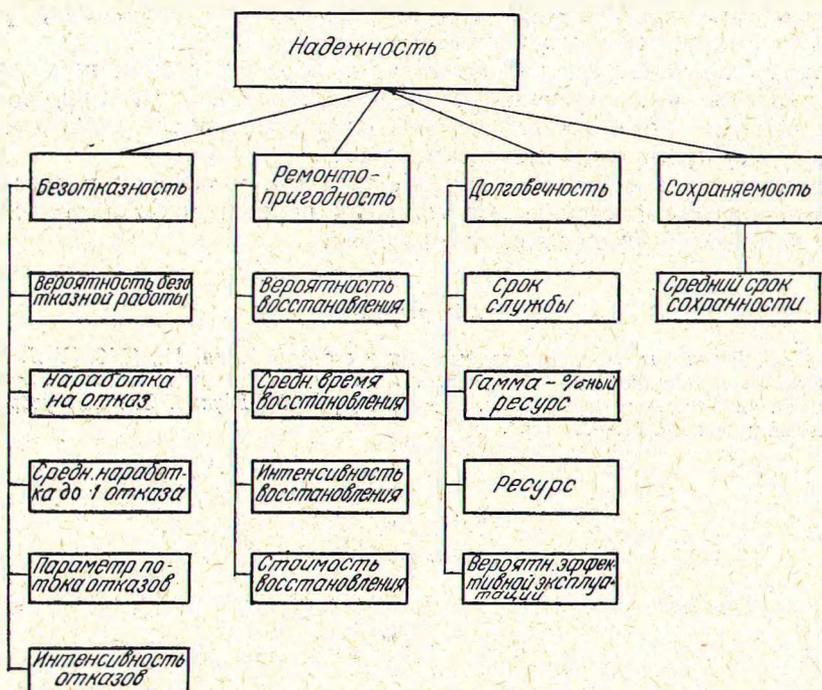


А. К. Теслюк, Н. Ф. Ковалев, Л. А. Лягушкин

## ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ РАСКРЯЖЕВКИ ХЛЫСТОВ

В работе А. М. Половко [1] произведена классификация критериев надежности, но она определяет только критерии безотказности. Методы выбора характеристик надежности изложены в работе [2].



### Эксплуатационные коэффициенты



Табл. 1. Классификация критериев надежности.

Применительно к полуавтоматическим линиям лесной промышленности, их системам управления и элементам нам представляется целесообразной классификация критериев надежности, приведенная в табл. 1 (в соответствии с общим случаем эксплуатации, изображенным на рис. 1).

Практика эксплуатации показывает, что для оценки надежности полуавтоматической линии и ее системы управления целесообразно иметь 3—4 основные количественные характеристики.

Формулы, по которым определяются показатели надежности:

1. Вероятность безотказной работы

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(\tau) d\tau,$$

где  $f(t)$  — функция плотности распределения безотказной работы.

Статистически вероятность безотказной работы определяется следующей формулой:

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (1)$$

где  $N_0$  — число элементов аппаратуры в начале испытания;

$n(t)$  — число отказавших образцов за время  $t$ .

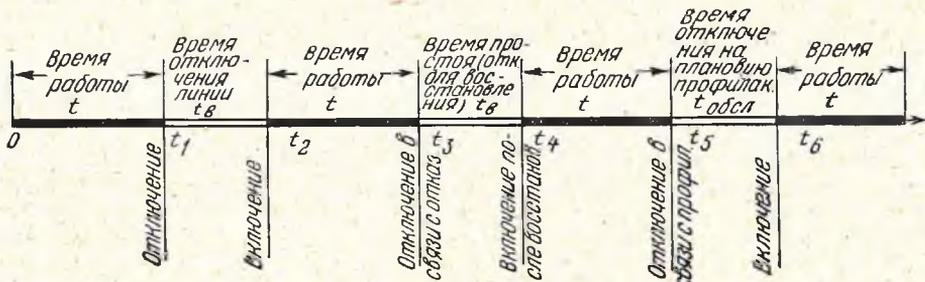


Рис. 1. Общий случай эксплуатации полуавтоматической линии.

