

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

КАФЕДРА №1

ОТЧЕТ  
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

Профessor, д-р техн. наук,  
доцент

должность, уч. степень, звание

отлично

  
04.04.23

Вершинина Л. П.

инициалы, фамилия

## ОТЧЕТ О ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

Имитационная модель технологического процесса

по курсу: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. №

М011

  
4.04.23

Борисов С. И.

подпись, дата

инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2023

## Цель

Ознакомиться с разработкой имитационных моделей, а также разработать имитационную модель функционирования участка в течение 10 часов.

## Задание

Производственно-технологическая цепочка состоит из нескольких технологических узлов типа R, S, T.

В узлах типа R происходят процессы изготовления и наладки продукции; в узлах типа S – контроль за качеством выходной продукции различных цехов; узлы типа Т предназначены для устранения дефектов у забракованной продукции. Транспортировка продукции между узлами производится в специальных контейнерах.

Некоторый участок данного технологического процесса из одного узла типа S и одного узла типа T. Узел S оснащен двумя рабочими местами, а узел T – одним. Поступление нового контейнера для проверки качества происходит каждые a минут. Обработка контейнера в узле S занимает у одного рабочего b минут, а у другого – c минут.

d% контейнеров проходят проверку и попадают на другие узлы производственно-технологической цепи.

Контейнеры с продукцией, не прошедшей контроль качества, поступают из данного узла S в узел T, где в течение e минут ведется устранение их дефектов одним специалистом.

### Требуется:

- 1) нарисовать схему функционирования данного технологического участка;
- 2) сформулировать показатель качества функционирования участка;
- 3) без использования программных средств разработать имитационную модель функционирования участка в течение 10 часов;
- 4) определить значение показателя качества с использованием модели.

**УКАЗАНИЕ:** *a* и *e* рассматривать как непрерывные случайные величины, *b* и *c* – дискретные случайные величины

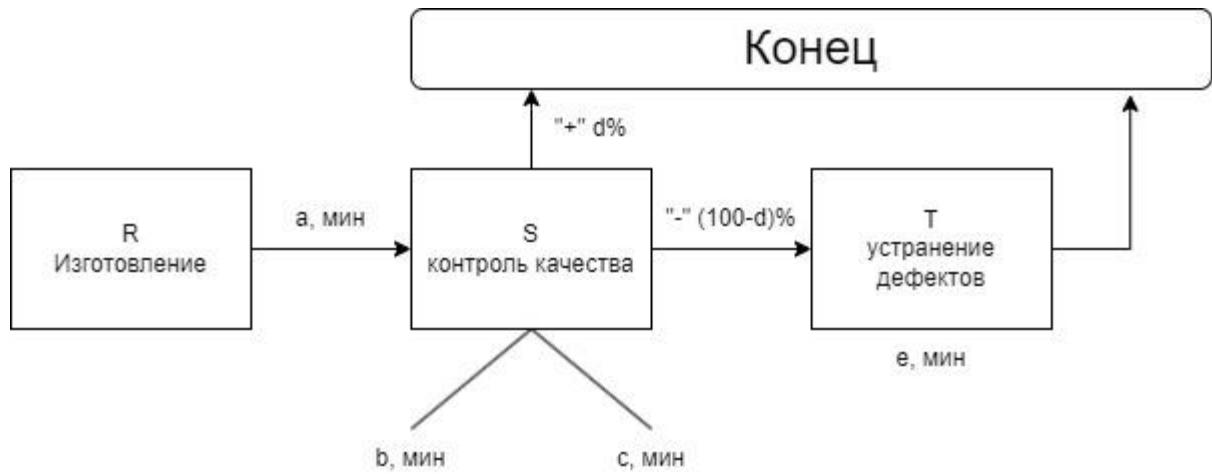
### Вариант 6

№ варианта	a	b	c	d	e
6	11±7	13±2	13±6	82%	32±5

### Ход работы

Составим схему производства.

Она начинается в узле R, затем контейнер попадает в узел S, где находятся 2 рабочих, которые определяют есть ли у товара дефекты, если нет, то товар выходит из производственной схемы, если дефекты есть, то товар отправляется в узел T, после этого исправленный товар является готовым и выходит из цепи.



Опишем критерии оценивания данной производственной цепочки. За единственный и главный критерий возьмем задержки при непрерывной работе. Задержкой является время, когда контейнер, который готов, не может быть обработан следующим узлом, потому что узел занят другим продуктом.

