МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

Вычислительный центр

В. Е. Федорченко

# Моделирование равномерных псевдослучайных чисел на машине «Сетунь»

Серия:
Математическое обслуживание
машины «Сетунь»

Под общей редакцией Е.А.Жоголева

Выпуск 15

Издательство Московского
Университета
1966

Содержание

## Введение

Решение ряда задач (многомерные задачи алгебры, кратные интегралы, задачи математической физики) детерминированными алгоритмами на машине «Сетунь» затруднено из-за относительно малой ёмкости памяти. Методы статистических испытаний (Монте-Карло), являясь крайне простыми в реализации, позволяют решить описанный круг задач с достаточной степенью точности. Кроме того, этот метод открывает широкие возможности для математического моделирования различных вероятностных систем. Поэтому методы Монте-Карло являются весьма перспективными для машины «Сетунь».

При решении задач методами Монте-Карло [1] возникает необходимость моделирования случайных величин с заданными законами распределения. Известно, что случайная величина с заданным законом распределения может быть получена из одной или нескольких случайных величин с равномерным законом распределения. Эта возможность вытекает из основного соотношения, связывающего случайную величину $X_i$ с заданным законом распределения и случайную величину $d_I$ с равномерным законом распределения [1]. Задача получения равномерно распределенных псевдослучайных чисел решается на АЦВМ либо программным способом с помощью некоторого рекуррентного соотношения, либо с помощью физических датчиков.

В данном выпуске приводится алгоритм получения псевдослучайных чисел равномерно распределенных в интервале [—1.5, +1.5] на машине «Сетунь». Программа получения псевдослучайных чисел оформлена в виде библиотечных подпрограмм в системах ИП—2, ИП—3, ПОЛИЗ (см.приложение). Кроме того, приводятся результаты статистического анализа псевдослучайной последовательности, полученной по предлагаемому алгоритму.

## §1. Описание алгоритма

Каждое следующее псевдослучайное число $\alpha_{i+1}$ образуется из предыдущего $\alpha_i$ с помощью рекуррентного соотношения:

$$\alpha_{i+1} = [4\alpha_i] \cdot mod3$$

Из множества чисел, сравнимых с $4\alpha_i$ по $mod3$, выбирается число, лежащее в интервале [—1.5, +1.5].Во избежание переполнения разрядной сетки умножение на 4 осуществляется в два этапа: умножение $\alpha_i$ на 3 с гашением старшего разряда и сложение результата с $\alpha_i$. Гашение старшего разряда полученного числа обеспечивает выполнение неравенства $|\alpha_{i+1}| < 1.5$.

Алгоритм реализуется шестикомандной программой:

1) $\alpha_i \Rightarrow (S)$
2) $C_{дв.}(S)\, на\, 1 \Rightarrow (S)$
3) $(S)+\alpha_i \Rightarrow (S)$
4) $(S)+\alpha_i \Rightarrow (S)$
5) $(S)\otimes const \Rightarrow (S)$
6) $(S)\Rightarrow \alpha_i$

$const = 0.444414444$. Результат получается на месте $\alpha_i$. Перед началом работы в ячейку $\alpha_i$ засылается начальное число $\alpha$. Первые семнадцать разрядов $\alpha_0$ произвольны, последний (восемнадцатый) разряд отличен от нуля. Это ограничение обеспечивает указанную ниже величину периода генерируемой последовательности.

## §2. Результаты статистического анализа.

### 2.1. Период

Период псевдослучайной последовательности:

$$\Pi = 3^{16} \approx 43\cdot 10^{6},$$

т.е. равен количеству всех различных шестнадцатиразрядных троичных чисел. (В данном алгоритме все числа содержат нуль в первом разряде и постоянное значение в последнем разряде. Остальные разряды пробегают всевозможные комбинации значений).

## 2.2. Математическое ожидание и дисперсия

Вычисление математического ожидания M и дисперсии D дало следующие результаты:

$$M = 0{,}0032$$
$$D = 0{,}7474$$

при теоретических требованиях:

$$M = 0$$
$$D = 0{,}75$$

## 2.3.Статистический анализ «случайности» и равномерности распределения.

Статистический анализ «случайности» и равномерности распределения производился по системе тестов Кендалла и Бзбингтон-Смита [2, 3]. Система содержит четыре теста: тест проверки частот, тест проверки интервалов, тест проверки пар и тест проверки комбинаций. Тест проверки интервалов заменялся тестой проверки серий. В качестве основного критерия согласия брался критерий Пирсона $(\chi^2)$.

Проверялись первые 100000 чисел псевдослучайной последовательности. Поизводилось 10 последовательных выборок по 10000 чисел в каждой, начиная с начального значения: $\alpha_0 = \frac{\pi}{4}$

### 2.3.1. Тест проверки частот.

Тест проверки частот сводится к подсчету количества выборочных объектов совокупности псевдослучайных чисел, попавших в интервалы разбиения области определения псевдослучайных чисел [–1.5, +1.5]. Число интервалов бралось равным 27.

О случайности генерируемых чисел свидетельствует тот факт, что количество $\nu_i$ чисел, попадающих в i-й интервал разбиения, удовлетворяет условию:

$$\max_i |\nu_i - N P_i| \le 3\sqrt{N P_i (1 - P_i)}$$

где N — объем выборки, $P_i$ — вероятность попадания псевдослучайного числа в i-й интервал разбиения при гипотетическом распределении, для равномерного распределения $P_i = \frac{1}{27}$ .

Для N=10000 $\max_i |\nu_i - N P_i| \le 56$ .

Кроме того, подсчитываетея величина:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{27} \frac{(\nu_i - N P_i)^2}{N P_i}$$

характеризующая степень отклонения эмпирического распределения от теоретического (равномерного). Если задать коэффициент доверия $q=0.95$, то доверительный интервал [2] для $\chi^2$ с двадцатью шестью степенями свободы получается равным (15.4, 38.9). Гипотеза о равномерности распределения не отвергается, если значение $\chi^2$ не более чем в одном случае из десяти выходит за границы доверительного интервала.

