

УДК 621.39

Влияние надежности цифровой системы привязки к сети Интернет на прием пакетов данных при предоставлении информационных услуг в электронном виде

Д.А. БЛУДОВ, П.С. ВИХЛЯНЦЕВ, канд. техн. наук, М.В. СИМОНОВ, канд. техн. наук

Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦентрИнформ», г. Санкт-Петербург

E-mail: d.bludov@center-inform.ru

Проведена оценка влияния надежности цифровой системы привязки к сети Интернет на вероятностно-временные характеристики приема пакетов данных.

Ключевые слова: сеть Интернет, коммутационное оборудование, буферизация, буфер, вероятность, пакет, емкость, среднее значение, дисперсия, алгоритм, стохастическая модель, преобразование Лапласа—Стилтьеса, плотность распределения, вероятностно-временные характеристики, очередь.

The reliability influence evaluation of a digital positioning system tie to the Internet network on probability-time characteristics of data burst reception in case of electronic information services has been carried out.

Keywords: Internet, network switching equipment, buffering, buffer, probability, data burst, capacity, average value, dispersion, algorithm, stochastic model, Laplace—Stieltjes transformation, distribution density, probability-time characteristic, queue.

Введение

Предоставление информационных услуг осуществляется по заявкам пользователей, содержащим необходимые документы в электронном виде. Заявки передаются в центр предоставления услуг по сети Интернет с использованием систем защищенного электронного документооборота.

Для краткости пользователей информационных услуг (клиентов) далее будем называть источниками, электронные документы — заявками, а поток электронных документов — потоком заявок.

В [1] рассмотрены вероятностно-временные характеристики приема заявок на предоставление услуг в личных кабинетах веб-сервера при абсолютной надежности коммутационного обо-

рудования и цифровой системы привязки к сети Интернет.

Цель статьи — оценить влияние надежности цифровой системы привязки на вероятностно-временные характеристики (ВВХ) процесса приема заявок на предоставление информационных услуг в электронном виде.

Привязка центров предоставления услуг к сети Интернет осуществляется провайдерами и строится на основе цифровых систем передачи с конечной надежностью.

Для повышения надежности приема заявок применяют дублирование цифровых систем привязки к сети Интернет. Основные и резервные системы привязки призваны обеспечить отказоустойчивую структуру, при которой значения ВВХ приема и обработки заявок от множества источников были бы не хуже требуемых

и не приводили бы к отказам в предоставлении услуг.

Постановка задачи

Будем полагать, что передача заявок осуществляется в пакетной форме, длительность передачи t_β которых является случайной величиной (сл.в.), подчиненной гамма-распределению с плотностью:

$$b(t) = \frac{b(bt)^{\beta_1 - 1} e^{-bt}}{\Gamma(r_\beta)},$$

где $\beta_1 = T_\beta = r_\beta/b$ — среднее время передачи; r_β — параметр формы, $1/b$ — параметр масштаба гамма-распределения; $\Gamma(r_\beta)$ — гамма-функция с параметром r_β .

Полагаем, что:

- при нахождении в системе привязки одной и более заявок ($k \geq 1$) сл.в. времени исправной работы цифровой системы привязки t_{nh} имеет функцию распределения (ф.р.) $C(t)$, а сл.в. времени простоя t_{nh} (восстановления) из-за выхода из строя основной системы привязки и ее замены на резервную имеет ф.р. $D(t)$;
- при отсутствии заявок в системе привязки ($k = 0$) сл.в. времени исправной работы t_{n0} в паузах между поступлением заявок имеет ф.р. $E(t)$, а сл.в. времени перехода на резервную систему t_{no} (время восстановления) имеет ф.р. $F(t)$.

Передача заявок осуществляется по принципу «первым пришел — первым обслужен». Количество мест для ожидания считаем неограниченным.

Если во время передачи заявки произошло прерывание из-за выхода из строя цифровой системы привязки, то после перехода на резервную систему заявка передается заново с прежней длительностью (preemptive — repeat without resampling).

При расчетах будем полагать, что функции распределения времени исправной работы $C(t)$ и $E(t)$ имеют экспоненциальный характер распределения:

$$C(t) = 1 - e^{-ct}, \quad c = 1/T_{nh}, \quad (1)$$

$$E(t) = 1 - e^{-et}, \quad e = 1/T_{no}, \quad (2)$$

а функции распределения времени простоя (восстановления) $D(t)$ и $F(t)$ подчинены гамма-распределению с плотностями

$$d(t) = \frac{d(dt)^{\delta_1 - 1} e^{-dt}}{\Gamma(r_\delta)}, \quad \delta_1 = T_{nh} = \frac{r_\delta}{d}, \quad (3)$$

$$f(t) = \frac{f(ft)^{\varphi_1 - 1} e^{-ft}}{\Gamma(r_\varphi)}, \quad \varphi_1 = T_{no} = \frac{r_\varphi}{f}, \quad (4)$$

где $1/d$, $1/f$, r_δ , r_φ — параметры масштаба и формы соответственно; $\Gamma(r_\delta)$, $\Gamma(r_\varphi)$ — гамма-функции с параметрами r_δ и r_φ соответственно; T_{nh} , T_{no} — средние времена простоя (восстановления) во время передачи заявок ($k \geq 1$) и в интервалы времени, когда заявок нет ($k = 0$), соответственно.