Иногда более удобно пользоваться вероятностью отказов  $Q(t)$

$$Q(t) = 1 - P(t) = F(t).$$

2. Параметр потока отказов

$$w(t) = \frac{dH(t)}{dt}.$$

Статистически параметр потока отказов определяется следующим уравнением:

$$w^*(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i(t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (2)$$

где  $N$  — количество изделий;

$m_i$  — число отказов каждого из изделий до наработки;

$\Delta t$  — промежуток времени.

3. Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}.$$

Статистически интенсивность отказов определяется при условии, что отказавшие элементы не восстанавливаются и не заменяются новыми:

$$\lambda^*(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{\Delta t \cdot N(t)}, \quad (3)$$

где  $\Delta t$  — промежуток времени;

$N(t)$  — число исправно работающих элементов в интервале  $\Delta t$ .

4. Среднее время восстановления

$$T_B = \int_0^{\infty} \tau f_B(\tau) d\tau,$$

где  $\tau$  — текущее время;

$f(\tau)$  — функция плотности распределения времени восстановления.

Статистически среднее время восстановления определяется формулой

$$T_B^* = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i, \quad (4)$$

где  $t_i$  — время  $i$ -го восстановления;

$m$  — количество восстановлений.

5. Ресурсом определяется наработка до предельного состояния, оговоренного в технической документации.

Гамма-процентный ресурс — ресурс, который имеет линия или система; он превышает в среднем предварительно обусловленное число ( $\gamma$ )

$$T_\gamma = \int_{T_{\text{рес } \gamma}}^{\infty} f_{\text{рес } \gamma}(\tau) d\tau = \frac{\gamma}{100}, \quad (5)$$

где  $f_{\text{рес}}$  — функция плотности распределения ресурса;

$\gamma$  — обусловленное число.

6. Средняя наработка до первого отказа

$$t_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} t f(t) dt.$$

Статистически средняя наработка до первого отказа определяется следующей формулой:

$$t_{\text{ср}}^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (6)$$

где  $t_i$  — наработка до первого отказа  $i$ -го элемента;

$n$  — количество элементов.

7. Коэффициент технического использования

$$K_{\text{ти}} = \frac{t}{t + t_B + t_{\text{обсл}}}, \quad (7)$$

где  $t$  — время работы;

$t_B$  — время, затраченное на отыскание и устранение неисправностей;

$t_{\text{обсл}}$  — время, затраченное на плановое техническое обслуживание.

8. Коэффициент отказа элементов

$$K_0 = \frac{n_i}{n}, \quad (8)$$

где  $n_i$  — число отказов системы управления из-за элементов  $i$ -го типа;

$n$  — общее число отказов системы управления за тот же срок.

Для определения количественных показателей надежности в условиях эксплуатации нами проводились наблюдения за работой линий в различных леспромхозах; полуавтоматические линии работают в различных условиях (с различным средним объемом хлыста, количеством циклов работы линии в единицу времени, а также числом срабатываний системы управления и отдельных ее элементов в единицу времени, климатическими условиями и т. д.).

Для определения количества срабатываний (резов) полуавтоматической линии лабораторией разделки и сортировки совместно с лабораторией технического обслуживания ЦНИИМЭ и БТИ им. С. М. Кирова проводились наблюдения за режимами работы полуавтоматических линий. Данные приведены в табл. 2.

