, а также выявить взаимоотношение между ними, рассмотрим результаты, которые указывают на такое отношение. Полученные данные были ранжированы по убывающей последовательности. Они приведены в таблице I. Взаимоотношение было установлено с помощью коэффициента ранговой корреляции ( $r$ ), стр. 119).

Были получены следующие результаты:

1. Коэффициент ранговой корреляции (КРК) между темпом психической активности и внимательности (ТПАВ) и уровнем интеллектуальной активности (УИА) оказался равным 0,50 ( $P < 0,01$ );

2. КРК между ТПАВ и экстравертностью (Э) равен 0,46 ( $P < 0,05$ );

3. КРК между ТПАВ и невротичностью (Н) равен - 0,11 ( $P > 0,05$ );

4. КРК между ТПАВ и тревожностью (Т) равен - 0,40 ( $P < 0,05$ );

5. КРК между УИА и Э равен 0,37 ( $P > 0,05$ );

6. КРК между УИА и Н равен  $0,19$  ( $P > 0,05$ );
7. КРК между УИА и Т равен  $0,40$  ( $P < 0,05$ );
8. КРК между Э и Н равен  $0,48$  ( $P < 0,05$ );
9. КРК между Э и Т равен  $0,65$  ( $P < 0,01$ );
10. КРК между Н и Т равен  $0,72$  ( $P < 0,01$ ).

Как видно из приведенных результатов, самая высокая положительная корреляция, как и следовало ожидать, обнаружилась между невротичностью и тревожностью, затем следует корреляция между ТПАВ и УИА, ТПАВ и экстраверсией и между УИА и экстраверсией, остальные корреляции оказались отрицательными. Причем статистически значимой из них оказалась корреляция между экстраверсией и тревожностью, между экстраверсией и невротичностью, между УИА и тревожностью и между ТПАВ и тревожностью.

Результаты сравнения тестовых и экспертных оценок показали, что наиболее чувствительными в смысле определения профессиональной пригодности операторов энергосистем оказались тест Бурдона, тест установления уровня интеллектуальной активности и анкета Ейзенка. Ранговая корреляция между результатами экспертной оценки и ТПАВ оказалась равной  $0,79$  ( $P < 0,01$ ), между экспертной оценкой и экстраверсией  $0,44$  ( $P < 0,05$ ). Отношение же между экспертной оценкой и УИА значительным оказалось лишь при сравнении результатов старших операторов ( $\chi_0 = 0,83$ ,  $P < 0,05$ ).

С помощью теста Бурдона была выявлена одна любопытная закономерность, которую очевидно тоже следует учесть при определении профессиональной пригодности операторов энер-





госистем. В том варианте теста Бурдона, который мы применили, испытуемые должны перечеркнуть вертикальной линией три, а горизонтальной - пять из восьми различных фигур. Результаты показали, что более квалифицированные операторы (по оценке экспертов) при выполнении тестовой задачи допускают больше ошибок, при выполнении первой части задачи.

В таблице 2 ранжировка испытуемых произведена в соответствии с увеличением процента ошибок по отношению к общему объему выполненной работы. Из таблицы видно, что испытуемые, занимающие первые четырнадцать мест, допустили больше ошибок при выполнении первой части задачи, в то время как из остальных семи испытуемых шесть допустили больше ошибок при выполнении второй части задачи. Эти различия статистически значимые и, как отмечалось, коррелируют с профессиональной пригодностью операторов энергосистем.

Если учесть то обстоятельство, что операторская деятельность вообще имеет ряд общих закономерностей, то полученные нами результаты следует учесть не только при отборе операторов энергосистем, но и при других видах операторской деятельности.

Поступила 29. XII. 1981

Проблемная лаборатория  
физической кибернетики



Ранги операторов по различным тестовым  
показателям

| №№ испы-<br>туемых по<br>алфавиту | ТПАВ | УИА | экстра-<br>версия | невротич-<br>ность | тревож-<br>ность |
|-----------------------------------|------|-----|-------------------|--------------------|------------------|
| I. Б.Г.                           | I    | 7   | 4                 | I7                 | 2I               |
| 2. В.Г.                           | 2    | 2   | I                 | 2I                 | 20               |
| 3. Г.Д.                           | II   | 9   | IO                | I8                 | I9               |
| 4. Г.Г.                           | 20   | 20  | 2I                | 20                 | 8                |
| 5. Г.З.                           | I2   | 5   | I8                | I9                 | I5               |
| 6. Г.А.                           | I7   | 4   | I2                | 6                  | I                |
| 7. Д.Д.                           | 3    | I2  | I4                | 2                  | 3                |
| 8. Д.Т.                           | 5    | I6  | II                | I2                 | I2               |
| 9. Е.Л.                           | I5   | I9  | 20                | 4                  | 2                |
| 10. Е.А.                          | 6    | 8   | 8                 | I3                 | I4               |
| II. К.П.                          | 2I   | I4  | I5                | 8                  | 7                |
| 12. М.З.                          | 4    | 6   | 9                 | IO                 | 9                |
| 13. М.И.                          | 8    | 3   | 5                 | II                 | I8               |
| 14. П.К.                          | IO   | II  | 2                 | I                  | II               |
| 15. С.Г.                          | I9   | I5  | I7                | 7                  | 4                |
| 16. С.Т.                          | I3   | IO  | 6                 | I5                 | I7               |
| 17. Х.П.                          | I6   | 2I  | I6                | 3                  | 6                |
| 18. Х.Б.                          | 9    | I   | I9                | 5                  | IO               |
| 19. Ч.И.                          | I8   | I8  | 7                 | I6                 | I6               |
| 20. Ш.Г.                          | I4   | I3  | 3                 | I4                 | I3               |
| 21. Ш.А.                          | 7    | I7  | I3                | 9                  | 5                |



Ранжировка операторов по данным теста Бурдона

| Инициалы и ра-<br>нжировка испы-<br>туемых | Общий объ-<br>ем выполнен-<br>ной тестов-<br>ой работы | Количество ошибок                               |   | % ошибок по<br>отношению к<br>общему объему<br>выполненной<br>тестовой ра-<br>боты |
|--|--|---|---|--|
|  |  | при выполне-<br>нии первой<br>части зада-<br>чи | при выпол-<br>нении вто-<br>рой части<br>задачи |  |
| 1. Б.Г.                                    | 1692   | 3   | 1   | 0,24   |
| 2. В.Г.                                    | 1676   | 6   | 1   | 0,42   |
| 3. Д.Д.                                    | 1605   | 7   | 0   | 0,43   |
| 4. М.Н.                                    | 1708   | 9   | 0   | 0,53   |
| 5. Д.Т.                                    | 1293   | 7   | 5   | 0,91   |
| 6. Е.А.                                    | 1553   | 14  | 1   | 0,97   |
| 7. Ш.А.                                    | 1428   | 11  | 6   | 1,19   |
| 8. М.И.                                    | 1795   | 27  | 6   | 1,28   |
| 9. Х.Б.                                    | 1275   | 10  | 9   | 1,48   |
| 10. П.К.                                   | 1325   | 24  | 2   | 1,96   |
| 11. Г.Д.                                   | 1773   | 29  | 8   | 2,09   |
| 12. Г.З.                                   | 1417   | 21  | 16  | 2,61   |
| 13. С.Т.                                   | 1391   | 36  | 3   | 2,80   |
| 14. Ш.Г.                                   | 1618   | 65  | 33  | 6,06   |
| 15. Е.Л.                                   | 1093   | 21  | 116   | 12,53  |
| 16. Х.П.                                   | 1395   | 26  | 266   | 21,50  |
| 17. Г.А.                                   | 1476   | 13  | 323   | 22,80  |
| 18. Ч.И.                                   | 660  | 107   | 94  | 30,44  |
| 19. С.Г.                                   | 1629   | 101   | 475   | 35,36  |
| 20. Г.Г.                                   | 1139   | 126   | 346   | 41,44  |
| 21. К.П.                                   | 936  | 202   | 319   | 55,66  |







I. Pilipashvili

# PSYCHOLOGICAL PECULIARITIES OF A POWER SYSTEM OPERATOR AND SOME METHODS OF THEIR IDENTIFICATION

## Summary

The rate of mental activity and attentiveness proved most symptomatic of the professional fitness of a power system operator.

| №    | Имя   | 1    | 2  | 3  | 4   |
|------|-------|------|----|----|-----|
| 1.   | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 2.   | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 3.   | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 4.   | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 5.   | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 6.   | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 7.   | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 8.   | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 9.   | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 10.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 11.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 12.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 13.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 14.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 15.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 16.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 17.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 18.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 19.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 20.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 21.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 22.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 23.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 24.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 25.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 26.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 27.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 28.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 29.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 30.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 31.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 32.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 33.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 34.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 35.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 36.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 37.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 38.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 39.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 40.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 41.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 42.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 43.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 44.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 45.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 46.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 47.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 48.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 49.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 50.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 51.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 52.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 53.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 54.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 55.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 56.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 57.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 58.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 59.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 60.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 61.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 62.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 63.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 64.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 65.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 66.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 67.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 68.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 69.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 70.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 71.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 72.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 73.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 74.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 75.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 76.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 77.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 78.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 79.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 80.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 81.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 82.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 83.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 84.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 85.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 86.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 87.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 88.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 89.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 90.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 91.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 92.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 93.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 94.  | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |
| 95.  | П. С. | 1417 | 12 | 16 | 2.2 |
| 96.  | С. П. | 1391 | 36 | 8  | 2.1 |
| 97.  | И. П. | 1795 | 27 | 8  | 1.2 |
| 98.  | Л. С. | 1785 | 10 | 9  | 1.4 |
| 99.  | М. К. | 1735 | 24 | 2  | 1.1 |
| 100. | В. П. | 1771 | 29 | 8  | 2.0 |



Труды Тбилисского ордена Трудового Красного Знамени  
государственного университета

თბილისის შრომის ნიშანი რწმუნის მრეწობსაბი სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის შრომები

236, 1983

ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРА ПЕРВИЧНОЙ УСТАНОВКИ  
ОТ ВНЕШНЕЙ СИТУАЦИИ

Г.Ф.Одиладзе, Л.Г.Канчавели

Первичная установка в качестве особого психического образования, порожденного актуализированным механизмом отражения реальной действительности в психике субъекта, должна быть целостной и единой в своей основе, к какому бы роду деятельности ни относилось реализованное при этом поведение / IO, II, 8, 6, 15/. Отражаемая внешняя среда может быть детерминированной или стохастической в зависимости от разрешаемой субъектом проблемы. В сфере интеллектуальной деятельности та или другая среда, актуализируя соответствующую установку при наличии потребности, способствует реализации в поведении лишь ей соответствующую деятельность. Причем, если целостность - это основная черта первичной установки, то в поведении эта целостность модифицируется таким образом, что в конкретной деятельности субъекта отражается не вся первичной установкой охваченная действительность, а лишь практически необходимая. То есть, актуальная первичная установка бо-





лее обширна, чем та деятельность субъекта, которая реализуется на основе этой установки. В самом деле, реализуясь в поведении, первичная установка совершенно преобразуется /14/ и, если не принимать во внимание ее изначальную целостность, то ее можно утратить при анализе конкретной деятельности. В лучшем случае мы будем иметь дело с фиксированными установками, которые представляют собой неполное отражение соответствующей первичной установки.

Так произошло, например, с исследованием деятельности в заведомо стохастических ситуациях, где, естественно, надо было ожидать лишь вероятностный характер проявления первичной установки / 12, 3, 4, 13, 1 /. Если же учесть то обстоятельство, что стохастическая ситуация позволяет регистрировать лишь реакцию субъекта на ожидаемый стимул и угадывание предполагаемой экспериментатором той или иной вероятностной закономерности, то нетрудно догадаться, что в этой ситуации невозможно исследование процессов мышления, где сфера деятельности субъекта должна быть обязательно детерминированной.

Поэтому проблема целостности психики может быть исследована лишь в сравнении деятельности субъекта как в вероятностной, так и в детерминированной ситуациях. При этом всегда надо иметь в виду то обстоятельство, что реализованное конкретное поведение субъекта - это лишь какая-то сторона проявления той первичной установки, которая была актуализирована с соответствующей организацией и с самого же начала отражала целостное включение психики.



В связи с этим встает вопрос о системности психологической саморегуляции. По справедливому мнению В.Н.Пушкина, открытие принципа системности и саморегуляции психики принадлежит Д.Н.Узнадзе еще "за много лет до того, как в связи с кибернетикой в науку стало широко внедряться понятие самоуправляемой системы.

Д.Н.Узнадзе открыл принцип системности психики и исследовал эту системность на одном из звеньев психологической архитектоники — на регуляции процессов восприятия. В настоящее время стоит задача распространить принцип системности на всю психологическую архитектуру деятельности человека" /9, стр.14/.

В основе теории установки, таким образом, кроме принципа целостности, как полагает В.Н.Пушкин, должны лежать принципы системности и регуляции. В самом деле, зарождение первичной установки уже является результатом работы глобальной системы не только самоорганизации, но и саморегуляции психики. Причем, актуализированная первичная установка уже сама может брать на себя организующую и регулирующую роль всем дальнейшим поведением субъекта, в которое она и реализуется в конце концов.

Наряду с вышесказанным особенно примечательным считал В.Н.Пушкин формирование фиксированной установки на фоновые, латентные признаки объекта (в экспериментах В.В.Григслага — 2, 9, стр. 14), так как формирование фиксированной установки на эти иррелевантные признаки является, кроме всего прочего, и проявлением целостности самой психики. То есть, в то время как в процессе экспери-





мента актуализируется внимание на второстепенные для эксперимента признаки (материал, из которых сделаны шары), установка фиксируется и на отношение величин, которые не были предметом внимания субъекта и не объективировались им в процессе эксперимента. Судя по приведенному эксперименту, первичная установка выбирает и те признаки явления, которые не являются для субъекта актуальными в данный момент.