Требуется оценить влияние надежности цифровой системы привязки на ВВХ процесса приема заявок.

Решение

В соответствии со стохастической сетевой моделью, изложенной в [2], общее время пребывания заявки в цифровой системе привязки ($t_v = t_h + t_\omega$) состоит из времени передачи t_h и времени ожидания в очереди t_ω , а эквивалентная ф.р. $\upsilon(s)$ времени пребывания заявки в системе привязки равна $\upsilon(s) = \omega(s)h(s)$, где $\omega(s)$, $h(s)$ — преобразования Лапласа—Стилтьеса (Л.—С.) ф.р. времени ожидания в очереди и времени передачи соответственно.

Последовательность решения задачи сводится к получению аналитических выражений для расчета времени передачи заявок, времени ожидания в очереди и общего времени пребывания заявки в цифровой системе привязки.

По соотношениям для времени передачи $h(s)$ и времени ожидания в очереди $\omega(s)$ необходимо определить первые три начальных момента времени передачи h_1, h_2, h_3 и первые два начальных момента времени ожидания в очереди ω_1, ω_2 в зависимости от надежности системы привязки.

Расчет времени передачи заявок

Передача заявки при прерывании с обслуживанием заново с прежней длительностью иллюстрируется на рис. 1. Здесь показаны две безуспешные попытки передачи заявки и третья попытка — успешная.

Длительность передачи заявки t_h состоит, в общем случае, из N пар ($N \geq 1$) безуспешных передач $t_{\beta\delta yi}$ и простоя (восстановления) $t_{nh i}$, $i = 1, N$, а также длительности успешной передачи заявки $t_{\beta\gamma}$:

$$t_h = \sum_{i=1}^N (t_{\beta\delta yi} + t_{nh i}) + t_{\beta\gamma}.$$

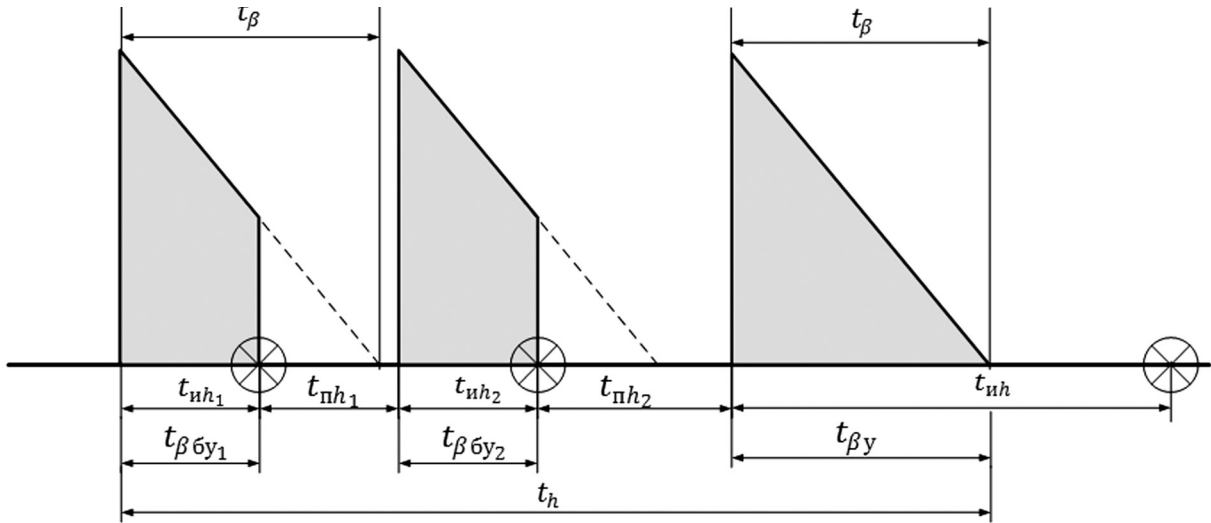


Рис. 1. Передача заявки при прерывании с обслуживанием заново с прежней длительностью

Пары сумм сл.в. $t_{\beta\delta y_i} + t_{nh_i}$, $i = \overline{1, N}$ не являются независимыми, так как для успешной передачи заявки при каждой попытке требуется время t_{β} .

