

## РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА, ОХВАЧЕННОГО НЕДОСТОВЕРНЫМ КОНТРОЛЕМ

Шерстнева О.Г.

Выводятся соотношения для вычисления вероятностей ошибок системы комбинированного контроля при техническом обслуживании телекоммуникационного элемента. Показаны пути определения этих вероятностей в зависимости от имеющихся эксплуатационных данных на момент оценки надежности оборудования или системы контроля.

Одной из важнейших задач при создании систем массового обслуживания является обеспечение их надежности на этапе проектирования. При этом надежность определяется не только принятыми техническими решениями, их конструктивной и элементной базами, но также и техническим обслуживанием. Значительное влияние на надежность и качество функционирования телекоммуникационных систем оказывают ошибки контроля технического состояния. Каждый элемент телекоммуникационной системы (функциональный блок) в некоторый момент времени может находиться в одном определенном состоянии. Совокупность состояний элементов однозначно определяет состояние системы в целом. С течением времени из-за изменения состояния элементов, входящих в состав системы, и изменения внешних условий (перегрузка случайной широкополосной вибрацией, воздействие максимальной положительной температуры и т.д.) элемент переходит из одного технического состояния в другое. Причиной изменения являются дефекты, неисправности и т.д., которые первоначально обнаруживаются системой контроля технического состояния по диагностическим признакам или по ошибкам. Под ошибкой понимают расхождение между наблюдаемым состоянием элемента и истинным, между вычисленным и измеренным значением на входе и выходе элемента и заданным в ТТЗ, ТЗ и ТУ или теоретически точным значением и т.п.

Повреждения или отказы элемента на стадии эксплуатации могут быть связаны с дефектами, возникающими на предыдущих стадиях разработки, проектирования, изготовления, транспортировки, хранения и ввода в эксплуатацию, а также при нарушениях установленных правил и условий эксплуатации. Основными же источниками информации о работоспособности являют-

ся сообщения, поступающие от систем контроля ее технического состояния.

Таким образом, от достоверности информации, полученной от систем технического контроля, зависят практически все работы, связанные с техническим обслуживанием и технической эксплуатацией элементов телекоммуникационной системы в целом. В связи с этим, составлена математическая модель надежности телекоммуникационного элемента, охваченного недостоверным комбинированным контролем. Недостоверность комбинированного контроля заключается в ошибках I и II рода систем периодического и непрерывного контроля. При этом не учитываются отказы:

- вызванные нарушением обслуживающим персоналом инструкции по эксплуатации (ошибка контроля III рода);
- вызванные воздействием внешних факторов, не предусмотренных в ТТЗ (ТЗ) и ТУ на аппаратуру;
- устраняемые в процессе доработок, эффективность которых очевидна или подтверждена экспериментально при дальнейших испытаниях на надежность или при дополнительных испытаниях;
- не влияющие на оцениваемый показатель надежности.

Для этих условий граф возможных состояний показан на рис. 1.

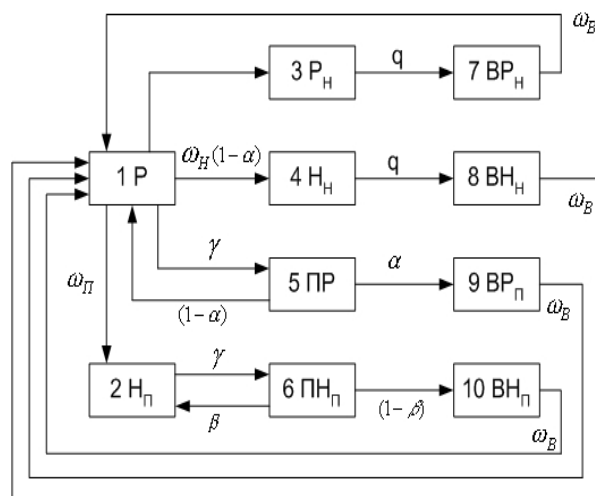


Рис. 1. Граф возможных состояний в условиях недостоверного комбинированного контроля

При составлении графа возможных состояний были сделаны следующие допущения:

- элемент находится в непрерывном использовании по назначению;
- отказы, обнаруживаемые непрерывным контролем, несовместны с отказами, обнаруживаемыми системой периодического контроля;
- все события происходят в случайные моменты времени;
- время между событиями имеет экспоненциальный закон распределения.

