

630<sup>x</sup>  
M54

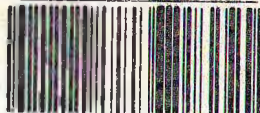
Министерство высшего и среднего специального образования БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

Кафедра тяговых машин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ  
ПО КУРСУ "ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ"  
для студентов спец. 0519

Минск 1984



0000003066196

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания включают комплекс вопросов, изложенных в виде лабораторных работ с использованием ЭВМ "МН-7", "Мир-1", "ЭМУ-10". Целью выполнения этих работ является привитие студентам навыков выполнения расчетных исследований и инженерных расчетов с помощью вычислительной техники.

Методические указания содержат три лабораторные работы, в которых изложена методика их выполнения с необходимыми исходными данными по нескольким вариантам.

Лабораторная работа № 1  
 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТРАНСПОРТНУЮ  
 СИСТЕМУ СО СТОРОНЫ МИКРОПРОФИЛЯ ВОЛОКА

Цель работы: изучить основные виды и характеристики внешних возмущений на лесные машины со стороны микронеровностей пути, научиться моделировать их на ЭВМ и применять полученные знания при исследовании динамики машин.

Оборудование: аналоговая вычислительная машина "ЭМУ-10"; клавишная вычислительная машина, регистрирующий прибор (осциллограф или самописец).

Методика выполнения работы

Специальные лесные машины, предназначенные для транспортировки леса, работают в сложных условиях, подвергаясь воздействию различных факторов. Основным источником возникновения динамических нагрузок на их ходовую часть являются микронеровности почвы и препятствия в виде поваленных деревьев, пней, камней, корней и др.

Экспериментальные исследования показали, что все внешние воздействия на ходовую часть со стороны участка, по которому движется машина, можно свести, в основном, к трем видам воздействий: единичные, периодически повторяющиеся и случайные.

Как случайный обычно рассматривают микропрофиль пути при исследовании вертикальной динамики машин, передвигающихся на значительные расстояния (более 1000 м).

Машины, работающие в условиях лесосек, как правило,

проходит в экспериментальных условиях расстояния от 100 до 500 м. На этих участках наибольшее значение имеют внешние воздействия в виде единичных и периодически повторяющихся неровностей.

Аналитическое выражение функции микропрофиля для единичного препятствия часто принимает в следующем виде:

$$h = \begin{cases} h_0(1 - \cos \omega t), & \text{при } t < \frac{2l}{\omega}; \\ 0, & \text{при } t \geq \frac{2l}{\omega}; \end{cases} \quad (1)$$

где  $h$  - вертикальная ордината неровности в момент времени  $t$ ;  
 $\omega$  - частота внешнего воздействия;  $h_0$  - средняя высота неровности.

Если движение принято равномерным, то частота  $\omega$  определяется по формуле

$$\omega = 2\pi V/L_n, \quad (2)$$

где  $V$  - скорость движения машины;  $L_n$  - длина неровности.

Таким образом, единичное препятствие, описанное выражением (1), можно представить как косинусоиду, смещенную на величину  $h_0$ .

Аналитическое выражение функции микропрофиля для неровности повторяющихся препятствий имеет вид

$$h = h_0(1 - \cos \omega t). \quad (3)$$

Моделирование на АВМ уравнений (1) и (3) осуществляется в следующем порядке.

Пусть длина неровности  $L_n = 1$  м, скорость движения машины  $V = 2,0$  м/с, средняя высота неровности /ее смещение/  
 $h_0 = 0,05$  м.

1. Определяем частоту внешнего возмущения:

$$\omega = 2\pi V/L_n = 2\pi \cdot 2/1 = 12,56 \text{ рад/сек}$$

Уравнение для единичного препятствия примет вид

$$h = \begin{cases} 0,05 [1 - \cos(12,56 t)], & \text{при } t < 0,5; \\ 0, & \text{при } t \geq 0,5. \end{cases} \quad (4)$$

Уравнение для периодически повторяющихся препятствий:

$$h = 0,05 [1 - \cos(12,56 t)]. \quad (5)$$

2. Определим максимальные значения переменных:

$$h_{\max} = 0,05 \cdot 2 = 0,1 \text{ м}; h_{\text{ср}} = 0,05 \text{ м};$$

$$h_{\text{ср}} = 0,05 \cdot 12,56 = 0,628 \text{ м/с}; h_{\text{ср}} = 22 \cdot 0,05 = 7,88 \text{ м/с}^2$$

Структурная схема моделирования уравнений (4) и (5) приведена на рис. 1.



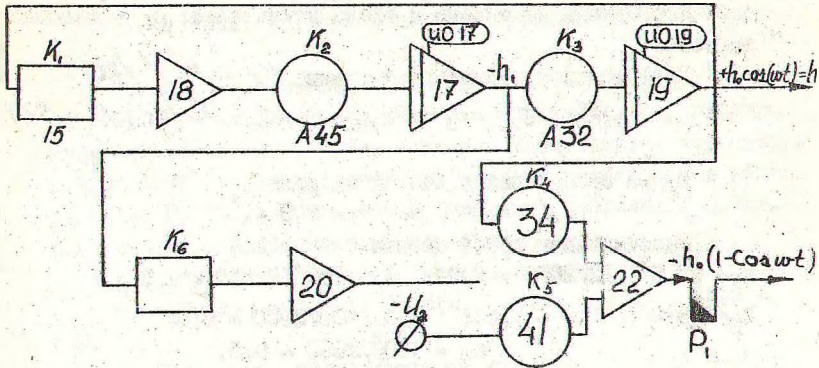


Рис. I

Структурная схема моделирования единичного и периодического воздействий.

Переменными в задаче являются  $h_1 = h_0 \cos(\omega t)$  и  $h_2 = h_0 \sin(\omega t)$ .

3. Для моделирования задачи на АВМ необходимо произвести масштабирование, так как напряжение в машине не должно быть больше 100 В.

$$S_{xi} = \frac{100}{x_{imax}}; \quad (6)$$

$$S_{h_1} = \frac{100}{0,1} = 1000 \text{ В/м}; \quad S_{h_2} = \frac{100}{0,05} = 2000 \text{ В/м};$$

$$S_{h_1}^{\cdot} = \frac{100}{0,628} = 150 \text{ В/1/с}; \quad S_{h_2}^{\cdot} = \frac{100}{7,88} = 12.$$

Для замедления решения задачи на АВМ принимаем масштаб времени  $S_t = 10 \text{ с. маш/с}$ .

