

УДК 004.732

КОЭФФИЦИЕНТ ГОТОВНОСТИ ТРЕХУРОВНЕВЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Рахман П.А.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», филиал в г. Стерлитамаке, e-mail: pavelar@yandex.ru

Рассматриваются локальные сети передачи данных предприятий среднего масштаба с тремя функциональными уровнями: ядра, распределения и доступа. Также рассматриваются модели надежности трехуровневых сетей на базе модели восстанавливаемых систем с независимыми элементами и упрощенные формулы для расчета показателей надежности локальных сетей. Приводятся примеры расчета коэффициента готовности трехуровневых локальных сетей с единственными и избыточными коммутаторами ядра и распределения.

Ключевые слова: локальные сети, надежность, коэффициент готовности, сетевой коммутатор

AVAILABILITY FACTOR OF THREE-LAYER LOCAL AREA NETWORKS

Rahman P.A.

Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak branch, e-mail: pavelar@yandex.ru

This paper deals with the local area networks of medium-scale enterprises with three functional layers: core, distribution and access. Reliability models of three-layer networks based on model of recoverable systems with independent elements and simplified formulas for network availability factor assessment are also observed. Calculation examples for three-layer networks with single and redundant core and distribution layer switches are also provided.

Keywords: local area networks, reliability, availability factor, network switch

В настоящее время наблюдается бурное развитие информационных технологий и их внедрение в самые различные сферы деятельности человека. Сети передачи данных [1] стали неотъемлемой частью жизни людей, без которой практически немислим информационный обмен. В такой ситуации анализ технических характеристик существующих сетей передачи данных и проектирование новых сетей с учетом заданных характеристик остается одной из актуальных задач в области информационных технологий.

Помимо таких технических характеристик компьютерных сетей, как: производительность, время задержки, безопасность, масштабируемость, крайне важными характеристиками являются комплексные показатели надежности: коэффициент готовности и среднее время недоступности в год [2, 3].

От показателей надежности напрямую зависит доступность информационных сервисов для пользователей. Кроме того, от надежности сети косвенно также зависят производительность и латентность сети, поскольку возникновение сбоев и отказов в сети ведет к необходимости повторной передачи блоков данных, а это в итоге ведет к увеличению задержек при переда-

че и уменьшению объемов передаваемых данных в единицу времени. Наконец, от надежности сети также косвенно зависит безопасность функционирования систем управления какими-либо объектами, в которых несвоевременная реакция (из-за отказов и сбоев в сети передачи данных) системы управления на какие-либо критические изменения в объекте управления могут привести к серьезным последствиям. В такой ситуации анализ показателей надежности сетей передачи данных является особенно актуальной проблемой.

В рамках научных исследований автора [4–10] было рассмотрено применение теоретической модели надежности восстанавливаемых систем, состоящих из множества идентичных независимых объектов, на трехуровневых локальных сетях передачи данных.

Модель надежности группы независимых элементов. Пусть имеется n идентичных восстанавливаемых элементов с одинаковыми интенсивностями отказов λ и восстановления μ . Элементы могут независимо отказываться и независимо восстанавливаться без каких-либо ограничений. Тогда получаем марковскую модель надежности (рис. 1).

