

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИНХРОНИЗАЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Парамонов Иван Юрьевич, кандидат технических наук

В статье рассматривается проблема нормирования требований устойчивости инфотелекоммуникационных сетей. Обосновывается необходимость учета влияния времени восстановления синхронизации на показатели надежности и живучести. Показано влияние времени восстановления синхронизации после воздействия дестабилизирующих факторов на показатели надежности и живучести сетей.

Ключевые слова: *инфотелекоммуникационные сети, устойчивость, надежность, живучесть, синхронизация, дестабилизирующие факторы*

THE INFLUENCE OF RECOVERY TIME SYNCHRONIZATION ON THE SUSTAINABILITY PERFORMANCE OF INFOTELECOMMUNICATION NETWORKS

Ivan Paramonov, Ph.D.

Article considers the problem of rationing requirement for the sustainability infotelecommunication networks. The need to consider the effect of time of restoration of synchronization on reliability and survivability substantiates. Influence on indicators of reliability and survivability of networks of time of restoration of synchronization after influence of destabilizing factors is shown.

Keywords: *infotelecommunication network, sustainability, reliability, survivability, synchronization, destabilizing factors*

Введение

Развитие инфотелекоммуникационных сетей (ИТКС) привели к повышению требований к нормированию характеристик средств, комплексов и систем связи. В частности, одним из основных требований к оборудованию ИТКС является обеспечение возможности достоверной оценки характеристик оборудования на различных стадиях жизненного цикла.

Отсутствие данных о свойствах оборудования или их недостаточно достоверные оценки полностью или в значительной степени обесценивают информацию об эффективности функционирования ИТКС.

Для современных ИТКС характерно усложнение условий функционирования. Это связано с расширением сфер использования телекоммуникационных технологий, увеличением количества радиоэлектронных средств, повышением «ценности» информации, появлением новых источников угроз нарушения безопасности ИТКС и т. д.

Важным свойством оборудования ИТКС, влияющим на эффективность функциониро-

вания, является его устойчивость. Оценка устойчивости ИТКС и их элементов должна быть максимально близкой «оценкой сверху» к реальным значениям, а набор показателей устойчивости должен обеспечивать получение гарантированных оценок на всех стадиях жизненного цикла. Некорректная оценка характеристик устойчивости ИТКС чревата экономическими потерями, техническими последствиями, что может влиять на эффективность функционирования как ИТКС, так и критически важных объектов, в составе которых они используются.

1. Анализ требований к показателям устойчивости

Под устойчивостью понимается способность сети электросвязи выполнять свои функции при выходе из строя части элементов сети в результате воздействия дестабилизирующих факторов¹.

¹ ГОСТ Р 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. стр. 2 п.3.3

Влияние времени восстановления синхронизации на показатели устойчивости

Устойчивость оборудования ИТКС определяется:

- свойствами оборудования;
- способами применения;
- правильностью настройки;
- условиями эксплуатации;
- значениями характеристик, внутренних и внешних дестабилизирующих факторов и т. д.

Оценивание устойчивости ИТКС является сложной и комплексной задачей, т.к. требует учета большого количества факторов в условиях неопределенности как о количестве влияющих факторов, так и о значениях их параметров.

При проектировании и выборе оборудования связи необходимо учитывать характеристики устойчивости в нормальных и рабочих условиях эксплуатации, т.е. в условиях воздействия влияющих (учитываемых) внутренних и внешних дестабилизирующих факторов (ДФ).

Данные об устойчивости оборудования должны приводиться в нормативно-технической документации на оборудование. При отсутствии таких данных или их недостаточности необходимо проводить экспериментальное их определение (доопределение), что должно быть исключительным случаем и применяться редко. При создании систем и комплексов связи значения характеристик устойчивости необходимо получать расчётным и подтверждать экспериментальным путем, или, как исключение, экспериментальным путём.

Номенклатура и способ представления характеристик устойчивости должны соответствовать задачам, стоящим как перед разработчиками, так и перед потребителями.

Таким важным требованием к номенклатуре показателей устойчивости является обеспечение возможности контроля характеристик устойчивости оборудования на практике.

С учётом условий и особенностей применения оборудования связи характеристики устойчивости нормируются для следующих условий эксплуатации:

- а) нормальные условия;
- б) рабочие условия.