Эксперименты В.В. Григолава свидетельствуют, таким образом, о многозначности первичной установки на выходе, где одновременно могут оказаться фиксированные установки разного характера и содержания. В результате, субъективная сторона модификации иррелевантной информации получает право на исследование наряду с той информацией, которая является предметом непосредственной объективации субъекта относительно той или иной реальной действительности.

С этой точки зрения особенно интересным представляется нам исследование иррелевантной информации в вероятностно организованной сфере деятельности субъекта и сравнение динамики соответствующих фиксированных установок с формированием и функционированием интеллектуальных установок в мыслительной деятельности субъекта в условиях проблемных ситуаций.

В качестве предмета исследования можно взять, с одной стороны, иррелевантные признаки родного литературного языка, накапливающиеся в качестве определенных "знаний" в условиях естественного эксперимента в продолжение всей жизни субъекта. Такими "знаниями" могут быть, например,



информация о вероятностях графем грузинского литературного языка, имеющаяся у субъекта в качестве субъективных "знаний" относительно объективных вероятностей. И, несмотря на то, что субъект не подозревает о существовании подобных "знаний" у себя, они существуют на самом деле и даже подчиняются определенной закономерности.

С другой стороны, у нас проблемная ситуация, требующая от субъекта целенаправленной мыслительной деятельности с актуализацией гностической динамики на решение единой проблемы, лишенной вероятностного характера. Здесь можно говорить лишь о поиске закономерности, однозначно заданной теми отношениями, которые составляют элементы разрешаемой проблемы.

В выбранной нами вероятностной ситуации информация накапливается вне объективации, импульсивно, через иррелевантный канал входа информации в противоположность другой, проблемной ситуации, для успешного решения которой от субъекта требуется максимально возможная объективация.

Первый эксперимент состоит в следующем. После исследования субъективных "знаний" относительно графем родного литературного языка, о которых было сказано выше, мы попытались изменить соответствующие естественно фиксированные установки. С этой целью был составлен специальный критический тест, который представлял собой набор 56I знака-графемы из всех 33 букв грузинского алфавита с частотой, обратной их объективной частоте (таблица № I). В третьей и четвертой графах таблицы № 2 даны, соответственно, ранги





относительно объективных вероятностей и относительно критического теста, номер ранга которого соответствует количеству соответствующей графемы в критическом тесте/7/.

Для того чтобы информация о вероятностях графем критического теста была фоновой, irrelevantной, испытуемым предлагалась следующая инструкция: "Мы исследуем ваши способности к внимательной работе. С этой целью вы должны из каждой предлагаемой вам таблицы (таблицы № I) вычеркнуть по две буквы". Всего испытуемым было предложено для обработки таким способом по 16 таблиц критического теста, в каждом из которых ему предстояло работать с двумя графемами, исключая последнюю по счету таблицу, на долю которой приходились три оставшиеся буквы. Для работы над критическими тестами отводилось 1,5 часа, после чего испытуемым следовало составить последовательность букв по убывающей вероятности сперва относительно критического теста, а затем относительно объективно существующих вероятностей ("как это может быть на самом деле из вашей практики").

Для второго эксперимента материалом служили задачи игры "5". Используемая нами установочно-критическая схема проведения опыта требовала эквивалентной последовательности задач для предъявления их испытуемым. Задачи игры "5" позволяли составить такую последовательность. В установочной части эксперимента предлагались задачи одной эквивалентности в количестве 5-7 следующего типа: преобразовать ситуацию

|   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|
| А | Б | В | в | Б | Г | Д |
|   |   | Г | Д |   | В | А |

. После решения нес-

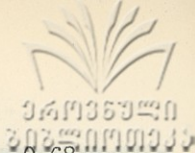
кольных задач подобного типа в критической части эксперимента без предупреждения задавалась задача другой эквивалентности, обратная установочной: преобразовать ситуацию

азию  $\begin{matrix} Б & Г & Д \\ В & А & \end{matrix}$  в  $\begin{matrix} А & Б & В \\ Г & Д & \end{matrix}$ . Буквы А, Б, В, Г, Д принимают в

этих задачах цифровые значения 1, 2, 3, 4, 5. Для решения приведенных задач допускается лишь ход ладьи — ход от любой соседней клетки на какую-либо освободившуюся рядом. Установочные и критические последовательности задач являются одинаковой сложности. Фишки с цифрами располагались перевернутыми, что позволяло экспериментатору регистрировать каждое обращение к ним. Предполагалось, что эквивалентные задачи в установочной части эксперимента должны были способствовать фиксации интеллектуальных установок с соответствующим содержанием /5/.

Как показывают результаты первого эксперимента, 1,5-часовой насыщенной иррелевантной информацией работы испытуемого с критическими тестами оказалось достаточной для изменения того жизненного опыта, результатом которого являлись субъективные вероятности в качестве исследуемых фоновых "знаний". Фиксированные установки относительно этих "знаний" оказались довольно динамичными. Причем, в конце эксперимента в достаточной степени были освоены и искаженные вероятности графом критического теста. Так, математическое ожидание (М) корреляций между субъективными вероятностями критического теста и их объективными вероятностями  $M_{кр} = 0,54$ , в то время как тот же показатель корреляций между реальными субъективными и объективными ве-





роятностями уменьшается от  $M_1 = 0,82$  до  $M_2 = 0,68$  после работы над критическим тестом. Естественно, эти изменения произошли под влиянием критического теста: существование двух противоположных информации об одном и том же предмете оказывает определенное внимание друг на друга и впо не возможно, что результат работы над критическим тестом был бы лучшим, не будь у субъекта соответствующего жизненного опыта.

С другой стороны, смена содержаний исследуемых фиксированных установок с помощью иррелевантного канала поступления информации вполне может свидетельствовать о том, что психический механизм отражения иррелевантной информации довольно динамичен и мобилен и подвергается модификации на импульсном уровне деятельности психики, что, должно быть, особенно характерным для вероятностных ситуаций. Причем, как показывает весь опыт экспериментальных работ по теории установки, исследование отражения иррелевантной информации в психике субъекта наиболее успешно можно вести при установочно-критической схеме организации эксперимента.

Во втором эксперименте, как и следовало ожидать, испытуемые подразделились на установочных и безустановочных, соответственно, с достаточной и недостаточной объективацией. Вместе с тем, специфика экспериментального материала и установочно-критическая схема эксперимента дала возможность проследить как процесс фиксации интеллектуальной установки, поясняющей смысловое ее содержа-



ние, так и тот процесс, который был назван Н.Л.Элиава переключением установки /16/.

Предполагается, что в фиксированных автоматизмах интеллектуальной установки при необходимости их реализации отсутствует процесс мышления как таковой. Деятельность протекает на уровне реализации фиксированных установок, на импульсивном уровне. Поэтому и управление реализуется на уровне фиксированной установки, до появления, однако, определенных помех, в нашем случае в виде критических ситуаций, которые вводят в сферу деятельности субъекта новые отношения. Собственно поэтому критические задачи создают в некотором смысле стрессовые ситуации, являющиеся теми провоцирующими факторами, которые в полную силу раскрывают характер самой первичной установки субъекта. С помощью этой первичной установки с наибольшей полнотой разворачивается сложная система саморегуляции, так как прошлый опыт в виде фиксированных интеллектуальных установок выступает уже в качестве абстрактно-неадекватных отношений, мешающих видению новой проблемы. Причиной этого является то обстоятельство, что фиксация интеллектуальной установки в установочной части опыта способствует передаче функции управления уже фиксированной установке, локализуя и ограничивая тем самым поле деятельности субъекта. Но, как легко заметить, локализация управления не мешает первичной установке при необходимости осуществить свою основную роль - роль регуляции поведением, требующим выхода за пределы фиксированной установки в критичес-



ких ситуациях. Должно быть, это обстоятельство и способствует замечанию несоответствий в критических ситуациях. Переход психики на уровень управления первичной установки выражается в том, что, в частности, при интеллектуальной деятельности заново актуализируется процесс мышления с наиболее характерной чертой для этого этапа - интенсивной объективацией, в нашем случае - интенсивным осмотром фишек с цифрами. Вновь актуализирующийся в критических ситуациях процесс мышления несет в себе такую специфику, при которой субъект вынужден действовать в плане разрушения абстрактных и построения конкретных отношений.

Сравнивая результаты двух приведенных здесь экспериментов, можно прийти к следующим выводам. Так, выявленные в первом эксперименте "знания", фиксированные в результате неорганизованного, стохастического набора информации, находятся на неосознаваемом уровне и могут быть осознаны лишь в специальных лабораторных условиях. Во втором же эксперименте работа неосознаваемого уровня психической деятельности проявляется, например, в неосознаваемости тех обобщений, которые уже найдены и даже успешно применяются испытуемым, но еще не осознаны им. То есть, если в первом эксперименте у нас налицо лишь результат неосознаваемой работы психики на элементарном уровне набора информации, то во втором эксперименте можно говорить о зарождении и подготовке психоинтеллектуальных образований в виде обобщений на том же неосознаваемом уровне для последующего осознания. В этом же эксперименте можно проследить системность работы психики, которая



проявляется, например, в последовательном поиске и укрупнении обобщений, а также саморегуляцию, проявляющуюся в смене одного, например, фиксированного уровня регуляции другим – регуляцией на уровне первичной установки.

Наряду с этим результаты первого эксперимента указывают на то обстоятельство, что при вероятностно-иррелевантном характере отражения элементы информационного массива хотя и достаточно отражают в психике субъекта соответствующую стохастическую структуру, тем не менее, элементы эти не подвергаются обобщениям в силу своего характера существования. Во втором эксперименте результатом импульсивной деятельности субъекта на уровне "проб и шибок" также является отсутствие обобщений – поведение испытуемых, попавших в безустановочную группу, хаотично и скорее вероятностно с расчетом лишь на один – два хода вперед, чем целостно-организованно. Надо полагать, что подобное поведение обусловлено вероятностной, импульсивной структурой первичной установки для данных испытуемых, что, естественно, оказалось совершенно неприемлемым для решения проблемных ситуаций.

Однако в пользу иррелевантной информации надо отметить, что содержание соответствующих фиксированных установок легко и безболезненно подвергается изменениям в силу именно отсутствия обобщений, играющих роль барьеров, в качестве абстрактно-неадекватных психоинтеллектуальных образований в критических задачах второго эксперимента. Соответственно, иррелевантные "знания" сопровождаются отсутствием



переживаний целостности проблемы, а смена содержания соответствующих фиксированных установок происходит поэлементарно на уровне изменения значимости в вероятностном отношении. Во втором эксперименте, наоборот, фиксируется интеллектуальная установка с содержанием относительно целостно-проблемы с обобщениями, далеко отстоящими от элементарного уровня заданных свойств. При этом решение критических проблем сопровождается абстрактно-элементарной динамикой также относительно целостной проблемы.

Из всего вышесказанного можно предположить, что актуализация и реализация первичной установки при ядре целенаправленной деятельности сопровождается периферией в виде фонового, импульсивного отражения с отсутствием объективации. Как легко заметить, свойство объективированно-фонового отражения должно быть основной характеристикой первичной, актуальной установки как таковой. И если ядро этой установки целенаправленно-детерминированно относительно определенной проблемы, то периферия ее импульсивна и вероятностна. Вместе с тем, хотя при импульсивной деятельности, то есть деятельности на уровне "проб и ошибок" в проблемных ситуациях мы можем говорить об актуализации первичной установки вероятностного характера, тем не менее, как показывают эксперименты, подобная установка не приносит успеха в гностической динамике субъекта.

Таким образом, сравнение результатов обоих приведенных здесь экспериментов позволяет судить о характере проявления первичной установки в зависимости от того, какое

поведение реализуется и исследуется при этом. В вероятностных ситуациях при исследовании иррелевантных "знаний" первичная установка не выступает в том глобальном виде, как это происходит в детерминированных проблемных ситуациях, где весь успех субъекта зависит, в основном, как от целостности проявления этой установки, так и от регулирующих ее возможностей. Поэтому можно говорить о простой и сложной системе саморегуляции в зависимости от деятельности субъекта на импульсивном или же объективированном уровнях, что особенно подчеркивает иерархическую структуру первичной установки и род ее проявления в зависимости от внешней ситуации.

Поступила 30.XII.1981

Проблемная лаборатория  
физической кибернетики

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.Е.Асмолов, Проблема установки в необихевиоризме: прошлое и настоящее. В кн. Вероятностное прогнозирование в деятельности человека, М., 1977, стр.60-109.
2. В.В.Триголава, К вопросу восприятия неосознанных признаков предмета. Сб. "Психологические исследования", Тбилиси, 1973.
3. И.Т.Журавлев и др. О вероятностном прогнозировании. В кн. О вероятностном прогнозировании в деятельности человека. М., 1977, стр. 3-9.
4. В.А.Иванников и др. Вероятностное прогнозирование и преднастройка к движению. МГУ, 1978, стр.110.



5. Л.Г.Канчавели, Роль неосознаваемых компонентов в интеллектуальной деятельности субъекта познания, "Бессознательное", т.Ш, Тбилиси, 1978, стр.138-141.
6. Ш.А.Надирашвили, Понятие установки в общей и социальной психологии. "Мецниереба", Тбилиси, 1974, стр.165.
7. Г.Ф.Одиладзе, Отражение частот графем и фиксированная установка. "Сообщения АН ГССР", т.76, №2, Тб., 1974, стр. 493-495 (на грузинском языке).
8. А.В.Прангвишвили. Исследования по психологии установки. "Мецниереба", Тб., 1976, 340 стр.
9. В.Н.Пушкин, Психологические основы построения обучающих систем. Вопросы кибернетики (человеко-машинные обучающие системы), п/р. Клыкова Ю.И., М., 1979, стр.8-38.
10. Д.Н.Узнадзе, Общая психология, ТГУ, Тб., 1940, 500 стр. (на грузинском языке).
11. Д.Н.Узнадзе, Психологические исследования. М., "Наука", 1966, 450 стр.
12. И.М.Фейгенберг, О вероятностном прогнозировании. "Вопросы психологии", М., 1963, № 2, стр.59-67.
13. М.А.Цискаридзе, Особенности установки в зависимости от возраста и пола испытуемых. "Сообщения АН ГССР", 1978, т.91, № 3, стр. 745-748.
14. Ш.Н.Чхартишвили, Некоторые спорные проблемы психологии установки. "Мецниереба", Тбилиси, 1971, 272 стр.
15. А.Е.Шерозия, Психика, сознание, бессознательное. "Мецниереба", Тбилиси, 1979, 172 стр.
16. Н.Л.Элиава, Акт объективации и переключения установки, "Психология", т.4, Тб., 1947, стр.31-38 (на грузинском языке).