4. Коэффициенты передачи усилителей рассчитываем по формулам:  
для интеграторов

$$K_u = K_{y_i} \cdot S_{l_{ix}} / (S_{t_x} \cdot S_t); \quad (7)$$

для сумматоров

$$K_z = K_{yp} \cdot S_{in1} / S_{in}, \quad (8)$$

где  $K_{yp}$  - коэффициент дифференциального уравнения перед переменной, которая подается на усилитель;  $S_{in1}$  и  $S_{in}$  - масштабы переменных на выходе и входе усилителей;  $S_t$  - масштаб времени.

Коэффициенты структурной схемы:  $K_1 = \omega^2 \cdot S_{i1} / S_{i1}$ ;  
 $K_2 = S_{i1} / (S_{i1} \cdot S_{i2})$ ;  $K_3 = S_{i1} / S_{i1} \cdot S_{i2}$ ;  $K_4 = S_{i2} / S_{i1}$ ;  $K_5 = S_{i1} / S_{i1}$

Время срабатывания контактов реле  $P_1$ :

$$t = 2\pi \cdot S_t / \omega = 5,3 \text{ с.}$$

Рассчитываем коэффициенты:

$$K_1 = 12,5^2 \cdot 12 / 2000 = 0,94; \quad K_2 = 150 / 12 \cdot 10 = 1,25;$$

$$K_3 = 2000 / 150 \cdot 10 = 1,34; \quad K_4 = 1000 / 2000 = 0,5;$$

$$K_5 = 1000 / 2000 = 0,5.$$

Б. Для правильной работы модели необходимо задать начальные условия в виде напряжений  $U_{017}$  и  $U_{019}$ .

При  $t = 0$ , согласно уравнению (4),  $l = 0$ . При этом выражение  $h_0 \cos \omega t$  равно  $h_0$ , т.е.  $h_{max}$  в наших обозначениях.

Тогда  $U_{019} = h_{max} \cdot S_{i1} = 0,05 \cdot 2000 = 100 \text{ В.}$

При  $t = 0$  выражение  $h_0 \sin \omega t$  равно нулю, поэтому  $U_{017} = 0$ .

Напряжение  $U_2$  определяем исходя из того, что оно должно формировать постоянный сигнал  $h_0$ .

$$U_2 = -h_{max} \cdot S_{i1} = -0,005 \cdot 2000 = -100 \text{ В.}$$

Результаты расчетов сводим в табл. I.

Т а б л и ц а I  
 Коэффициенты для набора задачи

Обозначения коэффициентов	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
Численные значения	0,94	0,125	0,134	0,5	0,5
Номера сопротивлений и номер входа	A15xI	A45xI	A32xI	A24xI	A41xI

После набора задачи на наборном поле и пуска машины в режиме "Счет" на выходе контактов  $P_1$  наблюдается имитируемый микропрофиль.

Для решения задачи с непрерывным периодическим микро- профилем достаточно отключить кварцевый генератор и снимать напряжение непосредственно с выхода усилителя 22.

Порядок выполнения работы

1. По табл. 2 выбрать исходные данные для моделирования.
2. Пользуясь методикой выполнения работы, определить частоту  $\omega$ , максимальные значения, составить структурную схему моделирования, произвести масштабирование, рассчитать коэффициенты передачи усилителей, время обрабатывания контактов реле  $P_T$ . С учетом масштаба времени, напряжения начальных условий и постоянные напряжения  $U_2$ .
3. Результаты расчетов з аести в таблицу.
4. Набрать задачу на наборном поле, вставить поле в АВМ.
5. Подключить регистрирующие приборы.
6. После проверки схемы преподавателем пустить машину с шагом  $t = 1,0$  с (это- машинное время, соответствующее реальному времени  $T = t/S_L = 1/10 = 0,1$  с) и, пользуясь вольтметром, снять решение.
7. С учетом масштаба  $S_L$  построить график полученного микропрофиля в реальном времени.
8. Установив новые значения коэффициентов, согласно заданию, повторить решение.

Т а б л и ц а 2

Исходные данные к лабораторной работе № 1

Наименование параметров	Обозначение и размеры	Вариант			
		1	2	3	4
Высота неровностей $h = 2h_0$	$h, м$	0,05	0,10	0,16	0,20
Длина неровностей	$L_n, м$	1,0	0,50	0,75	1,0
Скорость движения	$v, м/с$	2,0	1,5	1,0	0,5
		2,1	1,6	1,1	0,6
		2,2	1,7	1,2	0,7

9. Аналогично решить задачу с непрерывно периодическим воздействием.



Содержание отчета

1. Исходные данные к лабораторной работе. 2. Выполненные расчеты. 3. Структурная схема моделирования. 4. Результаты расчетов коэффициентов и их номера. 5. Полученные графики.

Лабораторная работа № 2  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ОСТОВА ТРАКТОРА

Цель работы: научиться моделировать колебания остова трелевочного трактора на АВМ и выбирать параметры системы.

Оборудование: аналоговая машина ЭМУ-10, клавишная вычислительная машина.

Методика выполнения работы

Правильный выбор конструктивных параметров специальной лесной машины имеет важное значение для сокращения сроков доводочных испытаний. Для машин, проектируемых на базе колесных тракторов, необходимо исследовать вертикальные колебания остова для оценки его динамической нагруженности.

Для этого можно воспользоваться расчетной схемой, представленной на рис. 2а.

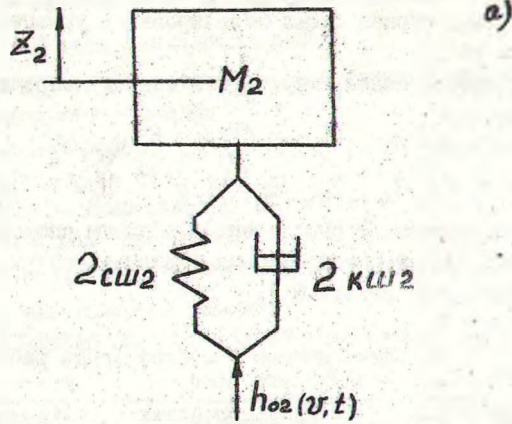
При составлении расчетной схемы сделаны следующие основные допущения: 1) силы неупругого сопротивления в шинах считаются пропорциональными скорости колебаний; 2) колебания машины рассматриваются в предельной вертикальной плоскости; 3) влияние сил тягового сопротивления учитывается изменением положения центра тяжести; 4) колебания передней части остова машины не учитываются, т.к. считается, что коэффициент распределения подрессоренных масс близок к единице.

