ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ В ШАХТНЫХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ РЭС

И. Ф. Огороднейчук, В. Я. Журавлев, В. И. Мелешко, В. И. Пономарев

Харьков

1. В каналах связи, организованных по шахтным низковольтным электрическим сетям (РЭС), кроме аддитивных помех, существуют и мультипликативные. В случае аддитивных помех на вход приемника поступает сумма сигнала $s(t)$ и помехи $\xi(t)$

$$x(t) = s(t) + \xi(t). \tag{1}$$

При воздействии мультипликативных помех входной сигнал равен произведению

$$x(t) = \xi(t) \cdot s(t). \tag{2}$$

Мультипликативной помехой является флуктуация коэффициента передачи канала связи, который может меняться медленно и скачком. Вследствие неравномерности нагрузки на валу двигателя величина потребляемого тока колеблется в широких пределах. В зависимости от нагрузки по основному току $f = 50$ *гц* меняется входное сопротивление канала связи [1], а значит, коэффициент передачи. Это изменение составляет 20—30%. Скачкообразное изменение коэффициента передачи происходит в результате подключения и отключения низкоомных токоприемников в процессе работы [2]. Как показывает анализ амплитудно-частотных характеристик канала связи, коэффициент передачи при этом может меняться в 2—3 раза.

При расчете помехоустойчивости шахтных систем телемеханики необходимо знать распределение вероятностей коэффициента передачи.

2. На исполнительном органе выемочных машин системы нагрузок описываются нормальным законом распределения, поэтому можно считать, что нагрузки в приводе в рабочем режиме имеют нормальный закон распределения [3]. Исходя из этого, для медленно меняющегося коэффициента передачи одномерный закон распределения запишем так:

$$P(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\mu_0} \exp\left\{-\frac{(\mu - \bar{\mu})^2}{2\mu_0^2}\right\}, \tag{3}$$

где $\mu_0 = \sqrt{\overline{\mu^2} - (\overline{\mu})^2}$ — среднеквадратичное значение коэффициента передачи.

3. Будем считать, что работа энергетических ответвлений друг от друга слабо зависит или даже не зависит. Процесс в лаве в течение одного цикла можно считать стационарным. Предполагая выполненными требования ординарности и стационарности потока включений и отключений энергетических ответвлений, приходим к пуассоновскому потоку скачков коэффициента передачи [4]. Тогда вероятность того, что за время T произойдет m переключений, будет равна

$$P(m) = \frac{(\lambda T)^m}{m!} e^{-\lambda T}, \tag{4}$$

где λ — среднее число переключений за единицу времени;

T — длительность посылки.

Пусть в начальный момент времени ($t = 0$) значение коэффициента передачи было равно $\mu = \bar{\mu}$. Тогда за время T коэффициент передачи

может принять практически любое значение $\mu \in [\mu_{min};\ \mu_{max}]$. На рис. 1 показана конкретная реализация дискретного случайного процесса $\mu(t)$.

Легко заметить сходство процесса скачков коэффициента передачи с допредельными моделями броуновского движения [5]. Чем больше скачков произойдет за время наблюдения T, тем больше будет разброс коэффициента передачи в момент времени $t = T$. Этот разброс характеризует дисперсию процесса $\mu(t)$ в момент $t = T$. Отличие нашего процесса от «идеального» броуновского заключается в том, что здесь $\mu(t) > 0$ в силу физической сущности коэффициента передачи. Это накладывает определенные ограничения на рост дисперсии во времени.

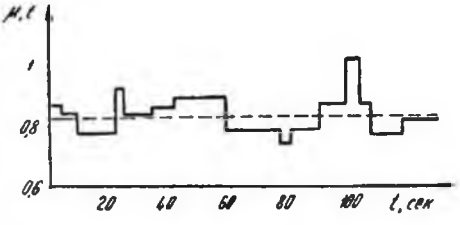

Рис. 1. Реализация случайного процесса $\mu(t)$.

Все сказанное позволяет записать условную плотность распределения вероятностей $\mu(t)$ в момент $t = T$ при условии, что на участке $[0, T]$ произошло ровно m скачков коэффициента передачи,

$$P_m(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} \exp\left\{-\frac{(\mu - \bar{\mu})^2}{2\sigma^2}\right\}, \qquad (5)$$

где σ^2 — дисперсия коэффициента передачи, получаемая при обработке экспериментальных данных;

$\bar{\mu}$ — среднее значение коэффициента передачи.

Двумерное безусловное распределение вероятностей можно записать в виде

$$P(\mu,\ m) = P(m)\,P_m(\mu). \qquad (6)$$

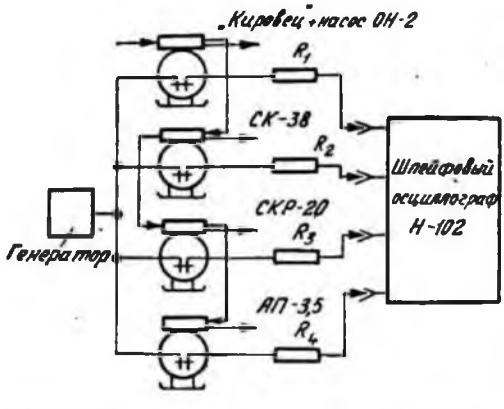

Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки.

