

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

### Обработка и анализ результатов моделирования

**Цель работы** - ознакомиться с методами обработки результатов моделирования и изучить методику регрессионного и корреляционного анализов для определения основных параметров систем.

#### Порядок выполнения работы

1. По результатам наблюдений над случайной величиной требуется:
  - 1) построить интервальный и дискретный вариационные ряды;
  - 2) построить полигон или гистограмму, в зависимости от того, дискретна или непрерывна изучаемая случайная величина;
  - 3) найти эмпирическую функцию распределения и построить ее график;
  - 4) найти точечные оценки параметров закона распределения случайной величины;
  - 5) на основе полигона или гистограммы сделать предварительный выбор закона распределения, используя точечные оценки параметров, записать плотность вероятности и функцию распределения;
  - 6) в случае нормальности распределения построить доверительные интервалы с надежностью 0,95:
    - а) для математического ожидания, считая среднее квадратическое отклонение известным;
    - б) для математического ожидания, считая дисперсию неизвестной;
    - в) для среднего квадратического отклонения;
  - 7) проверить с помощью критерия согласия Пирсона, согласуется ли гипотеза о виде распределения с опытными данными, уровень значимости 0,05;
  - 8) для непрерывной случайной величины построить график функции плотности вероятности и сравнить его с гистограммой, для дискретной случайной величины построить многоугольник распределения и сравнить его с полигоном.

#### Варианты заданий

Вариант 1.  $X$  - средняя прочность бетона (в МПа). Приведены результаты измерения средней прочности бетона у 100 железобетонных изделий.

22,0 21,5 23,5 23,0 21,0 21,5 21,0 22,5 21,0 20,0 19,0 20,5 19,0 20,5  
21,5 21,0 21,0 21,5 21,0 21,5 21,0 21,5 20,0 22,0 20,0 19,5 22,0 22,5  
21,5 21,0 21,0 21,0 12,5 21,5 21,0 20,0 20,5 21,0 21,0 22,0 20,0 20,5  
22,5 23,5 20,0 22,5 23,5 19,5 21,0 23,0 20,0 21,5 22,5 22,0 19,5 20,5  
21,0 21,5 21,5 21,0 18,5 20,5 19,5 22,5 22,0 20,5 22,0 23,0 21,5 21,0  
21,5 20,5 18,5 23,5 19,0 21,0 21,0 21,5 20,5 23,5 22,5 22,0 21,0 22,5  
19,0 22,5 24,5 24,5 21,0 21,5 21,0 21,5 21,5 24,0 20,0 25,5 20,0 18,0  
22,5 20,5

Вариант 2. С целью определения оптимального количества цемента

для укрепления грунта испытано 100 образцов цемента-грунта. X - количество цемента в % к массе грунта. Приведены результаты испытаний.

3,0 4,0 4,1 3,9 3,8 4,3 4,3 3,7 3,1 3,6 4,2 3,8 3,9 3,2 3,6 3,8 3,9 2,9 3,7  
3,4 4,0 4,7 3,6 3,2 3,2 3,7 3,8 3,6 3,3 3,1 4,2 4,6 4,3 4,1 3,9 3,7 3,3 3,4  
3,7 3,7 4,3 3,6 4,1 4,2 4,1 3,8 4,1 3,5 3,8 3,5 4,0 3,7 3,9 3,6 3,6 3,7 3,4  
3,5 3,7 3,5 3,0 4,0 3,7 3,9 3,7 3,4 3,6 3,8 4,8 3,4 3,3 3,8 3,3 3,9 4,0 3,8  
3,7 4,1 3,4 4,0 3,2 3,7 4,4 3,7 4,1 4,2 3,8 3,9 4,1 3,9 3,6 3,8 3,7 3,6 3,5  
3,9 4,6 3,5 4,4 4,0

Вариант 3. Прочность бетона при его твердении со временем возрастает. Для анализа кинетики твердения бетона произвели испытания 100 стандартных образцов. X - время твердения (в сутках). Приведены результаты испытаний.

17 17 13 16 7 8 10 9 10 12 7 10 16 15 12 14 15 9 14 11 18 13 13 10 21 11  
10 11 13 11 5 14 19 15 9 15 11 22 16 14 13 14 13 20 12 3 17 20 18 14 13  
17 12 12 6 8 9 13 8 20 16 15 12 14 18 11 15 5 17 18 11 13 13 11 13 13 11  
14 13 15 15 16 13 7 13 19 17 19 9 11 8 14 7 9 16 14 14 15 18 17

Вариант 4. X - количество бракованных железно-бетонных изделий в смену (в %). Приведены результаты оценок брака за 100 смен.