Результаты проверки по тесту частот, приведенные в таблицу 1, согласуются с вышеприведенными условиями.

Таблица 1.

| $m$ | $\chi^2$ | $\max_i \lvert \nu_i - N P_i \rvert$ |
|---|---|---|
| 1 | 17.92 | 38 |
| 2 | 35.17 | 48 |
| 3 | 29.98 | 52 |
| 4 | 13.55 | 27 |
| 5 | 25.40 | 48 |
| 6 | 25.57 | 33 |
| 7 | 29.10 | 36 |
| 8 | 28.77 | 34 |
| 9 | 23.74 | 49 |
| 10 | 27.81 | 44 |

Здесь m — номер испытания.

Величины $\chi^2$, приведенные в таблице 1 исследовались по критерию Колмогорова [1]. Полученное значение $D_n = 0.26$ не превышает своей точной верхней границы равной (при $n = 10$ и $q = 0.95$) $0.4087$.

### 2.3.2. Тест проверки серий.

Тест проверки серий предусматривает разбиение всех элементов исследуемой совокупности на два класса: к классу a отнесены числа отрицательные, к классу b — неотрицательные. Назовем серией любой отрезок последовательности, состоящий из следующих друг за другом элементов одного и того же класса и ограниченный элементами другого класса. Число элементов серии называется её длиной. R — общее число серий в рассматриваемой выборке. Доверительный интервал для R при $q = 0.95$ :(4918, 5082). Значение для десяти испытаний приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2 выходов R за пределы доверительного интервала не обнаружено. Максимальная длина серий обоих классов равна 14, что не превышает её верхней доверительной границы, равной 15.

Таблица 2

| $m$ | $R$ |
|---|---|
| 1 | 5007 |
| 2 | 4939 |
| 3 | 4996 |
| 4 | 5071 |
| 5 | 4971 |
| 6 | 4993 |
| 7 | 5020 |
| 8 | 4969 |
| 9 | 5021 |
| 10 | 4951 |

Здесь m — номер испытания, R — общее число серий.

### 2.3.3. Тест проверки троек

Тест проверки троек (аналог теста пар) сводится в подсчету наличия цифр $\bar{1}$, $0$, $1$ в разрядах совокупности псевдослучайных чисел, для которых производится проверка. Результаты проверки считаются удовлетворительными, если количество $\nu_i$ ($0$, $1$, $\bar{1}$ в i-ом разряде проверяемой совокупности) удовлетворяет неравенству:

$$\max_i \left| \nu_i - \frac{N}{m} \right| \leq 3\sqrt{N P(1-P)}$$

где N — объем выборки; m — число различных равновероятных исходов (равное 3); p — вероятность благоприятного исхода. Полученные результаты (для первых десяти разрядов) не противоречат этому неравенству [3].

2.3.4. Тест проверки комбинаций.

Тест проверки комбинаций сводится к подсчету различных комбинаций троичных разрядов содержимого псевдослучайных чисел в большой по объему выборочной совокупности, т.е. подсчитывается количество $\nu_i$ чисел с 0,1,2…n нулями (единицами,минус единицами); n-количество проверяемых разрядов. Для сравнения эмпирического распределения с теоретическим подсчитывается величина:

$$\chi^2=\sum_{i=0}^{n}\frac{(\nu_i-NP_i)^2}{NP_i},$$

где $NP_i=N\cdot c_n^i p^i(1-p)^{n-i}$ — теоретическое значение $\nu_i$; $p=\frac{1}{3}$.

При $n=10$, $q=0.95$ доверительный интервал для $\chi^2$ (3.94, 18.3).

Полученные значения $\chi^2$ не более чем в одном случае из десяти выходит ва границы доверительного интервала [з].

Таким образом, результаты статистической проверки по системе тестов Кендалла и Бэбингтон-Смита не дают оснований для отвержения гипотезы о равномерности распределения генерируемой последовательности.

## 2.4.Проверка устойчивости

Для проверки устойчивости использовался тест проверки частот для участка последовательности, начиная с члена последовательности с номером, равным $41 \cdot 10^6$. Полученные результаты аналогичны результатам, приведенным в таблице 1 [3]. Следовательно, распределение псевдослучайной последовательности в процессе работы программы не меняется.

## 2.5.Контрольная задача

В качестве контрольной задачи методом статистических испытаний было вычислено отношение $\nu_n$ объема n — мерной гиперсферы, вписанной в гиперкуб, к объему этого гиперкуба для различных значений n. Результаты проверки приведены в таблице 3. Число испытаний $N = 32768 \cdot n$.

Таблица 3

| $n$ | $\bar{V}_n$ | $V_n$ | $\varsigma_{\bar{V}_n}$ | $\varsigma_{V_n}$ |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 0,78870 | 0,78540 | 0,00330 | 0,00444 |
| 3 | 0,53125 | 0,52360 | 0,00765 | 0,00541 |
| 4 | 0,31249 | 0,30843 | 0,00406 | 0,00500 |
| 5 | 0,16026 | 0,16449 | 0,00423 | 0,00401 |
| 6 | 0,08060 | 0,08075 | 0,00015 | 0,00235 |
| 7 | 0,03894 | 0,03691 | 0,00208 | 0,00204 |
| 8 | 0,01654 | 0,01585 | 0,00069 | 0,00135 |
| 9 | 0,00705 | 0,00644 | 0,00061 | 0,00061 |
| 10 | 0,00284 | 0,00249 | 0,00035 | 0,00054 |
| 11 | 0,00098 | 0,00092 | 0,00006 | 0,00023 |
| 12 | 0,00028 | 0,00033 | 0,00005 | 0,00014 |

Здесь $V_n$ — теоретическое значение;

$\bar{V}_n$ — эмпирическое значение $V_n$, подсчитанное по методу статистических испытаний;

$\varsigma_{V_n}$ — теоретически подсчитанная ошибка с 95% достоверностью;

$\varsigma_{\bar{V}_n}$ — эмпирическая ошибка.