**Составим таблицу вероятностей для узла S (1 рабочего)**

b	P	кумулята	интервал
11	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	[0; 0,2)
12	$\frac{1}{5}$	$\frac{2}{5}$	[0,2; 0,4)
13	$\frac{1}{5}$	$\frac{3}{5}$	[0,4; 0,6)
14	$\frac{1}{5}$	$\frac{4}{5}$	[0,6; 0,8)
15	$\frac{1}{5}$	$\frac{5}{5}$	[0,8; 1)

**Составим таблицу вероятностей для узла S (2 рабочего)**

C	P	кумулята	интервал
7	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{13}$	$[0; \frac{1}{13})$
8	$\frac{1}{13}$	$\frac{2}{13}$	$[\frac{1}{13}; \frac{2}{13})$
9	$\frac{1}{13}$	$\frac{3}{13}$	$[\frac{2}{13}; \frac{3}{13})$
10	$\frac{1}{13}$	$\frac{4}{13}$	$[\frac{3}{13}; \frac{4}{13})$
11	$\frac{1}{13}$	$\frac{5}{13}$	$[\frac{4}{13}; \frac{5}{13})$
12	$\frac{1}{13}$	$\frac{6}{13}$	$[\frac{5}{13}; \frac{6}{13})$
13	$\frac{1}{13}$	$\frac{7}{13}$	$[\frac{6}{13}; \frac{7}{13})$
14	$\frac{1}{13}$	$\frac{8}{13}$	$[\frac{7}{13}; \frac{8}{13})$

15	$\frac{1}{13}$	$\frac{9}{13}$	$[\frac{8}{13}; \frac{9}{13})$
16	$\frac{1}{13}$	$\frac{10}{13}$	$[\frac{9}{13}; \frac{10}{13})$
17	$\frac{1}{13}$	$\frac{11}{13}$	$[\frac{10}{13}; \frac{11}{13})$
18	$\frac{1}{13}$	$\frac{12}{13}$	$[\frac{11}{13}; \frac{12}{13})$
19	$\frac{1}{13}$	$\frac{13}{13}$	$[\frac{12}{13}; \frac{13}{13})$

Случайное значение для непрерывных случайных величин найдем по закону равномерного распределения. Потребуется такое количество полученных значений **a**, чтобы в сумме они были больше 10 часов.

Используем формулу

$$r_i = \frac{x_i - a}{b - a}$$

Где  $r_i$  – случайное число, взятое из таблицы

[a:b] – интервал случайной величины

### Пример расчетов для «а»

Интервал в данном случае будет [4;18], первое случайное число из таблицы 0,47

$$x_i = 0,47 * (18 - 4) + 4 = 10,63$$

### Пример расчетов для е

Интервал в данном случае будет [27;37], первое случайное число из таблицы 0,37

$$x_i = 0,37 * (37 - 27) + 27 = 30,74$$

Случайное число	а	№	Случайное число	е
0,47	10,63	1	0,37	30,74
0,99	17,93	2	0,25	29,51
0,24	7,29	3	0,79	34,87
0,84	15,69	4	0,63	33,33
0,06	4,80	5	0,92	36,20
0,37	9,20	6	0,16	28,63
0,08	5,09	7		
0,18	6,57	8		
0,32	8,54	9		
0,25	7,47	10		
0,44	10,15	11		
0,36	9,07	12		
0,96	17,42	13		
0,46	10,49	14		

0,49	10,93	15	
0,12	5,67	16	
0,75	14,47	17	
0,50	10,94	18	
0,23	7,28	19	
0,89	16,45	20	
0,71	13,99	21	
0,16	6,24	22	
0,36	9,09	23	
0,39	9,45	24	
0,41	9,80	25	
0,43	10,04	26	
0,33	8,69	27	
0,12	5,73	28	
0,92	16,94	29	
0,04	4,53	30	
0,67	13,39	31	
0,81	15,34	32	
0,90	16,56	33	
0,31	8,33	34	
0,08	5,11	35	
0,31	8,33	36	
0,21	6,96	37	
0,08	5,19	38	
0,54	11,53	39	
0,45	10,35	40	
0,06	4,86	41	
0,17	6,36	42	
0,29	8,00	43	
1,00	17,99	44	
0,44	10,21	45	
0,89	16,51	46	
0,36	9,07	47	
0,35	8,94	48	
0,82	15,42	49	
0,29	8,01	50	
0,83	15,57	51	
0,04	4,54	52	
0,98	17,68	53	
0,78	14,86	54	
0,36	9,10	55	
0,59	12,31	56	
0,65	13,05	57	
0,80	15,24	58	

Складывая все полученные значения «а» и деля их на 60, получаем 10,16. Нужное количество «а» получено.

Для дискретных случайных величин возьмем из таблицы случайных чисел значения и получим время обработки в узле S контейнера у одного и второго рабочих.