Тогда уравнение, описывающее колебания системы, будет иметь следующий вид:

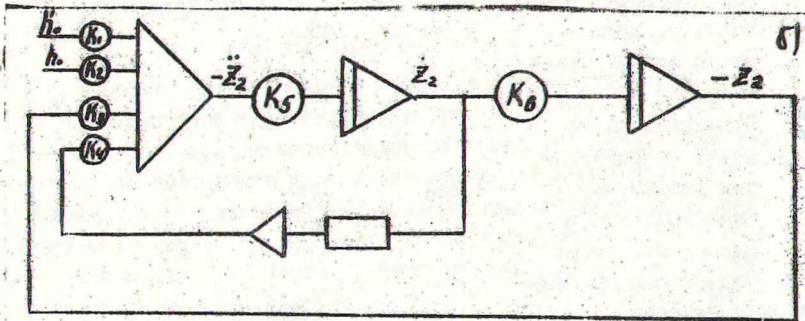
$$\ddot{z}_2 + 2k_2 \dot{z}_2 + \omega_2^2 \cdot z_2 = 2k_2 \cdot h_0(v, t) + \omega_2^2 \cdot h_0(v, t) / g$$

где  $2k_2 = 2C_{w2} / M_2$ ;  $\omega_2^2 = 2C_{w2} / M_2$ ;  $M_2 = (a^2 - \rho^2) m / L$ ,

$m$  - масса остова машины;  $a$  - расстояние от передней оси до центра тяжести;  $\rho$  - радиус инерции машины;  $L$  - база машины;  $h_0(v, t)$  и  $h_0(v, t)$  - скорость и амплитуда изменения высоты неровностей под задними колесами.



Расчетная схема колебаний остова колесной машины



Структурная схема моделирования колебаний остова колесной машины

Рис. 2



Для исследования колебаний остова машины используем исходные данные, приведенные в табл. 3.

Структурная схема моделирования уравнения (9) приведена на рис. 2

Коэффициенты структурной модели определяются по формулам:

$$K_1 = 2h_2 S_{z_2} / S_{h_0}; K_2 = \omega_2^2 S_{z_2} / S_{h_0}; K_3 = \omega_2^2 S_{z_2} / S_{z_2};$$

$$K_4 = 2h_2 S_{z_2} / S_{z_2}; K_5 = S_{z_2} / S_{z_2} \cdot g_L; K_6 = S_{z_2} / S_{z_2} \cdot S_L;$$

Масштабы  $S_L$  определяются обычным способом. Внешнее воздействие  $h_0$  и  $h_0$  подается на модель со схемы, набранной в лабораторной работе № 1.

Т а б л и ц а 3  
Исходные данные к лабораторной работе № 2

Наименование параметров	Обозначение	Варианты			
		I	2	3	4
Суммарная радиальная жесткость задних шин, кН/м	2 СМ <sub>2</sub>	450			
Масса остова трактора, кг	m	33,8			
Суммарный коэффициент сопротивления шин, кН·с/м	2 КМ <sub>2</sub>	5,4			
База трактора, м	L	2,37			
Расстояние от передней оси до центра тяжести	a	1,682			
Радиус инерции, м	ρ	1,0638			
Скорость движения, м/с	v				

Величина масштабов для зависимых и независимых переменных уравнения (9) приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4  
Масштабы переменных

Обозначения масштабов	$S_{z_2}$ (м/к²)	$S_{z_1}$ (м/с)	$S_z$ (м)	$S_{h_0}$ (м/с)	$S_{h_0}$ (м)	$S_L$ (с/мм/с)
Числовые значения	1	10	1000	25	1000	10

Рассчитав коэффициенты усилителей, набирают задачу на АВМ и производят решение.

#### Порядок выполнения работы

1. Составить и набрать структурную схему моделирования.
2. Рассчитать коэффициенты.
3. Установить коэффициенты для всех усилителей.
4. Решить задачу на АВМ.
5. Повторить решение для других скоростей движения.
6. Определить резонансную скорость движения по величине максимальных значений ускорений  $\ddot{z}_z$  и перемещений  $z_z$ .

#### Лабораторная работа № 3

#### СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ

Цель работы: изучить основные статистические показатели стационарных случайных функций применительно к процессам, происходящим при экспериментальных исследованиях лесных машин; освоить методику расчета и практически определить статистические показатели на ЭВМ.

Оборудование: ЭВМ "Мир-1", "Мир-2".

#### Методика выполнения работы

Явления, изучаемые в технике, в большинстве случаев представляются в виде случайных процессов. Например, изменение скорости при движении автомобиля или трактора, колебания оператора на сидении машины, изменение величины крутящего момента на мостах трактора. В виде стационарного случайного процесса представляется также воздействие от неровностей дороги на колеса двигателя транспортных машин. При моделировании движения машин воздействие от неровностей необходимо представить в виде корреляционных функций и спектральных плотностей. Исходным материалом для их получения является получаемый в результате натурных замеров микропрофиль дороги. Для перехода от случайной функции  $k(s)$ , описывающей микропрофиль, к функции  $k(t)$  воздействия на машину, необходимо заменить ось  $s$  осью  $t$  с учетом скорости движения  $V$ . При единичной скорости движения  $V = 1$  м/с ось  $s$  является одновременно и осью  $t$ .

Таким образом, случайные воздействия от неровностей дороги или другие случайные процессы представляются перво-

начально в виде массива чисел, задаваемых через определенные интервалы времени. Их дальнейшая обработка включает последовательное получение соответствующих статистических характеристик и критериев.

К числовым характеристикам, выражающим наиболее существенные особенности распределения случайной величины, относятся: математическое ожидание  $m_n$ , дисперсия  $D[H]$ , среднеквадратичное отклонение  $\sigma_n [1,2]$ .

Математическое ожидание определяется выражением

$$m_n = \sum_{i=1}^n h_i \cdot p_i, \quad (10)$$

где  $n$  - число возможных значений  $h_1, h_2, \dots, h_n$  случайной величины  $H$  с вероятностями  $p_1, p_2, \dots, p_n$

Дисперсия случайной величины, являющаяся характеристикой рассеивания около ее математического ожидания, определяется по формуле

$$D[H] = \sigma_n^2 = \sum_{i=1}^n (h_i - m_n)^2 \cdot p_i. \quad (11)$$

Для центрированных случайных величин  $m_n = 0$ , и в этом случае выражение для дисперсии имеет вид

$$\sigma_n^2 = \sum_{i=1}^n p_i \cdot h_i^2. \quad (12)$$

Значительное число случайных процессов в технике подчиняется нормальному закону распределения, при котором функция, характеризующая плотность вероятности /дифференциальная функция распределения/, выражается следующим образом:

$$f(k) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(k-m_n)^2}{2\sigma_n^2}}. \quad (13)$$

Интегральная функция распределения равна

$$F(k) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^k e^{-\frac{(k-m_n)^2}{2\sigma_n^2}} dk. \quad (14)$$

Проверка гипотезы о предполагаемом законе распределения производится с помощью непараметрических критериев значимости. Проверка нулевых гипотез относительно общего вида функции распределения производится с помощью критериев согласия  $\chi^2$  Пирсона или  $\lambda$  - критерия Колмогорова.

