

УДК 519.873

С.Г. Глеч, В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: glech@ukr.net

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ «ЛБ-0278» НА ЗАВОДЕ «СИМФЕРОПОЛЬСЕЛЬМАШ»

Приведены результаты пассивного производственного эксперимента на действующей автоматической линии «ЛБ-0278» изготовления вилки механизма качающейся шайбы на Симферопольском заводе сельскохозяйственных машин. Полученные результаты необходимы для проверки адекватности математических моделей исследуемому объекту.

Одной из основных проблем промышленного производства остается назначение оптимальных сроков проведения профилактики оборудования. Единственным способом назначения этих сроков в автоматизированном производстве является прогнозирование, и следовательно, возникает необходимость разработки математических моделей автоматизированных производственных систем с учетом профилактики. В работах [1 – 3] были построены некоторые математические модели систем с учетом профилактики, однако адекватность предложенных моделей служит объектом дальнейшего исследования.

С целью проверки степени адекватности предлагаемой в [3] математической модели в производственных условиях была рассмотрена структура и процесс функционирования автоматической линии (АЛ) «ЛБ-0278» изготовления вилки механизма качающейся шайбы (МКШ) зерноуборочного комбайна «Дон». Основными задачами экспериментальных исследований являлись:

- выявление причин отказов АЛ, накопление и систематизация статистических данных, необходимых для дальнейших расчетов параметров надежности АЛ;
- определение экспериментальных законов распределения потоков отказов и восстановлений АЛ с целью подбора наилучших теоретических аппроксимирующих зависимостей, наиболее удобных при дальнейшем вероятностно-аналитическом моделировании;
- проверка адекватности математической модели [3] исследуемому объекту путем сопоставления экспериментальных значений параметров АЛ с расчетными, полученных моделированием.

Длительность эксперимента составила шесть месяцев. Простои АЛ, не связанные с отказами оборудования самой линии, в том числе по организационным причинам – в связи с отсутствием заготовок на входе, электроэнергии – исключены из результатов эксперимента.

Общий вид АЛ изображен на рисунке 1. В состав линии входят следующие механизмы и агрегаты: электронно-вычислительное устройство 1, центральный блок управления 2, транспортер 3, спутники 4, станция загрузки спутников 5, станция выгрузки спутников 6, специальный фрезерный станок 7, специальный сверлильный станок 8, специальный фрезерный станок 9, специальный расточной станок 10, контрольный автомат 11.

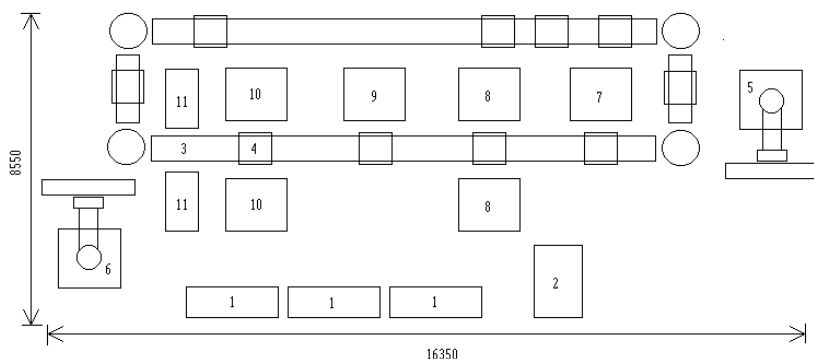


Рисунок 1 – Структурная схема АЛ «ЛБ-0278»

АЛ функционирует следующим образом: робот-манипулятор станции загрузки спутников 5 перемещает заготовку со вспомогательного загрузочного транспортера, входящего в состав станции загрузки 5, на свободный спутник, который после этого передвигается на первую позицию обработки (станок 7); затем синхронно происходит обработка деталей (станки 7, 8, 9, 10): на первой позиции обработки (станок 7) происходит фрезерование проушин вилочки МКШ, на второй – высверливание отверстий в проушинах (станок 8), на третьей – чистовое фрезерование проушин (станок 9) и на четвертой – чистовая расточка отверстий (станок 10); по завершении обработки на станке 10 производится проверка соответствия технических параметров детали на контрольном автомате 11, а затем съем готовой детали роботом-манипулятором станции выгрузки спутников 6.