3,0 4,0 3,7 4,1 3,6 3,8 4,9 3,4 3,3 3,3 3,9 4,0 3,8 3,7 4,1 3,4 4,0 2,9 3,7  
4,4 3,8 4,1 3,8 3,9 4,1 4,1 3,6 3,8 3,7 3,6 3,5 3,8 3,9 4,6 3,5 4,4 4,0 3,5  
4,3 3,8 2,8 3,2 3,1 4,0 3,7 3,6 3,5 3,6 3,5 3,7 3,4 3,8 4,1 3,7 4,0 3,8 3,0  
4,0 4,1 3,9 3,8 3,6 4,0 3,7 3,1 3,6 4,2 3,7 3,8 3,0 3,6 3,8 3,9 3,4 3,7 3,4  
4,0 4,7 3,6 3,5 3,2 3,7 3,8 3,6 3,3 3,7 4,2 4,6 4,3 4,1 3,9 3,3 3,4 3,7 3,7  
4,3 3,9 3,7

Вариант 5. X - предел текучести стали (в кг / мм). Приведены результаты испытаний 100 различных марок стали.

51 42 68 53 49 79 35 63 55 29 42 42 17 45 38 56 29 25 41 37 52 40 68 47  
46 51 38 47 60 53 67 41 26 47 90 63 34 57 45 72 40 76 75 15 35 28 71 60  
56 43 52 63 75 30 61 68 64 18 65 48 66 18 87 51 48 36 32 31 46 67 60 78  
41 54 66 54 21 39 74 24 39 35 50 35 72 78 65 44 53 71 65 33 52 49 30 59  
80 20 26 36

Вариант 6. X - количество бракованных труб в смену (в м). Приведены результаты оценок брака за 100 смен.

13 13 11 13 13 11 14 13 15 15 16 22 7 13 19 17 19 16 11 8 14 7 9 14 16 14  
14 15 18 12 8 10 9 10 11 5 15 14 20 12 8 14 18 11 11 13 9 19 11 15 5 17  
18 15 20 16 15 12 14 9 14 11 18 13 13 21 16 15 12 14 15 11 10 9 10 12 7  
17 17 13 16 7 11 12 6 8 9 13 13 18 14 13 17 17 13 20 12 3 18 10

Вариант 7. X - средняя прочность бетона (в МПа). Приведены результаты измерения средней прочности бетона у 100 железобетонных изделий.

18,5 20,5 19,5 22,0 22,5 20,5 22,0 23,0 21,5 21,0 21,0 21,5 20,5 18,5 23,5  
21,0 19,0 2,5 20,5 23,5 22,5 21,0 22,0 22,5 19,0 22,5 24,5 21,0 24,5 21,5  
21,0 21,5 21,5 20,0 24,0 25,0 20,0 18,0 22,5 22,0 20,5 21,5 23,0 23,0 21,0  
21,0 21,5 22,5 21,0 20,0 19,0 19,0 20,5 20,5 21,5 21,0 21,0 21,0 21,5 21,5  
21,0 21,5 20,0 20,0 22,0 19,5 22,0 22,5 21,5 21,0 21,0 21,0 21,5 21,0 21,5

20,0 21,0 20,5 21,0 22,0 21,5 21,5 21,0 20,0 21,5 22,5 22,0 20,5 19,5 21,0  
23,0 20,0 23,5 22,5 19,5 20,0 20,5 23,5 22,5 21,0

Вариант 8. X - отклонение диаметра трубы от нормативного вследствие коррозии (в мм). Приведены результаты исследования 100 труб одинакового диаметра.

0,62 0,69 0,80 0,63 1,02 1,10 0,72 0,96 0,80 0,88 0,63 0,84 0,58 0,80 0,60  
0,76 0,87 0,96 0,72 0,82 0,95 0,82 1,03 0,95 0,67 1,06 0,90 0,91 0,75 0,96  
0,73 0,97 0,70 0,69 0,69 0,61 1,04 0,78 0,98 0,93 0,90 0,83 0,79 0,71 0,61  
0,70 0,81 0,56 0,80 0,88 0,89 1,10 0,83 0,58 0,85 0,57 0,95 0,76 0,78 0,97  
0,55 0,55 0,94 0,90 0,86 0,81 0,79 0,74 0,89 1,01 0,63 1,02 0,98 0,65 0,95  
0,93 0,86 0,72 0,89 0,80 0,94 1,03 0,63 0,92 1,05 0,89 0,89 0,65 0,77 0,84  
0,58 0,82 0,73 1,09 0,78 0,58 0,92 0,82 1,08 0,85

Вариант 9. X - количество бракованных железно-бетонных изделий в смену (в %). Приведены результаты оценок брака за 100 смен.

3,3 3,4 3,7 3,7 4,3 4,1 4,1 4,2 4,1 3,8 4,1 4,2 3,8 3,5 4,0 3,7 3,9 3,8 3,6 3,7  
3,4 3,5 3,7 3,9 3,0 4,0 4,1 3,9 3,8 4,1 4,3 3,7 3,1 3,6 4,2 3,4 3,9 3,2 3,6 3,8  
3,9 4,0 3,7 3,4 4,0 4,7 3,6 2,9 3,2 3,7 3,8 3,6 3,3 3,7 4,2 4,6 4,3 4,1 3,9 4,4  
3,0 4,0 3,7 3,9 3,7 3,8 3,6 3,8 4,8 3,4 3,3 3,9 3,4 3,9 4,1 3,7 4,0 4,0 3,7 3,6  
3,5 3,6 3,5 3,8 4,3 3,8 2,8 3,2 3,1 3,7 3,9 4,7 3,5 4,4 4,1 3,6 3,9 3,6 3,7 3,4

Вариант 10. Прочность бетона при его твердении со временем возрастает. Для анализа кинетики твердения бетона произвели испытания 100 стандартных образцов. X - время твердения (в сутках). Приведены результаты испытаний.