<b>Случайное число</b>	<b>b</b>
0,5	13
0,28	12
0,68	14
0,36	12
0,9	15
0,62	14
0,27	12
0,6	14
0,18	11
0,36	12
0,61	14
0,21	12
0,46	13
0,01	11
0,14	11
0,81	15
0,87	15
0,72	14
0,8	15
0,46	13
0,19	11
0,86	15
0,49	13
0,12	11
0,13	11
0,88	15
0,02	11
0,28	12
0,49	13
0,36	12
0,87	15
0,21	12
0,45	13
0,18	11
0,24	12

<b>Случайное число</b>	<b>c</b>
0,88	18
0,02	7
0,28	10
0,49	13
0,36	11
0,87	18
0,21	9
0,95	19
0,5	13
0,24	10
0,18	9
0,62	15
0,32	11
0,78	17
0,74	16
0,82	17
0,01	7
0,33	11
0,98	19
0,63	15
0,29	10
0,84	17

Теперь смоделируем работу узлов R и S

<b>a</b>	<b>t<sub>п</sub></b>	<b>b</b>	<b>t<sub>bн</sub></b>	<b>t<sub>bк</sub></b>	<b>c</b>	<b>t<sub>сн</sub></b>	<b>t<sub>ск</sub></b>	<b>t<sub>задержки</sub></b>
10,63	10,63	13	10,63	23,63				0
17,93	28,56	12	28,56	40,56				0
7,29	35,85				18	35,85	53,85	0
15,69	51,54	14	51,54	65,54				0
4,80	56,34				7	56,34	63,34	0
9,20	65,54	12	65,54	77,54				0
5,09	70,63				10	70,63	80,63	0
6,57	77,20	15	77,54	92,54				0,34
8,54	85,75				13	85,75	98,75	0

7,47	93,21	14	93,21	107,21				0
10,15	103,36				11	103,36	114,36	0
9,07	112,43	12	112,43	124,43				0
17,42	129,85	14	129,85	143,85				0
10,49	140,35				18	140,35	158,35	0
10,93	151,27	11	151,27	161,27				0
5,67	156,94				9	156,94	165,94	0
14,47	171,41	12	171,41	183,41				0
10,94	182,35				19	182,35	202,35	0
7,28	189,63	14	189,63	203,63				0
16,45	206,09	12	206,09	218,09				0
13,99	220,08	13	220,08	233,08				0
6,24	226,32				13	226,32	239,32	0
9,09	235,41	11	235,41	246,41				0
9,45	244,86				10	244,86	254,86	0
9,80	254,66	11	254,66	264,66				0
10,04	264,70	15	264,70	279,70				0
8,69	273,39				9	273,39	282,39	0
5,73	279,12	15	279,70	294,70				0,58
16,94	296,06	14	296,06	310,06				0
4,53	300,59				15	300,59	315,59	0
13,39	313,98	15	313,98	328,98				0
15,34	329,32	13	329,32	342,32				0
16,56	345,89	11	345,89	356,89				0
8,33	354,22				11	354,22	365,22	0
5,11	359,32	15	359,32	374,32				0
8,33	367,65				17	367,65	384,65	0
6,96	374,61	13	374,61	387,61				0
5,19	379,79				16	384,65	400,65	4,86
11,53	391,32	11	391,32	402,32				0
10,35	401,67				17	401,67	418,67	0
4,86	406,53	11	406,53	417,53				0
6,36	412,89	15	417,53	432,53				4,64
8,00	420,89				7	420,89	427,89	0
17,99	438,87	11	438,87	449,87				0
10,21	449,08				11	449,08	460,08	0
16,51	465,59	12	465,59	477,59				0
9,07	474,65				19	474,65	493,65	0
8,94	483,60	13	483,60	496,60				0
15,42	499,02	12	499,02	511,02				0
8,01	507,03				15	507,03	522,03	0
15,57	522,60	15	522,60	537,60				0
4,54	527,14				10	527,14	537,14	0
17,68	544,82	12	544,82	556,82				0
14,86	559,68	13	559,68	572,68				0
9,10	568,77				17	568,77	585,77	0
12,31	581,08	11	581,08	592,08				0
13,05	594,13	12	594,13	606,13				0
15,24	609,37	12	609,37	621,37				0

Показатель качества данной модели – время задержки. На данному узле задержка составляет 10,42, что является незначительным для промежутка в 10ч.

В таблице  $t_{\Pi}$  – время, когда узел R готов передать контейнер на следующий узел.

$t_{bH}$  – время, когда первый работник принял контейнер на проверку из узла R.

$t_{bK}$  – время, когда первый работник закончил проверку контейнера из узла R и передает в следующий узел T или отправляет его на выход из цепочки.

$t_{cH}$  – время, когда второй работник принял контейнер на проверку из узла R.