Из таблицы видно, что ошибка, как правило, не превосходит теоретическую, во всяком случае она того же порядка.

<u>На основании результатов статистического анализа и контрольной задачи делается вывод о пригодности предлагаемого генератора для практического использования.</u>

## §3. Подпрограммы

Алгоритм, описанный в §1, оформлен в виде библиотечных подпрограмм в системах ИП-2 [4], ИП-3 [5], ПОЛИЗ [6, 7, 8] (см. соответственно приложения I, II, III). Каждая подпрограмма при обращении к ней выдает очередной элемент псевдослучайной последовательности $\alpha_i$ в форме ИП-2, ИП-3 в ячейке u и в ПОЛИЗе в окне магазина.

Каждая из подпрограмм работает в зоне оперативно памяти $Ф_0$.

### 3.1. Использование подпрограмм в системах ИП-2 и ИП-3.

Подпрограммы в ИП-2 и ИП-3 расположены в зоне МБ 2W. Каждая подпрограмма вводится «Начальным пуском» в автоматическом режиме с контрольным суммированием.

При правильном вводе происходит останов:

$$(014):0\,\mathrm{WW}\;\;2\mathrm{X}$$

При неправильном вводе происходит останов:

$$(00\mathrm{Y}):0\;\;01\;\;2\mathrm{X}$$

Для повторения ввода отвести перфоленту на одну зону назад и нажать «Пуск».

Если названное местоположение неудобно для программиста, то подпрограммы могут быть введены в любую зону МБ (в частности на место одной из библиотечных подпрограмм, не используемых в решаемой задаче). Для этого достаточно изменить в соответствующей зоне ввода числа М и -М (ячейки 43 и 44), где М — номер зоны МБ, в которой размещена данная подпрограмма.

Обращение к подпрограмме в общем случае имеет вид:

в системе ИП-2:

$$\begin{array}{lll}
(x_0): & Z\ 4\mathrm{Y}\ 03; & (C)\Rightarrow(\alpha); \\
(x_1): & Z\ W3\ 00; & \text{БП} \Rsh \text{Вх.I}; \\
(x_2): & Z\ 00\ 32; & A_u; \\
(x_3): & 0\ 2\mathrm{W}\,WX; & A_f;
\end{array}$$

в системе ИП-3:

$$\begin{array}{lll}
(x_0): & Z\ 4\mathrm{Y}\ 03; & (C)\Rightarrow(\alpha); \\
(x_1): & Z\ Z3\ 00; & \text{БП} \Rsh \text{Вх.I}; \\
(x_2): & Z\ 00\ 32; & A_u; \\
(x_3): & 0\ 2\mathrm{W}\,WX; & A_f;
\end{array}$$

В этих обращениях отсутствует строка с указанием обобщенного адреса результата. В качестве результата используется величина U, которая в подпрограмме полагается равной очередному псевдослучайному числу. Это связано с тем, что выход из подпрограммы в ИП производится с обходом блока Вх.IV для того, чтобы сохранить в качестве $M_0$ номер зоны МБ с этой подпрограммой. Поэтому к подпрограмме можно обращаться многократно без повторного вызова ее в оперативную память.

Подпрограмма получения псевдослучайных чисел не имеет так же и аргумента (в качества обобщенного адреса аргумента записывается $A_u$; обращение к Вх.II при использовании данной подпрограммы не имеет смысла).

Подпрограмма содержит рабочую ячейку, в которой хранится очередное псевдослучайное число с фиксированной запятой. Это число используется при очередном обращении к подпрограмме для получения следующего числа. Поэтому, если перед повторными обращениями к подпрограмме зона $Ф_0$ будет использоваться для других целей, необходимо предварительно зону $Ф_0$ записать на магнитный барабан. Это можно сделать, в частности, обращением к Вх.I в следующей псевдокоманде.

С другой стороны, если между повторными обращениями к подпрограмме её можно сохранить в $Ф_0$, то для экономии времени нежелательно производить лишние записи подпрограммы на МБ и её повторные считывания в оперативную память. В тех случаях, когда при обращении к подпрограмме не нужно запоминать содержимое зоны $Ф_о$, можно обращаться сразу к Вх.III соответствующей ИП. При этом используется тот факт, что подпрограмма не имеет аргумента. Обращение в атом случае имеет вид:

$$
\begin{aligned}
&(x_0): \quad (C) \Rightarrow (\alpha);\\
&(x_1): \quad БП \Rsh Вх.III;\\
&(x_2): \quad A_f;
\end{aligned}
$$

Если это обращение происходит в тот момент, когда данная подпрограмма уже находится в $Ф_0$, нужно $A_f$ положить равным:

$$0\ 00\,\mathrm{WX}$$

как для ИП-2, так и для ИП-3.

### 3.2. Использование подпрограммы в системе ПОЛИЗ.

Для включения подпрограммы получения псевдослучайных чисел в операционную систему ПОЛИЗ ей присвоено название <u>RANDOM</u> (случайный). Подпрограмма расположена в зоне МБ 3Y.

При использовании операции <u>RANDOM</u> в СИМПОЛИЗе необходимо внести в автокодир ПОЛИЗ следующие изменения:

1. Записать название операции RANDOM с обобщенным адресом $Z3YWX$ в таблицу операций автокодира ПОЛИЗ.