Нормирование характеристик устойчивости в рабочих условиях при воздействии ДФ необходимо

проводить с учётом динамических характеристик как оборудования, так и оговоренных в задании ДФ [1]².

2. Учёт влияния параметров дестабилизирующих факторов на устойчивость

В соответствии с [1] в качестве показателя устойчивости оборудования связи используется коэффициент готовности K_r и коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$:

$$K_r = T_0 / (T_0 + T_B); \quad (1)$$

$$K_{ог} = P(T) K_r, \quad (2)$$

где T_0 – среднее время наработки на отказ; T_B – среднее время восстановления работоспособности; $P(T)$ – вероятность сохранения работоспособности при воздействии ДФ.

Коэффициент готовности K_r характеризует надёжность, а коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ – живучесть оборудования связи.

Если T_B представить как совокупность отдельных интервалов воздействия ДФ, то выражения (1), (2) примут вид:

$$K_r = T_0 / (T_0 + NT_i); \quad (3)$$

$$K_{ог} = P(T) T_0 / (T_0 + NT_i), \quad (4)$$

где N – число случаев воздействия ДФ; T_i – средняя длительность воздействия ДФ.

В качестве критерия отказа при передаче данных принимается повышение отношения числа битов, принятых с ошибками, к общему числу принятых битов до 10^{-3} в течение 10 последовательных секунд и больше³.

Результаты расчёта показателей устойчивости в соответствии с критериями, приведёнными в [1], приведены в таблицах 1, 2 и на рисунках 1, 2. Результаты получены без учета времени, которое необходимо ИТКС для восстановления и возобновления обслуживания.

² Рекомендация МСЭ-R.S.1522-1 Воздействие потери времени восстановления синхронизации на готовность в гипотетических эталонных цифровых трактах: [Электронный ресурс]. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.1522-1-200502-I!!PDF-R.pdf.

³ ГОСТ Р 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. стр. 7 п.5.38

Таблица 1 – Зависимость K_r от числа и длительности воздействия ДФ

K_r	T_B, c	T_i, c			
		N			
		10	100	1000	10000
0,99	318545,4545	31854,55	3185,455	318,5455	31,85455
0,999	31567,56757	3156,757	315,6757	31,56757	3,156757
0,9999	3153,915392	315,3915	31,53915	3,153915	0,315392

Таблица 2 – Зависимость $K_{ог}$ от числа и длительности воздействия ДФ

K_r	P	T_i, c	$K_{ог}$			
			N			
			10	100	1000	10000
0,99	0,8	10	0,80000	0,799975	0,799746	0,797471
		100	0,79997	0,799746	0,797471	0,775412
		1000	0,79975	0,797471	0,775412	0,607396
0,999	0,85	10	0,85000	0,849973	0,849731	0,847313
		100	0,84997	0,849731	0,847313	0,823875
		1000	0,84973	0,847313	0,823875	0,645358
0,9999	0,9	10	0,90000	0,899971	0,899715	0,897155
		100	0,89997	0,899715	0,897155	0,872338
		1000	0,89971	0,897155	0,872338	0,68332

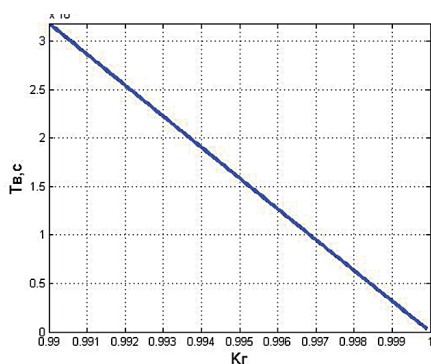
В качестве критерия готовности канала связи применяется интервал времени из 10 последовательных секунд, в течение которых вероятность ошибки меньше или равна 10^{-3} .⁴

Однако необходимо различать готовность канала и готовность обслуживания. Готовность обслуживания учитывает также время, необхо-

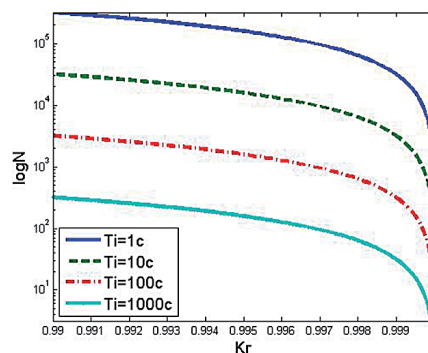
димое для восстановления синхронизации, т.е. время на повторное вхождение в синхронизм. Время восстановления синхронизации зависит от скорости передачи информации, вида модуляции, используемого помехоустойчивого кода, схемы (алгоритма) демодулятора и декодера и т. д.⁵.