Все состояния графа пронумерованы и имеют обозначение:  $P$  – работоспособное состояние элемента;  $H_H$  – неработоспособное состояние, обнаруживаемое системой периодического контроля;  $P_H$  – работоспособный, но заблокированный элемент из-за ошибки контроля I рода;  $H_H$  – неработоспособный заблокированный элемент из-за отказа, обнаруживаемого непрерывным контролем;  $PP$  – состояние проверки периодическим контролем работоспособного элемента;  $PH_H$  – состояние проверки неработоспособного элемента, отказ которого обнаружен системой периодического контроля;  $BP_H$  – состояние восстановления работоспособного элемента, заблокированного из-за ошибки непрерывного контроля I рода;  $BH_H$  – состояние восстановления неработоспособного элемента, отказ которого обнаружен непрерывным контролем;  $BP_H$  – состояние восстановления работоспособного элемента, признанного неработоспособным из-за ошибки периодического контроля I рода;  $BH_H$  – состояние восстановления неработоспособного элемента, отказ которого обнаружен периодическим контролем. Переходы между состояниями обозначены следующим образом:  $\omega_H$  – интенсивность отказов элемента, обнаруживаемых системой непрерывного контроля;  $\omega_H$  – интенсивность отказов элемента, обнаруживаемых системой периодического контроля;  $\omega_0 = \omega_H + \omega_H$  – интенсивность отказов оборудования;  $\gamma$  – интенсивность проведения периодического контроля;  $\omega_B$  – интенсивность восстановления;  $q$  – интенсивность реакции системы на отказ;  $\alpha$  – вероятность ошибки периодического контроля I рода;  $\beta$  – вероятность ошибки периодического контроля II рода;  $\alpha_1$  – вероятность ошибки непрерывного контроля I рода.

Для расчета показателей надежности использовался метод относительных частот [1], согласно которому были составлены матрица интенсивностей  $H$  и матрица вероятностей проходов  $P$ . Признаком разбиения множества состояний на подмножества являлись фазы эксплуатации. По полученным характеристикам эквивалентных

состояний определены следующие обобщенные характеристики надежности.

1. Среднее время нахождения элемента в работоспособном состоянии:

$$t_p = \frac{1}{\omega_0 + \alpha\gamma} \tag{1}$$

2. Значение среднего времени нахождения элемента в неработоспособном и заблокированном состоянии:

$$t_{4H} = \frac{\omega_H (1 - \alpha_1)}{q(\omega_0 + \alpha\gamma)} \tag{2}$$

3. Значение среднего времени нахождения элемента в работоспособном и заблокированном состоянии:

$$t_{3P} = \frac{\omega_H \alpha_1}{q(\omega_0 + \alpha\gamma)} \tag{3}$$

4. Значение среднего времени нахождения элемента в неработоспособном и незаблокированном состоянии:

$$t_{2H} = \frac{\omega_0 + \gamma}{\gamma(1 - \beta)(\omega_0 + \alpha\gamma)} \tag{4}$$

5. Среднее число проверок, приходящееся на одно восстановление:

$$n_H = \frac{\gamma(1 - \beta) + \omega_0 + \gamma}{(1 - \beta)(\omega_0 + \alpha\gamma)} \tag{5}$$

6. Условный коэффициент простоя:

$$K_H = \frac{\gamma\omega_H(1 - \beta) + q(\omega_0 + \gamma)}{\gamma(1 - \beta)(\omega_H + q) + q(\omega_0 + \gamma)} \tag{6}$$

Искомыми характеристиками здесь являются интенсивности отказов  $\omega_H$  и  $\omega_H$ , а также вероятности ошибок периодического контроля I и II рода  $\alpha$  и  $\beta$ , и вероятность ошибки непрерывного контроля I рода  $\alpha_1$ . Для их определения составлен граф наблюдаемых при эксплуатации событий, показанный на рис. 2.