Выражения для трех начальных моментов времени передачи заявки с обслуживанием заново с прежней длительностью приведены в [3]:

$$h_1 = \beta_{1\Sigma}(1 + c\delta_1),$$

$$h_2 = \beta_{2\Sigma}(1 + c\delta_1) + 2\beta_{1\Sigma}^2(1 + c\delta_1)c\delta_1 + \beta_{1\Sigma}c\delta_2, \quad (5)$$

$$h_3 = \beta_{3\Sigma}(1 + c\delta_1) + 6\beta_{2\Sigma}\beta_{1\Sigma}(1 + c\delta_1)c\delta_1 +$$

$$+ 6\beta_{1\Sigma}^3(1 + c\delta_1)c^2\delta_1^2 + \frac{3}{2}\beta_{2\Sigma}c\delta_2 +$$

$$+ 3\beta_{1\Sigma}^2c\delta_2 + 6\beta_{1\Sigma}^2c^2\delta_1\delta_2 + \beta_{1\Sigma}c\delta_3,$$

где

$$\beta_{1\Sigma} = \frac{\beta(-c) - 1}{c},$$

$$\beta_{2\Sigma} = \frac{2}{c^2} [\beta(-2c) - \beta(-c) - c\beta_1(-c)],$$

$$\beta_{3\Sigma} = \frac{6}{c^3} \left[\beta(-3c) - \beta(-2c) - 2c\beta_1(-2c) + \right.$$

$$\left. + c\beta_1(-c) + \frac{1}{2}c^2\beta_2(-c) \right]. \quad (6)$$

При принятых ограничениях (1) и (3) на ф.р. $C(t)$ и $D(t)$ первые три момента сл.в. времени простоя составляют:

$$\delta_1 = T_{nh},$$

$$\delta_2 = T_{nh}^2(1 + 1/r_{\delta}), \quad \delta_3 = T_{nh}^3(1 + 1/r_{\delta})(1 + 2/r_{\delta}),$$

а параметры времени передачи равны:

$$\beta(-c) = \left[1 - \frac{cT_{\beta}}{r_{\beta}} \right]^{-r_{\beta}}, \quad \beta(-2c) = \left[1 - \frac{2cT_{\beta}}{r_{\beta}} \right]^{-r_{\beta}},$$

$$\beta(-3c) = \left[1 - \frac{3cT_{\beta}}{r_{\beta}} \right]^{-r_{\beta}}, \quad (7)$$

$$\beta_1(-c) = T_{\beta} \left[1 - \frac{cT_{\beta}}{r_{\beta}} \right]^{-(r_{\beta}+1)},$$

$$\beta_1(-2c) = T_{\beta} \left[1 - \frac{2cT_{\beta}}{r_{\beta}} \right]^{-(r_{\beta}+1)},$$

$$\beta_2(-c) = T_{\beta}^2 \left(1 + \frac{1}{r_{\beta}} \right) \left[1 - \frac{2cT_{\beta}}{r_{\beta}} \right]^{-(r_{\beta}+2)}.$$

Рассмотрим далее два частных случая ф.р. времени передачи заявки $B(t)$: экспоненциальный характер ($r_{\beta} = 1$) и регулярный характер ($r_{\beta} \rightarrow \infty$).

При экспоненциальном характере ф.р. времени передачи заявки ($r_{\beta} = 1$) выражения (7) приводятся к виду:

$$\beta(-c) = \frac{\mu}{\mu - c}, \quad \beta(-2c) = \frac{\mu}{\mu - 2c},$$

$$\beta(-3c) = \frac{\mu}{\mu - 3c}, \quad \beta_1(-c) = \frac{\mu}{(\mu - c)^2}, \quad (8)$$

$$\beta_1(-2c) = \frac{\mu}{(\mu - 2c)^2}, \quad \beta_2(-c) = \frac{2\mu}{(\mu - c)^3},$$

где $\mu = 1/T_{\beta}$.

При подстановке (8) в (6) соотношения для первых трех начальных моментов $\beta_{1\Sigma}$, $\beta_{2\Sigma}$, $\beta_{3\Sigma}$ принимают вид:

$$\beta_{1\Sigma} = \frac{1}{\mu - c}, \quad \beta_{2\Sigma} = 2 \frac{\mu}{(\mu - 2c)(\mu - c)^2},$$

$$\beta_{3\Sigma} = 6 \frac{\mu^3 + \mu^2 c - 4\mu c}{(\mu - 3c)(\mu - 2c)^2(\mu - c)^3}.$$

В абсолютно надежной системе привязки при $c \rightarrow 0$ соотношения (5) и (6) сходятся к выражениям:

$$h_1 = \beta_{1\Sigma} = T_\beta, \quad h_2 = \beta_{2\Sigma} = 2T_\beta^2, \quad h_3 = \beta_{3\Sigma} = 6T_\beta^3.$$