⁴ Рекомендация МСЭ-R.S.1522-1 Воздействие потери времени восстановления синхронизации на готовность в гипотетических эталонных цифровых трактах: [Электронный ресурс]. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.1522-1-200502-1!!PDF-R.pdf. стр. 1 п. г.

⁵ Рекомендация МСЭ-R.S.1522-1 Воздействие потери времени восстановления синхронизации на готовность в гипотетических эталонных цифровых трактах: [Электронный ресурс]. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.1522-1-200502-1!!PDF-R.pdf. стр.4 п. 3.

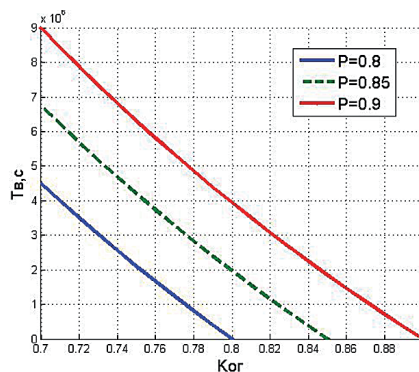


а)

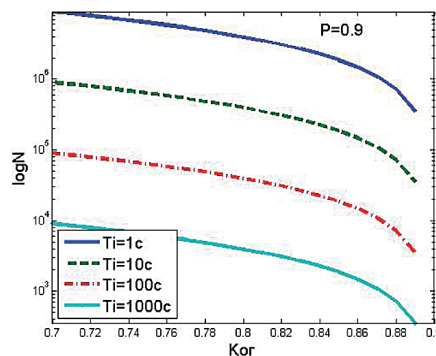


б)

Рисунок 1



а)



б)

Рисунок 2

Влияние времени восстановления синхронизации на показатели устойчивости

С учётом времени вхождения в синхронизм выражения (3) и (4) примут вид:

$$K_{ГБ} = T_0 / (T_0 + N(T_i + T_{вi})); \quad (5)$$

$$K_{огБ} = P(T)T_0 / (T_0 + N(T_i + T_{вi})), \quad (6)$$

где $T_{вi}$ – время восстановления (вхождения в синхронизм) после прекращения воздействия ДФ.

В таблице 3 приведены значения максимального времени восстановления обслуживания, по-

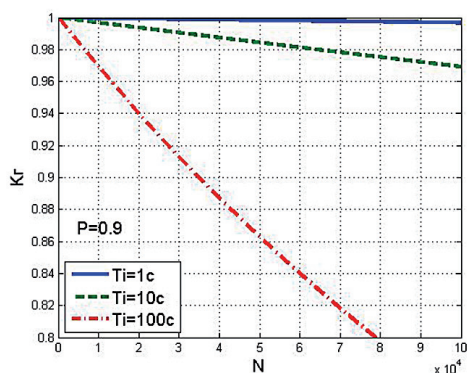
лученные экспериментальным путем⁶.

На рисунках 3, 4 и в таблицах 4 – 6 приведены результаты расчёта $K_{Г}$ и $K_{ог}$ с учётом времени восстановления.

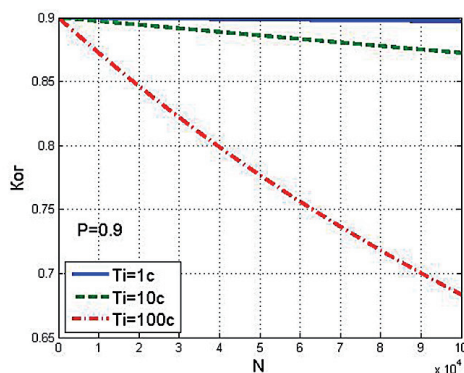
⁶ Рекомендация МСЭ-R.S.1522-1 Воздействие потери времени восстановления синхронизации на готовность в гипотетических эталонных цифровых трактах: [Электронный ресурс]. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.1522-1-200502-1!!PDF-R.pdf. стр. 3 таблица 2.