Табл. 2. Данные о режимах работы линий в течение рабочей смены

Фактические данные	Мостовской ЛПХ	Афанасьевский ЛПХ	Комсомольский ЛПХ	Хандагатайский ЛПХ
Количество включений	511 ± 27 задний привод	2201 оба привода	834	976
1. ПРХ-2	789 ± 50 передний			
2. ТХ-1	1957 ± 132	1356	1346	1164
3. 30 ÷ 85	30 ÷ 85	42 ÷ 106	18 ÷ 62	
Паразитные вкл. ТХ-1				
4. Пила АЦ-ТС	6 ÷ 13	7 ÷ 12	4 ÷ 7	4 ÷ 12
5. Насос	4 ÷ 6	3 ÷ 6	2 ÷ 6	3 ÷ 7
6. Средний объем хлыста, м <sup>3</sup>	0,38	0,49	0,7	0,6
7. Среднесменная производительность в период наблюдений, м <sup>3</sup>	170	130	208	110
8. Среднесменная производительность за 1970 год по ЛПХ	164	110	178	120

Количество срабатываний системы управления по циклу равняется количеству срабатываний ТХ-1, так как после подачи хлыста происходит пиление. Из табл. 3 видно, что наибольшее количество срабатываний по циклу в Мостовском леспромхозе составляет ≈ 2000. В Хандагатайском и Афанасьевском леспромхозах количество срабатываний меньше из-за низкого коэффициента технического использования (0,35—0,5). При коэффициенте технического использования 0,7—0,8 количество срабатываний (резов) будет находиться в пределах 1700—2000 и зависит от объема хлыста. Для определения количественных характеристик надежности полуавтоматических линий и их систем управления проводились наблюдения за работой линий в Хандагатайском ЛПХ в течение 48 рабочих смен, в Мостовском ЛПХ в течение 12 рабочих смен, а также в Афанасьевском ЛПХ. Данные о работе линий приведены в табл. 4.

Из табл. 3 видно, что коэффициент технического использования полуавтоматических линий довольно низкий и только в Мостовском ЛПХ достигает значения 0,8. Из карт отказов и остановок определились отдельно время единичного простоя и время безотказной работы для потока, линии и системы управления. Из этих данных составлялись

Т а б л. 3. Данные о работе полуавтоматических линий в 4 леспромхозах

Леспромхоз, линия и время наблюдений	Общее время работы потока, мин	Чистое время работы потока, мин/%	Время простоя потока, мин/%	Простой по техн. причинам потока, мин/% от гр. 4	Простой по техн. причинам, зависящим от ЛПХ, мин	Простой по системе управления, мин	Коэффициент технического использования
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Хандагатайский ЛПХ</b>							
XI 1970 г. поток № 1	2100	792/37,7	1308/62,3	427/32,6	156	90	0,37
поток № 2	2520	992/39	1528/61	699/45,7	151	31	0,4
поток № 4	2100	852/40,5	1248/59,5	409/32,8	356	258	0,4
поток № 5	6222	2142/34,5	4060/65,5	1734/43	286	164	0,35
поток № 6	6214	2238/35,6	3976/64,4	1372/34,6	382	336	0,36
<b>Мостовской ЛПХ</b>							
III.IV 1970 г.							
поток № 1	2319	1488/65	831/35	74/9	21	8	0,65
поток № 2	3120	2057/65	1063/35	230/21	46	17	0,65
<b>Мостовской ЛПХ</b>							
I.II 1970 г.	4836	3931/81	905/19	844/95	52	—	0,81
<b>Афанасьевский ЛПХ</b>							
VIII.IX 1970 г.	7448	3691/50	3757/50	2343/62	1051	158	0,5

статистические ряды для времени безотказной работы и для времени простоя.

Обработка данных велась методами математической статистики. Результаты обработки для времени непрерывной работы потоков приведены в табл. 4 и на рис. 2.