Подставляя выражения (4) и (5) в (6), получим двумерное распределение вероятностей коэффициента передачи:

$$P(\mu,\ m) = \frac{e^{-\lambda T}(\lambda T)^m}{\sqrt{2\pi}\,\sigma\, m!} \exp\left\{-\right.$$
$$\left. - \frac{(\mu - \bar{\mu})^2}{2\sigma^2}\right\}. \qquad (7)$$

4. Экспериментальное исследование дискретно изменяющегося коэффициента передачи канала связи, организованного по шахтной низковольтной РЭС, проводилось на шахте 10 треста «Селидовуголь». Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 2.

Формирование сигналов, отмечающих включение или отключение оборудования, обеспечивается нормально закрытыми или нормально открытыми свободными контактами пускателей. Вследствие ординарности и стационарности процесса статистический закон распределения можно строить на основании одной достаточно продолжительной реализации [6]. Запись велась в течение одного цикла лавы. Временное распределение коэффициента передачи получено непосредственно после обработки осциллограмм, распределение по уровню — из сравнения комбинаций работаю-

щих механизмов и их амплитудно-частотных характеристик на фиксированной частоте. Полученные статистические ряды разбивались на интервалы по формуле

$$i = \frac{x_{max} - x_{min}}{1 + 3{,}322 \lg N}, \tag{8}$$

где N — число скачков коэффициента передачи;

x_{max}, x_{min} — соответственно верхняя и нижняя границы интервального ряда.

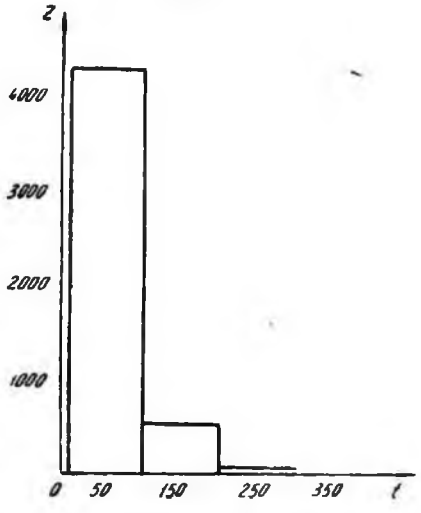

Рис. 3. Гистограмма временного распределения процесса $\mu(t)$.

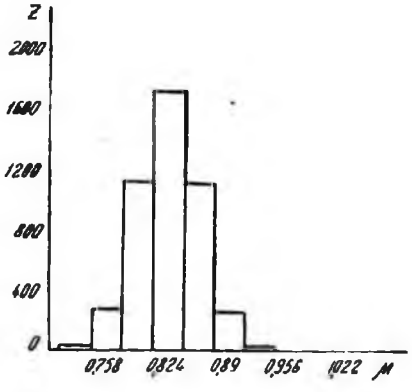

Рис. 4. Гистограмма модуля коэффициента передачи.

Принадлежность статистического ряда к определенному закону распределения проверялась по методу В. И. Романовского. Использовалась величина χ^2 [7]:

$$\frac{\chi^2 - k}{\sqrt{2k}} < 3, \tag{9}$$

где k — число степеней свободы.

Гистограмма временного распределения коэффициента передачи приведена на рис. 3, последовательность расчета принадлежности к пуассоновскому закону распределения — в табл. 1.

Интервал равен

$$i_1 = \frac{t_{max} - t_{min}}{1 + 3{,}322 \lg N} = 100{,}1 \quad сек.$$

Параметр закона распределения

$$\lambda = \frac{\Sigma z m_i}{\Sigma z} = 0{,}1347.$$

Среднеквадратическое отклонение ряда

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma m_i^2 z}{\Sigma z} - \lambda^2} = 0{,}48.$$

Проверка, проведенная по методу В. И. Романовского,

$$\frac{\chi^2 - k}{\sqrt{2k}} = 0{,}22 < 3$$

показывает, что статистический ряд хорошо описывается пуассоновским распределением вероятностей.