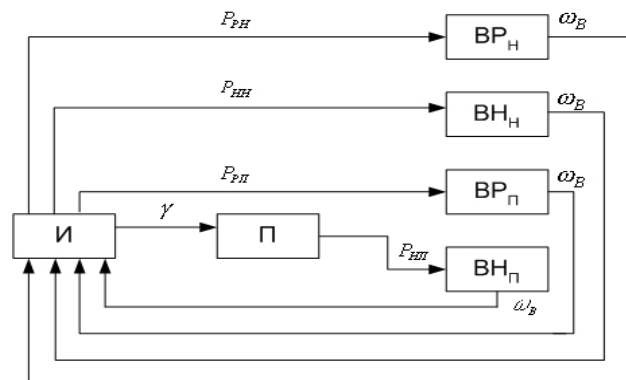


Рис.2. Граф наблюдаемых событий

При его составлении учитывались причины попадания элемента на восстановление отдельно для непрерывного и периодического контроля. Таким образом, появляются новые состояния, которые возможно фиксировать системами контроля и осуществлять сбор статистических данных. Все состояния графа (см. рис. 2.) имеют обозначения, аналогичные обозначениям, принятым на графе возможных состояний (см. рис. 1.). Переходы между состояниями обозначены через вероятности:  $P_{PH}$  – вероятность того, что элемент попадет на восстановление из-за ошибки непрерывного контроля I рода;  $P_{PI}$  – вероятность того, что элемент попадет на восстановление из-за ошибки периодического контроля I рода;  $P_{HH}$  и  $P_{HI}$  – вероятность того, что элемент попадет на восстановление из-за отказа, обнаруживаемого системой непрерывного и периодического контроля соответственно. Вероятности попадания в состояния восстановления, являющиеся эксплуатационными показателями надежности и число проверок, приходящееся на одно восстановление, выражаются через искомые характеристики следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} P_{PH} &= \frac{\alpha_1 \omega_H}{\omega_0 + \alpha\gamma}; \\ P_{PI} &= \frac{\alpha\gamma}{\omega_0 + \alpha\gamma}; \\ P_{HH} &= \frac{\omega_H (1 - \alpha_1)}{\omega_0 + \alpha\gamma}; \\ P_{HI} &= \frac{\omega_0 + \gamma}{\omega_0 + \alpha\gamma}; \\ n_{II} &= \frac{\gamma (1 - \beta) + \omega_0 + \gamma}{(1 - \beta)(\omega_0 + \alpha\gamma)} \end{aligned} \right\} (7)$$

Отметим, что  $P_{PH} + P_{PI} + P_{HH} + P_{HI} = 1$ , поэтому одну из этих вероятностей необходимо исключить из системы уравнений. Тогда система уравнений будет иметь следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} P_{PH} &= \frac{\alpha_1 \omega_H}{\omega_0 + \alpha\gamma}; \\ P_{HH} &= \frac{\omega_H (1 - \alpha_1)}{\omega_0 + \alpha\gamma}; \\ P_{HI} &= \frac{\omega_0 + \gamma}{\omega_0 + \alpha\gamma}; \\ n_{II} &= \frac{\gamma (1 - \beta) + \omega_0 + \gamma}{(1 - \beta)(\omega_0 + \alpha\gamma)} \end{aligned} \right\} (8)$$

Решение данной системы уравнений приведено в виде, удобном для практического применения:

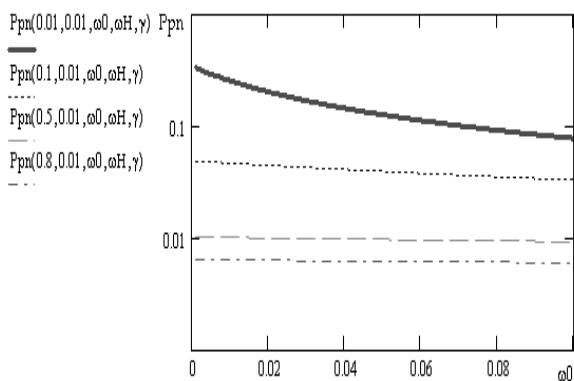
$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{P_{PH}}{P_{HH} + P_{PH}}; \\ \alpha &= \frac{1}{\gamma} \frac{\gamma + \omega_0 (1 - P_{HI})}{P_{HI}}; \\ 1 - \beta &= \frac{P_{HI} (\omega_0 + \gamma)}{n_{II} \omega_0 + \gamma (n_{II} - P_{HI})}; \\ \omega_0 &= \omega_H + \omega_{II}. \end{aligned} \right\} (9)$$

Из полученных формул следует, что для определения искомых показателей надежности при недостоверном комбинированном контроле необходимо и достаточно знать среднее число проверок, приходящееся на одно восстановление, интенсивность проведения периодической проверки, вероятность того, что оборудование попало на восстановление вследствие отказов, обнаруживаемых периодическим и непрерывным видами контроля, а также вероятность того, что на восстановление попал работоспособный элемент из-за ошибки системы непрерывного контроля I рода.

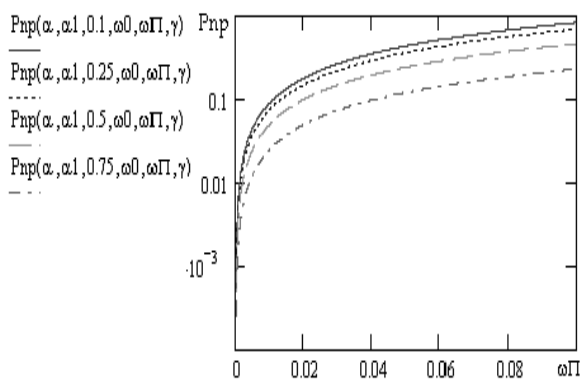
Таким образом, вероятность ошибки периодического контроля I рода  $\alpha$ , вероятность ошибки непрерывного контроля I рода  $\alpha_1$ , вероятность ошибки периодического контроля II рода  $\beta$  можно определить по эксплуатационным данным, зная:

- хотя бы две из вероятностей попадания на восстановление, например,  $P_{HH}$  и  $P_{PH}$  (эти вероятности наиболее просто определяются по эксплуатационным данным);
- интенсивность проведения периодического контроля;
- среднее число проверок, приходящееся на одно восстановление.

