

УДК 677.051

**ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕН НАРАБОТКИ  
НА ОТКАЗ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ**

*Д.А. ЗАБРОДИН*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)  
E-mail: office@msta.ac.ru

*Разработана имитационная компьютерная модель поточной линии прядильного производства. Исследовано влияние законов распределения времен наработки на отказ и восстановления на производительность поточных линий методами компьютерного моделирования. Оценена значимость различия средних производительностей для типовых законов распределения времен наработки на отказ и восстановления.*

*The imitation computer model of the spinning continuous line is developed. The influence of the distribution of the time for the life length and the recovery on the efficiency of the continuous lines was investigated by the methods of computer modeling. The significance of the difference between the average values of the efficiency dependent on the typical laws of the distribution of the time for the life length and the recovery was evaluated.*

**Ключевые слова:** прядильное производство, поточные линии, время наработки на отказ, время восстановления, моделирование, алгоритмы, показатели надежности, производительность.

Одним из наиболее важных показателей работы поточных линий прядильного производства является их надежность. Поскольку в общем случае поточная линия представляет собой параллельно-последовательную структуру, аналитическую оценку можно получить методами теории массового обслуживания [1]. Однако это возможно, только если время наработки на отказ и время восстановления распределены по показательному закону. В реальности эти времена распределены по законам, отличным от показательного.

Для моделирования работы поточных линий были разработаны специальные алгоритмы [2]. Затем с помощью этих алгоритмов было исследовано влияние различных законов распределения времени наработки на отказ и времени восстановления отдельных блоков на показатели надежности поточных линий.

Для анализа результатов эксперимента были выбраны следующие показатели: средняя производительность поточной линии  $\bar{G}$ , кг/ч; коэффициент вариации по производительности  $Cv_G$ , %; относительное отклонение реальной производительности от максимально возможной  $\Delta G$ ; число переключений производительности поточной линии в единицу времени  $k_t$ . Значения  $\Delta G$  и  $k_t$  вычисляются соответственно по формулам

$$\Delta G = \frac{G_{\max} - G_t}{G_{\max}}, k_t = k / T_{\text{mod}}, \quad (1)$$

где  $k$  – число переключений системы (изменений производительности) за время моделирования.

Кроме показательного закона были выбраны закон Эрланга с коэффициентами вариации времени 50 и 25% ( $t \sim H(k=4, \lambda)$  и  $t \sim H(k=16, \lambda)$ ) и равномерный закон распределения с теми же коэффициентами вариации ( $t \sim Un(a, b)$ ).

Для равномерного закона  $a$  и  $b$  вычислялись по формулам

$$a = \bar{t}(1 - \sqrt{3}Cv_t); b = \bar{t}(1 + \sqrt{3}Cv_t), \quad (2)$$

где  $Cv_t$  – коэффициент вариации по времени в долях;  $\bar{t}$  – среднее время наработки на отказ или среднее время восстановления.

Исходные данные: время моделирования 4000 ч; алгоритм распределения производительности между параллельно работающими блоками – взвешенный; характеристики блоков поточной линии приведены в табл.1; число очистителей/рыхлителей 3; количество кипных питателей для хлопка 12; количество кардочесальных машин 16.

Т а б л и ц а 1

Блок	$G_{\text{ном}}$ , кг/ч	$t_i^f$ , ч	$t_i^r$ , ч
Кипный питатель для химического волокна	200	200	12
Кипные питатели $1 \div N_k$ для хлопка	100	100	3
Наклонный очиститель	1500	220	10
Чиститель осевой	1450	220	8
Горизонтальный рыхлитель	1500	200	8
Смесовая машина	1400	300	24
Кардочесальные машины	80	75	2

Схема моделируемой поточной линии приведена на рис. 1. Результат эксперимента представлен в табл. 2.

Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что в случае закона Эрланга производительность поточной линии незначительно возрастает. Причем при коэффициенте вариации времени, равном 25%, общая производительность выше, чем при

коэффициенте вариации 50%. Аналогичная ситуация наблюдается и в случае равномерного распределения.

Очевидно уменьшение коэффициента вариации по производительности с 42% при показательном законе до 29...32,5% при законе Эрланга и при равномерном законе распределения.