Ранжировка графем относительно вероятностей  
в современном грузинском литературном языке и

критическом тесте

Таблица 2.

| Графемы | Трано-<br>крипция | Ранги<br>по объек-<br>тивным<br>вероят-<br>ностям | Ранги по<br>критичес-<br>кому тес-<br>ту |
|---------|-------------------|---|--|
| 1       | 2                 | 3   | 4  |
| ა       | ა                 | 1   | 33                                       |
| ბ       | ბ                 | 2   | 32                                       |
| გ       | გ                 | 3   | 31                                       |
| დ       | დ                 | 4   | 30                                       |
| ე       | ე                 | 5   | 29                                       |
| ვ       | ვ                 | 6   | 28                                       |
| ზ       | ზ                 | 7   | 27                                       |
| თ       | თ                 | 8   | 26                                       |
| ი       | ი                 | 9   | 25                                       |
| ქ       | ქ                 | 10  | 24                                       |
| ღ       | ღ                 | 11  | 23                                       |
| ყ       | ყ                 | 12  | 22                                       |
| შ       | შ                 | 13  | 21                                       |
| ჩ       | ჩ                 | 14  | 20                                       |
| ც       | ც                 | 15  | 19                                       |
| ძ       | ძ                 | 16  | 18                                       |
| წ       | წ                 | 17  | 17                                       |
| ჭ       | ჭ                 | 18  | 16                                       |
| ხ       | ხ                 | 19  | 15                                       |
| ჯ       | ჯ                 | 20  | 14                                       |



| 1 | 2 | 3  | 4  |
|---|---|----|----|
| у | q | 21 | 13 |
| ф | t | 22 | 12 |
| в | c | 23 | 11 |
| б | z | 24 | 10 |
| г | ы | 25 | 9  |
| д | ц | 26 | 8  |
| е | p | 27 | 7  |
| ж | р | 28 | 6  |
| з | с | 29 | 5  |
| и | p | 30 | 4  |
| к | h | 31 | 3  |
| л | ч | 32 | 2  |
| м | ж | 33 | 1  |



გ.ოდირაძე, ლ.კანჩაველი

სიტუაციის როლი განწყობის ბუნების გამოვლენაში

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია პირველადი განწყობის ბუნების სა-  
კლასიფიკაცია ორ სხვადასხვა მდგომარეობაში მოქმედებს ცნის  
პირი. ნაჩვენებია რამდენიმე ექსპერიმენტის შედეგების შედეგები: ერთ-  
მხრივ ცნის პირი მოქმედებს აღბატონ სიტუაციაში, ხოლო მეორეში  
გასვლას გარკვეული ამოცანის წინაშე, ე.ი. მოქმედებს რატონობრივ-  
რეზულ სიტუაციაში. ამ ექსპერიმენტების ანალიზის საფუძველზე  
ნაჩვენებია, რომ პირველადი განწყობაში მდგომარეობის პრინციპის გარ-  
დასაზღვრელია სისტემური მართვის პრინციპიც, რაც იმთავითვე  
ნაგვირბსებზეა განწყობის ბოლო შედეგში.

G. Odiladze, L. Kanchaveli

THE ROLE OF THE SITUATION IN REVEALING THE  
NATURE OF SET

Summary

The paper deals with the characteristics of the nature of a prima-  
ry set depending on the situation in which the subject acts. The com-  
parison results of two experiments are presented: in one experiment  
the S acts in a probabilistic situations, whereas in the other he is  
faced with a definite task, i.e., he acts in a determined situation. An  
analysis of the data of these experiments shows that, apart from the  
Integration principle, the primary set involves also the systems con-  
trol principle, this being implied in the general theory of set.

Труды Тбилисского ордена Трудового Красного Знамени

государственного университета

თბილისის შრომის წიგნის ორდენის მტკიცების სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის შრომები

236, 1983

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ  
ХАРАКТЕРА СЛОГОВОЙ СТРУКТУРЫ СЛОВА И  
ФОНЕМНОЙ СТРУКТУРЫ СЛОГА  
(по данным чеченского языка)

Э.А.Микеладзе

В настоящей работе на материале чеченского литературного языка, путем применения математических методов определяется характер, с одной стороны, слоговой структуры слова и, с другой, фонемного состава слога.

Возможность определения таким методом характера слоговой структуры слова и фонематической структуры слога доказана В.Фуксом. Наши разыскания опираются именно на его схему. Для анализа же использованы тексты художественной литературы, где, по нашему убеждению, более рельефно представлена имманентная структура языка; срв. высказывание, имеющееся в научной литературе: "Наверное, художественный текст наилучший "портрет" языка, на котором он написан" /3, 95/.

Нашему анализу подвергается лишь речь самого автора литературного произведения, и, тем самым, игнорируется





речь персонажей, в которой наглядным образом нарушается однородный характер текста. Иначе говоря, речь того или иного автора является более устойчивой и, следовательно, более надежной для статистического анализа. В этой увязке Б.Н.Головин пишет так: "Авторские речевые стили, несомненно, во многом /если не во всем/ определяются устойчивыми для каждого автора соотношениями частот разных элементов языка. Теперь это не гипотеза, а утверждение, опирающееся на известные факты" /1,14/.

**СЛоговая структура слова.** При рассмотрении вопроса, касающегося характера слоговой структуры слова, возникает проблема понятия самого слога; в данном случае подразумеваются и вопросы, связанные с характером его структуры. Сложность решения этой проблемы выявляется при исследовании языков, которым присущ сложный вокализм; нахожие языки / в том числе и чеченский / относятся именно к таким языкам.

Вопрос о структуре слога чеченского языка подробно исследован проф. Ю.Д.Дешериевым /2/; при определении характера строения слога, наблюдаемого в чеченском языке, осылаемся на его труды, а для лексического анализа использованы прозаические произведения следующих писателей: С.А.Арсанова /6/ - 5 500 слов; С.С.Бадиева /7/ - 10 000 слов; У.Э.Гайсултанова /8/ - 10 000 слов; Н.Д.Музаева - /9/ - 6 000 слов; Ш.Х. Окуева /10/ - 5 500 слов; Х.Д. Ошаева /11/ - 5 000 слов; всего 42 000 слов.

Для удобства статистических расчетов, тексты каждо-

го автора разделены на 500 единичных отрывков.

Количество слогов в слове нами обозначаются через  $i$ , где  $1 \leq i \leq I$ ; в данном языке:  $I = 6$ .

Слова, состоящие из семи слогов, незначительны: их всего шесть, поэтому слоговая структура слов нами не рассматривается.

Анализируемые слова пронумерованы -  $1, 2, \dots, K$ ; слова, состоящие из  $i$  слогов, обозначены через  $Z(i)$ .

Относительная частота распределения слогов в слове рассчитана с учетом надлежащих данных того или иного автора в отдельности (экспериментально)

$$P(i) = \frac{Z(i)}{K}$$

Среднее значение распределения

$$\bar{i} = \sum_{i=1}^I i P(i)$$

и энтропия

$$S = - \sum_{i=1}^I P(i) \log P(i).$$

Относительная частота для всего данного языка (экспериментально)

$$\bar{P}(i) = \frac{1}{\mathcal{A}} \sum_{\alpha=1}^{\mathcal{A}} P(i)^{(\alpha)},$$



где  $P(i)^{(\alpha)}$  является распределением частот у автора, отмеченного индексом  $\alpha$  (здесь  $\alpha = 1, 2, \dots, 6$ ), а  $A$  - число самых авторов.

Относительная частота распределения слогов в слове для каждого автора (теоретически)

$$P(i) = e^{-(\bar{I}-1)} \frac{(\bar{I}-1)^{i-1}}{(i-1)!}$$

Для данного языка:

среднее значение

$$\bar{I} = \sum_{i=1}^I i \bar{P}(i),$$

относительная частота (теоретически)

$$\bar{P}(i) = e^{-(\bar{I}-1)} \frac{(\bar{I}-1)^{i-1}}{(i-1)!}$$

и энтропия

$$\bar{S} = \frac{\sum_{n=1}^6 S_n}{6}$$

В таблицу I сведены экспериментальные и теоретические результаты распределения вероятностей слоговых длин слов сначала по данным каждого автора в отдельности, а затем с учетом всего материала рассмотренного языка. Графически это изображено на рис. I.

Из таблицы следует, что среднее количество слогов в слове чеченского языка равняется 2,1235.

ФОНЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СЛОГА. Для определения характера слогаобразования на карточки были выписаны отдельные слоги, входящие в анализируемые слова: из произведения С.А.Арсанова /6/ - 5 480 слогов, а из произведений С.С.Бадиева /7/, У.Э.Гайсултанова /8/, Н.Д.Музаева /9/, Ш.Х.Окуева /10/, Х.Д.Омаева /11/ - по 5 000 слогов.

И здесь анализируемые тексты каждого автора были разделены на 500 единичных отрывков.

Количество фонем в слове обозначены через  $i$ , где  $1 \leq i \leq I$  (в данном языке  $I=5$ ), а слоги, состоящие из фонем, отмечены через  $C(i)$ .

Относительная частота распределения фонем в слове у каждого автора (эксперим.) равняется

$$F(i) = \frac{C(i)}{m}, \quad \text{где} \quad m = \sum_{i=1}^I C(i),$$

а для данного языка

$$\bar{F}(i) = \frac{1}{\mathcal{A}} \sum_{i=1}^{\mathcal{A}} F(i)^{(\alpha)};$$

среднее значение распределения для данного языка

$$\bar{i} = \sum_{i=1}^5 i \bar{F}(i).$$

Для расчета теоретически относительных частот распре-



решения фонем в слове решена следующая система уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \overline{i(i-1)} &= (\bar{i} - \beta_1 - \beta_2 - \beta_3)^2 + 2(\bar{i} - \beta_1 - \beta_2 - \beta_3)(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) + \\ &\quad + 2\beta_2 + 4\beta_3, \\ \overline{i(i-1)(i-2)} &= (\bar{i} - \beta_1 - \beta_2 - \beta_3)^3 + 3(\bar{i} - \beta_1 - \beta_2 - \beta_3)^2(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) + \\ &\quad + 3(\bar{i} - \beta_1 - \beta_2 - \beta_3)(2\beta_2 + 4\beta_3) + 6\beta_3, \end{aligned} \right.$$

откуда, полагая  $\beta_1 = 1$ , получается

$$\begin{aligned} \beta_2 &= 0,911, & \beta_1 &= 0,089, \\ \beta_3 &= 0,273, & \beta_2 &= 0,638, \\ & & \beta_3 &= 0,273. \end{aligned}$$

По формуле

$$F(i) = e^{-\left(\bar{i} - \sum_{\nu=1}^3 \beta_{\nu}\right)} \sum_{\nu=0}^3 (\beta_{\nu} - \beta_{\nu+1}) \frac{\left(\bar{i} - \sum_{\nu=1}^3 \beta_{\nu}\right)^{i-\nu}}{(i-\nu)!}$$

сделано вычисление.  $F(1)$ ,  $F(2)$ ,  $F(3)$ ,  $F(4)$ ,  $F(5)$  (теоретически).

Полученные таким путем результаты представлены в таблице 2 и изображены на рис.2. Как следует из таблицы 2, в чеченском языке среднее количество фонем в слове равняется 2,2742.

Помимо структурного анализа слога мы попытались установить критерий, который бы дал возможность установить в структуре слога статус согласных с точки зрения их спс-



способности ологообразования. С этой целью нами была использована классификация консонантных систем, применяемая в специальной литературе, по которой эта система делится на три класса:

1. Сонанты: й, л, м, н, р, в — обозначенные символом  $S$  ;
  2. Фрикативы: г, ж, з, о, ф, х, хь, хі, ш, /ъ — обозначенные символом  $F$  ;
  3. Смычные: б, г, д, к, кі, п, пі, т, ті, ц, ці, ч, чі, щ, дз, къ, /, дж, ъ, кх, — обозначенные символом  $C$  ;
- а класс вокалов обозначен символом  $V$  .

Фонематическая структура олога нами представлена соответствующими символами данных классов. В результате классификации ологов по этим консонантным классам установлены 56 структурных типов ологов (см. таблицу 3).

Сначала группированы ологи первого 500-единичного отрывка следующим образом: в группу  $[V]$  входят все однофонемные слоги, в группу  $[S, V]$  — ологи, которые содержат рядом стоящие фонемы  $S$  и  $V$  , в произвольной последовательности, и т.д., в группу  $[S, V, C]$  входят слоги, которые содержат рядом стоящие фонемы  $S, V$  и  $C$  , в произвольной последовательности, и т.д.

В результате аналогичного рассуждения получается всего 21 группа, представленная в таблице 4.

Далее в работе определена относительная частота отдельно взятой группы по каждому из произведений одного и того же автора, а затем других авторов, по которым сос-





тавлена таблица 4, где в последнем столбце данного языка показана относительная частота по каждой отдельно взятой группе.

Как явствует из таблицы, относительная частота слогов, в которой участвуют  $S$  и  $V$ , равняется 0,4786, при  $F = 0,3356$  и  $C = 0,4113$ .