Общие паспортные данные линии «ЛБ-0278»: длина 16,35 м, ширина 8,55 м, коэффициент использования 0,75, общая мощность 88,5 кВт.

Отказ любого технологического устройства приводит к выходу из строя всей линии, в связи с чем при моделировании она может рассматриваться в целом как единый технологический комплекс – технологическая ячейка.

Пассивный производственный эксперимент состоял из двух частей. Первая – определение закона распределения наработки на отказ и времени восстановления (без профилактики), вторая – проверка адекватности математической модели (с профилактикой).

В эксперименте рассмотрена профилактическая замена инструмента: фрез, сверл и расточных головок. В длительность профилактики включена замена инструмента и его настройка; так, например, для расточных головок – это регулирование ее посадки с помощью индикатора часового типа. По технологическому процессу профилактическая замена инструмента имеет периодичность 4 часа.

Статистическая обработка результатов эксперимента выполнена по общепринятой методике, приведенной в [4]:

а) среднее арифметическое значение эмпирических данных времени безотказной работы, времени восстановления:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^f x_i m_i ,$$

x_i - середина i -го интервала; m_i - частота i -го интервала; f - число интервалов; N - общее число наблюдаемых событий;

б) дисперсия эмпирических данных времени безотказной работы, времени восстановления:

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^f (x_i - \bar{X})^2 m_i ;$$

в) коэффициент вариации эмпирических данных времени безотказной работы, времени восстановления:

$$V = \frac{S}{\bar{X}} 100\% ;$$

г) статистическая плотность распределения эмпирических данных времени безотказной работы, времени восстановления его работоспособности:

$$f_i = \frac{m_i}{\Delta t \cdot N} ,$$

m_i - частота i -го интервала; Δt - величина i -го разряда; N - общее число наблюдаемых событий.

Данные хронометража первого эксперимента по времени наработки на отказ, времени восстановления обобщены и сведены в таблицу 1. Статистическая обработка результатов эксперимента представлена в таблицах 2, 3 и 4. Нарботка на отказ подчиняется специальному закону Эрланга 6 порядка, а время восстановления – специальному закону Эрланга 3 порядка. Рассчитана основная характеристика надежности – коэффициент готовности $K_T = 0,851$.

Таблица 1 – Данные хронометража по результатам исследований АЛ ЛБ-0278 без профилактики

Через дробь указаны время наработки на отказ, время восстановления, ч

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,87/0,03	1,34/0,4	1,35/1,17	5,03/0,36	3,97/0,98	5,36/0,35	2,82/1,04	3,08/1,22	4,82/0,07	5,7/0,1
2,9/0,75	2,35/1,22	1,9/0,22	5,4/1,33	3,02/0,6	2,18/1,08	5,42/0,4	5,23/0,83	6,18/0,55	3,75/0,33
3,41/0,93	1,7/0,43	6,47/0,72	1,66/0,42	2/0,68	6,6/0,17	4,17/0,21	4,18/1,3	4,58/0,3	3,98/0,1
1,52/0,65	2,37/1,14	5,52/0,38	2,33/0,39	2,83/0,32	6,73/0,88	2,13/0,86	5,8/0,92	4,25/0,58	3,24/1,02
4,88/0,67	3,38/0,77	6,63/0,62	3,8/0,52	4,07/1,32	4,48/0,9	2,52/0,54	2,75/1,18	3,83/0,57	2,67/0,23
2,68/4,4	1,81/0,25	3,63/1,12	4,35/0,73	4,82/0,41	3,3/0,25	5,13/0,18	3,15/0,4	3,7/0,82	1,47/0,95

Таблица 2 – Обработанные данные по ВБР АЛ ЛБ-0278 без профилактики

№ интервала	Интервал	Середина интервала	Частота m_i	Частость m_i/N	Плотность f_i
1	1,15...1,85	1,5	7	0,116	0,165
2	1,85...2,55	2,2	9	0,15	0,214
3	2,55...3,25	2,9	10	0,166	0,237
4	3,25...3,95	3,6	8	0,133	0,19
5	3,95...4,65	4,3	8	0,133	0,19
6	4,65...5,35	5	7	0,116	0,165
7	5,35...6,05	5,7	6	0,1	0,142
8	6,05...6,75	6,4	5	0,083	0,118