При постоянном времени передачи заявки ($r_\beta \rightarrow \infty$) соотношения (6) и (7) имеют вид:

$$\beta(-c) = e^{cT_\beta}, \quad \beta(-2c) = e^{2cT_\beta}, \quad \beta(-3c) = e^{3cT_\beta},$$

$$\beta_1(-c) = T_\beta e^{cT_\beta},$$

$$\beta_1(-2c) = T_\beta e^{2cT_\beta}, \quad \beta_2(-c) = T_\beta^2 e^{cT_\beta},$$

$$\beta_{1\Sigma} = \frac{e^{cT_\beta} - 1}{c}, \quad (9)$$

$$\beta_{2\Sigma} = \frac{2}{c^2} [e^{2cT_\beta} - e^{cT_\beta} - cT_\beta e^{cT_\beta}],$$

$$\beta_{3\Sigma} = \frac{6}{c^3} \left[e^{3cT_\beta} - e^{2cT_\beta} - 2cT_\beta e^{2cT_\beta} + \right.$$

$$\left. + cT_\beta e^{cT_\beta} + \frac{1}{2} c^2 T_\beta^2 e^{cT_\beta} \right].$$

В абсолютно надежной системе привязки при $c \rightarrow 0$ выражения (9) представляют неопределенности типа 0/0, которые после преобразования по правилу Лопиталья получают следующий вид:

$$h_1 = \beta_{1\Sigma} = T_\beta, \quad h_2 = \beta_{2\Sigma} = T_\beta^2, \quad h_3 = \beta_{3\Sigma} = T_\beta^3.$$

Расчет времени ожидания заявок в очереди

Аналитическое выражение для преобразования Л.—С. функции распределения времени ожидания заявок для пуассоновского потока заявок с интенсивностью λ имеет вид [4]:

$$\omega(s) = \frac{\lambda(1 - \lambda h_1)}{s - \lambda[1 - h(s)]} \times$$

$$\times \frac{s [1 - e(\lambda)] + e(\lambda)[1 - \varphi(s)]}{1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1]}, \quad (10)$$

где $e(\lambda)$ — вероятность события, что за время исправной работы цифровой системы передачи не поступит ни одна заявка; $\varphi(s)$ — преобразование Л.—С. ф.р. $F(t)$ времени исправной работы в паузах между заявками.

Первый и второй начальные моменты, а также дисперсия $D[t_w]$ времени ожидания заявок с учетом выходов из строя цифровой системы привязки как во время передачи заявок ($k \geq 1$), так в паузах поступления заявок ($k = 0$) могут быть найдены из (10) следующим образом:

$$\omega_1 = \frac{1}{2} \frac{\lambda h_2}{(1 - \lambda h_1)} + \frac{1}{2} \frac{\lambda e(\lambda) \varphi_2}{1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1]}, \quad (11)$$

$$\omega_2 = \frac{1}{3} \frac{\lambda h_3}{(1 - \lambda h_1)} + \frac{1}{2} \frac{\lambda^2 h_2^2}{(1 - \lambda h_1)^2} +$$

$$+ \frac{1}{2} \frac{\lambda^2 h_2 e(\lambda) \varphi_2}{(1 - \lambda h_1)(1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1])} +$$

$$+ \frac{1}{3} \frac{\lambda e(\lambda) \varphi_3}{1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1]},$$

$$D[t_w] = \omega_2 - \omega_1^2 = \frac{1}{3} \frac{\lambda h_3}{(1 - \lambda h_1)} +$$

$$+ \frac{1}{4} \frac{\lambda^2 h_2^2}{(1 - \lambda h_1)^2} + \frac{1}{3} \frac{\lambda e(\lambda) \varphi_3}{1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1]} -$$

$$- \frac{1}{4} \frac{\lambda^2 e(\lambda)^2 \varphi_2^2}{\{1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1]\}^2}, \quad (12)$$

где при принятых ограничениях (2) и (4) на ф.р. $E(t)$ и $F(t)$:

$$e(\lambda) = 1/(1 + \lambda T_{но}), \quad \varphi_1 = T_{по}, \quad \varphi_2 = T_{по}^2 (1 + 1/r_\varphi),$$

$$\varphi_3 = T_{по}^3 (1 + 1/r_\varphi)(1 + 2/r_\varphi).$$

Расчет вероятностно-временных характеристик процесса доставки заявок от провайдера в центр предоставления услуг

Среднее время и дисперсия времени доставки заявки от провайдера к центру предоставления услуг с учетом соотношений (5), (11) и (12) могут быть определены по формулам:

$$T_v = T_w + T_h, \quad D[t_v] = D[t_w] + D[t_h],$$

где $D[t_w] = \omega_2 - \omega_1^2$, $D[t_h] = h_2 - h_1^2$.