Относительная частота имеет особое значение для определения лингвистической природы данных символов. По определению Р.Г.Пиотровского, "Каждый из символов встречается в тексте с определенной частотой и обладает особыми валентностями, т.е. лингвистическими способностями сочетаться с другими символами" /4,9/.

Класс сонантов объединяет 6 консонантов, поэтому относительная частота одного консонанта данного класса, обозначенного символом  $S_1$ , равняется:  $S_1 = \frac{0,4786}{6} \approx 0,0798$

Класс фрикативов объединяет 10 консонантов, поэтому относительная частота одного консонанта данного класса, обозначенного символом  $F_1$ , равняется:  $F_1 = \frac{0,3356}{10} \approx 0,0336$

Класс смычных объединяет 20 консонантов, поэтому относительная частота одного консонанта данного класса, обозначенного символом  $C_1$ , равняется:  $C_1 = \frac{0,4113}{20} = 0,0206$ .

Итак, в результате математических вычислений относительных частот отдельных фонем, входящих в состав анализируемых слогов, образуется следующая модель:

$$V > S_1 > F_1 > C_1$$



Исходя из вышесказанного, можно задаться целью обобщения означенного выше явления и учета фонемной частоты при определении иерархического соотношения консонантных единиц, входящих в состав слога, с точки зрения слогаобразовательной значимости их. Если это иерархическое соотношение отображает объективное положение дел, то в начальной позиции всегда окажется гласный  $V$ , т.к. ядром слога, как известно, считается он /вокал/, а затем будут располагаться остальные фонемы, причем, по своей значимости они должны быть распределены в следующей последовательности:  $V, S, F, C$ .

Таким образом, основой классификации составных элементов, входящих в структуру слога, представляется критерий частотности, установленный нами в результате статистического анализа.

Поступила 14.1.1982

Институт прикладной  
математики им. И.Веква

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б.Н. Головин, Язык и статистика, М., "Просвещение", 1971.
2. Ю.Д. Дешериев, Современный чеченский литературный язык, фонетика. Грозный, 1960.
3. Д.М. Сегал, Основы фонологической статистики. М., "Наука", 1972.
4. Р.Г. Пиотровский, К.Б. Бектаев, А.А. Пиотровская, Математическая лингвистика. М., 1977.







ცამოსახული მარცვლებით; ბ/მარცვლის სიგრძე ცამოსახული ჟრნე-  
მეზით.

3. პარკინია მარცვალთა სტრუქტურული ჯიშები რა მათი სიხში-  
რები: CV, SV, FV, V, CVS, FVC, CVF, FVS ..., სადაც C აღნიშნავს  
ხმურ თანხმოვნებს, S -სონანტებს, F კი - სპირანტებს.

4. მათემატიკური ცამოთვლებით პარკინი იქნა C, S, F ჯგუფ-  
ბის ჟრნემათა ჟარკობითი სიხშირები მარცვლის ჟარკებში, რის  
შედეგადაც მივიღეთ მოკლე:

$$V > S_i > F_i > C_i.$$

E. Mikeladze

APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS IN DETERMINING  
THE NATURE OF THE SYLLABIC STRUCTURE OF WORDS  
AND OF THE PHONEMIC STRUCTURE OF SYLLABLES  
(BASED ON THE DATA OF THE CHECHEN LANGUAGE)

Summary

The process of word formation from syllables and that of syllable  
formation from phonemes in the Chechen literary language have been  
studied according to W. Fucks' well-known scheme.



Распределение вероятностей слоговых длин слов  
чеченского языка

| Авторы    | Арсанов      |        | Бадиев         |        | Гайсултанов    |        | Музаев       |        |
|-----------|--------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|--------------|--------|
| $P(i)$    | Эксп. Теория |        | Экспер. Теория |        | Экспер. Теория |        | Эксп. Теория |        |
| $P(1)$    | 0,2787       | 0,3187 | 0,2964         | 0,3525 | 0,2802         | 0,3247 | 0,2465       | 0,2975 |
| $P(2)$    | 0,4218       | 0,3644 | 0,4364         | 0,3676 | 0,4203         | 0,3652 | 0,4052       | 0,3607 |
| $P(3)$    | 0,2036       | 0,2084 | 0,2119         | 0,1916 | 0,2201         | 0,2054 | 0,2627       | 0,2187 |
| $P(4)$    | 0,0716       | 0,0794 | 0,0404         | 0,0666 | 0,0560         | 0,0770 | 0,0625       | 0,0884 |
| $P(5)$    | 0,0215       | 0,0227 | 0,0131         | 0,0174 | 0,0208         | 0,0217 | 0,0213       | 0,0268 |
| $P(6)$    | 0,0027       | 0,0052 | 0,0018         | 0,0036 | 0,0026         | 0,0049 | 0,0018       | 0,0065 |
| $\bar{i}$ | 2,1435       |        | 2,0428         |        | 2,1247         |        | 2,2125       |        |
| $S$       | 0,5789       |        | 0,5398         |        | 0,5724         |        | 0,5762       |        |

| Авторы    | Окуев          |        | Ошаев          |        | Для данного языка |        |
|-----------|----------------|--------|----------------|--------|-------------------|--------|
| $P(i)$    | Экспер. Теория |        | Экспер. Теория |        | Экспер. Теория    |        |
| $P(1)$    | 0,3024         | 0,3509 | 0,2670         | 0,3190 | 0,2785            | 0,3244 |
| $P(2)$    | 0,4175         | 0,3675 | 0,4256         | 0,3645 | 0,4211            | 0,3645 |
| $P(3)$    | 0,2229         | 0,1924 | 0,2272         | 0,2082 | 0,2247            | 0,2047 |
| $P(4)$    | 0,0451         | 0,0672 | 0,0602         | 0,0793 | 0,0560            | 0,0767 |
| $P(5)$    | 0,0115         | 0,0176 | 0,0180         | 0,0226 | 0,0177            | 0,0215 |
| $P(6)$    | 0,0055         | 0,0037 | 0,0020         | 0,0052 | 0,0027            | 0,0048 |
| $\bar{i}$ | 2,0473         |        | 2,1426         |        | 2,1235            |        |
| $S$       | 0,5429         |        | 0,5678         |        | 0,5630            |        |

Распределение вероятностей фонемных длин слогов  
чеченского языка



| Авторы    | Арсанов | Бадиев  | Гайсултанов | Музаев  | Окуев   | Ошаев   | Для данного языка |        |
|-----------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|-------------------|--------|
| $F(i)$    | Экспер. | Экспер. | Экспер.     | Экспер. | Экспер. | Экспер. | Экспер.           | Теория |
| $F(1)$    | 0,0868  | 0,0821  | 0,0811      | 0,0816  | 0,0836  | 0,0732  | 0,0814            | 0,0813 |
| $F(2)$    | 0,5770  | 0,5989  | 0,6185      | 0,5694  | 0,5860  | 0,5962  | 0,5910            | 0,5904 |
| $F(3)$    | 0,3106  | 0,2977  | 0,2729      | 0,3204  | 0,3012  | 0,3058  | 0,3016            | 0,3020 |
| $F(4)$    | 0,0248  | 0,0198  | 0,0266      | 0,0270  | 0,0282  | 0,0236  | 0,0250            | 0,0248 |
| $F(5)$    | 0,0008  | 0,0015  | 0,0009      | 0,0016  | 0,0010  | 0,0012  | 0,0012            | 0,0011 |
| $\bar{i}$ | 2,2678  | 2,2597  | 2,2477      | 2,2976  | 2,2770  | 2,2834  | 2,2742            |        |



Структурные типы слогообразования

| СЛОГИ  | CV   | SV   | FV   | V    | CVS  | FVS  | CVF  | SVF  | SVS  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| КОЛИЧ. | 6819 | 6520 | 3792 | 2490 | 1798 | 1423 | 1335 | 1107 | 1107 |

| СЛОГИ  | FVF | CVC | VS  | CFV | SVC | VF  | FVC | VC  | CVSF | CVSC |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| КОЛИЧ. | 580 | 533 | 402 | 347 | 340 | 336 | 292 | 219 | 132  | 93   |

| СЛОГИ  | CFVS | FFV | CCV | SVSF | FVSF | FCVC | FCV | FVSC | SVSC |
|--------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|
| КОЛИЧ. | 83   | 82  | 71  | 64   | 57   | 53   | 51  | 44   | 43   |

| СЛОГИ  | VFC | VSF | CVFC | CVSS | CFVC | CFVSC | VSC | SVFC | CFVF |
|--------|-----|-----|------|------|------|-------|-----|------|------|
| КОЛИЧ. | 34  | 25  | 24   | 22   | 22   | 20    | 17  | 14   | 13   |

| СЛОГИ  | SVCC | FCVS | CSV | VCC | CVCC | CSVF | FSV | FVFC | CCSV |
|--------|------|------|-----|-----|------|------|-----|------|------|
| КОЛИЧ. | 12   | 12   | 9   | 7   | 7    | 6    | 4   | 3    | 2    |

| СЛОГИ  | CCVC | CSVC | CFVSF | CVFCS | SFV | SVSS | FVCC | FFVS | FFVC | FCVF |
|--------|------|------|-------|-------|-----|------|------|------|------|------|
| КОЛИЧ. | 2    | 2    | 2     | 2     | 1   | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |

| Авторы<br>Группы | Арса-<br>нов | Бадурев | Гайсул-<br>танов | Музаев | Окуев  | Ошаев  | Для<br>данного<br>языка |
|------------------|--------------|---------|------------------|--------|--------|--------|-------------------------|
| [V]              | 0,0843       | 0,0834  | 0,0824           | 0,0866 | 0,0852 | 0,0680 | 0,0817                  |
| [S,V]            | 0,4661       | 0,4750  | 0,4718           | 0,4894 | 0,4620 | 0,5072 | 0,4786                  |
| [C,V]            | 0,4273       | 0,4008  | 0,4008           | 0,4070 | 0,4188 | 0,4130 | 0,4113                  |
| [F,V]            | 0,3245       | 0,3394  | 0,3350           | 0,3414 | 0,3488 | 0,3246 | 0,3356                  |
| [F,S,V]          | 0,0954       | 0,1004  | 0,0890           | 0,1012 | 0,0968 | 0,1104 | 0,0989                  |
| [C,S,V]          | 0,0914       | 0,0820  | 0,0844           | 0,0850 | 0,0856 | 0,0866 | 0,0858                  |
| [F,C,V]          | 0,0843       | 0,0692  | 0,0696           | 0,0814 | 0,0778 | 0,0780 | 0,0767                  |
| [S,S,V]          | 0,0354       | 0,0416  | 0,0306           | 0,0522 | 0,0442 | 0,0404 | 0,0407                  |
| [C,C,V]          | 0,0286       | 0,0210  | 0,0170           | 0,0232 | 0,0244 | 0,0208 | 0,0225                  |
| [F,F,V]          | 0,0228       | 0,0238  | 0,0204           | 0,0214 | 0,0284 | 0,0174 | 0,0224                  |
| [C,F,S,V]        | 0,0136       | 0,0072  | 0,0094           | 0,0102 | 0,0112 | 0,0108 | 0,0104                  |
| [C,C,S,V]        | 0,0030       | 0,0038  | 0,0056           | 0,0030 | 0,0034 | 0,0030 | 0,0036                  |
| [C,C,F,V]        | 0,0048       | 0,0028  | 0,0040           | 0,0038 | 0,0020 | 0,0028 | 0,0034                  |
| [S,S,C,V]        | 0,0038       | 0,0022  | 0,0012           | 0,0006 | 0,0034 | 0,0020 | 0,0022                  |
| [F,F,S,V]        | 0,0018       | 0,0022  | 0,0014           | 0,0014 | 0,0038 | 0,0014 | 0,0019                  |
| [S,S,F,V]        | 0,0028       | 0,0014  | 0,0006           | 0,0040 | 0,0014 | 0,0028 | 0,0021                  |
| [F,F,C,V]        | 0,0012       | 0,0004  | 0                | 0      | 0,0018 | 0,0002 | 0,0006                  |
| [C,C,C,V]        | 0,0006       | 0,0004  | 0                | 0      | 0,0002 | 0,0006 | 0,0003                  |
| [S,S,S,V]        | 0,0002       | 0       | 0                | 0      | 0      | 0      | 0                       |
| [C,F,S,C,V]      | 0,0004       | 0,0008  | 0,0006           | 0      | 0,0006 | 0,0010 | 0,0006                  |
| [C,F,S,F,V]      | 0            | 0       | 0,0002           | 0      | 0      | 0,0002 | 0,0001                  |



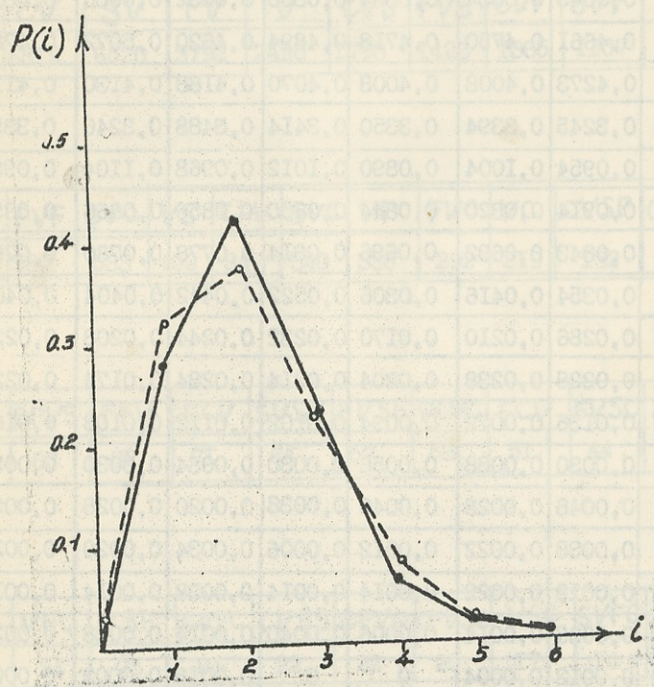


Рис. I. Распределение вероятностей слоговых длин слов чеченского языка

————— экспериментальная кривая  
 - - - - - теоретическая кривая

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| СЛОЖ | ССОС | ССОС | СССО | СССО | СССО | СССО | СССО | СССО | СССО |
| 1    | 2    | 2    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |

