

Э.Б. ГЕЗАЛОВ, канд. техн. наук, доцент Азербайджанского
Технического Университета, (г. Баку)

МОДЕЛЬ ГИБРИДНОЙ СЕТИ СВЯЗИ С НЕОДНОРОДНОЙ НАЗЕМНОЙ ПОДСЕТЬЮ

В статті розробляється модель гібридної мережі зв'язку з неоднорідної наземної підмережі та визначаються імовірно-часові характеристики

The model of a hybrid communication network with non-uniform ground subnetwork is carried out and its probability-time characteristics are determined

Поиск путей наиболее эффективного решения актуальных проблем электросвязи привел к постановке вопроса об обновлении всей инфраструктуры связи на базе идеи создания Глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ). Создание ГИИ преследует реализацию во всемирном масштабе ряда стратегических целей, одной из которых является внедрение и расширение возможности диалогового режима, позволяющего пользователю передавать информацию по сетям из одного конца в другой легко и эффективно, для чего эта инфраструктура будет строиться как "Сеть сетей" [1,2].

Техническую основу ГИИ будут составлять разветвленные трансконтинентальные сети оптико-волоконных и проводных линий связи, глобальные спутниковые системы связи, а также широкая и постоянно развивающаяся номенклатура универсальных абонентских средств и высокоскоростные сети абонентского доступа.

В связи с этим большое внимание уделяется проблеме объединения посредством спутника связи географически разбросанных и относительно удаленных друг от друга наземных сетей связи. Поскольку на территории каждой страны, в том числе и Азербайджана, функционируют наземные сети, не имеющие между собой связи, решение этой проблемы и ряда других позволит в будущем сделать телекоммуникационную инфраструктуру республики одним из звеньев ГИИ.

Данной проблеме посвящено много работ. В них приводится анализ характера передаваемого трафика, рассматриваются дисциплины и модели обслуживания межсетевых трафика в гибридной сети связи с однородной по интенсивности входящего потока сообщений и протоколу доступа наземной подсетью, вопросы технической реализации и т.д.

В работе рассматривается гибридная пакетная сеть связи, состоящая из спутниковой и наземной подсетей связи. Наземная подсеть состоит из локальных сетей связи (ЛСС), каждая из которых содержит спутниковую интерфейсную станцию (СИС). СИС различных ЛСС связаны друг с другом звездобразно через спутниковый ретранслятор широкоэвещательным радио-

каналом с коллективным доступом. Для выхода на спутник СИС используют протокол синхронного временного доступа (СВД). Коммуникационные станции (КС) каждой локальной сети разделены на подсети, то есть группы станций, различающиеся по интенсивности входящего потока сообщений. Станции в пределах своей подсети однородны по своей активности. Локальные сети связи разделены на две группы. В ЛСС одной группы подуровень управления доступом реализуют протокол маркерного доступа (МД), а в ЛСС другой группы он реализует протокол СВД.

В рассматриваемой сети следует различать два вида процесса передачи информации: передача местной (внутри локальной сети) информации и передача межсетевой информации. Процесс передачи местной информации исследован в работах многих авторов. Процесс передачи межсетевой информации в гибридной сети связи с однородной по протоколу доступа наземной подсетью исследован в [3]. В [3] рассмотрена гибридная сеть связи, наземная подсеть которых состоит из ЛСС с маркерным доступом. Передача же межсетевой информации между локальными сетями, неоднородными по интенсивности входящего потока сообщений и протоколу доступа исследована мало.

Для организации процесса передачи межсетевой информации в гибридной пакетной сети необходимо решить проблему сопряжения объединяемых сетей [4]. При решении этой проблемы необходимо учитывать различия систем адресации, форматов и длин пакетов, тайм-аутов и управляющей информации.

При объединении ЛС каждая КС должна иметь единый общесетевой адрес, включающий номер данной ЛС в составе гибридной пакетной сети и номер самой КС в ней. Адреса должны быть представлены в одинаковом для всех локальных сетей формате.

Несоответствие форматов обычно является следствием независимой разработки ЛС и может быть сравнительно легко ликвидировано на основе единого полного формата. Различия в длине пакетов бывают из-за того, что эта величина выбирается для каждой ЛС по критерию минимума задержки. Кроме того, на выбор длины пакетов влияет специфика прикладных уровней станций сети (организация памяти компьютеров, форматы команд или форматы в устройствах ввода-вывода информации). Поэтому при объединении ЛС стремятся не к созданию единого формата, а к обеспечению прозрачности гибридной сети для пакетов из любой ЛС.