Таблица 3 – Обработанные данные по ВВ АЛ ЛБ-0278 без профилактики

№ интервала	Интервал	Середина интервала	Частота m_i	Частость m_i/N	Плотность f_i
1	0,03...0,2	0,12	6	0,1	0,588
2	0,2...0,37	0,28	10	0,166	0,976
3	0,37...0,53	0,45	10	0,166	0,976
4	0,53...0,7	0,62	9	0,15	0,882
5	0,7...0,87	0,78	7	0,116	0,682
6	0,87...1,03	0,95	7	0,116	0,682
7	1,03...1,2	1,12	6	0,1	0,588
8	1,2...1,36	1,28	5	0,083	0,488

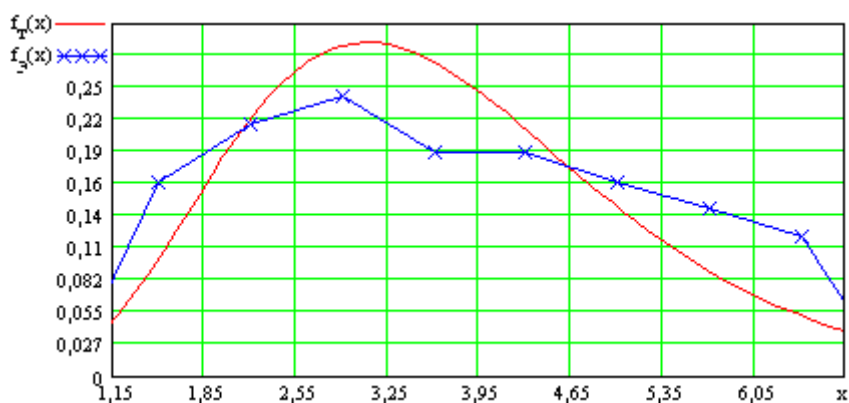


Рисунок 2 – Теоретическая и эмпирическая кривые плотностей распределения ВВ АЛ «ЛБ-0278» без профилактики

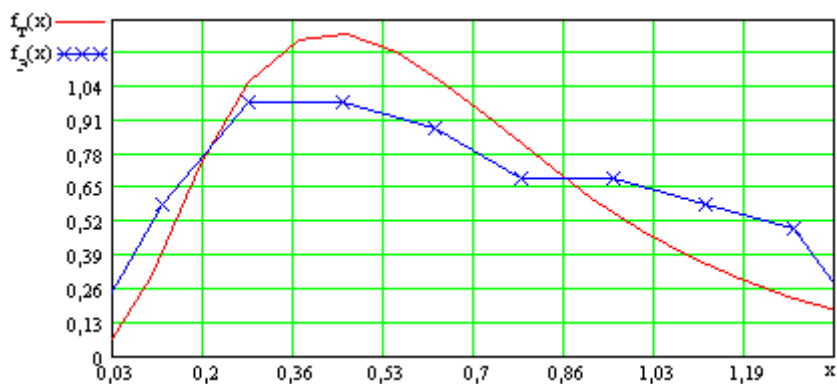


Рисунок 3 – Теоретическая и эмпирическая кривые плотностей распределения ВВ АЛ «ЛБ-0278» без профилактики

Таблица 4 – Экспериментальные характеристики АЛ ЛБ-0278 без профилактики

Характеристики надежности	$Mame-\bar{X}$, ч	Диспер- S^2 , ч ²	Коэф- V , %	Порядок закона Эрланга	Интен-ность λ_i	Критерий Пирсона $P(\chi^2)$	КОЭФ-готовности
Наработка	3,71	2,26	40,5	6	1,617	0,15	0,851

Восстановление	0,65	0,125	54,46	3	4,615	0,15	
----------------	------	-------	-------	---	-------	------	--

На рисунке 2 показан вид теоретической и эмпирической плотностей распределения времени безотказной работы (ВБР) АЛ без профилактики. Проверка по критерию Пирсона показала, что $P(\chi^2)=0,15$, следовательно, теоретическая аппроксимирующая зависимость подобрана правильно и не противоречит экспериментальным данным. Аналогичные кривые для плотностей распределения времени восстановления (ВВ) изображены на рисунке 3; для них определено значение $P(\chi^2)=0,15$, что также подтверждает правомерность аппроксимации и не противоречит экспериментальным данным (таблица 4).