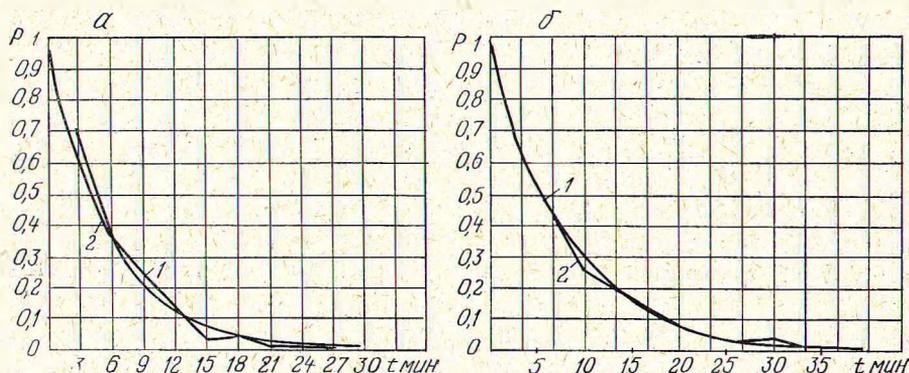


Рис. 2. Распределение длительности безотказной работы:

а) для потока № 1; б) для потока № 4 (Хандагатайский ЛПХ):  
1 — опытная кривая; 2 — теоретическая кривая.

Экспериментальные кривые вероятности безотказной работы построены по формуле (1). Из приведенных данных видно, что среднее время безотказной работы колеблется в пределах от 3 до 11 мин. При нормальной работе в Мостовском ЛПХ среднее время безотказной работы должно быть 10 мин. Будем считать его допустимым пределом и для других хозяйств. Среднее время непрерывной работы связано с параметром потока отказов следующей зависимостью:

$$\omega = \frac{1}{T}.$$

По этой формуле определен параметр потока отказов.

Т а б л. 4. Характеристика времени безотказной работы и частоты отказов

Леспромхоз, время и номер потока	Среднее время безотказной работы	Параметр потока отказов $\lambda = \frac{1}{\mu}$ $\mu \cdot 10_1$ , $\frac{1}{\text{мин}}$	Коэффициент вариации, $V$	Вероятность согласия, Критерий $\chi^2$ -Пирсона
Хандагатайский ЛПХ XI 1970 г.				
поток № 1	6,1	16,4	0,9	0,85
поток № 2	5,4	18,5	0,92	0,98
поток № 4	7,9	12,4	1	0,99
поток № 5	6	16,6	1	0,95
поток № 6	7,1	14,1	0,96	0,95
Мостовской ЛПХ III.IV 1970 г.				
поток № 1	5,4	18,5	0,9	0,99
поток № 2	10,3	9,7	0,97	0,93
Мостовской ЛПХ I.II 1970 г.	10,7	9,3	0,86	
Афанасьевский ЛПХ	3	33,0	0,88	

Для времени простоев результаты обработки приведены в табл. 5 и на рис. 3.

Т а б л. 5. Продолжительность простоев полуавтоматических линий

Леспромхоз, время и номер потока	Среднее время простоя (восстановления), мин	Коэффициент вариации, $V$	Вероятность согласия, Критерий $\chi^2$ -Пирсона
Хандагатайский ЛПХ XI. 1970 г.			
поток № 5	9	3,8	0,8
поток № 6	9	0,9	0,82
Мостовской ЛПХ III.IV 1970 г.			
поток № 1	3,1	1,1	0,7
поток № 2	5,5	1,05	0,3
Мостовской ЛПХ I.II 1970 г.	4,16	0,98	
Афанасьевский ЛПХ	2,1	2,5	

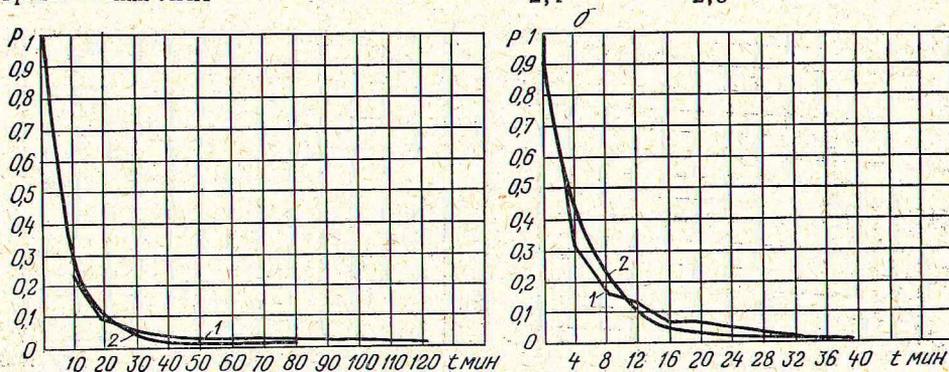


Рис. 3. Распределение времени простоев: слева — поток № 5 (Хандагатайского ЛПХ); справа — поток № 6:

1 — опытная кривая; 2 — теоретическая кривая.

Из полученных данных видно, что среднее время отказа (остановки) потока для каждого леспромхоза колеблется в пределах от 2,1 до 9 мин. В Мостовском ЛПХ, работу в котором можно принять нормальной, среднее время отказа равняется 3 мин.

Установлено, что время безотказной работы потока, а также длительность отказа распределяются по экспоненциальному закону. Для

всех потоков проводилась проверка согласия эмпирического распределения с теоретическим (экспоненциальным) по критерию  $\chi^2$ —Пирсона. Проверка показала, что во всех случаях, кроме двух, согласие хорошее. Результаты обработки данных для полуавтоматических линий Хандагатайского леспромхоза приведены в табл. 6.

Табл. 6. Характеристика надежности ЛПХ Хандагатайского ЛПХ

Номер линии	Среднее время безотказной работы, мин	Параметр потока $\frac{1}{\omega \cdot 10^3}$ , мин	Среднее время отказа, мин
Хандагатайский ЛПХ			
Линия 1	99	10,1	23
Линия 2	50	20	12,3
Линия 4	63	16	23
Линия 5	60	16,7	18
Линия 6	102	9,8	10

Табл. 7. Продолжительность безотказной работы ПЛХ, обусловленная исправностью системы управления

ЛПХ и номер линии	Среднее время безотказной работы, мин	Коэффициенты вариации, $v$	Вероятность согласия. Критерий $\chi^2$ —Пирсона	Параметр потока отказов, $\omega \cdot 10^3$ /мин
Хандагатайский ЛПХ				
с. у. линии 1	130	0,76	1,0	7,7
» линии 2	75	0,9	0,96	13,3
» линии 4	112	0,81	1,0	8,9
» линии 5	114	0,96	0,98	8,8
» линии 6	128	1,03	0,997	7,8
Афанасьевский ЛПХ	128	0,85	0,86	7,8
Мостовской ЛПХ	380	0,9	0,997	2,6

Из данных наблюдений за работой полуавтоматических линий определялось время безотказной работы системы управления. Для каждой системы управления получен статистический ряд. Так как количество

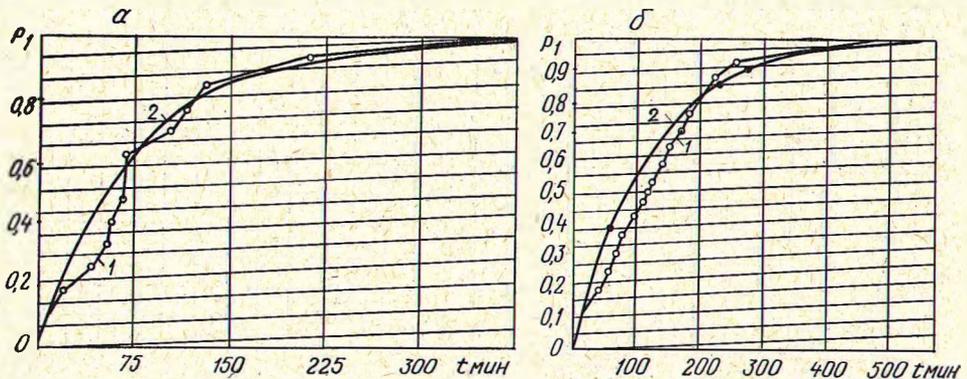


Рис. 4. Интегральная функция времени безотказной работы системы управления:

$a$  — линия № 2;  $b$  — линия № 4 (Хандагатайский ЛПХ);  
1 — опытная кривая; 2 — теоретическая кривая.