Среднее время и дисперсию времени пребывания заявки в цифровой системе рассчитаем для двух типовых случаев:

а) при выходе из строя и восстановлении цифровой системы привязки в паузах между заявками ($k = 0$):

$$T_v^{(k=0)} = \frac{1}{2} \frac{\lambda e(\lambda) \varphi_2}{1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1]},$$

$$D[t_v^{(k=0)}] = \frac{1}{3} \frac{\lambda e(\lambda) \varphi_3}{1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1]} - \frac{1}{4} \frac{\lambda^2 e(\lambda)^2 \varphi_2^2}{\{1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1]\}^2};$$

б) при выходе из строя и восстановлении цифровой системы привязки во время передачи заявки ($k \geq 1$):

$$T_v^{(k \geq 1)} = \frac{1}{2} \frac{\lambda h_2}{(1 - \lambda h_1)} + h_1,$$

$$D[t_v^{(k \geq 1)}] = \frac{1}{3} \frac{\lambda h_3}{(1 - \lambda h_1)} + \frac{1}{4} \frac{\lambda^2 h_2^2}{(1 - \lambda h_1)^2} + h_2 - h_1^2.$$

Для расчета вероятности передачи заявки от провайдера до центра предоставления услуг за время, не превышающее допустимое $P(t_v \leq T_{\text{доп}})$, необходимо получить аналитическое выражение для ф.р. $V(t)$ времени доставки заявки по его изображению $v(s)$ [5]: $V(t) = L^{-1}[v(s)]$.

С достаточной для практических расчетов точностью ф.р. времени доставки $V(t)$ можно аппроксимировать гамма-распределением [6]:

$$P(t_v \leq T_{\text{доп}}) = \frac{\int_0^{T_{\text{доп}}} \frac{r_v}{T_v} \left[\frac{r_v}{T_v} t \right]^{r_v-1} e^{-\frac{r_v}{T_v} t} dt}{\int_0^{\infty} \frac{r_v}{T_v} \left[\frac{r_v}{T_v} t \right]^{r_v-1} e^{-\frac{r_v}{T_v} t} dt},$$

где $r_v = T_v^2 / D[t_v]$ — параметр формы.

Расчет зависимости емкости буфера от времени простоя

В [7] приведены соотношения для двух начальных моментов ω_1 и ω_2 времени ожидания заявок в очереди в зависимости от интенсивности входящего потока λ , параметров длины очереди $P'(1)$ и $P''(1)$ и начальных моментов времени передачи h_1 и h_2 :

$$\omega_1 = \lambda^{-1} P'(1) - h_1, \quad \omega_2 = \lambda^{-2} P''(1) - 2\omega_1 h_1 - h_2.$$

По начальным моментам длительности пребывания заявок в очереди (11) и длительности их передачи (5) можно получить расчетные со-

отношения для первых двух начальных моментов и дисперсии числа заявок в очереди

$$q_1 = \lambda(\omega_1 + h_1),$$

$$q_2 = \lambda^2(\omega_2 + 2\omega_1 h_1 + h_2) + \lambda(\omega_1 + h_1),$$

$$D[q] = \frac{1}{3} \frac{\lambda^3 h_3}{1 - \lambda h_1} + \frac{1}{4} \left[\frac{\lambda^2 h_2}{1 - \lambda h_1} \right]^2 + \frac{\lambda^2 h_2 (3 - 2\lambda h_1)}{2(1 - \lambda h_1)} + \lambda h_1 (1 - \lambda h_1) + \frac{e(\lambda)}{3} \frac{\lambda^3 \varphi_3}{1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1]} + \frac{e(\lambda)}{2} \frac{\lambda^2 \varphi_2}{1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1]} \left\{ 1 - \frac{e(\lambda)}{2} \frac{\lambda^2 \varphi_2}{1 - e(\lambda)[1 - \lambda \varphi_1]} \right\}.$$

По среднему значению количества заявок в очереди и дисперсии можно определить требуемую емкость буферного устройства $L_{\text{буф}} = q_1 + U \sqrt{D[q]}$, где U — аргумент функции нормального распределения при допустимой вероятности P_{PLR} потери пакетов [8]:

$$U = t - \frac{a_0 + a_1 t}{1 + b_1 t + b_2 t^2} + \varepsilon(P_{PLR}),$$

где $t = \sqrt{\ln \frac{1}{P_{PLR}}}$, $|\varepsilon(P_{PLR})| < 3 \cdot 10^{-8}$, $a_0 = 2,30753$, $a_1 = 0,27061$, $b_1 = 0,99229$, $b_2 = 0,04481$.

При абсолютно надежной системе привязки соотношение для дисперсии числа заявок в очереди сходится к известным [6]:

а) для экспоненциального распределения длительности передачи заявок

$$D[q] = \frac{\lambda h_1}{(1 - \lambda h_1)^2};$$

б) для регулярного распределения длительности передачи заявок

$$D[q] = \frac{1}{(1 - \lambda h_1)^2} \left(\lambda h_1 - \frac{3}{2} \lambda^2 h_1^2 + \frac{5}{6} \lambda^3 h_1^3 - \frac{1}{12} \lambda^4 h_1^4 \right).$$

Анализ полученных результатов

Анализ времени доставки заявок и емкости буфера проведем в зависимости от надежности системы привязки, состоящей из основной и резервной систем (структура типа «1 + 1»), каждая из которых включает мультиплексор провайдера, обеспечивающий прием заявок от множества источников, волоконно-оптическую систему передачи и аппаратуру приема заявок в центре предоставления услуг.