Тайм-ауты, установленные в сетях, как правило, различны. Они зависят от скорости передачи в моноканалах и размаха сетей. При объединении ЛС время на двусторонний обмен информацией возрастает, что должно учитываться при выборе времени тайм-аутов в гибридной пакетной сети.

При объединении ЛС управляющим уровням каждой из сетей должна быть доступна информация о состоянии всех объединяемых сетей. Из-за больших размеров и емкости гибридной пакетной сети необходимо ввести

такие алгоритмы управления, которые бы базировались на обобщенную информацию о состоянии ЛС.

Процесс передачи межсетевой информации в гибридной пакетной сети через спутник связи является сложным и многоэтапным. Процесс передачи межсетевой информации в такой сети состоит из следующих фаз [3,4]: 1 – станция-отправитель передает кадр СИС своей ЛСС; 2 – взаимодействие передающей СИС со спутником связи; 3 – взаимодействие спутника связи с приемной СИС через широкоэвещательный радиоканал; 4 – приемная СИС передает кадр станции- адресату.

Пусть задана интенсивность входящего потока сообщений на i -ую ЛСС – Λ_i^{Ci} , $i = \overline{1, M}$. Неоднородность i -ой ЛСС задана вектором неоднородности

$A_i = \left[A_{i1j} \right]$, $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{2, m}$, компонентами которого являются коэффициенты неоднородности [5,6], определяемые так:

$$\begin{aligned} A_{i1j} &= \Lambda_{ij} / \Lambda_{i1}, \\ \Lambda_{i1} &= N_{i1} \lambda_{i1} k_{i1}, \quad \lambda_{i1} = q_{i1} / T_0, \quad i = \overline{1, M}, \\ \Lambda_{ij} &= N_{ij} \lambda_{ij} k_{ij}, \quad \lambda_{ij} = q_{ij} / T_0, \quad j = \overline{2, m}, \end{aligned} \quad (1)$$

где Λ_{i1} и Λ_{ij} – интенсивности входящих потоков сообщений соответственно на первую и j -ую подсети i -й ЛСС, N_{i1} и N_{ij} – количество станций соответственно в первой и j -ой подсетях i -й ЛСС, λ_{i1} и λ_{ij} – интенсивности входящих потоков сообщений, поступающих соответственно в буферы станций соответственно первой и j -ой подсетей i -й ЛСС, k_{i1} и k_{ij} – длины информационных полей кадра для станций соответственно первой и j -ой подсетей i -й ЛСС, q_{i1} и q_{ij} – вероятности поступления сообщения на интервале T_0 работы сети в буферы станций соответственно первой и j -ой подсетей i -й ЛСС.

Для распределения потоков в гибридной сети связи задана матрица связей:

$$\pi_c = \left\{ \pi_{ik, lh} \right\} \quad \pi_{ik, lh} = q_{ik, lh} \alpha_{ik, lh} \delta_{ik, lh}, \quad (2)$$

где $q_{ik, lh}$ – вероятность поступления сообщения в буфер передачи k -й КС i -й ЛСС, $\alpha_{ik, lh}$ – компоненты матрицы тяготений k -го абонента i -й ЛСС и

h -го абонента l -й ЛСС, $\delta_{ik,lh}$ – символ Кронекера ($i = \overline{1, M}, l = \overline{1, M}, k = \overline{1, N_k}, h = \overline{1, N_h}$), который определяется так:

$$\delta_{ik,lh} = \begin{cases} 0, & i = l, \\ 1, & i \neq l, \end{cases} \quad (3)$$

Требуется определить вероятностно-временные характеристики (ВВХ) рассматриваемой гибридной сети связи.

Выберем в качестве ВВХ исследуемой гибридной сети связи следующие: среднее время задержки сообщения $\bar{t}_{q_{i\gamma}}$ в гибридной сети для абонентов γ -й подсети i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}, \gamma = \overline{1, m}$, производительность R_p гибридной сети связи, вероятность своевременной доставки $\bar{P}_{ci\gamma}$ сообщения в гибридной сети для абонентов γ -й подсети i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}, \gamma = \overline{1, m}$, информационная скорость R_c^{RV} в гибридной сети реального времени.