В практике наиболее часто проверяется соответствие генеральной совокупности нормальному закону распределения, что предварительно устанавливается с помощью критериев согласия, а затем, если нулевая гипотеза не отклонена, приме-



яются параметрические критерии.

В качестве приближенного критерия для предварительного выбора закона распределения могут быть использованы выборочные коэффициенты асимметрии и эксцесса. При этом определяются точечные оценки асимметрии  $A$  и эксцесса  $E$ :

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N (k_i - \bar{k})^3}{N S_n^3}; \quad (15)$$

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N (k_i - \bar{k})^4}{N S_n^4}; \quad (16)$$

где  $\bar{k}$  - среднее выборочное значение случайной величины ( $\bar{k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i$ );  $S_n$  - выборочное среднеквадратичное значение случайной величины;  $N$  - объем выборки.

Среднеквадратичные отклонения показателей  $A$  и  $E$  равны:

$$S_A = \sqrt{6(N-1)/(N+2)(N+3)}; \quad (17)$$

$$S_E = \sqrt{24N(N-2)(N-3)/(N-1)^2(N+3)(N+5)}; \quad (18)$$

При соблюдении условия  $|A - m_A| < 3S_A$  и  $|E - m_E| < 3S_E$  считается, что нулевая гипотеза согласуется с экспериментальными данными.

Для нормального закона распределения математического ожидания  $m_A$  и  $m_E$  эксцесса и симметрии равны нулю. Тогда гипотеза нормальности принимается, если

$$|A| < 3S_A \quad \text{и} \quad |E| < 3S_E. \quad (19)$$

После предварительного выбора закона распределения следует применять критерии согласия  $\chi^2$  или критерий Л. Колмогорова.

Проверка нулевой гипотезы с помощью критерия  $\chi^2$  состоит в следующем.

Всю выборку разбивают на ряд частичных интервалов, длина которых определяется по формуле:

$$\Delta h = h_{max} - h_{min} / 1 + 3,2 \lg n.$$

Количество интервалов должно быть не более 15.

На основании гипотетической функции  $f(k)$  вычисляются вероятности попадания случайных величин  $k$  в частичные интервалы  $[k_{i-1}, k_i]$ :

$$P_i = f(k_i) - f(k_{i-1}); \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (20)$$

Критерий  $\chi^2$  вычисляется по формуле

$$\sum_{i=1}^k \frac{(m_i - Np_i)^2}{Np_i}, \quad (21)$$

где  $m_i$  - частоты.

Для того, чтобы проверить нулевую гипотезу, необходимо найти по таблицам квантилей  $\chi^2$  - распределения по заданному уровню значимости  $\alpha$  и числу степеней свободы  $\nu = k - z$ ; (где  $k$  - число частичных интервалов;  $z$  - число параметров гипотетической функции  $f(x)$ , оцениваемых по данным выборки) критическое значение  $\chi_{\alpha, \nu}^2$ , удовлетворяющее условию.

$$P(\chi^2 \geq \chi_{\alpha, \nu}^2) = \alpha. \quad (22)$$

Критерий Колмогорова  $\lambda$  применяется для проверки гипотез о законах распределения только непрерывных случайных величин. В отличие от критерия  $\chi^2$ , когда сравниваются эмпирические и теоретические частоты распределения, при применении критерия Колмогорова сравниваются эмпирическая и гипотетическая функции распределения.

Если подтверждается гипотеза о том, что исследуемая случайная величина  $k$  имеет непрерывную функцию распределения  $F(k)$ , то проверка с помощью критерия  $\lambda$  Колмогорова производится в следующей последовательности.

Располагают результаты наблюдения в возрастающем порядке или представляют в виде интервального статистического ряда, затем находят эмпирическую функцию распределения  $F^*(k) = \frac{n_k}{n}$ , (где  $n_k$  - число  $k_i$  меньших  $k$ ) и вычисляют по наблюдаемым значениям  $k_i$  теоретическую функцию распределения  $F(k)$  (при использовании гипотетической функции распределения).

Для каждого значения  $k$  находят модуль разности  $|F^*(k) - F(k)|$ , после чего определяют наблюдаемое значение выборочной статистики  $\lambda$  Колмогорова, т.е.

$$\lambda = D\sqrt{N} = \max_k |F^*(k) - F(k)| \sqrt{N}. \quad (23)$$

Наблюдаемое значение выборочной статистики  $\lambda_{набл} = D\sqrt{N}$  с критическим значением  $\lambda_{\alpha}$  определяется по таблицам квантилей распределения Колмогорова по заданному уровню значимости.

Нулевая гипотеза подтверждается при соблюдении условия

$$D\sqrt{N} < \lambda_{\alpha}. \quad (24)$$

Во внутренней структуре между двумя случайными функциями может иметься существенное различие, которое не улавливается ни математическим ожиданием, ни дисперсией. Для описания внутренней структуры случайного процесса вводится специальная характеристика, называемая корреляционной функцией. Ее назначение - характеризовать степень зависимости между сечениями случайной функции, относящимися к различным  $t$ .

Корреляционная функция  $R(\tau)$  определяется по формуле

$$R(\tau) = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} [x_{ei} - \bar{x}] [x_{e(i+\tau)} - \bar{x}], \quad (25)$$

где  $x_{ei} - \bar{x} = H_{0ei}$  - значение центрированной случайной величины в момент времени  $t$ ;  $x_{e(i+\tau)} - \bar{x} = H_{0e(i+\tau)}$  - значение центрированной случайной величины в момент времени  $(t+\tau)$ .

Для сравнительного анализа используется безразмерная характеристика - нормированная корреляционная функция  $\rho(\tau)$ :

$$\rho = R(\tau) / R(0), \quad (26)$$

где  $R(0)$  - значение корреляционной функции при  $\tau = 0$ , т.е. дисперсия.