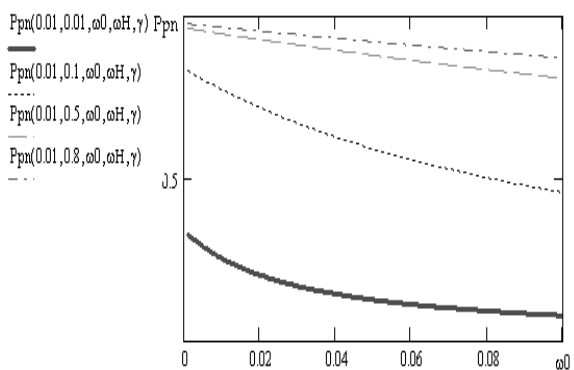
На графиках рис. 3 показана зависимость вероятности попадания на восстановление ( $P_{PH}$ ,  $P_{HH}$ ,  $P_{HI}$ ) вследствие отказа оборудования ( $\omega_0, \omega_H$ ) при разных значениях  $\alpha_1, \alpha, \gamma, \beta$ . При некоторых сочетаниях  $\alpha, \beta, \gamma$  и  $\omega_0$  имеем малые значения вероятностей попадания на восстановление. Это означает, что события, соответствующие этим параметрам на практике, могут не фиксироваться. Причиной отсутствия события может быть не только их фактическое отсутствие, но и то, что события являются редкими. Но, как известно, редкие события предшествуют неисправности. Поэтому необходимо фиксировать редкие события для более достоверного определения или вообще для определения таких показателей надежности, как вероятности ошибок периодического контроля I и II рода.



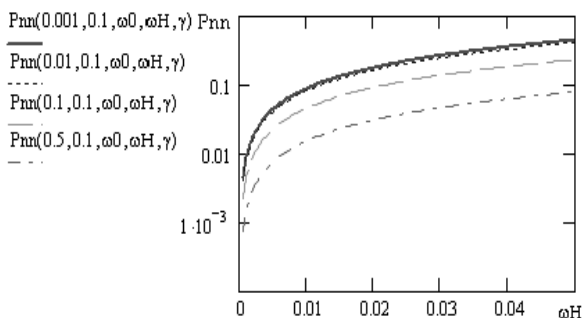
а)



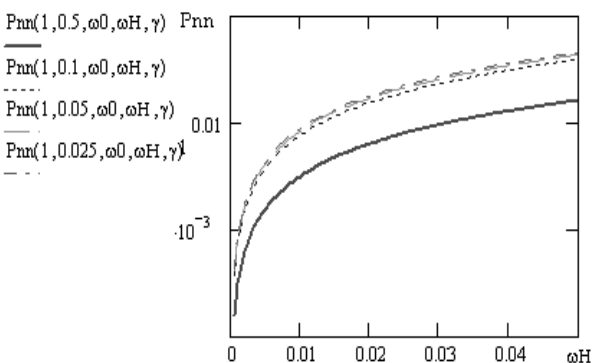
д)



б)



в)



г)

Рис.3. Графики зависимости вероятности попадания в состояние восстановления от интенсивности отказов оборудования и вероятности ошибок системы контроля

### Выводы

Представленные графики иллюстрируют различные пути определения вероятности ошибок I и II рода ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) системы непрерывного и периодического видов контроля, а также возможные значения вероятностей попадания на восстановление работоспособного и неработоспособного оборудования в условиях, когда интенсивность отказов оборудования колеблется в пределах от  $10^{-4}$  до  $0,1 \text{ ч}^{-1}$ . Пути определения указанных вероятностей ошибок непрерывного и периодического видов контроля зависят от имеющихся в распоряжении обслуживающего персонала эксплуатационных данных на момент оценки надежности оборудования или его системы контроля.

Для разработки и реализации эффективных мер по повышению надежности элементов телекоммуникационных систем необходима единая автоматизированная система сбора и обработки информации, по которой предприятие-изготовитель могло бы осуществлять сбор статистической информации. Совместно с математической моделью эта информация может быть использована при вычислении необходимых показателей надежности телекоммуникационной системы в целом.

### Литература

1. Зеленцов Б.П. Математические модели на основе процесса размножения и гибели объектов // Соросовский образовательный журнал. №6, 2001. – С. 92-97.
2. Зеленцов Б.П., Шерстнева О.Г. Метод расчета вероятностей ошибок контроля оборудования систем коммутации по эксплуатационным данным // Труды ИВМ и МГ. Информатика. Новосибирск, № 3, 1998. – С. 105-110.