Коэффициент готовности системы привязки структуры «1 + 1» определяется выражением $k_{г\Sigma} = 1 - (1 - k_{г.осн})(1 - k_{г.рез})$.

Для проведения расчетов будем полагать, что ф.р. длительности исправной работы и длительности простоя (восстановления) системы привязки во время передачи заявок ($k \geq 1$) и во время их отсутствия (в паузах поступления заявок) равны $C(t) = E(t)$; $D(t) = F(t)$.

Среднее время T_v доставки заявки и емкости буфера $L_{буф}$ в зависимости от длительности восстановления (простоя) $T_{п}$ рассчитаем для трех вариантов:

- **вариант 1:** функции распределения $B(t)$, $D(t)$ и $F(t)$ имеют экспоненциальный характер ($r_{\beta} = 1$, $r_{\delta} = r_{\varphi} = 1$);
- **вариант 2:** функция распределения времени передачи $B(t)$ имеет экспоненциальный характер ($r_{\beta} = 1$), а ф.р. времени простоя (восстановления) $D(t)$ и $F(t)$ постоянны ($r_{\delta} \rightarrow \infty$, $r_{\varphi} \rightarrow \infty$);
- **вариант 3:** функция распределения времени передачи заявки и простоя (восстановления) постоянны ($r_{\beta} \rightarrow 1$, $r_{\delta} \rightarrow \infty$, $r_{\varphi} \rightarrow \infty$).

Среднее время передачи заявки примем равным $T_{\beta} = 1$ с, а нагрузку на систему привязки

примем равной $\lambda h_1 = 0,5$. При дальнейшем увеличении нагрузки среднее время пребывания заявки в системе привязки возрастает, что приводит к росту потерь заявок.

Расчеты проведем для значений среднего времени между сбоями 5 ч и среднего времени между отказами 12,5 ч, что соответствует надежности цифровой системы передачи по II классу соединений и связности ЕСЭ России [9].

Суммарная интенсивность выходов из строя цифровой системы привязки по структуре «1 + 1» составляет $c_{\Sigma} = 0,28$ 1/ч.

На рис. 2 и 3 приведены графики зависимости времени пребывания заявок в системе привязки и емкости буфера в зависимости от времени простоя (восстановления) $T_{п}$ для трех исследуемых вариантов.

Из хода кривых видно, что при экспоненциальном распределении времени передачи и малых значениях длительности простоя (восстановления), не превышающих 40 с, среднее время пребывания заявки в системе привязки T_v несущественно зависит от параметра формы ф.р. времени простоя (восстановления). Однако эта разность начинает значительно увеличиваться

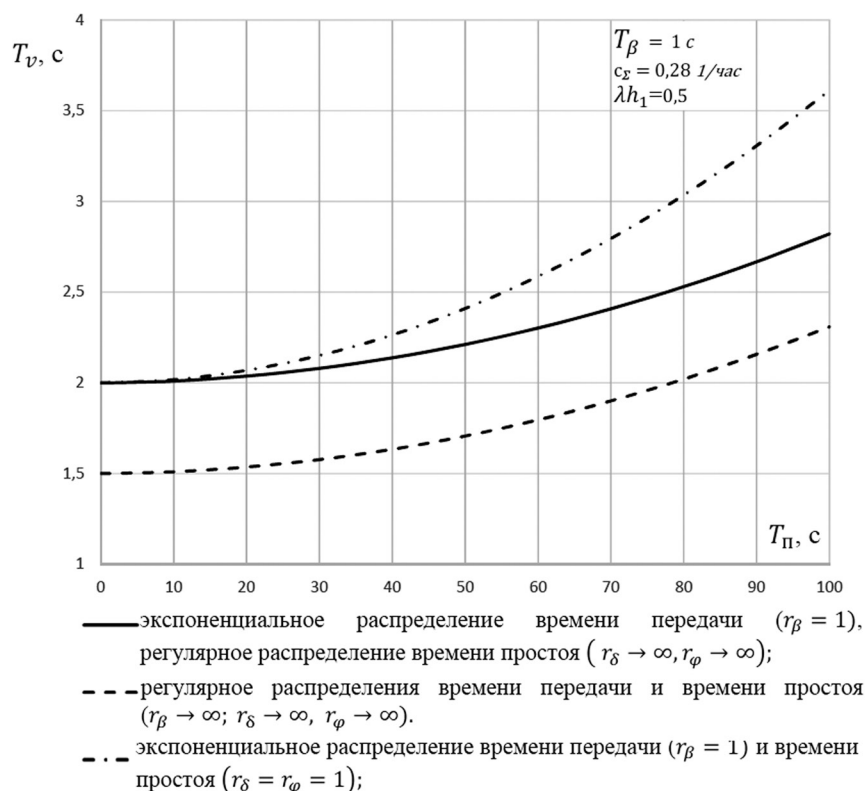


Рис. 2. Зависимость времени ожидания заявок в очереди от времени простоя (восстановления) цифровой системы привязки