данных составляет от 5 до 20, для обработки данных применен метод уменьшения неопределенностей [3], позволяющий использовать малое количество наблюдений. Для времени безотказной работы результаты приведены в табл. 7 и на рис. 4.

Для времени простоя результаты обработки приведены в табл. 8 и на рис. 5.

Т а б л. 8. Продолжительность простоя ЛПХ по причинам отказов в системе управления

ЛПХ и номер линии	Среднее время простоя, мин	Коэффициент вариации, $v$	Вероятность согласия. Критерий $\chi^2$ —Пирсона
Хандагатайский ЛПХ			
с. у. линии 1	8	0,91	1
» линии 2	4	1,1	0,98
» линии 5	10	1,1	0,997
» линии 6	7,8	0,96	0,98
По всем линиям	8,1	1,1	1
Афанасьевский ЛПХ	7,2	1,5	0,71

Из анализа данных табл. 7 и 8 и рис. 4 и 5 видно, что распределение времени безотказной работы системы управления, а также распределение времени отказа хорошо описываются экспоненциальным распределением. Проверка согласия проводилась с помощью критерия  $\lambda$ —Колмогорова. Во всех случаях согласие хорошее.

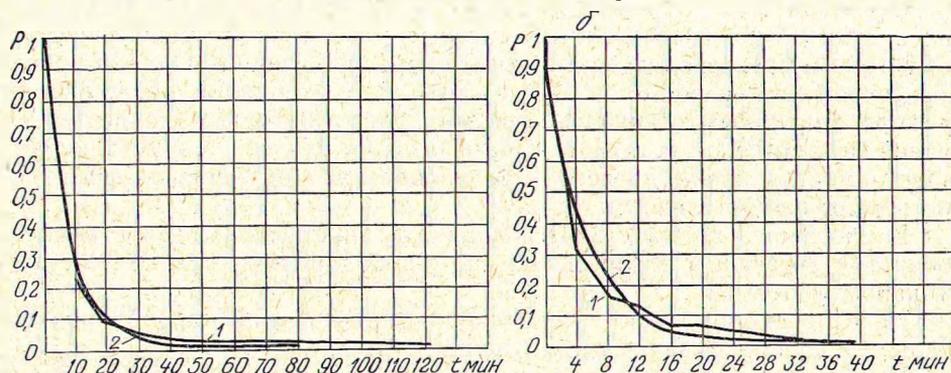


Рис. 5. Интегральная функция времени отказа системы управления:

а — линия № 2; б — линия № 5 (Хандагатайский ЛПХ);  
1 — опытная кривая; 2 — теоретическая кривая.

За время наблюдений за работой линий отмечено 53 отказа по вине систем управления. Наибольшее число отказов приходится на: конечные выключатели—14, пускатели ПА-312—5, контакторы ПМЕ-211—3, ПМЕ-071 — 6, предохранители — 10, электромагниты — 2, микропереключатели — 2, тепловое реле — 5, короткое замыкание и перегорание проводов — 5.

Коэффициент отказа конечных выключателей равен:

$$K_{\text{окв}} = \frac{14}{53} = 26,4\%.$$

Соответственно можно определить коэффициент отказов для любых элементов системы управления. Количественные характеристики надежности, полученные опытным путем, позволят уточнить некоторые характеристики надежности линий и их систем управления. Их можно использовать для сравнительных расчетов надежности.

#### Литература

[1] А. М. Половко. Основы теории надежности. М., 1964. [2] В. Н. Фомин. Метод выбора количественных характеристик надежности. М., 1969. [3] И. А. Рябинин. Основы теории и расчета надежности судовых электромеханических систем. Л., 1967. [4] Е. С. Венцель. Теория вероятностей. М., 1969.