Таблица 3 – Максимальное время восстановления обслуживания

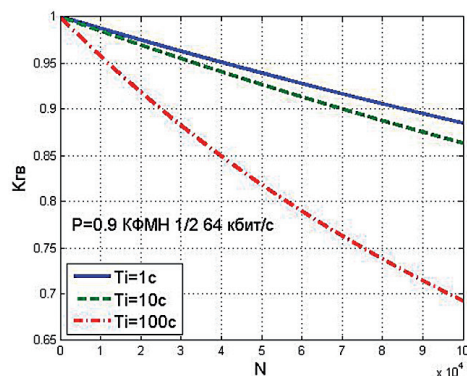
Модуляция и кодирование	Скорость передачи данных на несущей	Время восстановления, с
КФМН 1/2	64 кбит/с	40,0
	2 Мбит/с	4,5
КФМН 3/4	64 кбит/с	19,8
	2 Мбит/с	6,0
	8 Мбит/с	9,3
8-ФМН 2/3 РС (201, 219)	34 Мбит/с	2,3
	2 Мбит/с	3,1
	8 Мбит/с	9,1
	34 Мбит/с	4,0



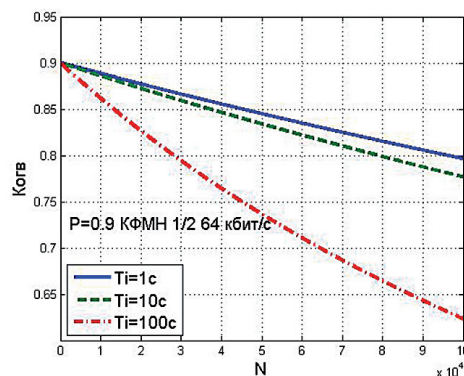
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3

Надежность и устойчивость киберсистем

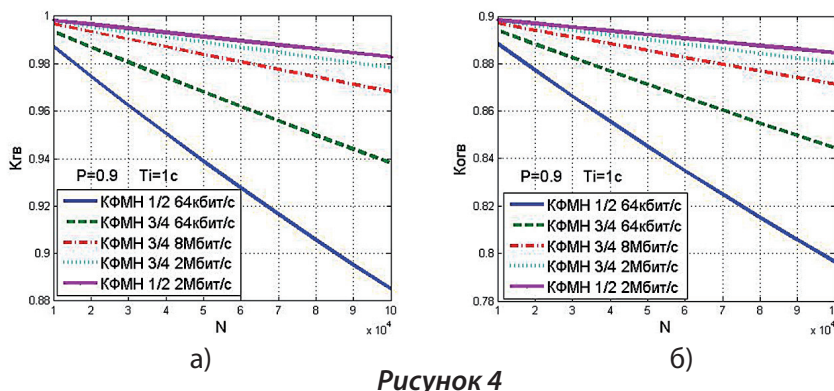


Рисунок 4

Таблица 4 – Зависимость $K_{ГВ}$ от времени восстановления

Вид модуляции	Скорость передачи информации	Время восстановления, T_{vi} , с	T_i , с	$K_{ГВ}$			
				N			
				10	100	1000	10000
КФМН 1/2	64 кбит/с	40	1	0,9999870	0,999870	0,998702	0,987166
			100	0,999956	0,999556	0,995580	0,957493
	2 Мбит/с	4,5	1	0,9999983	0,999983	0,999826	0,998259
			100	0,999967	0,999669	0,996697	0,967926
КФМН 3/4	64 кбит/с	19,8	1	0,9999934	0,999934	0,999341	0,993448
			100	0,999962	0,999620	0,996216	0,963402
	2 Мбит/с	6	1	0,9999978	0,999978	0,999778	0,997785
			100	0,999966	0,999664	0,996650	0,967481
	8 Мбит/с	9,3	1	0,9999967	0,999967	0,999673	0,996745
			100	0,999965	0,999654	0,996546	0,966502