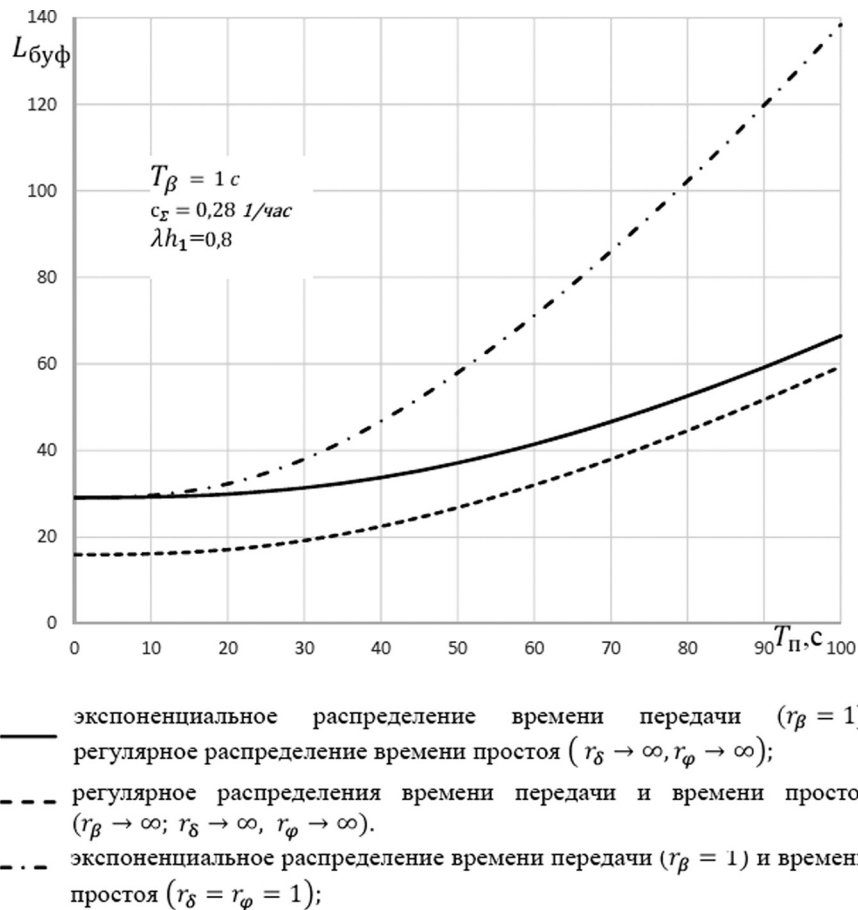


Рис. 3. Зависимость емкости буфера от времени простоя (восстановления) системы привязки

ваться с ростом длительности простоя (восстановления).

Область между нижней и средней кривыми характеризует диапазон изменения среднего времени пребывания заявок в системе привязки при изменении характера ф.р. длительности передачи $B(t)$ от экспоненциального до регулярного при регулярном времени восстановления.

Если предположить, что при нагрузке $\lambda h_1 = 0,5$ время пребывания заявки в ненадежной системе привязки не должно превышать более чем на 25% аналогичное время в абсолютно надежной системе, то увеличение необходимого времени восстановления (простоя) не должно превышать 80 с при $r_{\beta} = 1, r_{\delta} \rightarrow \infty, r_{\varphi} \rightarrow \infty$.

В ряде практических случаев нагрузка может возрастать до $\lambda h_1 = 0,8$ и с целью исключения отказов в обслуживании потребуется увеличить емкость буфера.

На рис. 3 иллюстрируется зависимость емкости буфера от времени простоя (восстановления) системы привязки.