21 11 10 11 13 5 14 19 15 9 11 22 16 14 12 13 20 12 3 18 18 14 13 17 17  
6 8 9 13 17 17 13 16 7 10 9 10 12 7 16 16 12 14 15 14 11 18 13 13 20 16  
15 12 14 11 15 5 17 18 18 11 11 13 9 15 14 20 12 8 8 16 14 14 15 18 11 8  
14 7 9 7 13 19 17 19 14 13 15 16 13 13 11 13 13 10 9 10 11 16 12

2. Рассчитать коэффициент корреляции и определить регрессионные зависимости двух основных параметров подъемных кранов от грузоподъемности. Вариант заданий выбрать из таблицы 4.1, численные значения параметров - таблица 4.2. Построить графики зависимости этих параметров от грузоподъемности крана.

Таблица 4.1

Варианты задания

N	Наименование параметра (x)	Наименование основного параметра (y <sub>1</sub> )	Наименование основного параметра (y <sub>2</sub> )
1	Грузоподъемность без выносных опор, т	Вылет наименьший, м	Высота с основной стрелой, м
2	Грузоподъемность без выносных опор, т	Высота подъема со сменным рабочим оборудованием, м	Скорость подъема-опускания груза м/мин
3	Грузоподъемность без выносных опор, т	Скорость передвижения крана км/ч	Частота вращения поворотной части крана наименьшая, об/мин

4	Грузоподъемность без выносных опор, т	Частота вращения поворотной части крана, наибольшая, об/мин	Время полного изменения высоты для кранов с жесткой подвеской стрелы, с
5	Грузоподъемность без выносных опор, т	Время полного изменения вылета для кранов с гибкой подвеской стрелы, с	Преодолеваемый краном уклон пути, град
6	Грузоподъемность при передвижении с грузом на крюке, т	Конструктивная масса крана, т	Вылет наименьший, м
7	Грузоподъемность при передвижении с грузом на крюке, т	Удельная масса крана, т/(т-м)	Высота подъема с основной стрелой, м
8	Грузоподъемность при передвижении с грузом на крюке, т	Высота подъема со сменным рабочим оборудованием, м	Скорость подъема-опускания груза, м/мин
9	Грузоподъемность при передвижении с грузом на крюке, т	Скорость передвижения крана, км/ч	Частота вращения поворотной части, наименьшая, об/мин
10	Грузоподъемность при передвижении с грузом на крюке, т	Высота вращения поворота части крана наибольшая, об/мин	Время полного изменения вылета, для кранов с жесткой подвеской стрелы

Таблица 4.2

Показателя качества стреловых самоходных кранов общего назначения

п/п	Размерная группа	КГ-16	КГ-25	КГ-40	КГ-63	КГ-100	КГ-160	КГ-250
		1	Грузоподъемность, т, не менее: без выносных опор	16	25	40	63	100
2	Грузоподъемность при передвижении с грузом на крюке, т	16	25	40	50	70	100	125
3	Вылет наименьший, м	4,1	4,4	5,0	5,1	6,0	6,5	7,4
4	Высота подъема с основной стрелой, м, не менее	10	13,7	13,5	13	18	29	29
5	Высота подъема со сменным рабочим оборудованием, м, не менее	25	36	56	61	76	100	110
6	Скорость подъема-опускания, м/мин, не менее	7	6	5	4	3	3	2
7	Скорость передвижения крана, км/ч, не более	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
8	Наименьшая частота вращения поворотной части, об/мин	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,15	0,2
9	Наибольшая частота вращения поворотной части, об/мин	1,2	0,96	0,96	0,5	0,4	0,3	0,2
10	Время полного изменения вылета, с, не менее, для кранов: с жесткой подвеской стрелы; с гибкой подвеской стрелы	40	50	60	70	80	120	150
		100	150	250	200	250	600	800
11	Преодолеваемый краном уклон пути, град, не менее	15	15	13	12	10	10	10

12	Конструктивная масса крана, т, не более	26	36,5	60	88	130	215	320
13	Удельная масса крана, т/ (т-м-м), не более	0,04	0,026	0,023	0,022	0,0112	0,008	0,007

### **Контрольные вопросы**

1. Случайные величины, законы их распределения.
2. Основные виды теоретических распределений дискретной случайной величины.
3. Основные виды теоретических распределений непрерывной случайной величины.
4. Точечные оценки.
5. Доверительные интервалы. Надежность. Точность.
6. Какие существуют методы проверки (тестирования) качества генераторов случайных чисел?
7. Статистическая проверка статистических гипотез.
8. Подбор подходящего теоретического распределения. Критерии согласия.
9. Корреляционный анализ результатов моделирования.
10. Регрессионный анализ результатов моделирования.