2. Изменить в автокодире адрес начала рабочей программы в ИНПОЛИЗе, а именно это адрес полагается равным $03ZWX$

Подпрограмма RANDOM вводится в зону МБ 3Y с фотоввода №1 нажатием кнопки «Начальный пуск» непосредственно после ввода операционной системы ПОЛИЗ. При правильном вводе программы произойдет останов:

$$(0Y1): 0WW\ 2X$$

При неправильном вводе произойдет останов:

$$(00Y): 0\ 01\ 2X$$

Для повторения ввода надо оттянуть перфоленту на одну зону назад и нажать «Пуск».

Замечание. Для того чтобы поместить подпрограмму RANDOM на другое место, более удобное для программиста, необходимо изменить:

1) в ячейке $XX$ подпрограммы команду $03YX3$ на $0MX3$, в ячейке $Z1$ команду $0X23X$ на $0\bar{M}X3$; $(\bar{M}=-M)$;

2) в зоне ввода подпрограммы RANDOM числа M и -M (в ячейках 43 и 44);

3) обобщенный адрес подпрограммы в таблице операций автокодира ПОЛИЗ. При этом в автокодире должен быть соответствующим образом установлен адрес начала рабочей программы в ИНПОЛИЗе.

## Литература

1. Метод статистических испытаний (Монте-Карло), под редакцией Ю.А.Шрейдера. Физматгиз, 1962.
2. Д.И.Голенко, Моделирование и статистический анализ псевдослучайных чисел на электронных вычислительных машинах. Физматгиз, 1965.
3. В.Е.Федорченко, дипломная работа.1966 г., МГУ, мех-мат ф-т, кафедра вычислительной математики.
4. Е.А.Жоголев, Система команд и интерпретирующая система для машины «Сетунь». ж. вычисл.матем. и мат.физ., 1961, I, № 3, 499-512.
5. Е.А.Жоголев, Л.В.Есакова. Интерпретирующая система ИП-3. В данной серии, вып. 4, 1964.
6. Е.А.Жоголев. Интерпретатор ПОЛИЗ-63. Ж.вычисл.матем. и мат. физ., 1965, 5, № I, 67-76.
7. Е.А.Жоголев, Н.Б.Лебедева. СИМПОЛИЗ 64 — язык для программирования в символических обозначениях. В данной серии, вып.10, 1965.
8. Н.Б.Лебедева, Х. Рамиль Альварес. Инструкция использования системы ПОЛИЗ 64. В данной серии, вып. 13, 1966.

Приложение 1. Подпрограмма получения псевдо-случаных чисел в системе ИП-2

Адрес Команда

$П_ф=0$

| | Адрес | Команда | |
|---|---|---|---|
| WW | WX | 0 00 0Z | $\Sigma = -\Sigma_{вв}$ |
| | WY | Z 40 32 | |
| WZ | W0 | 0 00 01 | $\Sigma_{вв}$ |
| | W1 | 1 W0 XY | |
| W2 | W3 | 0 00 0Z | $\Sigma_{2W}$ |
| | W4 | Z 2Z 32 | |
| XW | XX | 0 00 00 | |
| | XY | 0 00 00 | |
| XZ | X0 | 0 00 00 | |
| | X1 | 0 00 00 | |
| X2 | X3 | 0 00 00 | |
| | X4 | 0 00 00 | |
| YW | YX | 0 00 00 | |
| | YY | 0 00 00 | |
| YZ | Y0 | 0 00 00 | |
| | Y1 | 0 00 00 | |
| Y2 | Y3 | 0 0Z 00 | $-\ell_A$ |
| | Y4 | 0 0Y 00 | $-2\ell_A = K$ |
| ZW | ZX | 0 0X 00 | $-3\ell_A$ |
| | ZY | 1 00 00 | $81\ell_A$ |
| ZZ | Z0 | 0 Y4 Z0 | $K \Rightarrow (F) \hookleftarrow 4$ |
| | Z1 | 0 Y4 ZX | $(F)+K \Rightarrow (F)$ |
| Z2 | Z3 | 0 Y4 ZX | $(F)+K \Rightarrow (F)$ |
| | Z4 | 0 XW 3Y | $(S)-\Sigma_j \Rightarrow (S)$ |
| 0W | 0X | 0 1Y 10 | УП-0 $\rightarrow 6$ |
| | 0Y | 0 01 2X | $\Omega_2$ |
| 0Z | 00 | 0 2X 00 | БП $\rightarrow 2$ |
| | 01 | 0 43 Z0 | $M \Rightarrow (F)$ |

Зона ввода

Адрес Команда

$П_ф=0$

| | Адрес | Команда | |
|---|---|---|---|
| 02 | 03 | 0 00 X4 | $[Ф_0] \Rightarrow [M]$ |
| | 04 | 1 00 XY | $[M] \Rightarrow [Ф_1]$ |
| 1W | 1X | 0 23 00 | БП $\rightarrow 1$ |
| | 1Y | 0 Y4 Z0 | $K \Rightarrow (F) \hookleftarrow 6$ |
| 1Z | 10 | 0 0Y ZX | $(F)+\ell_A \Rightarrow (F)$ |
| | 11 | 0 Y4 0X | $(F) \Rightarrow K$ |
| 12 | 13 | 0 2X 1X | УП-2 $\rightarrow 2$ |
| | 14 | 0 WW 2X | $\Omega_1$ |
| 2W | 2X | 0 43 Z0 | $M \Rightarrow (F) \hookleftarrow 2$ |
| | 2Y | 1 01 X0 | [Ввод] $\Rightarrow [Ф_1]$ |
| 2Z | 20 | 1 00 X4 | $[Ф_1] \Rightarrow [M]$ |
| | 21 | 1 00 XY | $[M] \Rightarrow [Ф_1]$ |
| 22 | 23 | 0 03 Z0 | $0 \Rightarrow (F)$ |
| | 24 | 0 WW 0X | $(F) \Rightarrow \Sigma$ |
| 3W | 3X | 0 ZY ZX | $(F)+81\ell_A \Rightarrow (F) \leftarrow 5$ |
| | 3Y | 0 44 31 | $a^{\oplus} \Rightarrow (S)$ |
| 3Z | 30 | 0 4Y Y0 | Сдв.(S) на 9 $\Rightarrow (S)$ |
| | 31 | 0 WW 33 | $(S)+\Sigma \Rightarrow (S)$ |
| 32 | 33 | 0 WW Y3 | $(S) \Rightarrow \Sigma$ |
| | 34 | 0 ZX ZX | $(F)-3\ell_A \Rightarrow (F)$ |
| 4W | 4X | 0 3Y 13 | УП-1 $\rightarrow 3$ |
| | 4Y | 0 Z0 1X | УП-2 $\rightarrow 4$ |
| 4Z | 40 | 0 Y3 Z0 | $-\ell_A \Rightarrow (F)$ |
| | 41 | 0 3X 00 | БП $\rightarrow S$ |
| 42 | 43 | 0 2W 00 | M |
| | 44 | 0 Y4 00 | −M |
| КС | | 0 00 01 | |
| | | 1 W0 XY | |