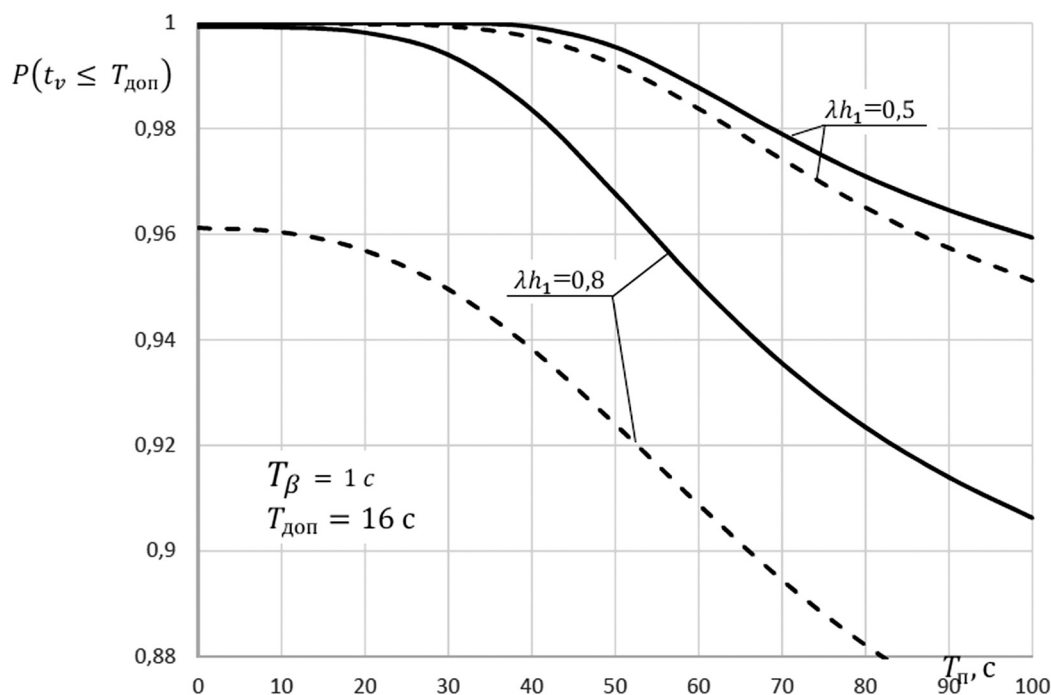
На рис. 4 иллюстрируется зависимость вероятности $P(t_v \leq T_{\text{доп}})$ доставки заявки от провайдера до центра предоставления услуг за время не превышающее допустимое $T_{\text{доп}} = 16 \text{ с}$, от времени восстановления системы привязки.

С ростом нагрузки вероятность своевременной доставки электронных документов снижается. Однако при времени восстановления, не превышающем 80 с, вероятность своевременной доставки составляет не ниже 0,88.

Заключение

1. Надежность цифровой системы привязки центра предоставления услуг к провайдеру оказывает существенное влияние на вероятностно-временные характеристики обработки заявок клиентов на предоставление информационных услуг в электронном виде.

2. Автоматизированный переход на резервную систему привязки за время, не превышающее 80 с, позволяет осуществлять обработку нагрузок $\lambda h_1 = 0,5$ с 25-процентной задержкой



- экспоненциальное распределение времени передачи ($r_{\beta} = 1$),
регулярное распределение времени простоя ($r_{\delta} \rightarrow \infty, r_{\varphi} \rightarrow \infty$);
- - - регулярное распределения времени передачи и времени простоя
($r_{\beta} \rightarrow \infty; r_{\delta} \rightarrow \infty, r_{\varphi} \rightarrow \infty$).

Рис. 4. Вероятность доставки заявки за время, не превышающее допустимое

по времени по сравнению с абсолютно надежной системой.

3. Для нагрузки $\lambda h_1 > 0,5$ устойчивый прием заявок можно обеспечить путем увеличения емкости буферного устройства.

4. Сокращение времени восстановления системы привязки (перехода на резервную систему привязки) до 60 с и менее обеспечит вероятность своевременной доставки электронных документов не ниже 0,9 даже при нагрузке $\lambda h_1 = 0,8$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блудов Д.А., Вихлянцев П.С., Назаров А.Н., Симонов М.В. Метод расчета емкости буферных устройств коммутационного оборудования в пакетных сетях передачи данных // Телекоммуникации. 2016. № 1. С. 22—27.
2. Захаров Г.П., Симонов М.В. К вопросу о применении метода топологического преобразования стохастических сетей для исследования систем связи // Во-

просы радиоэлектроники. Серия ТПС. 1972. Вып. 2. С. 12—19.

3. Захаров Г.П., Симонов М.В., Гром В.П. Вероятностно-временные характеристики доставки кадров данных при прерывании // Техника средств связи. Серия ТПС. 1992. Вып. 1. С. 14—22.
4. Захаров Г.П., Симонов М.В. Влияние надежности участка сети ПД на время доставки кадра данных // Техника средств связи. Серия ТПС. 1990. Вып. 10. С. 11—20.
5. Симонов М.В., Привалов А.А. Метод поиска функций распределения времени доставки кадров в сетях передачи данных // Техника средств связи. Серия ТПС. 1992. Вып. 4. С. 56—61.
6. Мартин Дж. Системный анализ передачи данных. Т. 2. М.: Мир, 1975. 431 с.
7. Климов Г.П. Теория массового обслуживания. М.: Московский университет, 2011. 352 с.
8. Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовица и И. Стигана. М.: Наука, 1979. 832 с.
9. Назаров А.Н., Сычев К.И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связей следующего поколения. Красноярск: ООО «Полико», 2010. 389 с.