Статистическая обработка случайных процессов с помощью ЭЦВМ "Мир-2" рассмотрена на конкретном примере обработки микропрофиля автомобильной дороги, полученного по результатам натурального замера микропрофиля, произведенного с интервалом в 1 м.

Программа для статистической обработки микропрофиля дороги состоит из четырех частей.

Первая часть программы, приведенная в прилж. I, соответствует определению первичных статистических характеристик процесса:  $XB$  - математическое ожидание;  $SB$  - среднеквадратичное отклонение;  $V = \frac{m}{\sigma} \cdot 100$  - мера изменчивости;  $A$  - коэффициент асимметрии (мера косости);  $E$  - коэффициент эксцесса (мера крутости);  $S_{L0}$ ,  $S_{E0}$  - среднеквадратичные отклонения показателей  $A$  и  $E$ ;  $MIN$  и  $MAX$  - минимальное и максимальное значения элементов массива;  $L$  - число интервалов разбиения;  $H$  - величина интервала разбиения.

Вторая часть программы (см. прилож. 2) содержит:  $ZL \dots$  - границы интервалов разбиения;  $ML \dots$  - число членов массива в каждом интервале соответственно.



В прилож. 3 приведена третья часть программы:  $Z[I, 1]$  - начало каждого интервала;  $Z[I, 2]$  - конец каждого интервала;  $M[I]$  - частота /число членов массива в каждом интервале/;  $M1$  - накопленная частота;  $F\exists$  - эмпирическая функция распределения;  $F$  - гипотетическая функция распределения;  $D$  - разность  $F\exists$  и  $F$ ;  $P$  - теоретическая вероятность;  $XH2$  - критерий согласия;  $AK$  - критерий Колмогорова.

В прилож. 4 содержатся результаты статистической обработки массива случайных чисел, а в прилож. 6 (рис. 1-5) представлены соответствующие графические зависимости.

В прилож. 5 приведены данные, относящиеся к вычислению нормированной корреляционной функции  $PT$  /см. рис. 5 прилож. 6/.  
Порядок выполнения работы

1. С использованием рис. 3 для одного из вариантов произвести измерения и составить выборку значений случайной величины  $X$  с шагом  $I$  с.

2. Напечатать директивную часть программы I с использованием полученных исходных данных и выполнить вычисления. По формулам /14-17/ произвести предварительную оценку закона распределения, используя  $A$ ,  $E$ ,  $S_A$  и  $S_E$ .

3. Произвести расчеты с помощью второй части программы, используя определенные максимальные и минимальные значения выборки и длину интервала разбиения  $H$ .

4. Ввести в третья часть программы полученные границы интервалов, число членов массива  $M$ , соответствующее каждому интервалу, специальную величину  $C_4$ , а также вычисления в первой части значения математического ожидания  $X_0$  и среднеквадратичного отклонения  $S_0$ . По данным таблицы построить гистограмму /прилож. 6, рис. 1/, график накопленных частот /прилож. 6., рис. 2/, эмпирическую гипотетическую функцию распределения /рис. 3/, теоретическую вероятность распределения /рис. 4/.

5. Произвести расчет корреляционной функции  $PT$  с помощью четвертой части программы. Построить график нормированной корреляционной функции /рис. 5/.

#### Содержание отчета

1. Методика расчета статистических показателей случайного процесса. 2. Исходные данные по выбранному варианту. 3. Программа расчета на ЭВМ "Мир-2". 4. Распечатки результ-

татов расчета. 5. Рисунки по результатам расчета: а/ гистограмма плотности вероятности; б/ график распределения случайной величины; в/ функция распределения; г/ теоретическая кривая распределения; д/ нормированная корреляционная функция.

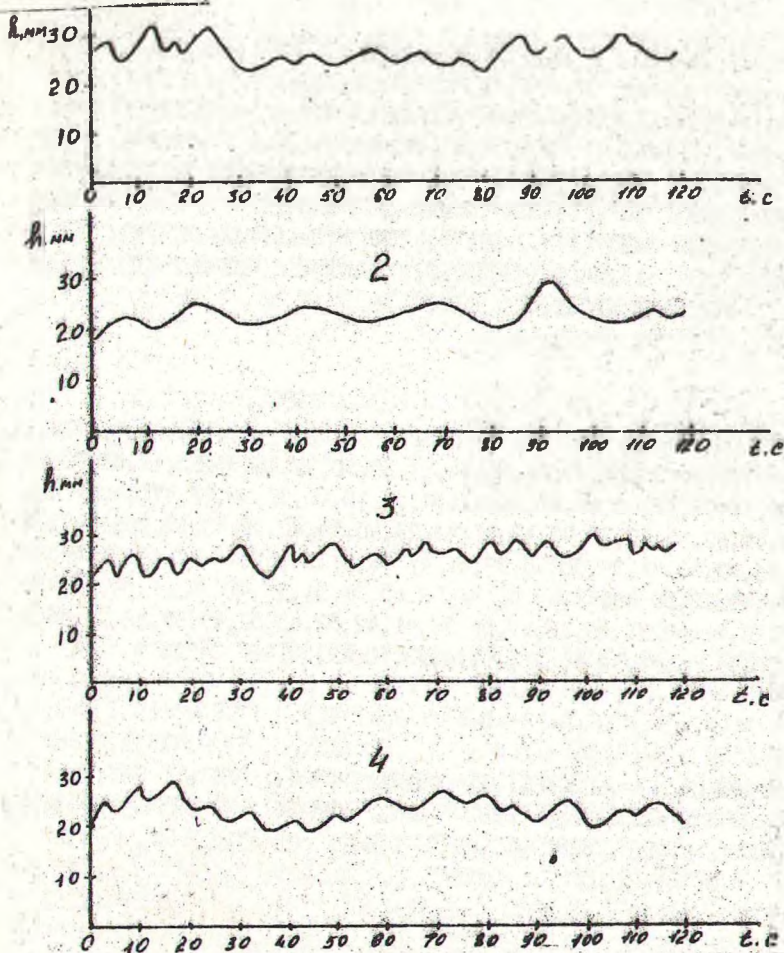


Рис. 3. Исходные данные для выполнения лабораторной работы Р 3 (варианты I-4).