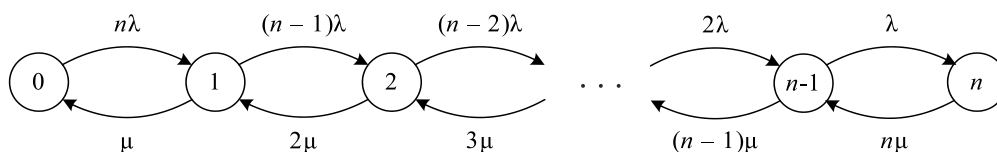


Рис. 1. Модель надежности группы независимых восстанавливаемых элементов

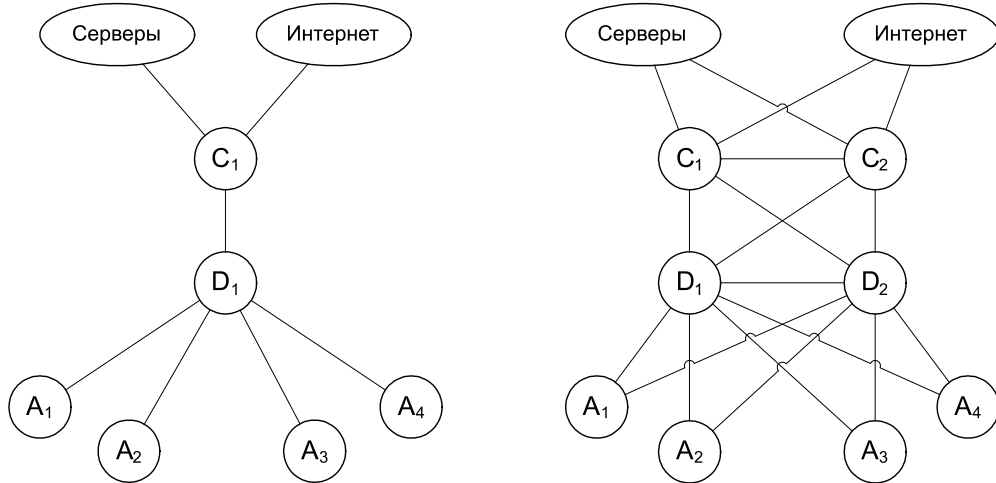


Рис. 2. Трехуровневые локальные сети с одним (схема слева) и с двумя (схема справа) коммутаторами ядра и распределения, и с 4 коммутаторами доступа

Математическая модель (система уравнений Колмогорова–Чепмена):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 P_0(0) = 1; \quad P_1(0) = 0; \quad \dots \quad P_n(0) = 0; \\
 \sum_{i=0}^n P_i(t) = 1; \\
 \frac{dP_0(t)}{dt} = -n\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\
 \frac{dP_1(t)}{dt} = n\lambda P_0(t) - (\mu + (n-1)\lambda) P_1(t) + 2\mu P_2(t); \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} = (n-1)\lambda P_1(t) - (2\mu + (n-2)\lambda) P_2(t) + 3\mu P_3(t); \\
 \vdots \\
 \frac{dP_{n-1}(t)}{dt} = 2\lambda P_{n-2}(t) - ((n-1)\mu + \lambda) P_{n-1}(t) + n\mu P_n(t); \\
 \frac{dP_n(t)}{dt} = \lambda P_{n-1}(t) - n\mu P_n(t).
 \end{array} \right.$$

Общее решение системы дифференциальных уравнений в аналитическом виде выглядит следующим образом:

$$P_i(t) = \frac{C_n^i \rho^i (1 - e^{-\alpha t})^i (1 + \rho e^{-\alpha t})^{n-i}}{(1 + \rho)^n};$$

$$i = 0 \dots n;$$

$$\rho = \lambda / \mu; \quad \alpha = \lambda + \mu. \quad (1)$$

При $t \rightarrow \infty$ марковский процесс становится установившимся, и вероятности уже не меняются с течением времени:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t) = C_n^i \frac{\rho^i}{(1 + \rho)^n};$$

$$i = 0 \dots n;$$

$$\rho = \lambda / \mu.$$

Трехуровневые локальные сети. В трехуровневых сетях передачи данных (рис. 2) можно выделить три независимые с точки зрения модели надежности группы объектов – группа коммутаторов уровня ядра, группа коммутаторов уровня распределения и группа коммутаторов уровня доступа.