| Адрес | Команда | |
|---|---|---|
| $П_ф=0$ | | |
| WW WX | 0 YW 30 | $\alpha_i \Rightarrow (S)$ |
| WY | 0 Y3 Y0 | Сдв $(S)$ на $1 \rightarrow (S)$ |
| WZ W0 | 0 YZ 20 | $(S) \circledast Const \Rightarrow (S)$ |
| W1 | 0 YW 33 | $(S) \pm \alpha_i \Rightarrow (S)$ |
| W2 W3 | 0 YZ 20 | $(S) \bullet Const \Rightarrow (S)$ |
| W4 | 0 YW Y3 | $(S) \Rightarrow \alpha_i$ |
| XW XX | Z 32 YX | Норм$(S) \rightarrow u$ |
| XY | Z 4X Y3 | $(S) \Rightarrow P_u$ |
| XZ X0 | Z 4Y Z0 | $\alpha \Rightarrow (F)$ |
| X1 | Z Y3 ZX | $(F)+3e_A \Rightarrow (F)$ |
| X2 X3 | Z 4Y 0X | $(F) \Rightarrow \alpha$ |
| X4 | 0 00 01 | БП $\rightarrow$ выход |
| YW YX | 0 23 2X | $\alpha_i$ |
| YY | Z 0Z 2W | |
| YZ Y0 | 0 44 44 | const |
| Y1 | 1 44 44 | |
| Y2 Y3 | 0 01 00 | $e_A$ |
| Y4 | 0 00 00 | |
| ZW ZX | 0 00 00 | |
| ZY | 0 00 00 | |
| ZZ Z0 | 0 00 00 | |
| Z1 | 0 00 00 | |
| Z2 Z3 | 0 00 00 | |
| Z4 | 0 00 00 | |
| 0W 0X | 0 00 00 | |
| 0Y | 0 00 00 | |
| 0Z 00 | 0 00 00 | |
| 01 | 0 00 00 | |

Зона МБ 2W

| Адрес | Команда |
|---|---|
| $П_ф=0$ | |
| 02 03 | 0 00 00 |
| 04 | 0 00 00 |
| 1W 1X | 0 00 00 |
| 1Y | 0 00 00 |
| 1Z 10 | 0 00 00 |
| 11 | 0 00 00 |
| 12 13 | 0 00 00 |
| 14 | 0 00 00 |
| 2W 2X | 0 00 00 |
| 2Y | 0 00 00 |
| 2Z 20 | 0 00 00 |
| 21 | 0 00 00 |
| 22 23 | 0 00 00 |
| 24 | 0 00 00 |
| 3W 3X | 0 00 00 |
| 3Y | 0 00 00 |
| 3Z 30 | 0 00 00 |
| 31 | 0 00 00 |
| 32 33 | 0 00 00 |
| 34 | 0 00 00 |
| 4W 4X | 0 00 00 |
| 4Y | 0 00 00 |
| 4Z 40 | 0 00 00 |
| 41 | 0 00 00 |
| 42 43 | 0 00 00 |
| 44 | 0 00 00 |
| KC | 0 00 0Z |
| | Z 2Z 32 |

Приложение 2. Подпрограмма получения псевдослучаных чисел в системе ИП-3

Зона ввода

| Адрес | | Команда | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $П_ф=0$ | | | | | |
| WW | WX | 0 | 00 | 0Y | $\sum = -\sum bb$ |
| | WY | 0 | 2X | Y1 | |
| WZ | W0 | 0 | 00 | 02 | $\sum bb$ |
| | W1 | 0 | Y3 | 2Z | |
| W2 | W3 | 0 | 00 | 0Y | $\sum_{2W}$ |
| | W4 | 1 | 43 | Z4 | |
| XW | XX | 0 | 00 | 00 | |
| | XY | 0 | 00 | 00 | |
| XZ | X0 | 0 | 00 | 00 | |
| | X1 | 0 | 00 | 00 | |
| X2 | X3 | 0 | 00 | 00 | |
| | X4 | 0 | 00 | 00 | |
| YW | YX | 0 | 00 | 00 | |
| | YY | 0 | 00 | 00 | |
| YZ | Y0 | 0 | 00 | 00 | |
| | Y1 | 0 | 00 | 00 | |
| Y2 | Y3 | 0 | 0Z | 00 | $-\ell_A$ |
| | Y4 | 0 | 0Y | 00 | $-2\ell_A = K$ |
| ZW | ZX | 0 | 0X | 00 | $-3\ell_A$ |
| | ZY | 1 | 00 | 00 | $81\ell_A$ |
| ZZ | Z0 | 0 | Y4 | Z0 | K ⇒ (F) ↵ 4 |
| | Z1 | 0 | Y4 | ZX | (F) + K ⇒ (F) |
| Z2 | Z3 | 0 | Y4 | ZX | (F) + K ⇒ (F) |
| | Z4 | 0 | XW | 3Y | $(S) - \sum_i \Rightarrow (S)$ |
| 0W | 0X | 0 | 1Y | 10 | УП-0 ↱ 6 |
| | 0Y | 0 | 01 | 2X | $\Omega_2$ |
| 0Z | 00 | 0 | 2X | 00 | БП ↱ 2 |
| | 01 | 0 | 43 | Z0 | M ⇒ (F) |