ПРОГРАММА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЛУЧАЙНЫХ  
ПРОЦЕССОВ НА ЭВМ "МИР-2"

Приложение I

"ПУСТ" П ВЗР.  $XB = \sum(I=1, N, X[I]) / N$ ;  $SX = \sqrt{(\sum(I=1, N, (X[I] - XB)^2) / (N-1))}$ ;  $V = SX / XB \times 100$ ; "ВЫВ" XB, "ПРОБ" 2, SX, "ПРОБ" 2, V;  $A = \sum(I=1, N, (X[I] - XB)^3) / (N \times SX^3)$ ;  $E = \sum(I=1, N, (X[I] - XB)^4) / (N \times SX^4) - 3$ ;  $SA = \sqrt{(6 \times (N-1) / ((N+1) \times (N+3)))}$ ;  $SE = \sqrt{(24 \times N \times (N-2) \times (N-3) / ((N-1)^2 \times (N+3) \times (N+5)))}$ ; "ВЫВ" A, "ПРОБ" 2, E, "ПРОБ" 2, SA, "ПРОБ" 2, SE; "ДЛ" I=1 "Ш" 1 "ДО" N "ВЫП" ("ЕС" X[I] < МИН "ТО" МИН=X[I] "ИНАЧЕ" "ЕС" X[I] > МАХ "ТО" МАХ=X[I] "ИНАЧЕ" У=У); "ВЫВ" МИН, "ПРОБ" 2, МАХ;  $H = (МАХ - МИН) / (1 + 3.2 \times LG(N))$ ; "ВЫВ" H;  $\Pi = \xi((МАХ - МИН) / H)$ ; "ВЫВ"  $\Pi$ ; "ЕС"  $\Pi > 15$  "ТО" ( $\Pi = 15$ ;  $H = (МАХ - МИН) / 15$ ); "ВЫВ" H;  $C1 = (МИН - H / 2 - XB) / SX$ ;  $C2 = (МАХ + H / 2 - XB) / SX$ ; "ВЫВ" C1, C2 "КОН" 0

"ВЫП" N=150; МИН=41; МАХ=49; "НА" П ВЗР "ГДЕ" X[150]=41, 49, 32, 44, 40, 43, 44, 48, 47, 36, 49, 52, 55, 53, 54, 50, 44, 57, 39, 50, 49, 48, 37, 32, 49, 45, 52, 44, 51, 49, 56, 52, 47, 38, 47, 47, 36, 47, 54, 53, 40, 40, 39, 50, 46, 47, 44, 44, 49, 56, 43, 49, 62, 45, 43, 26, 43, 43, 42, 46, 38, 48, 44, 43, 50, 48, 43, 46, 40, 51, 41, 47, 56, 43, 43, 41, 39, 50, 36, 39, 41, 47, 48, 51, 61, 54, 48, 47, 45, 39, 46, 48, 47, 56, 48, 52, 50, 48, 42, 44, 51, 46, 50, 45, 51, 51, 53, 47, 50, 51, 34, 36, 48, 42, 42, 46, 41, 40, 39, 46, 36, 39, 56, 56, 41, 42, 52, 43, 52, 48, 39, 42, 36, 46, 40, 41, 50, 51, 49, 46, 40, 48, 41, 59, 35, 52, 50, 43, 44, 40 "КОН" 0

$XB = .458066_{\text{E}2}$   $SX = .608058_{\text{E}1}$   $V = .132744_{\text{E}20}$   $A = -.105657_{\text{E}0}$   $E = .135740_{\text{E}0}$   $SA = .196712_{\text{E}0}$   $SE = .385691_{\text{E}0}$  МИН=26 МАХ=62 H=.452063<sub>E1</sub>  
 $\Pi = .452063_{\text{E}1}$  C1=-.362907<sub>E1</sub> C2=.303485<sub>E1</sub> 0



Приложение 2

"ПУСТ"ПКС:СЧ=1;Z[1,1]=МИН-N/2;Z[1,2]=МИН+N/2;"ДЛ"Г=2"Ш"1"ВЫП"(СЧ=СЧ+1;Z[1,1]=Z[1-1,2];Z[1,2]=Z[1,1]+N;"ЕС"Z[1,2]<МАХ"ТО"(У=У;"НА"Л2)"ИНАЧЕ""НА"Л1;L2.);L1:"ДЛ"Г=1"Ш"1"ТО"СЧ"ВЫП"(MГI)=0;"ДЛ"J=1"Ш"1"ДО"Н"ВЫП""ЕС"XГJ>Z[1,1]"И"XГJ<Z[1,2]"ТО"МI]=MГI)+1"ИНАЧЕ"У=У);"ВЫВ""МАСС"Z,"МАСС"М,"СТР","СЧ"КОН"0

"ВЫП"N=150;МИН=26;МАХ=62;N=452063<sub>2</sub>1;"НА"ПКС"ГДЕ"М[9];Z[9,2];X[150]=41,49,32,44,40,43,44,48,47,36,49,52,55,53,54,50,44,57,39,50,49,48,37,32,49,45,52,44,51,49,56,52,47,38,47,47,36,47,54,53,40,40,39,50,46,47,44,44,49,56,43,49,62,45,43,26,43,43,42,46,38,48,44,43,50,48,43,46,40,51,41,47,56,43,43,41,39,50,36,39,41,47,48,51,61,54,48,47,45,39,46,48,47,56,48,52,50,48,42,44,51,46,50,45,51,51,53,47,50,51,34,36,48,42,42,46,41,40,39,46,36,39,56,56,41,42,52,43,52,48,39,42,36,46,40,41,50,51,49,46,40,48,41,59,35,52,50,43,44,40"КОН"0

Z[9,2]=4237397<sub>2</sub>, 282603<sub>2</sub>, 282603<sub>2</sub>, 327810<sub>2</sub>, 327810<sub>2</sub>, 373017<sub>2</sub>, 373017<sub>2</sub>, 418224<sub>2</sub>, 418224<sub>2</sub>, 463431<sub>2</sub>, 463431<sub>2</sub>, 508638<sub>2</sub>, 508638<sub>2</sub>, 553845<sub>2</sub>, 553845<sub>2</sub>, 599052<sub>2</sub>, 599052<sub>2</sub>, 644259<sub>2</sub>