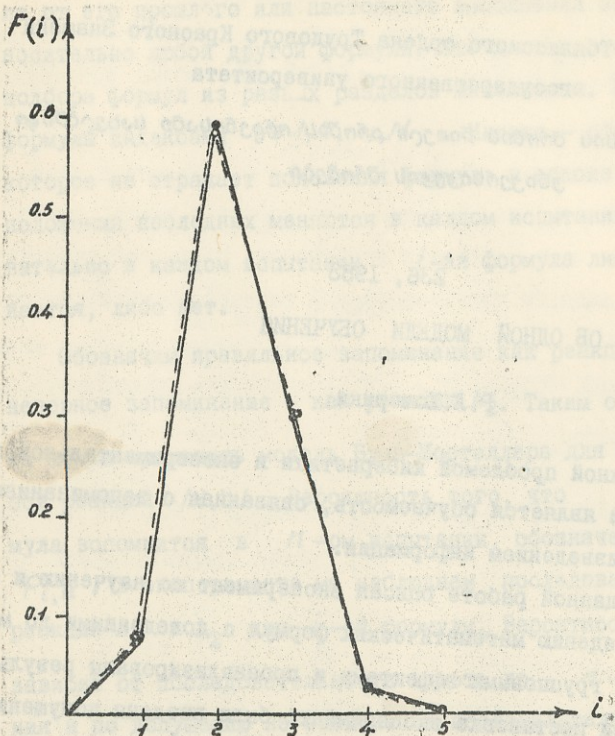


Рис. 2. Распределение вероятностей фонемных длин слогов чеченского языка

— экспериментальная кривая  
- - - теоретическая кривая



Труды Тбилисского ордена Трудового Красного Знамени  
государственного университета

მბილისის შრომის წითელი რბოის ორდენისაბი საბერძნეთ  
უნივერსიტეტის შრომები

236, 1983

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ

Р.Л.Хомерики

Важной проблемой кибернетики и экспериментальной психологии является обучаемость, связанная с запоминанием и воспроизведением информации.

В данной работе описан эксперимент по научению и воспроизведению математических формул с доведенными до минимума групповыми эффектами и проанализированы результаты. При постановке эксперимента были введены допущения, сделанные Миллером и Мак-Гиллом /1/.

Эксперименты проводились следующим образом: в начале занятия испытуемому показывали описок из восьми несложных формул. В конце занятия ему предлагалось записать все формулы, которые он запомнил. При каждом предъявлении описки формул их порядок случайным образом менялся. Эксперимент повторялся многократно, пока бы доля заполненных формул почти достигла асимптотического значения.

Первое основное допущение, сделанное при анализе результатов описанных выше экспериментов, заключается в том, что формулы в списке не зависят одна от другого: способ-

ность испытуемого вспомнить отдельную формулу не зависела от его прошлого или настоящего выполнения задания относительно любой другой формулы. Это достигалось путем подбора формул из разных разделов математики. Нумеруем формулы индексами  $i = 1, 2, \dots, N$ . Индекс - обозначение, которое не отражает положения формул в списке, так как положения последних меняются в каждом испытании. Следовательно в каждом испытании  $i$ -ая формула либо вспоминается, либо нет.

Обозначим правильное запоминание как реакцию  $A_1$ , а неверное запоминание - как реакцию  $A_2$ . Таким образом, мы можем применить модель Буша-Мостеллера для двух классов реакций /2,3/. Вероятность того, что  $i$ -ая формула вспомнится в  $n$ -ом испытании, обозначена как  $P_{i,n}$ . В эксперименте мы наблюдаем последовательность реакций  $A_1$  и  $A_2$  для  $i$ -ой формулы. Вероятность  $P_{i,n}$  зависит от последовательности вплоть до  $n$ -го испытания и по допущению не зависит от последовательностей реакций  $A_1$  и  $A_2$  для других формул.

Второе основное допущение состоит в том, что незапоминание  $i$ -ой формулы не изменяет вероятности его запоминания в следующем испытании. Таким образом, оператор  $Q_2$ , который применяется после появления реакции  $A_2$ , является единичным

$$P_{i,n+1} = Q_2 P_{i,n} = P_{i,n}. \quad (I)$$





Когда формула вспоминается, т.е. возникает реакция  $A_1$ , применяем оператор  $Q_1$  в общей форме:

$$P_{i,n+1} = Q_1 P_{i,n} = \alpha_1 P_{i,n} + (1 - \alpha_1) \lambda_1. \quad (2)$$

Здесь величины  $0 \leq \alpha_1 \leq 1$ ,  $0 \leq \lambda_1 \leq 1$  являются параметрами обучаемости. Отметим, что параметр имеет смысл доли, на которую снижается вероятность появления реакции  $A_2$  после каждого появления  $A_1$ . В дальнейшем мы будем полагать  $\lambda_1 = 1$ , что соответствует случаю "полного обучения", иначе, испытуемый должен выучить список полностью. Тогда оператор  $Q_1$  дает

$$P_{i,n+1} = Q_1 P_{i,n} = \alpha_1 P_{i,n} + (1 - \alpha_1). \quad (3)$$

Следовательно, из опытных данных остается оценить начальную вероятность  $P_0$  и параметр  $\alpha_1$ . Результаты эксперимента приводятся в таблице, где 0 обозначает незапоминание, а I - запоминание. Номер столбца соответствует номеру испытания.

Чтобы оценить  $P_0$ , мы должны зарегистрировать число испытаний (до первого запоминания), которым предшествует отсутствие запоминания, и просуммировать их для всех слов. Обозначим эту сумму через  $N_0$ . В каждом таком испытании вероятность запоминаний равна  $P_0$  и, таким образом, доля запоминаний в этих  $N_0$  испытаниях есть оценка  $P_0$ . Так как каждая формула может



быть запомнена в первый раз только один раз в каждой последовательности, то число запоминаний в течение  $N_0$  испытаний равно  $N$ . Оценка  $\hat{P}_0$  для  $P_0$  равна:

$$\hat{P}_0 = N/N_0$$

Для полученных данных  $N = 8$  и  $N_0 = 17$ , поэтому

$$\hat{P}_0 = 8/17 \approx 0,47.$$

Для оценки параметра  $\alpha_1$  используем формулу

$\bar{T}_2 = \frac{-\ln P_0}{1-\alpha_1}$ , где  $P_0$  - начальная вероятность,  $\bar{T}_2$  - математическое ожидание общего числа появлений реакции  $A_2$  (незапоминания). Ясно, что

$$\hat{\alpha}_1 = 1 - \frac{-\ln P_0}{\bar{T}_2}$$

Из таблицы  $\bar{T}_2 = 18/8 = 2,25$ . При  $P_0 = 0,47$  получим  $\hat{\alpha}_1 = 0,66$ .

Оценив параметры  $\alpha_1$  и  $P_0$ , можем провести сравнения между моделью и опытными данными.

Миллером и Мак-Гиллом в [1] было выведено рекуррентное соотношение

$$V_{1,n} = P_0 + (1-P_0)(1-\alpha_1^n) V_{1,n-1} \quad (4)$$

вычисления математического ожидания  $V_{1,n}$  при любом



испытании. Они доказали, что уравнение (4) может быть использовано для построения средней кривой обучаемости.

Используя параметры  $\alpha$ ,  $P_0$  и вычисленные значения  $V_{1,n}$  мы построили кривую обучаемости вместе с экспериментальными точками (см. рис.).

Модель, рассмотренная в данной работе, дает возможность сравнения относительных влияний запоминания и незапоминания формулы на последовательность запоминания. Допущение того, что незапоминание не влияет на последовательность запоминания, оказалось справедливым, поскольку данные не противоречат гипотезе. Выяснилось, что запоминание формулы снижает вероятность дальнейшего незапоминания почти до 66 % от ее предыдущей величины.

Для вычисления значений  $V_{1,n}$  была создана несложная программа для ЭВМ на языке фортран. Сравнение средней кривой обучаемости с экспериментальными значениями осуществлено критерием  $\chi^2$ , по стандартной подпрограмме.

Поступила 15.IV.1982

Кафедра математического  
обеспечения ЭВМ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. G.A.Miller and W.J.McGill, A statistical description of verbal learning, *Psychometrika* 17,1952.
2. R.R.Bush and F.Mosteller, A mathematical model for simple learning, *Psychol. Rev.*, 58.
3. R.R.Bush and F.Mosteller, A stochastic model with application to learning, *Annals of math.Stat.*,24,1953





რ. ხომერიკი

სწავლების ერთი ლერის შესახებ

რეზიუმე

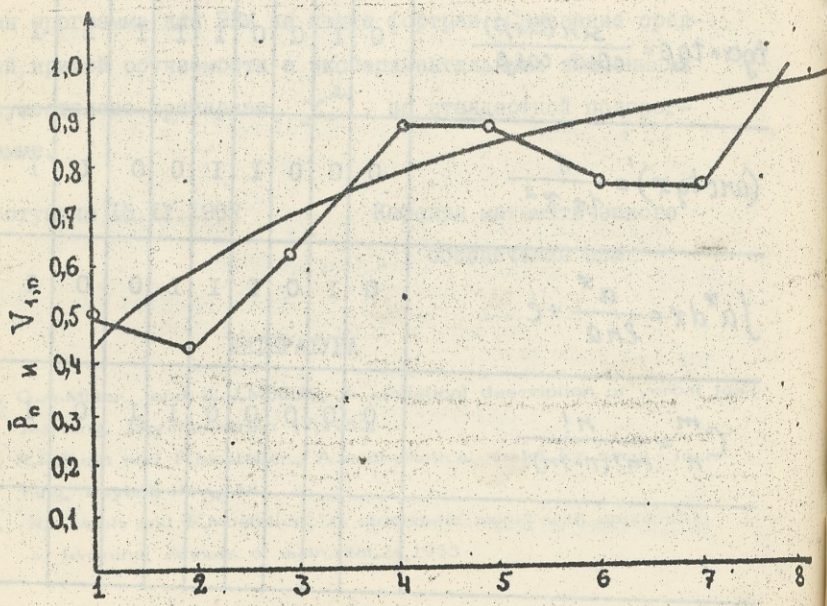
შრომითი აღწერილია მათემატიკური ფორმულების სწავლების ექსპერიმენტული ჯგუფური ეფექტის მინიმუმამდე დაყვანით და განალიზირებულია ექსპერიმენტის შედეგები. გამოყენებულია რვატვისათა ორი კლასის მოდელი, შეფასებულია სწავლების პარამეტრები.

R. Khomeriki

ABOUT ONE LEARNING MODEL

Summary

The paper describes an experiment on learning mathematical formulae, with the group effect reduced to the minimum. The results are analysed, using a two-class reaction model. The parameters of learning are estimated.



Труды Тбилисского ордена Трудового Красного Знамени  
государственного университета

თბილისის შტატის სამეცნიერო  
უნივერსიტეტის შრომები

236, 1983

УЧЕТ КОРРЕЛЯЦИЙ В МЕТОДЕ КЛАСТЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ  
ДЛЯ БИНАРНЫХ СПЛАВОВ

Т.Г.Гачечиладзе, К.Г.Чкуасели

I. Разложение матрицы сплава.

Известно, что в случае бинарных сплавов основной ме-  
тода кластерных компонентов /I/ (МКК) служит матрица спла-  
ва

$$A = \begin{pmatrix} \nu_\alpha P(A/\alpha), & \nu_\alpha P(B/\alpha) \\ \nu_\beta P(A/\beta), & \nu_\beta P(B/\beta) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $\nu_\alpha, \nu_\beta = 1 - \nu_\alpha$  - концентрации (доли) узлов типа  
 $\alpha$  и  $\beta$  соответственно; условные вероятности выража-  
ются в виде линейных функций от средних значений т.н.  
случайных спинов /2/  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  :

$$\begin{aligned} P(A/\alpha) &= \frac{1}{2}(1 + 2\epsilon_1), & P(A/\beta) &= \frac{1}{2}(1 + 2\epsilon_2), \\ P(B/\alpha) &= \frac{1}{2}(1 - 2\epsilon_1), & P(B/\beta) &= \frac{1}{2}(1 - 2\epsilon_2). \end{aligned} \quad (2)$$



Имеется связь между  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ , которая определяется из уравнения

$$\nu_\alpha P(A/\alpha) + \nu_\beta P(A/\beta) = C_A,$$

где  $C_A$  - концентрация  $A$ .