$t_{cK}$  – время, когда второй работник закончил проверку контейнера из узла R и передает в следующий узел T или отправляет его на выход из цепочки.

**Как можно заметить из таблицы первый работник выполняет чуть больше проверок, чем второй.** Это можно увидеть по конечному времени работы работников ( $t_{bK}, t_{cK}$ ) и времени выпуска нового контейнера ( $t_{\Pi}$ ).

После проверки качества контейнеров с вероятностью  $d=82\%$  они проходят контроль и считаются готовыми. Построим таблицу вероятностей для прохождения контроля продуктом.

<b>d</b>	<b>P</b>	<b>отрезок</b>
+	$\frac{82}{100}$	$[0; \frac{82}{100})$
-	$\frac{18}{100}$	$[\frac{82}{100}; \frac{100}{100})$

Построим таблицу случайных чисел и произошедшего события. Также, возьмем из таблицы случайных чисел значения, и составим таблицы для узла T

Случайное число	<b>d</b>
70,24	+
28,974	+
89,115	-
93,17	-
40,036	+
42,622	+
90,42	-
7,385	+
28,483	+
72,562	+
44,594	+
63,697	+
70,715	+
49,737	+
29,724	+
64,895	+
41,34	+
19,449	+

52,352	+
68,521	+
5,2356	+
63,683	+
62,434	+
45,944	+
22,453	+
35,721	+
64,661	+
15,451	+
95,566	-
28,903	+
89,782	-
42,259	+
4,2157	+
7,756	+
76,42	+
80,147	+
65,676	+
63,852	+
71,156	+
19,332	+
39,564	+
96,649	-
63,11	+
57,084	+
37,362	+
49,338	+
30,613	+
50,377	+
42,852	+
60,87	+
18,638	+
38,351	+
2,6747	+
72,363	+
62,41	+
74,247	+
7,1622	+
27,264	+

После составления таблиц и моделирования первой половины процесса смоделируем конец производственной цепи на узле Т.

$t_{кон}$	$d$	$e$	$t_{ен}$	$t_{ек}$	$t_{задержки}$
23,63	+				
40,56	+				
53,85	-	30,74	53,85	84,59	
65,54	-	29,51	84,59	114,1	19,05

63,34	+				33,47
77,54	+				
80,63	-	34,87	114,1	148,97	
92,54	+				
98,75	+				
107,21	+				
114,36	+				
124,43	+				
143,85	+				
158,35	+				
161,27	+				
165,94	+				
183,41	+				
202,35	+				
203,63	+				
218,09	+				
233,08	+				
239,32	+				
246,41	+				
254,86	+				
264,66	+				
279,70	+				
282,39	+				
294,70	+				
310,06	-	33,33	310,06	343,39	
315,59	+				14,41
328,98	-	36,20	343,39	379,59	
342,32	+				
356,89	+				
365,22	+				
374,32	+				
384,65	+				
387,61	+				
400,65	+				
402,32	+				
418,67	+				
417,53	+				
432,53	-	28,63	432,53	461,16	
427,89	+				
449,87	+				
460,08	+				
477,59	+				
493,65	+				
496,60	+				
511,02	+				
522,03	+				
537,60	+				
537,14	+				
556,82	+				
572,68	+				

585,77	+				
592,08	+				
606,13	+				
621,37	+				

Определим показатель качества на данном узле:

$$(19,05+33,47+14,41)/6=11,16$$

Показатель качества на данном узле равен 11,16

В данной таблице  $t_{\text{кон}}$  – время, за которое контейнер был проверен одним из двух рабочих в узле S.

$t_{\text{ен}}$  – время, когда контейнер с дефектом поступил в узел T.

$t_{\text{ек}}$  – время, когда дефект исправился в узле T и контейнер вышел из производственной цепи.

## Результаты

Из данной таблицы можно сделать вывод о том, что в узле T случаются задержки, в связи с тем, что рабочий не всегда успевает устранять дефекты до поступления нового контейнера. Следовательно, **решением** может являться – поставить второго дополнительного рабочего на узел T, либо ускорить время работы за счет внедрения автоматических средств устранения дефектов.

При моделировании 10 часов работы производственной цепи можно сказать, что критических замечаний нет.

В результате данная производственная цепь является стабильной и без критических задержек, которые могли бы сильно замедлить работу технологического процесса.

## Вывод

В ходе выполнения практической работы я ознакомился с разработкой имитационных моделей, а также разработал имитационную модель функционирования производственного участка в течение 10 часов. Рекомендации по окончании работы - поставить второго дополнительного рабочего на узел T, либо ускорить время работы за счет внедрения автоматических средств устранения дефектов.