Сеть содержит $r \geq 1$ коммутаторов ядра (Core), $s \geq 1$ коммутаторов распределения (Distribution) и $k \geq 1$ коммутаторов уровня доступа (Access). Серверы локальной сети и сети Интернет доступны через каждый коммутатор ядра. Коммутаторы ядра и ком-

мутаторы распределения связаны между собой каждый с каждым. Коммутаторы доступа между собой не связаны, но связаны с каждым коммутатором распределения. Отказ любого коммутатора доступа, также как и нарушение связи любого коммутатора доступа с серверами или сетью Интернет, считается отказом всей сети целом.

Модель надежности трехуровневой сети. Коммутаторы уровня ядра имеют интенсивность отказов λ_C и интенсивность восстановления μ_C , коммутаторы уровня распределения имеют интенсивность отказов λ_D и восстановления μ_D , коммутаторы уровня доступа имеют интенсивность отказов λ_A и восстановления μ_A .

Что касается группы коммутаторов ядра, то поскольку каждый из них связан с каждым с коммутатором распределения и каждый связан с серверами и сетью Интернет, то сеть считается работоспособной при первом условии, что хотя бы один коммутатор в группе коммутаторов ядра работоспособен. Вероятность этого равна сумме вероятностей от нулевого состояния до предпоследнего состояния в марковской модели надежности группы из r независимых объектов:

$$P_{\text{core}}(t) = \sum_{i=0}^{r-1} P_i(t) = 1 - P_r(t) = 1 - \frac{\rho_C^r}{(1 + \rho_C)^r} (1 - e^{-\alpha_C t});$$

$$\rho_C = \lambda_C / \mu_C; \alpha_C = \lambda_C + \mu_C.$$

Что касается группы коммутаторов распределения, то поскольку каждый из них

связан с каждым с коммутатором ядра и с каждым коммутатором уровня доступа, то сеть считается работоспособной при втором условии, что хотя бы один коммутатор в группе коммутаторов распределения работоспособен. Вероятность этого равна сумме вероятностей от нулевого состояния до предпоследнего состояния в марковской модели надежности группы из s независимых объектов:

$$P_{\text{distrib}}(t) = \sum_{i=0}^{s-1} P_i(t) = 1 - P_s(t) = 1 - \frac{\rho_D^s}{(1 + \rho_D)^s} (1 - e^{-\alpha_D t});$$

$$\rho_D = \lambda_D / \mu_D; \alpha_D = \lambda_D + \mu_D.$$

Наконец, поскольку отказ любого коммутатора доступа считается отказом всей сети в целом, то очевидно, сеть считается работоспособной при третьем условии, что все k коммутаторов в группе коммутаторов доступа работоспособны. Вероятность этого равна вероятности нулевого состояния в марковской модели надежности группы из k независимых объектов:

$$P_{\text{access}}(t) = P_0(t) = \frac{1}{(1 + \rho_A)^k} (1 + \rho_A e^{-\alpha_A t})^k;$$

$$\rho_A = \lambda_A / \mu_A; \alpha_A = \lambda_A + \mu_A.$$

Объединим три условия работоспособности сети, перемножив их вероятности, и получим окончательную формулу для вероятности работоспособности двухуровневой сети в целом:

$$P_{\text{net}}(t) = \left(1 - \left(\frac{\rho_C}{1 + \rho_C} (1 - e^{-\alpha_C t}) \right)^r \right) \left(1 - \left(\frac{\rho_D}{1 + \rho_D} (1 - e^{-\alpha_D t}) \right)^s \right) \left(\frac{1 + \rho_A e^{-\alpha_A t}}{1 + \rho_A} \right)^k.$$

Тогда стационарный коэффициент готовности трехуровневой сети:

$$K_{\text{net}} = \lim_{t \rightarrow \infty} P_{\text{net}}(t) = \frac{((1 + \rho_C)^r - \rho_C^r) ((1 + \rho_D)^s - \rho_D^s)}{(1 + \rho_C)^r (1 + \rho_D)^s (1 + \rho_A)^k}. \quad (2)$$

Пример расчета коэффициента готовности. Пусть имеется двухуровневая сеть из $k = 6$ коммутаторов доступа, $s = 1$ коммутатора распределения и $r = 1$ коммутатора ядра.