Именно,

$$\epsilon_2 = -\frac{1-2C_A}{2(1-\nu_\alpha)} - \frac{\nu_\alpha}{1-\nu_\alpha} \epsilon_1. \quad (3)$$

Учитывая это соотношение, можем написать

$$P(A/\alpha) = \frac{1}{2}(1+2\epsilon_1),$$

$$P(B/\alpha) = \frac{1}{2}(1-2\epsilon_1),$$

$$P(A/\beta) = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{1-2C_A}{1-\nu_\alpha} - \frac{2\nu_\alpha}{1-\nu_\alpha} \epsilon_1 \right], \quad (2')$$

$$P(B/\beta) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{1-2C_A}{1-\nu_\alpha} + \frac{2\nu_\alpha}{1-\nu_\alpha} \epsilon_1 \right].$$

Приведем также выражения для этих вероятностей в виде функций параметра порядка  $\lambda$ , используемых в /1/:

$$P(A/\alpha) = -1 + 2C_A + 2\lambda,$$

$$P(B/\alpha) = 2(1-C_A-\lambda),$$

$$P(A/\beta) = C_A + \frac{\nu_\alpha}{1-\nu_\alpha}(1-C_A) - \frac{2\nu_\alpha}{1-\nu_\alpha} \lambda,$$

$$P(B/\beta) = 1-C_A - \frac{\nu_\alpha}{1-\nu_\alpha}(1-C_A) + \frac{2\nu_\alpha}{1-\nu_\alpha} \lambda. \quad (2'')$$

$$\lambda = \frac{3}{4} - C + \frac{1}{2} \epsilon_1.$$

Матрицу  $A$  можно разложить двумя эквивалентными

опособами:

$$\begin{aligned}
 A &= \begin{pmatrix} \gamma_{\alpha} P(A/\alpha, A/\beta) & \gamma_{\alpha} P(B/\alpha, A/\beta) \\ \gamma_{\beta} P(A/\alpha, A/\beta) & \gamma_{\beta} P(A/\alpha, B/\beta) \end{pmatrix} + \\
 &+ \begin{pmatrix} \gamma_{\alpha} P(A/\alpha, B/\beta) & \gamma_{\alpha} P(B/\alpha, B/\beta) \\ \gamma_{\beta} P(B/\alpha, B/\beta) & \gamma_{\beta} P(B/\alpha, B/\beta) \end{pmatrix} = \quad (4) \\
 &= \begin{pmatrix} \gamma_{\alpha} P(A/\alpha, B/\beta) & \gamma_{\alpha} P(B/\alpha, A/\beta) \\ \gamma_{\beta} P(A/\alpha, A/\beta) & \gamma_{\beta} P(B/\alpha, B/\beta) \end{pmatrix} + \\
 &+ \begin{pmatrix} \gamma_{\alpha} P(A/\alpha, A/\beta) & \gamma_{\alpha} P(B/\alpha, B/\beta) \\ \gamma_{\beta} P(B/\alpha, A/\beta) & \gamma_{\beta} P(A/\alpha, B/\beta) \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

Такое разложение получается, если учесть, что

$$P(A/\alpha) = P(A/\alpha, A/\beta) + P(A/\alpha, B/\beta),$$

$$P(B/\alpha) = P(B/\alpha, A/\beta) + P(B/\alpha, B/\beta),$$

$$P(A/\beta) = P(A/\alpha, A/\beta) + P(B/\alpha, A/\beta),$$

$$P(B/\beta) = P(A/\alpha, B/\beta) + P(B/\alpha, B/\beta),$$

где вероятности  $P(\%, \%)$  зависят как от параметра дальнего порядка  $\epsilon_1$ , так и от параметра  $\epsilon_5$  - корреляционной функции двух случайных спинов /2/.

Приведем несколько эквивалентных выражений для парных вероятностей:



$$\begin{aligned}
 P(A/\alpha, A/\beta) &= \frac{1}{4} (1+2\epsilon_1+2\epsilon_2+4\epsilon_5) = \frac{1}{4} \left[ \left(1 - \frac{1-2C_A}{1-\nu\alpha}\right) + \right. \\
 &+ 2 \left(1 - \frac{\nu\alpha}{1-\nu\alpha}\right) \epsilon_1 + 4\epsilon_5 \left. \right] = \frac{-3+5\nu\alpha+6C_A-8\nu\alpha C_A}{4(1-\nu\alpha)} + \frac{1-2\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \lambda + \epsilon_5 = \\
 &= \frac{1}{4} \left[ \left(1 - \frac{1-2C_A}{1-\nu\alpha}\right) + \frac{4(C_A-\nu\alpha)}{1-\nu\alpha} \epsilon_1 - \frac{4\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \epsilon_1^2 + 4x \right] = \quad (5') \\
 &\frac{(1-2C_A)(2\nu\alpha C_A - \nu\alpha - C_A)}{1-\nu\alpha} + \frac{2(C_A+2\nu\alpha-4\nu\alpha C_A)}{1-\nu\alpha} \lambda - \frac{4\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \lambda^2 + x;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(A/\alpha, B/\beta) &= \frac{1}{4} (1+2\epsilon_1-2\epsilon_2-4\epsilon_5) = \frac{1}{4} \left[ \left(1 + \frac{1+2C_A}{1-\nu\alpha}\right) + 2 \left(1 + \frac{\nu\alpha}{1-\nu\alpha}\right) \epsilon_1 - \right. \\
 &- 4\epsilon_5 \left. \right] = \frac{-1-\nu\alpha+2C_A}{4(1-\nu\alpha)} + \frac{1}{1-\nu\alpha} \lambda - \epsilon_5 = \frac{1}{4} \left[ \left(1 + \frac{1-2C_A}{1-\nu\alpha}\right) + \frac{4(1-C_A)}{1-\nu\alpha} \epsilon_1 + \right. \\
 &+ \frac{4\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \epsilon_1^2 - 4x \left. \right] = - \frac{(1-C_A)(1-C_A)(1-2\nu\alpha)}{1-\nu\alpha} + \quad (5'') \\
 &+ \frac{2[(1-C_A)(1-3\nu\alpha)+\nu\alpha C_A]}{1-\nu\alpha} \lambda + \frac{4\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \lambda^2 - x;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(B/\alpha, A/\beta) &= \frac{1}{4} (1-2\epsilon_1+2\epsilon_2-4\epsilon_5) = \frac{1}{4} \left[ \left(1 - \frac{1-2C_A}{1-\nu\alpha}\right) - 2 \left(1 + \frac{\nu\alpha}{1-\nu\alpha}\right) \epsilon_1 - \right. \\
 &- 4\epsilon_5 \left. \right] = \frac{3-\nu\alpha-2C_A}{4(1-\nu\alpha)} - \frac{1}{1-\nu\alpha} \lambda - \epsilon_5 = \frac{1}{4} \left[ \left(1 - \frac{1-2C_A}{1-\nu\alpha}\right) - \frac{4C_A}{1-\nu\alpha} \epsilon_1 + \right. \\
 &+ \frac{4\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \epsilon_1 + \frac{4\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \epsilon_1^2 - 4x \left. \right] = \frac{2(1-C_A)(\nu\alpha+C_A-2\nu\alpha C_A)}{1-\nu\alpha} + \quad (5''') \\
 &+ \frac{2[(\nu\alpha-C_A)-4\nu\alpha(1-C_A)]}{1-\nu\alpha} \lambda + \frac{4\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \lambda^2 - x;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(B/\alpha, B/\beta) &= \frac{1}{4} (1-2\epsilon_1-2\epsilon_2+4\epsilon_5) = \frac{5-7\nu\alpha-6C_A+8\nu\alpha C_A}{4(1-\nu\alpha)} - \\
 &- \frac{1-2\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \lambda + \epsilon_5 = \frac{1}{4} \left[ \left(1 + \frac{1-2C_A}{1-\nu\alpha}\right) - \frac{4(1-\nu\alpha-C_A)}{1-\nu\alpha} \epsilon_1 - \frac{4\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \epsilon_1^2 + x \right] = \\
 &= \frac{2(1-C_A)^2(1-2\nu\alpha)}{1-\nu\alpha} - \frac{2(1-C_A)(1-4\nu\alpha)}{1-\nu\alpha} \lambda - \frac{4\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \lambda^2 + x, \quad (5'')
 \end{aligned}$$

где

$$\mathcal{X} = \sigma_3 - \sigma_1 \sigma_2 = \sigma_3 + \frac{1-2C_A}{2(1-\nu\alpha)} \cdot \sigma_1 + \frac{\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \sigma_1^2 \quad (6)$$

- коэффициент корреляции.

I. Фазовые функции Вигнера для пары случайных спинов.

Оператор характеристической функции, соответствующий паре спинов, имеет вид:

$$\hat{M}(\tau_1, \tau_2) = \hat{I} \cos \frac{\tau_1}{2} \cdot \cos \frac{\tau_2}{2} + 2i \left( \hat{S}_1 \sin \frac{\tau_1}{2} \cdot \cos \frac{\tau_2}{2} + \hat{S}_2 \cos \frac{\tau_1}{2} \cdot \sin \frac{\tau_2}{2} \right). \quad (7)$$

Фурье - образы собственных фазовых функций, соответствующие состояниям с определенным значением суммы  $\vec{z}$  - компонент пары случайных спинов и модуля суммы самих спинов, таковы:

а) Триплетные состояния:

$$m_{11}^{tt}(\tau_1, \tau_2) = \cos \frac{\tau_1}{2} \cdot \cos \frac{\tau_2}{2} + i \left( \sin \frac{\tau_1}{2} \cdot \cos \frac{\tau_2}{2} + \cos \frac{\tau_1}{2} \cdot \sin \frac{\tau_2}{2} \right) - \sin \frac{\tau_1}{2} \cdot \sin \frac{\tau_2}{2},$$

$$m_{22}^{tt}(\tau_1, \tau_2) = \cos \frac{\tau_1}{2} \cdot \cos \frac{\tau_2}{2} - i \left( \sin \frac{\tau_1}{2} \cdot \cos \frac{\tau_2}{2} + \cos \frac{\tau_1}{2} \cdot \sin \frac{\tau_2}{2} \right) \quad (8)$$



$$+ \cos \frac{\tau_1}{2} \cdot \sin \frac{\tau_2}{2} - \sin \frac{\tau_1}{2} \cdot \sin \frac{\tau_2}{2},$$

$$m_{00}^{tt}(\tau_1, \tau_2) = \cos \frac{\tau_1}{2} \cdot \cos \frac{\tau_2}{2} + \sin \frac{\tau_1}{2} \cdot \sin \frac{\tau_2}{2};$$

$$m_{12}^{tt}(\tau_1, \tau_2) = m_{21}^{tt}(\tau_1, \tau_2) = \dots = m_{02}^{tt}(\tau_1, \tau_2) = 0.$$

б) Синглетное состояние:

$$m_{00}^{ss}(\tau_1, \tau_2) = \cos \frac{\tau_1}{2} \cdot \cos \frac{\tau_2}{2} + \sin \frac{\tau_1}{2} \cdot \sin \frac{\tau_2}{2}. \quad (9)$$

Кроме того,

$$\begin{aligned} m_{10}^{ts}(\tau_1, \tau_2) &= m_{01}^{st}(\tau_1, \tau_2) = \\ &= m_{20}^{ts}(\tau_1, \tau_2) = m_{02}^{st}(\tau_1, \tau_2) = 0, \\ m_{00}^{ts}(\tau_1, \tau_2) &= m_{00}^{st}(\tau_1, \tau_2) = \\ &= i \left( \sin \frac{\tau_1}{2} \cdot \cos \frac{\tau_2}{2} - \cos \frac{\tau_1}{2} \cdot \sin \frac{\tau_2}{2} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Фазовые собственные функции вычисляются по формулам обращения:

$$\begin{aligned} f_{ij}^{\alpha\beta}(s_1, s_2) &= \dots \quad (11) \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{4T} \int_{-T}^{+T} \int_{-T}^{+T} m_{ij}^{\alpha\beta}(\tau_1, \tau_2) e^{-i(\tau_1 s_1 + \tau_2 s_2)} d\tau_1 d\tau_2 \\ &\quad (i, j = 0, 1, 2; \alpha, \beta = t, s). \end{aligned}$$

Нервные тождественно нулю собственные фазовые функции таковы:

$$f_{11}^{tt}(s_1, s_2) = \delta(s_1, 1/2) \delta(s_2, 1/2),$$

$$f_{22}^{tt}(s_1, s_2) = \delta(s_1, -1/2) \delta(s_2, -1/2),$$

$$f_{00}^{tt}(s_1, s_2) = f_{00}^{ss}(s_1, s_2) = \\ = \frac{1}{2} \left[ \delta(s_1, 1/2) \delta(s_2, -1/2) + \delta(s_1, -1/2) \delta(s_2, 1/2) \right],$$

$$f_{00}^{ts}(s_1, s_2) = f_{00}^{st}(s_1, s_2) = \\ = \frac{1}{2} \left[ \delta(s_1, 1/2) \delta(s_2, -1/2) - \delta(s_1, -1/2) \delta(s_2, 1/2) \right].$$

Если ввести более удобную индексацию:

$$\begin{pmatrix} t \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow 1, \quad \begin{pmatrix} t \\ 2 \end{pmatrix} \rightarrow 2, \quad \begin{pmatrix} t \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow 3, \quad \begin{pmatrix} s \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow 4,$$

то условие ортогональности фазовых собственных функций запишется в виде:

$$\sum_{\{s_1, s_2\}} f_{ij}^*(s_1, s_2) f_{i'j'}(s_1, s_2) = \delta_{ii'} \delta_{jj'} \quad (13) \\ (i, i', j, j' = 1, 2, 3, 4).$$

Поскольку множество фазовых функций  $\{f_{ij}(s_1, s_2)\}$  составляет полную ортонормированную систему функций, постольку произвольную фазовую функцию Вигнера  $F(s_1, s_2)$  можно разложить по собственным функциям:

$$F(s_1, s_2) = \sum_{i,j} \rho_{ij} f_{ij}(s_1, s_2), \quad (14)$$

где коэффициенты разложения являются матричными элемен-



тами оператора матрицы плотности  $\rho$  ; они вычисляются по формулам:

$$\rho_{mn} = \sum_{\{s_1, s_2\}} F(s_1, s_2) f_{mn}^*(s_1, s_2). \quad (15)$$

В частности, если в качестве  $F(s_1, s_2)$  рассматривать  $P(\%, \%)$  (см. ф-лы (5)), то получим

$$\begin{aligned} \rho_{11} &= \frac{1}{4} (1 + 2\epsilon_1 + 2\epsilon_2 + 4\epsilon_5), \\ \rho_{22} &= \frac{1}{4} (1 - 2\epsilon_1 - 2\epsilon_2 + 4\epsilon_5), \\ \rho_{33} = \rho_{44} &= \frac{1}{4} (1 - 4\epsilon_5), \quad \rho_{34} = \rho_{43} = \frac{1}{2} (\epsilon_1 - \epsilon_2), \end{aligned} \quad (16)$$