ВВХ исследуемой сети можно определить при помощи модели массового обслуживания, составленной при следующих допущениях: абоненты γ -й подсети i -й ЛСС вводят пакеты постоянной длины $k_{i\gamma}$ в буферы передачи станций синхронно на тактах с интервалом T_0 (T_0 – длительность такта канала связи сети); буферы передачи станций имеют бесконечную емкость; дисциплина обслуживания пакетов в сети – *FIFO*.

Для защиты от ошибок КС локальных сетей используют алгоритм решающей обратной связи и ожиданием (РОС – ОЖ), когда квитанция передается в синхронном режиме связи после окончания приема кадра станцией-получателем [7].

При биномиальных входящих потоках коммуникационные станции, спутниковые интерфейсные станции ЛСС и ретранслятор на спутнике связи моделируются стохастической системой $M^D/G^D/1$. Тогда моделью гибридной сети связи является система уравнений в Z -преобразованиях для рядов распределений дискретного времени задержки сообщений для КС γ -й подсети i -й ЛСС, спутниковой интерфейсной станции i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}, \gamma = \overline{1, m}$, и спутникового ретранслятора [3]:

$$\begin{cases} f_{i\gamma}(Z) = \frac{(1-\theta_{i\gamma})g_{i\gamma}(Z)(1-Z)}{1-p_{i\gamma}Z-q_{i\gamma}Zg_{i\gamma}(Z)}, \\ f_{uci}(Z) = \frac{(1-\theta_{uci})g_{uci}(Z)(1-Z)}{1-p_{uci}Z-q_{uci}Zg_{uci}(Z)}, \\ f_R(Z) = \frac{(1-\theta_R)g_R(Z)(1-Z)}{1-p_RZ-q_RZg_R(Z)} \end{cases} \quad (4)$$

где $f_{i\gamma}(Z)$, $f_{uci}(Z)$ и $f_R(Z)$ – Z -пр.р. дискретного времени задержки соответственно для станций γ -й подсети i -й ЛСС, СИС i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$, и спутникового ретранслятора, $\theta_{i\gamma}$, θ_{uci} и θ_R – вероятности занятого состояния буферов соответственно станций γ -й подсети i -й ЛСС, СИС i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$, и спутникового ретранслятора, $g_{i\gamma}(Z)$, $g_{uci}(Z)$ и $g_R(Z)$ – Z -пр.р. интервала обслуживания для станций γ -й подсети i -й ЛСС, СИС i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$, и спутникового ретранслятора, q_{uci} – вероятность поступления сообщения на такте T в буфер СИС i -й ЛСС, p_{uci} – вероятность отсутствия сообщения на такте T для СИС, $p_{uci} = 1 - q_{uci}$, q_R – вероятность поступления сообщения на такте T в буфер спутникового ретранслятора, p_R – вероятность отсутствия сообщения на такте T для спутникового ретранслятора, $p_R = 1 - q_R$.

Определим компоненты, входящие в (4).

Вероятности $\theta_{i\gamma}$, θ_{uci} и θ_R определяются из уравнений интерференции:

$$\begin{cases} \theta_{i\gamma} = q_{i\gamma} \bar{n}_{si\gamma}, \bar{n}_{si\gamma} = (d/dZ)g_{i\gamma}(Z)|_{Z=1}, \\ \theta_{uci} = q_{uci} \bar{n}_{uci}, \bar{n}_{uci} = (d/dZ)g_{uci}(Z)|_{Z=1}, \\ \theta_R = q_R \bar{n}_R, \bar{n}_R = (d/dZ)g_R(Z)|_{Z=1}, \end{cases} \quad (5)$$

где $\bar{n}_{si\gamma}$, \bar{n}_{uci} и \bar{n}_R – среднее дискретное время обслуживания соответственно для станций γ -й подсети i -й ЛСС, СИС i -й ЛСС, $i = \overline{1, M}$, $\gamma = \overline{1, m}$, и спутникового ретранслятора.

Определим длительности временных окон, занимаемых КС локальных сетей с маркерным доступом.

Если буфер передающей КС локальной сети с маркерным доступом пуст, то она занимает окно длительностью:

$$T_{mo} = T_m + T_{p1} + T_{dk}, \quad (6)$$

где T_m – интервал времени для передачи маркера, T_{p1} – время распространения маркера к соседней станции, T_{dm} – время декодирования маркера.