M[9]=1,2,9,26,39,41,22,8,2  
СЧ=90

Приложение 3

"ВЫП""0"2;"ДЛ"Г=1"Ш"1"ДО"СЧ"ВЫП"XГI)=(Z[1,1]+Z[1,2])/ЛК=0;XИ2=0;I=0;M1=0;F=0;L2:I=I+1;"ЕС"Л<СЧ"ТО"(M1=M1+M[I];F=F+M1/N;B=Z[1,1];C=Z[1,2];"ЕСЛИ"Г=1"ИЛИ"Г=СЧ"ТО"Р=1<sub>2</sub>-3"ИНАЧЕ"(Р=1/(SX\*V(2\*Л)))\*(T=B,C,K,EXP(-(T-XB)/SX)12/2));F=F+P;D=ABS(F3-F);"ЕС"ЛК<Д"ТО"(ЛК=Д);XИ2=XИ2+(M[I]-N\*B)12/(N\*P);"ВЫВ""ТАБЛ"1,Z[1,1],Z[1,2],M[I],M1,F3,B,F,D);"ЕС"Г>СЧ"ТО"(НА"Л4)"ИНАЧЕ""НА"Л3;L4:"ВЫВ""СТР",ЛК,"ПРОБ"2,XИ2"ГДЕ"K=20;X1[9];M[9]=1,2,9,26,39,41,22,8,2;Z[9,2]=4237397<sub>2</sub>, 282603<sub>2</sub>, 282603<sub>2</sub>, 327810<sub>2</sub>, 327810<sub>2</sub>, 373017<sub>2</sub>, 373017<sub>2</sub>, 418224<sub>2</sub>, 418224<sub>2</sub>, 463431<sub>2</sub>, 463431<sub>2</sub>, 508638<sub>2</sub>, 508638<sub>2</sub>, 553845<sub>2</sub>, 553845<sub>2</sub>, 599052<sub>2</sub>, 599052<sub>2</sub>, 644259<sub>2</sub>;СЧ=9;N=150;XB=458066<sub>2</sub>;SX=608058<sub>2</sub>1"КОН"0

Приложение 4

"ТАБЛИЦА" 1

Z[I, 1]	Z[I, 2]	M[I]	M1	FЭ	P	F	Д
.237397 <sub>10</sub> 0	.282603 <sub>10</sub> 2	1	1	.666660 <sub>10</sub> -2	.100000 <sub>10</sub> -2	.100000 <sub>10</sub> -2	.566660 <sub>10</sub> -20
.282603 <sub>10</sub> 2	.327810 <sub>10</sub> 2	2	3	.200000 <sub>10</sub> -1	.141344 <sub>10</sub> -1	.151344 <sub>10</sub> -1	.486560 <sub>10</sub> -20
.327810 <sub>10</sub> 2	.373017 <sub>10</sub> 2	9	12	.800000 <sub>10</sub> -1	.648532 <sub>10</sub> -1	.799876 <sub>10</sub> -1	.124000 <sub>10</sub> -40
.373017 <sub>10</sub> 2	.418224 <sub>10</sub> 2	26	38	.253333 <sub>10</sub> 0	.175193 <sub>10</sub> 0	.255180 <sub>10</sub> 0	.184700 <sub>10</sub> -20
.418224 <sub>10</sub> 2	.463431 <sub>10</sub> 2	39	77	.513333 <sub>10</sub> 0	.278991 <sub>10</sub> 0	.534171 <sub>10</sub> 0	.208380 <sub>10</sub> -10
.463431 <sub>10</sub> 2	.508638 <sub>10</sub> 2	41	118	.786660 <sub>10</sub> 0	.262058 <sub>10</sub> 0	.796229 <sub>10</sub> 0	.956900 <sub>10</sub> -20
.508638 <sub>10</sub> 2	.553845 <sub>10</sub> 2	22	140	.933330 <sub>10</sub> 0	.145185 <sub>10</sub> 0	.941414 <sub>10</sub> 0	.808400 <sub>10</sub> -20
.553845 <sub>10</sub> 2	.599052 <sub>10</sub> 2	8	148	.986660 <sub>10</sub> 0	.474061 <sub>10</sub> -1	.988820 <sub>10</sub> 0	.216000 <sub>10</sub> -2
.599052 <sub>10</sub> 2	.644259 <sub>10</sub> 2	2	150	.100000 <sub>10</sub> 1	.100000 <sub>10</sub> -2	.989820 <sub>10</sub> 0	.101800 <sub>10</sub> -1
NR=.208380 <sub>10</sub> -1	NR=.649139 <sub>10</sub> 90						

Приложение 5

"ПУСТ"КО РФ. "ДЛ"Г=1"Ш"1"Ю"Н"ВЫП"X[I]=X[I]-ХВ; "ДЛ"М=0"Ш"1"ДО"Н-1"  
 ВЫП"(РГ=X(I=1, N-M, X[I]×X[I+M])/(N-M); "Е"М=0"ГО"(РО=РГ); РГ=РГ/РО;  
 Г=М×ЛГ; "ВЫВ"ТАБЛ"1, Г, РГ); У=У"КОН"0

"ВЫП"N=150; ХВ=.458066<sub>10</sub>2; "НА"Ю РФ"ГД"X[150]=41, 49, 32, 44, 40, 43, 44,  
 48, 47, 36, 49, 52, 55, 53, 54, 50, 44, 57, 39, 50, 49, 48, 37, 32, 49, 45, 52, 44, 5  
 1, 49, 56, 52, 47, 38, 47, 47, 36, 47, 54, 53, 40, 40, 39, 50, 46, 47, 44, 44, 49, 56  
 , 43, 49, 62, 45, 43, 26, 43, 43, 42, 46, 48, 44, 43, 50, 48, 43, 46, 40, 51, 41,  
 47, 56, 43, 43, 41, 39, 50, 36, 39, 41, 47, 48, 51, 61, 54, 48, 47, 45, 39, 46, 48, 4  
 7, 56, 48, 52, 50, 48, 42, 44, 51, 46, 50, 45, 51, 51, 53, 47; 50, 51, 34, 36, 48, 42  
 , 42, 46, 41, 40, 39, 46, 36, 39, 56, 56, 41, 42, 52, 43, 52, 48, 39, 42, 36, 46, 40,  
 41, 50, 51, 49, 46, 40, 48, 41, 59, 35, 52, 50, 43, 44, 40; ДГ=1"КОН"0

"ТАБЛИЦА"1

Г	РГ
0	.100000 <sub>10</sub> 10
1	.137851 <sub>10</sub> 00
2	.826405 <sub>10</sub> -10
3	-.491145 <sub>10</sub> -20
4	-.145363 <sub>10</sub> -10
5	-.206513 <sub>10</sub> -10
6	-.193118 <sub>10</sub> 00
7	-.199381 <sub>10</sub> -20
8	-.119632 <sub>10</sub> 00
9	-.211542 <sub>10</sub> -10
10	-.681368 <sub>10</sub> -30
11	-.873839 <sub>10</sub> -10
Г2	-.111451 <sub>10</sub> 00
13	.128852 <sub>10</sub> 00
14	.127563 <sub>10</sub> 00
15	-.109755 <sub>10</sub> -10