| Адрес | | Команда | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $П_ф=0$ | | | | | |
| 02 | 03 | 0 | 00 | X4 | $[Ф_0] \Rightarrow [M]$ |
| | 04 | 1 | 00 | XY | $[M] \Rightarrow [Ф_1]$ |
| 1W | 1X | 0 | 23 | 00 | БП ↱ 1 |
| | 1Y | 0 | Y4 | Z0 | K ⇒ (F) |
| 1Z | 10 | 0 | 0Y | ZX | $(F) + \ell_A \Rightarrow (F)$ |
| | 11 | 0 | Y4 | 0X | (F) ⇒ K |
| 12 | 13 | 0 | 2X | 1X | УП-Z ↱ 2 |
| | 14 | 0 | WW | 2X | $\Omega_1$ |
| 2W | 2X | 0 | 43 | Z0 | M ⇒ (F) ↵ 2 |
| | 2Y | 1 | 01 | X0 | $[Blog] \Rightarrow [Ф_1]$ |
| 2Z | 20 | 1 | 00 | X4 | $[Ф_1] \Rightarrow [M]$ |
| | 21 | 1 | 00 | XY | $[M] \Rightarrow [Ф_1]$ |
| 22 | 23 | 0 | 03 | Z0 | 0 ⇒ (F) |
| | 24 | 0 | WW | 0X | $(F) \Rightarrow \sum$ |
| 3W | 3X | 0 | ZY | ZX | $(F) + 81\ell_A \Rightarrow F$ ↰ 5 |
| | 3Y | 0 | 44 | 31 | $a^{\oplus} \Rightarrow (S)$ |
| 3Z | 30 | 0 | 4Y | Y0 | Сдв. (S) на 9 ⇒ (S) |
| | 31 | 0 | WW | 33 | $(S) + \sum \Rightarrow (S)$ |
| 32 | 33 | 0 | WW | Y3 | $(S) \Rightarrow \sum$ |
| | 34 | 0 | ZX | ZX | $(F) - 3\ell_A \Rightarrow (F)$ |
| 4W | 4X | 0 | 3Y | 13 | УП-1 ↱ 3 |
| | 4Y | 0 | Z0 | 1X | УП-Z ↱ 4 |
| 4Z | 40 | 0 | Y3 | Z0 | $-\ell_A \Rightarrow (F)$ |
| | 41 | 0 | 3X | 00 | БП ↱ 5 |
| 42 | 43 | 0 | 2W | 00 | |
| | 44 | 0 | Y4 | 00 | |
| КС | | 0 | 00 | 02 | |
| | | 0 | Y3 | 2Z | |

Зона МБ 2W

| Адрес | Команда | |
|---|---|---|
| $П_ф=0$ | | |
| WW WX | 0 Y2 30 | $\alpha_i \Rightarrow (S)$ |
| WY | 0 YY Y0 | Сдв.(S) на +1 $\Rightarrow (S)$ |
| WZ W0 | 0 YZ 20 | $(S) \otimes const \Rightarrow (S)$ |
| W1 | 0 Y2 33 | $(S) + \alpha_i \Rightarrow (S)$ |
| W2 W3 | 0 YZ 20 | $(S) \otimes const \Rightarrow (S)$ |
| W4 | 0 Y2 Y3 | $(S) \Rightarrow \alpha_i$ |
| XW XX | Z 32 YX | Норм.(S) $\Rightarrow u$ |
| XY | Z 4X Y3 | $(S) \Rightarrow P_u$ |
| XZ X0 | Z 32 30 | $u \Rightarrow (S)$ |
| X1 | 0 ZX Y0 | Сдв.(S) по −4 $\Rightarrow (S)$ |
| X2 X3 | Z 4X 33 | $(S) + P_u \Rightarrow (S)$ |
| X4 | Z 32 Y3 | $(S) \Rightarrow u$ |
| YW YX | Z Y4 00 | БП ↱ выход |
| YY | 0 01 00 | $\ell_A$ |
| YZ Y0 | 0 44 44 | } const |
| Y1 | 1 44 44 | |
| Y2 Y3 | 0 23 2X | } $\alpha_i$ $(\alpha_0 = \frac{\pi}{4})$ |
| Y4 | Z 0Z 2W | |
| ZW ZX | 0 0W 00 | $-4\ell_A$ |
| ZY | 0 00 00 | |
| ZZ Z0 | 0 00 00 | |
| Z1 | 0 00 00 | |
| Z2 Z3 | 0 00 00 | |
| Z4 | 0 00 00 | |
| 0W 0X | 0 00 00 | |
| 0Y | 0 00 00 | |
| 0Z 00 | 0 00 00 | |
| 01 | 0 00 00 | |

| Адрес | Команда |
|---|---|
| $П_ф=0$ | |
| 02 03 | 0 00 00 |
| 04 | 0 00 00 |
| 1W 1X | 0 00 00 |
| 1Y | 0 00 00 |
| 1Z 10 | 0 00 00 |
| 11 | 0 00 00 |
| 12 13 | 0 00 00 |
| 14 | 0 00 00 |
| 2W 2X | 0 00 00 |
| 2Y | 0 00 00 |
| 2Z 20 | 0 00 00 |
| 21 | 0 00 00 |
| 22 23 | 0 00 00 |
| 24 | 0 00 00 |
| 3W 3X | 0 00 00 |
| 3Y | 0 00 00 |
| 3Z 30 | 0 00 00 |
| 31 | 0 00 00 |
| 32 33 | 0 00 00 |
| 34 | 0 00 00 |
| 4W 4X | 0 00 00 |
| 4Y | 0 00 00 |
| 4Z 40 | 0 00 00 |
| 41 | 0 00 00 |
| 42 43 | 0 00 00 |
| 44 | 0 00 00 |
| КС | 0 00 0Y |
| | 1 43 Z4 |

Приложение 3. Подпрограмма <u>RANDOM</u> в системе ПОЛИЗ.