С целью повышения отказоустойчивости сети был внедрен второй коммутатор ядра ($r = 2$) и второй коммутатор распределения ($s = 2$).

Интенсивность отказов коммутатора ядра $\lambda_C = 1/8760$ час⁻¹, а интенсивность восстановления $\mu_C = 1/24$ час⁻¹. Интенсивность отказов коммутатора распределе-

ния $\lambda_D = 1/8760$ час⁻¹, а восстановления $\mu_D = 1/6$ час⁻¹. Интенсивность отказов коммутатора доступа $\lambda_A = 1/8760$ час⁻¹, а восстановления $\mu_A = 1$ час⁻¹.

Оценим коэффициент готовности сети до и после ее модернизации.

Решение. Имеем $\rho_C = \lambda_C / \mu_C = 1/365$, $\rho_D = \lambda_D / \mu_D = 1/1460$, $\rho_A = \lambda_A / \mu_A = 1/8760$.

Тогда коэффициент готовности до модернизации сети ($r = 1$, $s = 1$, $k = 6$) составит:

$$K_{\text{net}} = \frac{1}{(1 + \rho_C)^1 (1 + \rho_D)^1 (1 + \rho_A)^6} \approx 0,995903.$$

А после модернизации сети ($r = 2$, $s = 2$, $k = 6$) коэффициент готовности составит:

$$K_{\text{net}} = \frac{(1+2\rho_C)(1+2\rho_D)}{(1+\rho_C)^2(1+\rho_D)^2(1+\rho_A)^6} \approx 0,999307.$$

Если оценить среднее количество часов недоступности сети в год (8760 часов) по формуле $8760(1 - K_{\text{net}})$, то до модернизации имеем около 36 часов недоступности в год, а после – около 6 часов в год.

Заключение

Таким образом, в рамках данной статьи была рассмотрена модель надежности трехуровневых локальных сетей передачи данных. Также были приведены формулы и примеры расчета коэффициента готовности сетей и среднего времени недоступности в год. Полученные теоретические результаты использовались в многолетней практике эксплуатации, развития и проектирования сетей среднего масштаба НИУ МЭИ (ТУ), ОАО «Красный Пролетарий» и ряда других предприятий.

Список литературы

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010.
2. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. – СПб.: Питер, 2005.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
4. Каяшев А.И., Рахман П.А., Шарипов М.И. Анализ показателей надежности двухуровневых магистральных сетей // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2014. – Т. 18, № 2 (63). – С. 197–207.
5. Каяшев А.И., Рахман П.А., Шарипов М.И. Анализ показателей надежности локальных компьютерных сетей // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – Т. 17, № 5 (58). – С. 140–149.
6. Каяшев А.И., Рахман П.А., Шарипов М.И. Анализ показателей надежности избыточных дисковых массивов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – Т. 17, № 2 (55). – С. 163–170.
7. Рахман П.А., Каяшев А.И., Шарипов М.И. Марковская цепь гибели и размножения в моделях надежности технических систем // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Т. 19, № 1. – С. 140–154.
8. Рахман П.А., Каяшев А.И., Шарипов М.И. Модель надежности отказоустойчивой пограничной маршрутизации с двумя интернет-провайдерами // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Т. 19, № 1. – С. 131–139.
9. Рахман П.А., Каяшев А.И., Шарипов М.И. Модель надежности отказоустойчивых систем хранения данных // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Т. 19, № 1. – С. 155–166.
10. Рахман П.А., Шарипов М.И. Модель надежности двухузлового кластера приложений высокой готовности в системах управления предприятием // Экономика и менеджмент систем управления. – 2015. – № 3 (17). – С. 85–102.