Данные хронометража второго эксперимента по времени наработки на отказ, времени восстановления и профилактики обобщены и сведены в таблицы 5 и 6. Статистическая обработка результатов эксперимента представлена в таблицах 7, 8 и 9. Рассчитана основная характеристика надежности – коэффициент готовности $K_G = 0,892$ и коэффициент технического использования $K_{ТИ} = 0,867$.

Таблица 5 – Данные хронометража по результатам исследований АЛ ЛБ-0278 с профилактикой

Через дробь указаны время наработки на отказ, время восстановления, ч									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,87/0,13	3,34/0,6	6,35/0,27	4,03/0,47	2,97/0,08	4,35/0,45	3,81/0,14	5,08/0,32	3,82/0,17	4,7/0,2
3,9/0,85	5,35/1,02	7,3/0,32	6,4/0,63	2,02/0,7	5,18/0,19	4,42/0,5	4,23/0,63	2,78/0,65	1,75/0,33
2,41/1,01	2,7/0,53	2,47/0,82	1,96/0,52	7/0,77	4,6/0,27	3,17/0,31	3,18/0,34	3,58/0,4	5,91/0,22
2,52/0,75	4,37/0,24	4,55/0,48	5,33/0,49	4,83/0,41	3,73/0,98	7,13/0,87	4,8/0,32	3,25/0,68	5,25/0,12
3,88/0,77	2,38/0,87	2,63/0,72	2,8/0,62	3,07/0,4	3,48/1	6,52/0,64	5,75/0,28	6,33/0,67	4,67/0,28
7,01/0,65	2,88/0,35	5,63/0,21	3,85/0,83	3,72/0,51	2,3/0,35	4,13/0,28	6,15/0,51	3,7/0,82	5,47/0,76

Таблица 6 – Данные хронометража по профилактике АЛ ЛБ-0278

Указана длительность/периодичность профилактической замены инструмента, ч
0,16/4

Таблица 7 – Обработанные данные по ВБР АЛ ЛБ-0278 с профилактикой

№ интервала	Интервал	Середина интервала	Частота m_i	Частость m_i/N	Плотность f_i
1	1,73...2,43	2,08	7	0,116	0,165
2	2,43...3,13	2,78	9	0,15	0,214
3	3,13...3,83	3,48	11	0,183	0,261
4	3,83...4,53	4,18	9	0,15	0,214

5	4,53...5,23	4,88	8	0,133	0,19
6	5,23...5,93	5,58	7	0,116	0,165
7	5,93...6,63	6,28	5	0,083	0,118
8	6,63...7,33	6,98	4	0,066	0,094

Таблица 8 – Обработанные данные по ВВ АЛ ЛБ-0278 с профилактикой

№ интервала	Интервал	Середина интервала	Частота m_i	Частость m_i/N	Плотность f_i
1	0,06...0,18	0,12	6	0,1	0,833
2	0,18...0,3	0,24	10	0,166	1,383
3	0,3...0,42	0,36	11	0,183	1,525
4	0,42...0,54	0,48	9	0,15	1,25
5	0,54...0,66	0,6	7	0,116	0,966
6	0,66...0,78	0,72	7	0,116	0,966
7	0,78...0,9	0,84	6	0,1	0,833
8	0,9...1,02	0,96	4	0,066	0,55

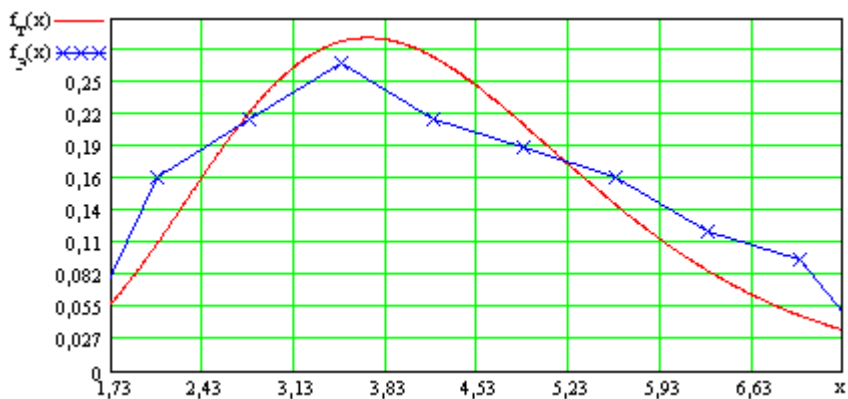


Рисунок 4 – Теоретическая и эмпирическая кривые плотностей распределения ВБР АЛ «ЛБ-0278» с профилактикой