Таблица 5 – Зависимость $K_{ОГВ}$ от времени восстановления

Вид модуляции	Скорость передачи информации	Время восстановления, T_{vi} , с	T_i , с	$K_{ОГВ}$			
				N			
				10	100	1000	10000
$P = 0,9$							
КФМН 1/2	64 кбит/с	40	1	0,899988	0,899883	0,899703	0,897042
			100	0,899960	0,899601	0,897144	0,872231
	2 Мбит/с	4,5	1	0,899998	0,899984	0,899713	0,897142
			100	0,899970	0,899702	0,897154	0,872326
КФМН 3/4	64 кбит/с	19,8	1	0,899994	0,899941	0,899709	0,897099
			100	0,899966	0,899658	0,897150	0,872285
	2 Мбит/с	6	1	0,899998	0,899980	0,899713	0,897138
			100	0,899970	0,899698	0,897153	0,872322
	8 Мбит/с	9,3	1	0,899997	0,899971	0,899712	0,897129
			100	0,899969	0,899688	0,897153	0,872313

Таблица 6 – Зависимость $K_{Г}$ и $K_{ОГ}$ от времени восстановления

Вид модуляции, скорость передачи информации	Время восстановления, T_{vi} , с	$K_{Г}$	$K_{ГВ}$		$K_{ОГВ}$ ($P = 0,9$)	$K_{ОГВ}$	
			N			1000	10000
			1000	10000			
КФМН 1/2 64 кбит/с	40	0,99	0,988	0,977	0,891	0,8898	0,8799
КФМН 3/4 34 Мбит/с	2,3		0,9899	0,9892		0,8909	0,8903
КФМН 1/2 64 кбит/с	40	0,9999	0,9986	0,9873	0,8999	0,8987	0,8886
КФМН 3/4 34 Мбит/с	2,3		0,9998	0,9992		0,8998	0,8992

Анализ данных, приведённых на рисунках 1 – 4 и в таблицах 4 – 6 показывает, что необходимо учитывать не только количество и длительности интервалов неготовности канала связи, но и тех интервалов времени, которые необходимы для восстановления системы после прекращения воздействия дестабилизирующих факторов. В ряде случаев большое количество кратковременных воздействий может приводить к большим интервалам неготовности, чем меньшее количество воздействий большей длительности.

Заключение

Краткий анализ требований к устойчивости ИТКС показал, что существующие подходы к нормированию требований к устойчивости ИТКС требуют корректировки в части учета динамических характеристик ДФ и оборудования связи. Также необходимо нормировать параметры, позволяющие учесть влияния характеристик каналов, трактов и дестабилизирующих факторов на время вхождения в синхронизм.

В настоящее время при нормировании показателей устойчивости ИТКС учитывается только необходимость обеспечения «готовности канала». Приведенные результаты расчетов показали, что для оценивания устойчивости ИТКС необходимо задавать и учитывать требования и к показателям

«готовности обслуживания». При выборе и нормировании показателей устойчивости ИТКС необходимо учитывать как «готовность канала», так и «готовность обслуживания».

Мало изученным, но очень важным вопросам является исследование распределения времени неготовности на коротких временных интервалах: час, сутки и т.д. [1]⁷. Такие исследования особенно важны для ИТКС, которые используются в системах информационного обеспечения функционирования критически важных и потенциально опасных объектов, в том числе транспортной и энергетической инфраструктуры.

В статье сделана попытка на относительно грубом, но достаточно показательном примере привлечь внимание специалистов к проблемным вопросам нормирования требований устойчивости инфотелекоммуникационных систем и сетей. В дальнейшем планируется провести исследования и получить выражения для вычисления показателей устойчивости ИТКС с учетом вероятностных характеристик параметров как дестабилизирующих факторов, так и оборудования связи.

⁷ Рекомендация МСЭ-R.S.1522-1 Воздействие потери времени восстановления синхронизации на готовность в гипотетических эталонных цифровых трактах: [Электронный ресурс]. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.1522-1-200502-I!!PDF-R.pdf. стр. 17 п.6

Литература

1. Информационные технологии в радиотехнических системах: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.А. Васин, И.Б. Власов, Ю.М. Егоров и др.; под ред. И.Б. Фёдорова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 768 с.

References

1. Informacionnye tehnologii v radiotekhnicheskikh sistemah: ucheb. posobie. – 2-e izd., pererab. i dop. / V.A. Vasin, I.B. Vlasov, Ju.M. Egorov i dr.; pod red. I.B. Fjodorova. – M.: IZD-VO MGTU im. N.Je. Baumana, 2004. – 768 s.