Адрес Команда

$П_ф$=0

| Адрес | | Команда | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| WW | WX | 0 | 00 | 00 | $\Sigma = -\Sigma$ вв |
| | WY | Z | 01 | 10 | |
| WZ | W0 | 0 | 00 | 00 | $\Sigma$ вв |
| | W1 | 1 | 0Z | Z0 | |
| W2 | W3 | 0 | 00 | 0Z | $\Sigma$ 3У |
| | W4 | Z | Y1 | 2X | |
| XW | XX | 0 | 00 | 00 | |
| | XY | 0 | 00 | 00 | |
| XZ | X0 | 0 | 00 | 00 | |
| | X1 | 0 | 00 | 00 | |
| X2 | X3 | 0 | 00 | 00 | |
| | X4 | 0 | 0Z | 00 | $-\ell_A$ |
| YW | YX | Z | 4X | Z0 | N ⇒ (F) ↵3 |
| | YY | 0 | 00 | XY | [N] ⇒ [$ф_1$] |
| YZ | Y0 | Z | 33 | Z0 | $i$ ⇒ (F) |
| | Y1 | 0 | WW | 2X | $\Omega_1$ |
| Y2 | Y3 | Z | 40 | 00 | БП ↱ выход |
| | Y4 | 0 | 0Y | 00 | $K = -2\ell_A$ |
| ZW | ZX | 0 | 0X | 00 | $-3\ell_A$ |
| | ZY | 1 | 00 | 00 | $81\ell_A$ |
| ZZ | Z0 | 0 | Y4 | Z0 | K ⇒ (F) ↵4 |
| | Z1 | 0 | Y4 | ZX | (F) + K ⇒ (F) |
| Z2 | Z3 | 0 | Y4 | ZX | (F) + K ⇒ (F) |
| | Z4 | 0 | XW | 3Y | (S) $-\Sigma_j$ ⇒ (S) |
| 0W | 0X | 0 | 1Y | 10 | УП-0 ↱6 |
| | 0Y | 0 | 01 | 2X | $\Omega_2$ |
| 0Z | 00 | 0 | 2X | 00 | БП ↱2 |
| | 01 | 0 | 43 | Z0 | M ⇒ (F) |

Зона ввода

Адрес Команда

$П_ф$=0

| Адрес | | Команда | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 02 | 03 | 0 | 00 | X4 | [$Ф_0$] → [M] |
| | 04 | 1 | 00 | XY | [M] ⇒ [$Ф_1$] |
| 1W | 1X | 0 | 23 | 00 | БП ↱1 |
| | 1Y | 0 | Y4 | Z0 | K ⇒ (F) |
| 1Z | 10 | 0 | 0Y | ZX | (F) + $\ell_A$ ⇒ (F) |
| | 11 | 0 | Y4 | 0X | (F) ⇒ K |
| 12 | 13 | 0 | 2X | 1X | УП-Z ↱2 |
| | 14 | 0 | YX | 00 | БП ↱3 |
| 2W | 2X | 0 | 43 | Z0 | M ⇒ (F) ↵2 |
| | 2Y | 1 | 01 | X0 | [Ввод] ⇒ [$Ф_1$] |
| 2Z | 20 | 1 | 00 | X4 | [$Ф_1$] ⇒ [M] |
| | 21 | 1 | 00 | XY | [M] ⇒ [$Ф_1$] |
| 22 | 23 | 0 | 03 | Z0 | 0 ⇒ (F) |
| | 24 | 0 | WW | 0X | (F) ⇒ $\Sigma$ |
| 3W | 3X | 0 | ZY | ZX | (F) + $81\ell_A$ ⇒ (F) ↵5 |
| | 3Y | 0 | 44 | 31 | $a^{\oplus}$ ⇒ (S) |
| 3Z | 30 | 0 | 4Y | Y0 | Сдв. (S) на -9 ⇒ (S) |
| | 31 | 0 | WW | 33 | (S) + $\Sigma$ ⇒ (S) |
| 32 | 33 | 0 | WW | Y3 | (S) ⇒ $\Sigma$ |
| | 34 | 0 | ZX | ZX | (F) $-3\ell_A$ ⇒ (F) |
| 4W | 4X | 0 | 3Y | 13 | УП-1 ↱3 |
| | 4Y | 0 | Z0 | 1X | УП-Z ↱4 |
| 4Z | 40 | 0 | X4 | Z0 | $\ell_A$ ⇒ (F) |
| | 41 | 0 | 3X | 00 | БП ↱5 |
| 42 | 43 | 0 | 3Y | 00 | M |
| | 44 | 0 | X2 | 00 | -M |
| КС | | 0 | 00 | 00 | |
| | | 1 | 0Z | Z0 | |