остальные  $\rho_{ij} = 0$  . Следовательно, уравнение для собственных значений  $\hat{\rho}$  принимает вид:

$$\det \begin{pmatrix} \rho_{11} - \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \rho_{22} - \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \rho_{33} - \lambda & \rho_{34} \\ 0 & 0 & \rho_{43} & \rho_{44} - \lambda \end{pmatrix} = 0,$$

откуда получаем

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \rho_{11}, & \lambda_2 &= \rho_{22}, \\ \lambda_3 &= \rho_{33} + \rho_{34}, & \lambda_4 &= \rho_{33} - \rho_{34}. \end{aligned} \quad (17)$$

### 3. Уравнение равновесия.

Рассмотрим случайную величину

$$\begin{aligned}
 E(S_1, S_2) = & \frac{1}{4} \left\{ (1+2S_1+2S_2+4S_1S_2) V_{AA} + \right. \\
 & + (1+2S_1-2S_2-4S_1S_2) V_{AB} + (1-2S_1+2S_2-4S_1S_2) V_{AB} + \\
 & \left. + (1-2S_1-2S_2+4S_1S_2) V_{BB} \right\}, \quad (18)
 \end{aligned}$$

где  $S_1$  и  $S_2$  - случайные величины, соответствующие двум спинам, сопоставленным  $\alpha$  и  $\beta$  узлам,

$V_{ij}$  - энергия взаимодействия атома типа  $i$  с атомом типа  $j$ . Этой случайной величине соответствует оператор

$\hat{E}(\hat{S}_1, \hat{S}_2)$ , матричные элементы которого вычисляются по формулам:

$$E_{11} = \sum_{\{S_1, S_2\}} E(S_1, S_2) f_{11}(S_1, S_2) = E(1/2, 1/2) = V_{AA},$$

$$E_{22} = \sum_{\{S_1, S_2\}} E(S_1, S_2) f_{22}(S_1, S_2) = E(-1/2, -1/2) = V_{BB},$$

$$\begin{aligned}
 E_{33} = E_{44} = \sum_{\{S_1, S_2\}} E(S_1, S_2) f_{33}(S_1, S_2) = & \frac{1}{2} E(1/2, -1/2) + \\
 & + \frac{1}{2} E(-1/2, 1/2) = \frac{1}{2} V_{AB} + \frac{1}{2} V_{AB} = V_{AB}, \quad (19)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{34} = E_{43} = \sum_{\{S_1, S_2\}} E(S_1, S_2) f_{34}(S_1, S_2) = & \frac{1}{2} E(1/2, -1/2) - \\
 & - \frac{1}{2} E(-1/2, 1/2) = 0.
 \end{aligned}$$

Равны нулю и остальные матричные элементы.

Среднее значение оператора  $\hat{E}$  вычисляется согласно правилу Неймана:

$$\begin{aligned}
 \langle \hat{E} \rangle = S_P \langle \hat{P} \hat{E} \rangle = & \frac{1}{4} \left[ \left( 1 - \frac{2C_A}{1-\nu\alpha} \right) V_{AA} + \left( 1 + \frac{1-2C_A}{1-\nu\alpha} \right) V_{BB} + \right. \\
 & \left. + 2V_{AB} \right] + \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\nu\alpha}{1-\nu\alpha} \right) (V_{AA} - V_{BB}) G_1 + 2V G_5, \quad (20)
 \end{aligned}$$



где энергия упорядочения  $V = \frac{V_{AA} + V_{BB}}{2} - V_{AB}$ .

Легко вычисляется и энтропия:

$$H = -S_p(\hat{p} \ln \hat{p}) = -\sum_n \rho_{nn} \ln \rho_{nn}. \quad (21)$$

Уравнения равновесия получаются из условий минимума свободной энергии

$$F = \langle \hat{E} \rangle - TH, \quad (22)$$

где  $T$  - абсолютная температура:

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial F}{\partial \beta} = 0. \quad (23)$$

Если воспользоваться выражениями (16), (17), (20), (21) и (22), то уравнения равновесия получаются в форме:

$$\frac{V_{AA} - V_{BB}}{2(1-\alpha)} + T \sum_n \left( \frac{\partial \rho_{nn}}{\partial \alpha} \ln \rho_{nn} + \frac{\rho_{nn}}{\rho_{nn}} \frac{\partial \rho_{nn}}{\partial \alpha} \right) = 0, \quad (24)$$

$$2V + T \sum_n \left( \frac{\partial \rho_{nn}}{\partial \beta} \ln \rho_{nn} + \frac{\rho_{nn}}{\rho_{nn}} \frac{\partial \rho_{nn}}{\partial \beta} \right) = 0,$$

или

$$\frac{V_{AA} - V_{BB}}{2T} + (1-2\alpha) \ln \frac{\rho_{11}}{\rho_{22}} + \rho_{33} \frac{\rho_{44} - \rho_{33}}{\rho_{33} \rho_{44}} = 0, \quad (24')$$

$$\frac{2V}{T} + \rho \pi \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_3 \mu_4} + \rho_{34} \frac{\mu_4 - \mu_3}{\mu_3 \mu_4} = 0.$$

#### 4. Разложение матрицы сплава по кластерным компонентам

Область существования сплава определяется системой неравенств:

$$\begin{aligned} 1 - \frac{1-2C_A}{1-\nu\alpha} + 2\left(1 - \frac{\nu\alpha}{1-\nu\alpha}\right) \epsilon_1 + 4\epsilon_5 &\geq 0, \\ 1 + \frac{1-2C_A}{1-\nu\alpha} + 2\left(1 - \frac{\nu\alpha}{1-\nu\alpha}\right) \epsilon_1 - 4\epsilon_5 &\geq 0, \\ 1 - \frac{1-2C_A}{1-\nu\alpha} - 2\left(1 + \frac{\nu\alpha}{1-\nu\alpha}\right) \epsilon_1 - 4\epsilon_5 &\geq 0, \\ 1 + \frac{1-2C_A}{1-\nu\alpha} - 2\left(1 - \frac{\nu\alpha}{1-\nu\alpha}\right) \epsilon_1 + 4\epsilon_5 &\geq 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Ее решение дает следующие вершины:

| $(C_A, \epsilon_1, \epsilon_5)$                | Значения вероятностей  |
|--|--|
| 1. $(0; -\frac{1}{2}; \frac{1}{4})$            | $P(A/\alpha, A/\beta) = 0, \quad P(A/\alpha, B/\beta) = 0$<br>$P(B/\alpha, A/\beta) = 0, \quad P(B/\alpha, B/\beta) = 1$ |
| 2. $(1-\nu\alpha; -\frac{1}{2}; -\frac{1}{4})$ | $P(A/\alpha, A/\beta) = 0, \quad P(A/\alpha, B/\beta) = 0$<br>$P(B/\alpha, A/\beta) = 1, \quad P(B/\alpha, B/\beta) = 0$ |
| 3. $(\nu\alpha; \frac{1}{2}; -\frac{1}{4})$    | $P(A/\alpha, A/\beta) = 0, \quad P(A/\alpha, B/\beta) = 1$<br>$P(B/\alpha, A/\beta) = 0, \quad P(B/\alpha, B/\beta) = 0$ |
| 4. $(1; \frac{1}{2}; \frac{1}{4})$             | $P(A/\alpha, A/\beta) = 1, \quad P(A/\alpha, B/\beta) = 0$<br>$P(B/\alpha, A/\beta) = 0, \quad P(B/\alpha, B/\beta) = 0$ |



Подставляя эти значения в (4), получим:

$$A(I) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & \nu_\alpha \\ 0 & \nu_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \nu_\beta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & \nu_\alpha \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \nu_\alpha \\ 0 & \nu_\beta \end{pmatrix},$$

$$A(II) = \begin{pmatrix} 0 & \nu_\alpha \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \nu_\beta & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \nu_\beta & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & \nu_\alpha \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \nu_\alpha \\ \nu_\beta & 0 \end{pmatrix},$$

$$A(III) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \nu_\beta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \nu_\alpha & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \nu_\alpha & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \nu_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \nu_\alpha & 0 \\ 0 & \nu_\beta \end{pmatrix}, \quad (26)$$

$$A(IV) = \begin{pmatrix} \nu_\alpha & 0 \\ \nu_\beta & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \nu_\beta & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \nu_\alpha & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \nu_\alpha & 0 \\ \nu_\beta & 0 \end{pmatrix}.$$

Смысл этих матриц очевиден.  $A(I)$  и  $A(IV)$  соответствуют чистым В и А компонентам,  $A(III)$  соответствует полностью упорядоченному сплаву  $A\nu_\alpha B\nu_\beta$  стехиометрического состава, а  $A(II)$  (согласно уравнениям (5), которые дают  $\nu_\alpha = 1 - C_A$ ) - сплаву  $A\nu_\beta B\nu_\alpha$  стехиометрического состава.

Согласно (26) можем записать:

$$A = \alpha_1^{(1)} A^{(1)}(I) + \alpha_2^{(1)} A^{(1)}(II) + \alpha_3^{(1)} A^{(1)}(III) + \alpha_4^{(1)} A^{(1)}(IV) + \\ + \alpha_1^{(2)} A^{(2)}(I) + \alpha_2^{(2)} A^{(2)}(II) + \alpha_3^{(2)} A^{(2)}(III) + \alpha_4^{(2)} A^{(2)}(IV) \quad (27)$$

Ясно, что

$$\alpha_1^{(1)} = \alpha_1^{(2)} = \frac{1}{4} (1 - 2\delta_1 - 2\delta_2 + 4\delta_5) \equiv \alpha_1,$$

$$\alpha_2^{(1)} = \alpha_2^{(2)} = \frac{1}{4} (1 - 2\epsilon_1 + 2\epsilon_2 - 4\epsilon_5) \equiv \alpha_2,$$

$$\alpha_3^{(1)} = \alpha_3^{(2)} = \frac{1}{4} (1 + 2\epsilon_1 - 2\epsilon_2 - 4\epsilon_5) \equiv \alpha_3,$$

(28)

$$\alpha_4^{(1)} = \alpha_4^{(2)} = \frac{1}{4} (1 + 2\epsilon_1 + 2\epsilon_2 + 4\epsilon_5) \equiv \alpha_4.$$

Поэтому

$$\begin{aligned} \mathcal{A} = & \alpha_1 [\mathcal{A}^{(1)}(I) + \mathcal{A}^{(2)}(I)] + \alpha_2 [\mathcal{A}^{(1)}(II) + \mathcal{A}^{(2)}(II)] + \\ & + \alpha_3 [\mathcal{A}^{(1)}(III) + \mathcal{A}^{(2)}(III)] + \alpha_4 [\mathcal{A}^{(1)}(IV) + \mathcal{A}^{(2)}(IV)]. \end{aligned} \quad (29)$$

В этих формулах

$$\mathcal{A}^{(1)}(I) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \text{или} \quad \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \nu_\rho \end{pmatrix};$$

$$\mathcal{A}^{(2)}(I) = \begin{pmatrix} 0 & \nu_\alpha \\ 0 & \nu_\rho \end{pmatrix}, \quad \text{или} \quad \begin{pmatrix} 0 & \nu_\alpha \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\mathcal{A}^{(1)}(II) = \begin{pmatrix} 0 & \nu_\alpha \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \text{или} \quad \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \nu_\rho & 0 \end{pmatrix};$$

(30)

$$\mathcal{A}^{(2)}(II) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \nu_\rho & 0 \end{pmatrix}, \quad \text{или} \quad \begin{pmatrix} 0 & \nu_\alpha \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\mathcal{A}^{(1)}(III) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \nu_\rho \end{pmatrix}, \quad \text{или} \quad \begin{pmatrix} \nu_\alpha & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\mathcal{A}^{(2)}(III) = \begin{pmatrix} \nu_\alpha & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \text{или} \quad \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \nu_\rho \end{pmatrix};$$



$$A^{(1)}(\bar{I}) = \begin{pmatrix} \nu_{\alpha} & 0 \\ \nu_{\beta} & 0 \end{pmatrix}, \quad \text{или} \quad \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \nu_{\beta} & 0 \end{pmatrix};$$

$$A^{(2)}(\bar{I}) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \text{или} \quad \begin{pmatrix} \nu_{\alpha} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Таким образом,

$$[A^{(1)}(\bar{I}) + A^{(2)}(\bar{I})] \longrightarrow B_{\nu_{\alpha}}^{(\alpha)} B_{\nu_{\beta}}^{(\beta)},$$

$$[A^{(1)}(\bar{II}) + A^{(2)}(\bar{II})] \longrightarrow A_{\nu_{\beta}}^{(\beta)} B_{\nu_{\alpha}}^{(\alpha)},$$

$$[A^{(1)}(\bar{III}) + A^{(2)}(\bar{III})] \longrightarrow A_{\nu_{\alpha}}^{(\alpha)} B_{\nu_{\beta}}^{(\beta)},$$

$$[A^{(1)}(\bar{IV}) + A^{(2)}(\bar{IV})] \longrightarrow A_{\nu_{\alpha}}^{(\alpha)} A_{\nu_{\beta}}^{(\beta)}.$$

Воспользовавшись основной гипотезой МКК, для некоторого свойства  $f$  можем написать:

$$f = \alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 + \alpha_3 f_3 + \alpha_4 f_4. \quad (31)$$

Эта формула отличается от аналогичных формул, приводимых в работе /1/, тем, что весовые коэффициенты  $\alpha_i$  одновременно зависят как от параметра дальнего порядка, так и от коэффициента корреляции.