Таблица 1

t, сек	Частота повторений z	m_i	$m_i z$	$m_i^2 z$	λ^{m_i}	$m_i!$	$\frac{\lambda^{m_i}}{m_i!}$	$P_i = \frac{\lambda^{m_i} e^{-\lambda}}{m_i!}$	$z = P_i \Sigma z$	$(z - z')^2$	$\frac{(z - z')^2}{z'}$
50,3	4298	0	0	0	1.0	1	1	0,8743	4245	2809	0,66
150,4	509	1	509	509	0.13470	1	0,1347	0,1177	572	3969	6,95
250,5	32	2	64	128	0.01810	2	0.0090	0,0078	38	36	0,95
350,6	5	3	15	45	0,00244	6	0.0004	0,0003	2	9	4,5
450,7	2	4	8	32	0,00033	24	0,0001	0,0000	0	4	0,0
550,8	2	5	10	50	0,00004	120	0,0000				
650,9	2	6	72	72	0,00000	720					
751,0	1	7	7	49							
851,1	0	8	0	0							
951,2	2	9	18	162							
1051,3	0	10	0	0							
1151,4	0	11	0	0							
1251,5	1	12	12	144							
	Σ 4857		Σ656	Σ 1191							

Таблица 2

μ	Частота повторений z	μz	μ^2	$\mu^2 z$	$\mu - \bar{\mu}$	$\frac{\mu - \bar{\mu}}{\sigma}$	$f(t)$	z'	$\frac{(z - z')^2}{z'}$
0,626	3	2,5	0,392	1,17	—0,197	—5,62	—0,00000	0	
0,659	4	2,64	0,434	1,63	—0,164	—4.68	—0,00000	0	
0,692	3	2,07	0,478	1,43	—0,131	—3,74	—0,00036	2	0,5
0,725	35	25,4	0,525	18,35	—0,098	—2,8	—0,00792	34	0,03
0,758	276	209	0,574	158,2	—0,065	—1,83	0,07477	322	6,56
0,791	1118	884	0,626	697	—0,032	—0,915	—0,26250	1132	0,16
0,824	1716	1415	0,678	1163	—0,001	0,0285	0,39884	1720	0,009
0,857	1103	945	0,742	816	0,034	0,972	0,24876	1073	0,84
0,89	268	238,5	0,792	211	0,067	1,91	0,06438	277	0,292
0,923	31	28,6	0,85	26,4	0,1	2,86	0,00668	29	0,138
0,956	2	1,91	0,914	1,83	0,133	3,8	0,00029	1	1,0
0,989	3	2,96	0,976	2,92	0,166	4,74	0,00000	0	
1,022	4	4,1	1,044	4,17	0,199	5 68	0,00000	0	
	Σ 4567	Σ 3757.68		Σ 3103,2					$\chi^2 = 9,53$

Гистограмма статистического распределения модуля коэффициента передачи приведена на рис. 4, в табл. 2 — последовательность расчета принадлежности ряда к нормальному распределению.

При этом интервал равен

$$i_2 = \frac{\mu_{max} - \mu_{min}}{1 + 3{,}322 \lg N} = 0{,}033.$$

Среднее значение коэффициента передачи

$$\bar{\mu} = \frac{\Sigma \mu z}{\Sigma z} = 0{,}823.$$

Дисперсия равна

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma \mu^2 z}{\Sigma z} - \bar{\mu}^2 = 0{,}0012.$$

Функция $f(t)$ определяется выражением

$$f(t) = \frac{\Sigma z i}{\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} l^{-\frac{t^2}{2}},$$

где

$$t = \frac{\mu - \bar{\mu}}{\sigma}; \quad \frac{\Sigma z i}{\sigma} = 4315.$$

Отношение Романовского

$$\frac{\chi^2 - k}{\sqrt{2k}} = -0{,}31 < 3$$

значительно меньше трех, поэтому теоретическое воспроизведение эмпирического ряда достаточно удовлетворительно.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Ф. Огороднейчук, В. П. Солоха, В. Я. Журавлев, В. А. Секретная. Измерение входных сопротивлений обмоток токоприемников трехфазных систем при наличии силового напряжения сети. Сб. «Приборы и системы автоматики», вып. 8. Харьков, Изд-во ХГУ, 1968.

2. В. П. Солоха. Исследование источников помех в шахтных низковольтных распределительных сетях с незаземленной нейтралью. Автореф. канд. дисс. Киев, 1969.

3. А. В. Докукин, Ю. Д. Красников, З. Я. Хургин. Аналитические основы динамики выемочных машин. Изд-во «Наука», 1966.

4. Н. А. Лившиц, В. Н. Пугачев. Вероятностный анализ систем автоматического управления. Изд-во «Сов. радио», 1963.

5. Э. М. Хазен. Методы оптимальных статистических решений и задачи оптимального управления. Изд-во «Сов. радио», 1968.

6. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. Изд-во «Наука», 1964.

7. И. Г. Венецкий, Г. С. Кильдишев. Основы теории вероятностей и математической статистики. Изд-во «Статистика», 1968.

ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗБИЕНИЕ ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ

И. Ф. Огороднейчук, А. Я. Кузенин, В. И. Мелешко, В. И. Пономарев

Харьков

Многоканальные системы телемеханической связи имеют ряд особенностей, например, эффективность использования частотного диапазона, помехоустойчивость, характер передаваемой информации, метод модуляции