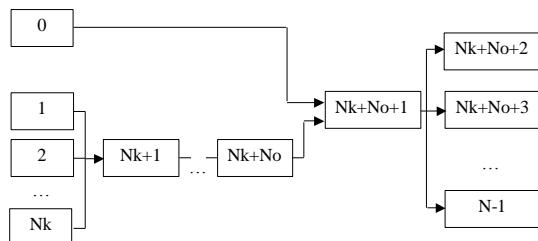


Рис. 1

В то же время можно заметить, что частота переключений в случае показательного закона в 8 раз больше, чем при равномерном законе распределения и законе Эрланга. Это объясняется меньшим количеством событий.

Т а б л и ц а 2

№ прогона	Закон распределения				
	$E_x(\lambda)$	$H(4,\lambda)$	$H(16,\lambda)$	$Un(a,b)$ $Cv_i=50\%$	$Un(a,b)$ $Cv_i=25\%$
1	1082	1142	1170	1136	1179
2	1053	1114	1176	1149	1176
3	1095	1164	1172	1131	1169
4	1074	1147	1161	1153	1178
5	1074	1158	1164	1118	1162
6	959	1138	1181	1137	1175
7	1049	1140	1177	1127	1176
8	1071	1167	1168	1191	1158
9	1097	1136	1154	1157	1164
10	1007	1138	1166	1148	1163
$\bar{G}$	1056	1144	1169	1145	1170
$Cv_G$	42,1	32,4	28,9	32,3	29,0
$\Delta G$	0,18	0,11	0,09	0,11	0,09
$k_t$	0,16	0,02	0,02	0,02	0,02

Используя критерий Стьюдента, можно оценить, значимо ли отличаются средние производительности для закона распределения Эрланга и равномерного закона с различными коэффициентами вариации по времени, а также для закона распределения Эрланга и экспоненциального закона.

Результаты расчета и найденные по таблице критерия Стьюдента критические значения при числе степеней свободы, равном  $n - 2$ , и доверительной вероятности 0,95 приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Показатели	$S^2$	$t_{расч}$	$t_{кр}$
$Un(a,b) Cv_i=50\%$ и $H(4,\lambda)$	19,243	0,116	2,101
$Un(a,b) Cv_i=25\%$ и $H(16,\lambda)$	18,397	0,122	2,101
$E_x(\lambda)$ и $H(16,\lambda)$	19,742	12,799	2,101

Результаты показывают, что для показательного закона и закона Эрланга  $H(16,\lambda)$   $t_{расч} > t_{кр}$ , то есть разница между средними производительностями значима. Следовательно, можно заключить:

а) при моделировании необходимо знать закон распределения интервалов времени между выходами из строя и интервалов времени между восстановлениями;

б) в компьютерной модели должна быть возможность задавать этот закон распределения.

При сравнении закона распределения Эрланга и равномерного закона и с коэффициентом вариации по времени 50%, и с коэффициентом 25%,  $t_{расч} < t_{кр}$ , то есть разница между средними производительностями незначима. Из этого следует, что закон распределения интервалов времени влияет на среднюю производительность поточной линии не очень сильно. Поэтому, если проводимый эксперимент не требует высокой точности оценки средней производительности, закон распределения интервалов времени между выходами из строя и интервалов времени между восстановлениями можно не учитывать. В противном случае для более высокой точ-

ности оценки необходимо задавать этот закон распределения.

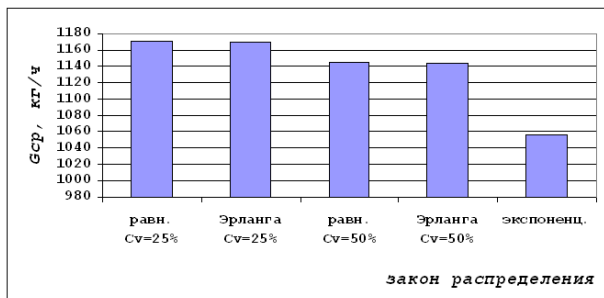


Рис. 2

На рис. 2 приведена диаграмма зависимости средней производительности поточной линии от закона распределения интер-

валов времени наработки на отказ и времени восстановления технологических машин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Боровков А. А.* Вероятностные процессы в теории массового обслуживания. – М., 1972.
2. *Забродин Д. А.* Исследование надежности поточных линий прядильного производства и автоматизация принятия управляющих решений: Дис...канд. техн. наук. –М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2006.

Рекомендована кафедрой информационных технологий и систем автоматизированного проектирования. Поступила 20.10.09.