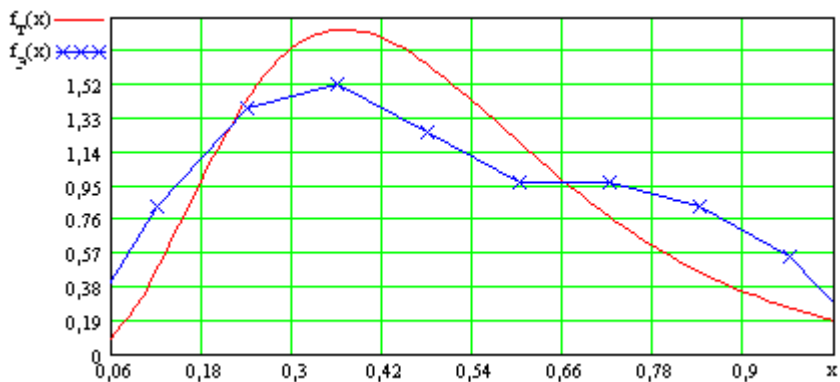


Рисунок 5 – Теоретическая и эмпирическая кривые плотностей распределения
ВВ АЛ «ЛБ-0278» с профилактикой

Таблица 9 – Экспериментальные характеристики АЛ ЛБ-0278 с профилактикой

Характеристики надежности	Математическое ожидание $\bar{X}$, ч	Дисперсия S^2 , ч ²	Коэффициент вариации V , %	Порядок закона Эрланга	Интенсивность λ_i	Критерий Пирсона $P(\chi^2)$	Коэффициент готовности
Наработка	4,21	2,081	34,2	8	1,9	0,15	0,892
Восстановление	0,49	0,061	50,5	4	8,163	0,15	
Профилактика	0,16	Коэффициент технического использования 0.867					

На рисунке 4 показан вид теоретической и эмпирической плотностей распределения ВБР АЛ с профилактикой. Проверка по критерию Пирсона показала, что $P(\chi^2)=0,15$, следовательно, теоретическая аппроксимирующая зависимость подобрана правильно и не противоречит экспериментальным данным. Аналогичные кривые для плотностей распределения ВВ изображены на рисунке 5; для них определено значение $P(\chi^2)=0,15$, что также подтверждает правомерность аппроксимации и не противоречит экспериментальным данным (таблица 9).

Основываясь на результатах эксперимента – среднем ВБР, среднем ВВ, длительности профилактики и теоретических законах распределения этих параметров, с помощью модели [3] был рассчитан коэффициент готовности, который составил $K_r = 0,912$.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных по надежности АЛ приведено в таблице 10. Из таблицы видно, что расчетные результаты отличаются от экспериментальных по $K_{ТИ}$ не более чем на 5%, что подтверждает достаточную степень адекватности математической модели системы с учетом профилактики в [3].

Таблица 10 – Результаты проверки адекватности

Эксперимент	Математическая модель	Погрешность
$K_{ТИ}$	$K_{ТИ}$	
0,867	0,912	4,8 %

Основные цели и задачи эксперимента можно считать выполненными.

Подтверждена адекватность построенных в [3] математических моделей, т.е. обоснована их применимость для назначения сроков профилактики в автоматизированном производстве. Кроме того, предложенный в [3] математический аппарат может быть использован для построения новых математических моделей автоматизированных производственных систем.

Библиографический список

- 1 Герцбах И.Б. Модели профилактики (Теоретические основы планирования профилактических работ) / И.Б. Герцбах. — М.: Сов. радио, 1969. — 216 с.
- 2 Барзилович Е.Ю. Организация обслуживания при ограниченной информации о надежности системы / Е.Ю. Барзилович, В.А. Каштанов. — М.: Сов. радио, 1975. — 136 с.
- 3 Глеч С.Г. Определение оптимальных моментов проведения профилактики для технологической ячейки / С.Г. Глеч // Вестн. СевГТУ: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2002. — Вып.36. — С. 169 – 176.
- 4 Колкер Я.Д. Математический анализ точности механической обработки деталей / Я.Д. Колкер. — К.: Техника, 1976. — 200 с.

Поступила в редакцию 05.12.2002 г.