$f_2$  и  $f_3$  можно выразить через свойства КК чистых соединений  $A$  и  $B$  и равнокомпонентного раствора  $A_{1/2} B_{1/2}$ , если при их расчете предположить, что  $\nu_{\alpha'} = \nu_{\beta'} = \frac{1}{2}$  ( $\nu_{\alpha}'$

и  $\nu_{\beta}'$  - это доли узлов гипотетического соединения

$A_{\nu_{\alpha}}^{(\beta)} A_{\nu_{\alpha}}^{(\alpha)}$  ). Возможен и другой случай:  $\nu_{\alpha}' = \nu_{\beta}$ ,

$$\nu_{\beta'} = \nu_{\alpha} \quad \text{и} \quad C_A = \nu_{\beta}.$$

Однако мы ограничимся рассмотрением лишь первого из них.

$$\text{Если } C_A \geq \frac{1}{2} : P(A/\alpha') = 1, \quad P(B/\alpha') = 0,$$

откуда следует, что  $\lambda' = 1 - C_A = \nu_{\alpha}$  ( $\nu_{\alpha} < 1/2$ );

$$P(A/\beta') = 2C_A - 1, \quad P(B/\beta') = 2(1 - C_A) = 2\nu_{\alpha}.$$

Здесь штрихованные величины относятся к гипотетическим КК,  $\alpha' = \beta$  и  $\beta' = \alpha$ . Учитывая полученные значения вероятностей, можем написать:

$$\alpha_1(f_2) = x', \quad \alpha_2(f_2) = -x', \quad \alpha_3(f_2) = 2\nu_{\alpha} - x',$$

$$\alpha_4(f_2) = 1 - 2\nu_{\alpha} + x'.$$

Учитывая, что  $\alpha_i(f_2) \geq 0$ , получаем:  $x' = 0$ ,

$$\alpha_1(f_2) = \alpha_2(f_2) = 0, \quad \alpha_3(f_2) = 2\nu_{\alpha}, \quad \alpha_4(f_2) = 1 - 2\nu_{\alpha}.$$

и

$$f_2 \left[ A_{\nu_{\beta}}^{(\beta)} B_{\nu_{\alpha}}^{(\alpha)} ; C_A \geq \frac{1}{2} \right] = \quad (32)$$

$$= 2\nu_{\alpha} f(A_{1/2} B_{1/2}) + (1 - 2\nu_{\alpha}) f(A).$$

Такие же рассуждения дают:



$$f_3 \left[ A_{\gamma_\alpha}^{(\alpha)} B_{\gamma_\beta}^{(\beta)} ; C_A \geq \frac{1}{2} \right] = \quad (33)$$

$$= 2(1-\gamma_\alpha)f(A_{1/2}B_{1/2}) - (1-2\gamma_\alpha)f(A).$$

Подставляя (32) и (33) в (31), получаем:

$$f = \left[ (1-2\gamma_\alpha)\alpha_2 + (2\gamma_\alpha-1)\alpha_3 + \alpha_4 \right] f(A) + \quad (34)$$

$$+ \alpha_1 f(B) + 2[\gamma_\alpha\alpha_2 + (1-\gamma_\alpha)\alpha_3] f(A_{1/2}B_{1/2}).$$

Если  $C_A \leq \frac{1}{2}$ , получаем:

$$f_2 \left[ A_{\gamma_\beta}^{(\beta)} B_{\gamma_\alpha}^{(\alpha)} ; C_A \leq \frac{1}{2} \right] = \quad (35)$$

$$= 2(1-\gamma_\alpha)f(A_{1/2}B_{1/2}) - (1-2\gamma_\alpha)f(B),$$

$$f_3 \left[ A_{\gamma_\alpha}^{(\alpha)} B_{\gamma_\beta}^{(\beta)} ; C_A \leq \frac{1}{2} \right] = \quad (36)$$

$$= 2\gamma_\alpha f(A_{1/2}B_{1/2}) + (1-2\gamma_\alpha)f(B),$$

$$f = \alpha_4 f(A) + \left[ \alpha_1 - (1-2\gamma_\alpha)\alpha_2 + (1-2\gamma_\alpha)\alpha_3 \right] f(B) + \quad (37)$$

$$+ 2[(1-\gamma_\alpha)\alpha_2 + \gamma_\alpha\alpha_3] f(A_{1/2}B_{1/2}).$$

Поступила 15.IV.1982

Проблемная лаборатория  
физической кибернетики



1. Сб. "Состав-дефектность-свойство твердых фаз". "Наука", М., 1977.
2. Т.Г.Гачечиладзе, Т.Н.Мгвделадзе, Труды ТГУ, сер. "Кибернетика. Прикладная математика", 1978.

თ.გაჩეჩილაძე, კ.ჭკუასელი

კორელაციების გამოყენება  
 კლასტერული მეთოდით  
 ბინარული სისტემების  
 კვლევაში

ბინარული სისტემების კლასტერული მეთოდით კვლევისას მეთოდის განვითარება ბინარული შენარჩუნებების შემთხვევაში. ეს განვითარება საშუალებას იძლევა მყარ ფაზის თვისებებზე შესწავლისას ახლო და შორი წესრიგის ურთიერთობის გამოყენების შესახებ.

T.Gachechiladze, K.Chkuaseli

CORRELATIONS IN THE CLUSTER COMPONENT METHOD  
 FOR BINARY ALLOYS

Summary

A generalised cluster component method has been developed for binary alloys. The proposed method enables to take into account the short- and long-range order in studying the solid phase properties.





С О Д Е Р Ж А Н И Е

|   |     |
|---|-----|
| 1. Н.С.Кобуладзе, Диагностика интегральных микросхем в процессе их производства . . . . .   | 5   |
| 2. Н.В.Бокучава, Моделирование неравновесных процессов и информационные критерии эволюции . . . . .   | 16  |
| 3. Г.Н.Церцвадзе, Оценка скорости установления стационарного распределения в одной модификации двумерной игры Тура . . . . .  | 26  |
| 4. Д.Г.Перадзе, О существовании решения для одной задачи нелинейной теории пластинок . . . . .  | 35  |
| 5. Э.Д.Симонишвили, Т.Г.Цилосани, Исследование текстов на однородность относительно фиксированных лингвистических единиц . . . . .  | 59  |
| 6. Ш.Л.Бебиашвили, О.М.Намичеишвили, Г.А. Кучава, Н.С.Кобуладзе, Параметрическая надежность резервированных цепей . . . . .   | 72  |
| 7. О.И.Кварацхелия, Комплексный алгоритм решения задачи многомаршрутного календарного планирования . . . . .  | 77  |
| 8. С.Н.Цагарели, И.М.Дойджашвили, Ц.А.Лежава, Н.Ш.Гагошидзе, Э.Р.Георгадзе, О функциональном значении различных областей гиппокампа в рефлексе избегания и эмоциональной памяти . . . . . | 103 |
| 9. З.А.Метревели, И.М.Дойджашвили, Э.Р.Георгадзе, Закономерности депрессии мышечного веретена лягушки в зависимости от длительности кондиционирующего стимула . . . . .                   | 119 |



|   |     |
|---|-----|
| I0. А.А.Эдиберидзе, Алгоритмизация задачи формирования годового плана предприятия . . . . .   | I32 |
| II. Ю.В.Филипашвили, О некоторых типологических особенностях операторов энергосистем и методах их выявления . . . . .   | I55 |
| I2. Г.Ф.Одиладзе, Л.Г.Канчавели, Зависимость характера первичной установки от внешней ситуации . . . . .  | I65 |
| I3. Э.А.Микаладзе, Применение математических методов к определению характера слоговой структуры слова и фонемной структуры слога (по данным чеченского языка) . . . . . | I83 |
| I4. Р.Л.Хомерики, Об одной модели обучения . . . . .  | 200 |
| I5. Т.Г.Гачечиладзе, К.Г.Чкуасали, Учет корреляций в методе кластерных компонентов для бинарных сплавов . . . . .   | 207 |



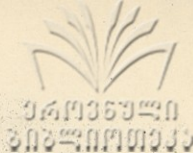


შ ი ნ ა ა რ ს ი

1. ნ. ქობულაძე, ინფორმაციური მიჯრისქვეშის დიაგნოსტიკა  
წარმოების პროცესში . . . . . 15
2. ნ. ბოკუჩავა, არანორმალური პროცესების მოქცევა და  
კვლევის ინფორმაციული კრიტერიუმები . . . . . 25
3. გ. ცერცვაძე, სტატისტიკური განაწილების დამყარების  
სიჩქარის შეფასება გურის ორგანიზაციული დანი შამაშის  
ერთ მოდულიკაციაში . . . . . 34
4. ჯ. ჟვრაცაძე, ფორმების არანორმული შეფერვის ერთი ამოცა-  
ნის ამოხსნის არსებობის შესახებ . . . . . 45
5. ე. სიმონიძე, თ. წიგნისანი, ჭეჭეჭების გამოკვლევა  
ერთგვარობაზე ფიქსირებული ღირებულების ერთეულზე ს  
მიმართ . . . . . 47
6. შ. ბებიაშვილი, თ. ნაბიჩიშვილი, გ. ჯაჯავა, ნ. ქობულაძე,  
დარღვევითი წრეების პარამეტრული საინფორმაცია . . . 60
7. თ. ჯარაგბელია, მიკროდინამიკური კალკულური დამატ-  
ების ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი . . . . . 99
8. ს. ცაგარელი, ი. დოიჯაშვილი, ც. დეშავა, ნ. გაგოშიძე, ე. გორ-  
გაძე, ჰიპოკაპის სხვადასხვა უბნების რელი დამკვეთის  
რეფერენსი და ენციკლოპედიური მუხისებრებაში . . . . . 114
9. გ. ვეფრიანი, ი. დოიჯაშვილი, ე. გორგაძე, კუნიის თითის-  
ფარას დამკვეთის კონტინუირება და დამკვეთებზე  
ანტიფორმული სტრუქტურის ხანგრძლივობაზე . . . . . 128
10. ა. კალიშვილი, წარმოების წიგნი გეგმის შედგენის ალგო-  
რიტში . . . . . 154
11. ი. ფილიპოვი, ენერგოსის ფუნქციის მკვლევარის ფიქსირ-  
დარი შეფასების და მათი გამოკვლევის მეთოდის  
მეთოდი . . . . . 163

|   |     |
|---|-----|
| 12. გ.ოპილაძე, დ.ფანჩაველი, სიკვასიის რელიეფის განმარტების ბუნების გამოხატულებაში . . . . .   | 182 |
| 13. ე.ბიქვიანი, სიკვასიის მარცვლოვანი სტრუქტურისა და მარცვლის ფორმირების სტრუქტურის ბუნების განსაზღვრა მათემატიკური მეთოდების გამოყენებით (ჩაჩუქის სალი-ტრასტის ვენის მასალაზე) . . . . . | 192 |
| 14. რ.ხომერიკი, სწავლებლის ერთი მოქმედების შესახებ . . . . .  | 206 |
| 15. თ.გაჩეჩილაძე, კ.ჭაბუასელი, აორქვასიების გათვალისწინება კლასიკურად აღმართვითა და მეთოდური დინამიკური შენა-გნობების საფუძვლის . . . . .   | 223 |





|   |     |
|---|-----|
| 1. N.Kobuladze, Diagnosis of the integrated circuits in the production process . . . . .  | 15  |
| 2. N.Bokuchava, Modelling of nonequilibrium processes and informational criteria of evolution . . . . .   | 25  |
| 3. G.Tsertsvadze, The rate of establishing stationary distribution in a certain modification of Guhr's two-dimensional game . . . . .   | 34  |
| 4. D.Peradze, On the existence of a solution of one problem of the non-linear theory of shells . . . . .  | 46  |
| 5. E.Simonishvili, T.Tsilosani, Text analysis for homogeneity of fixed linguistic units . . . . .   | 59  |
| 6. Sh.Bebiashvili, O.Namicheishvili, G.Kuchava, N.Kobuladze, Parametric reliability of redundant circuits . . . . .   | 73  |
| 7. Q.Kvaratskhelia, Complex algorithm of multiroute calendar planning problem solution . . . . .  | 100 |
| 8. S.Tsagareli, I.Doijashvili, Ts,Lezhava, N.Gagoshidze, E.Giorgadze, On the functional significance of different hippocampal areas in the mechanism of the avoidance reflex and emotional memory . . . . . | 115 |
| 9. Z.Metreveli, I.Doijashvili, E.Giorgadze, Dependence of the regularities of muscle spindle depression on the conditioned stimulus duration . . . . .  | 128 |
| 10. A.Ediberidze, An algorithm for compiling an annual production plan . . . . .  | 154 |
| 11. I.Pilipashvili, Psychological peculiarities of a power system operator and some methods of their identification . . . . .   | 164 |
| 12. G.Odiladze, L.Kanchaveli, The role of the situation in revealing the nature of set . . . . .  | 182 |



13. E.Mikeladze, Application of mathematical methods in determining the nature of the syllabic structure of words and of the phonemic structure of syllables (based on the data of the Chechen language) . . . . . 193
14. R.Khomeriki, About one learning model . . . . . 206
15. T.Gachechiladze, K.Chkuaseli, Correlations in the cluster components method for binary alloys . . . . . 223



Редактор издательства А.Абушвили

Подписано в печать 14.05.83 УЭ 03803

Бумага 60x84 I/16 Усл.печ.л. 14,5

Учетно-издат.л. 8,83 Тираж 300

Заказ 1244 Цена 90 коп.

Издательство Тбилисского университета, Тбилиси

380028, пр. И.Чавчавадзе, 14

თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა,

თბილისი, 380028, ი.ჭავჭავაძის პროსპექტი, 14.

Типография Тбилисского университета, Тбилиси

380028, пр. И.Чавчавадзе, 1

თბილისის უნივერსიტეტის სტამბა,

თბილისი, 380028, ი.ჭავჭავაძის პროსპექტი, 1.

2-3<sup>s</sup>/56

2

156725

საქართველოს  
საბჭოთავო