Зона МБ 3Y

Адрес Команда

$П_ф=0$

| Адрес | | Команда | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| WW | WX | 0 | ZW | 30 | $\alpha_i \Rightarrow (S)$ |
| | WY | 0 | Z0 | Y0 | Сдв (S) на 1 $\Rightarrow (S)$ |
| WZ | W0 | 0 | Y2 | 20 | $(S) \otimes$ Const $\Rightarrow (S)$ |
| | W1 | 0 | ZW | 33 | $(S) + \alpha_i \Rightarrow (S)$ |
| W2 | W3 | 0 | Y2 | 20 | $(S) \otimes$ Const $\Rightarrow (S)$ |
| | W4 | 0 | ZW | Y3 | $(S) \Rightarrow \alpha_i$ |
| XW | XX | 0 | 3Y | X3 | $[Ф_0] \Rightarrow [3Y]$ |
| | XY | 0 | ZW | YX | Норм $(S) \Rightarrow \alpha_i$ |
| XZ | X0 | 0 | Z0 | Y3 | $(S) \Rightarrow \tau_0$ |
| | X1 | 0 | ZW | 30 | $\alpha_i \Rightarrow (S)$ |
| X2 | X3 | Z | 21 | Y0 | Сдв. (S) на 4 $\Rightarrow (S)$ |
| | X4 | 0 | Z0 | 33 | $(S) + \tau_0 \Rightarrow (S)$ |
| YW | YX | Z | 33 | Z0 | $i \Rightarrow (F)$ |
| | YY | Z | YZ | 3Z | $(S) \Rightarrow u_i$ |
| YZ | Y0 | Z | 23 | ZX | $(F) - 3\ell_A \Rightarrow (F)$ |
| | Y1 | Z | 4Y | 00 | БП $\to$ выход |
| Y2 | Y3 | 0 | 44 | 44 | const |
| | Y4 | 1 | 44 | 44 | |
| ZW | ZX | 0 | 23 | 2X | $\alpha_i$ |
| | ZY | Z | 0Z | 2W | |
| ZZ | Z0 | 0 | 01 | 00 | $\ell_A$ |
| | Z1 | 0 | X2 | 3X | О$\bar{М}$ 3X |
| Z2 | Z3 | 0 | 00 | 00 | |
| | Z4 | 0 | 00 | 00 | |
| 0W | 0X | 0 | 00 | 00 | |
| | 0Y | 0 | 00 | 00 | |
| 0Z | 00 | 0 | 00 | 00 | |
| | 01 | 0 | 00 | 00 | |

Адрес Команда

$П_ф=0$

| Адрес | | Команда | | |
|---|---|---|---|---|
| 02 | 03 | 0 | 00 | 00 |
| | 04 | 0 | 00 | 00 |
| 1W | 1X | 0 | 00 | 00 |
| | 1Y | 0 | 00 | 00 |
| 1Z | 10 | 0 | 00 | 00 |
| | 11 | 0 | 00 | 00 |
| 12 | 13 | 0 | 00 | 00 |
| | 14 | 0 | 00 | 00 |
| 2W | 2X | 0 | 00 | 00 |
| | 2Y | 0 | 00 | 00 |
| 2Z | 20 | 0 | 00 | 00 |
| | 21 | 0 | 00 | 00 |
| 22 | 23 | 0 | 00 | 00 |
| | 24 | 0 | 00 | 00 |
| 3W | 3X | 0 | 00 | 00 |
| | 3Y | 0 | 00 | 00 |
| 3Z | 30 | 0 | 00 | 00 |
| | 31 | 0 | 00 | 00 |
| 32 | 33 | 0 | 00 | 00 |
| | 34 | 0 | 00 | 00 |
| 4W | 4X | 0 | 00 | 00 |
| | 4Y | 0 | 00 | 00 |
| 4Z | 40 | 0 | 00 | 00 |
| | 41 | 0 | 00 | 00 |
| 42 | 43 | 0 | 00 | 00 |
| | 44 | 0 | 00 | 00 |
| КС | | 0 | 00 | 0Z |
| | | Z | Y1 | 2X |

Издано в 1964 году:

Выпуск 1.
Жоголев Е.А. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МАШИНЫ «СЕТУНЬ».

Выпуск 2.
Фурман Г.А. ИНТЕРПРЕТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДЕЙСТВИЙ С КОМПЛЕКСНЫМИ ЧИСЛАМИ (ИП-4).

Выпуск 3.
Франк Л.С, Рамиль Альварес Х. ПОДПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ ДЛЯ ИП-2.

Выпуск 4.
Жоголев Е.А., Есакова Л.В. ИНТЕРПРЕТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ИП-3. Поправка к выпуску 4 опубликована в выпуске 9 (1965 г.)

Выпуск 5.
Фурман Г.А. ПОДПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ ВСЕХ КОРНЕЙ МНОГОЧЛЕНА ДЛЯ ИП-4.

Выпуск 6.
Прохорова Г.В. ИНТЕРПРЕТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДЕЙСТВИЙ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ (ИП-5), Изменение к выпуску 6 опубликовано в выпуске 11 (1966 г.)

Издано в 1965 году:

Выпуск 7.

Гордонова В.И. ТИПОВАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ.

Выпуск 8.

Бондаренко Н.В. СИСТЕМА ПОДПРОГРАММ ВВОДА И ВЫВОДА АЛФАВИТНО-ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИП—3.

Выпуск 9.

Черепенникова Ю.Н. НАБОР ПОДПРОГРАММ ДЛЯ ВВОДА И ВЫВОД ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ИП—2.

Выпуск 10.

Жоголев Е.А., Лебедева Н.Б. СИМПОЛИЗ 64 — ЯЗЫК ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В СИМВОЛИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЯХ.

Издано в 1966 году:

Выпуск 11.
Прохорова Г.В. ПОДПРОГРАММЫ ВВОДА И ВЫВОДА ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИП—5.

Выпуск 12.
Черепенникова Ю.Н. СТАНДАРТНАЯ ПОДПРОГРАММА ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ (В системе ИП—2).

Выпуск 13.
Лебедева Н.Б., Рамиль Альварес Х. ИНСТРУКЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ ПОЛИЗ.

Выпуск 14.
Черепенникова Ю.Н. ПОДПРОГРАММЫ ВВОДА И ВЫВОДА ЧИСЕЛ В СИСТЕМЕ ИП-4.

Готовится выпуск 16:
Черепенникова Ю.Н. ТИПОВАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ.

Работа выполнена под научным руководством В.И. ГОРДОНОВОЙ.