Приложение 6

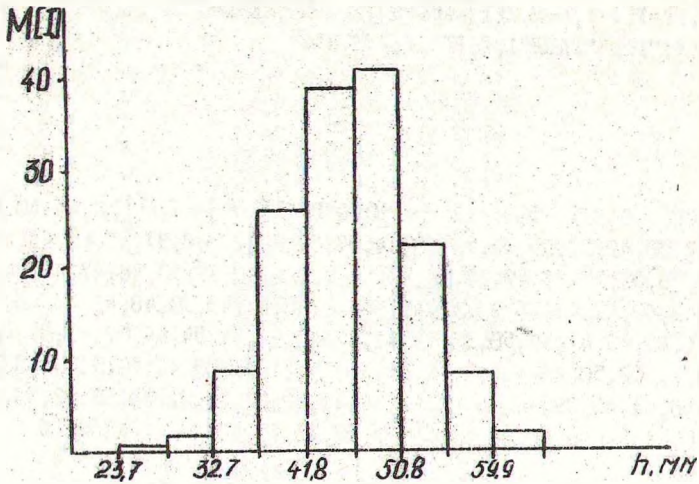


Рис. 1. Гистограмма плотности вероятностей случайной величины

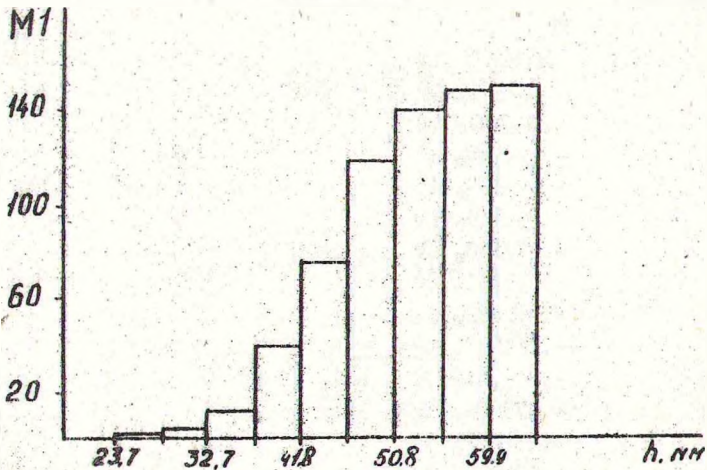


Рис. 2. Ступенчатый график распределения случайной величины

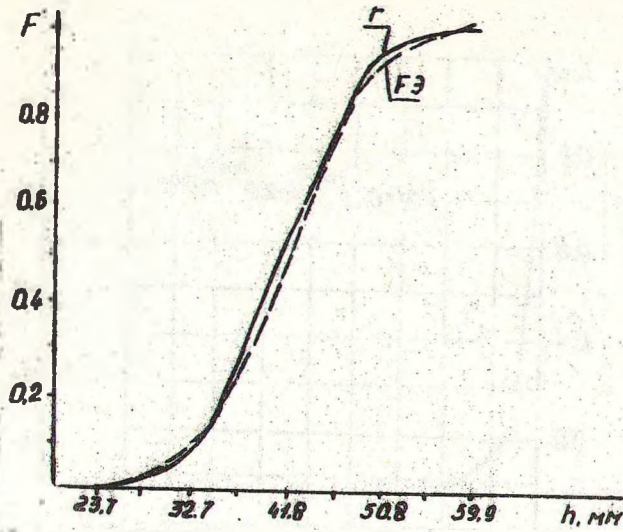


Рис. 3. Функции распределения.

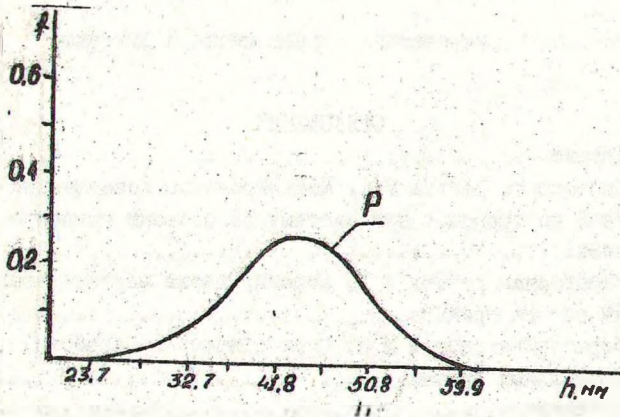


Рис. 4. Теоретическая кривая распределения.

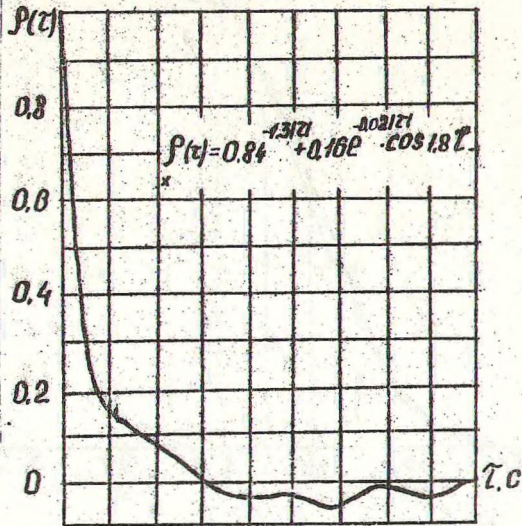


Рис. 5. Нормированная корреляционная функция

### ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....

Лабораторная работа № 1. Моделирование возмущающих воздействий на транспортную систему со стороны микропрофиля волокна.....

Лабораторная работа № 2. Моделирование вертикальных колебаний остова трактора.....

Лабораторная работа № 3. Статистическая обработка экспериментальных кривых.....

Приложения.....



Составители: Анатолий Васильевич Жуков  
Алексей Владимирович Гермацкий, Василий Антонович Симанович

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ  
ПО КУРСУ "ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ"

Редактор И.В.Старовойтова. Корректор О.Ю.Ромаева.

Подписано в печать 21.12.84. Формат 60x84<sup>1</sup>/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,5. Усл. кр.-отт. 2,5. Уч.-изд. л. 1,3.

Тираж 150 экз. Заказ 697. Бесплатно.

Отпечатано на роталпринте Белорусского ордена Трудового  
Красного Знамени технологического института им. С.М.Кирова.

220630. Минск, Свердлова, 13.