Если же буфер передающей КС локальной сети с маркерным доступом не пуст, то она занимает канал на время, определяемое так:

$$\begin{aligned} T_{om} &= T_{ok} + T_{mo}, \\ T_{ok} &= T_k + T_{pm} + T_{kv} + T_{dk} + T_{dkv}, \end{aligned} \quad (7)$$

где T_{ok} – длительность временного окна передачи кадра, T_k – интервал времени для передачи кадра, T_{pm} – максимальное время распространения сигнала в канале, T_{kv} – интервал времени для передачи квитанции (подтверждения), T_{dk} – время декодирования кадра, T_{dkv} – время декодирования квитанции. Длина временного окна T_{ok} в битах имеет вид:

$$n_{ok} = n_k + n_{pm} + n_{kv} + n_{dk} + n_{dkv}, \quad (8)$$

где n_{kp} – длина кадра, n_{pm} – число бит, которое можно передать за максимальное время распространения сигнала в канале, n_{kv} – длина квитанции, n_{dk} и n_{dkv} – число бит, которое можно передать соответственно за время декодирования кадра и квитанции.

Параметр n_{pm} определяется выражением:

$$n_{pm} = \begin{cases} ((D_k C) / (2,5 * 10^5)) + (N(n_z + \tau)), & \text{для кольца} \\ (D_B C) / (2,5 * 10^5), & \text{для шины,} \end{cases} \quad (9)$$

где D_k и D_B – длина соответственно кольцевого и шинного каналов связи в Км, C – скорость модуляции в канале связи, N – число станций в локальной сети, n_z – длина в битах заголовка служебной части кадра, τ – задержка, вносимая КС при регенерации сигнала, равная в среднем 1 бит.

Длины временных окон T_{mo} и T_{om} в битах имеют вид:

$$\begin{aligned}
 n_{mo} &= n_m + n_{p1} + n_{dm}, \\
 n_{om} &= n_k + n_{pm} + n_{kv} + n_{dk} + n_{dkv} + n_{mo},
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

где n_m – длина маркера, n_{p1} – число бит, которое можно передать за время распространения сигнала от передающей станции к соседней, $n_{p1} = 2n_{pm}/N$, n_{dm} – число бит, которое можно передать за время декодирования маркера.

Параметр n_{p1} определяется так:

$$n_{p1} = \begin{cases} n_{pm} / N, & \text{для кольца,} \\ 2n_{pm} / N, & \text{для шины,} \end{cases}
 \tag{11}$$

Длительность временного окна, выделяемое каждой КС локальных сетей с синхронным временным доступом определена в (4).

Для определения $g_{i\gamma}(Z)$, $g_{uci}(Z)$ и $g_R(Z)$ воспользуемся подходом из [5, 6].

Представим по отношению к станциям передающей станции остальные станции ЛС с маркерным доступом двоичными генераторами следующих интервалов занятости: интервала T_{mo} (буфер пуст) с вероятностью $\theta_{i\gamma}$ и интервала T_{om} с вероятностью $1 - \theta_{i\gamma}$. Будем считать эти генераторы биномиальными. А подстанции данных остальных станций будем считать генераторами интервалов занятости интервалов T_{ok} .

Если представить интервал обслуживания сообщения для станций γ -й подсети i -й ЛСС случайной величиной, состоящей из случайных величин интервала доступа (интервал между двумя последовательными передачами рассматриваемой станции) и интервала передачи, и учесть, что для защиты от ошибок используется алгоритм РОС-ОЖ с передачей квитанции в синхронном режиме сразу после окончания приема кадра станцией-получателем, тогда при независимом поведении станций в неоднородной локальной сети с маркерным доступом выражения для определения Z -пр.р. интервала обслуживания сообщения запишутся соответственно так:

$$g_{i\gamma}(Z) = Q_k \cdot g_{si\gamma}(Z) \cdot (1 - P_k \cdot g_{si\gamma}(Z))^{-1},
 \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
g_{si\gamma}(Z) &= Z^{-nom} \cdot (\theta_{i\gamma} \cdot Z^{-nom} + (1-\theta_{i\gamma}) \cdot Z^{-nmo})^{N\gamma-1} \cdot \\
&\cdot \prod_{p=1}^{M-1} (\theta_{ip} \cdot Z^{-nom} + (1-\theta_{ip}) \cdot Z^{-nmo})^{Np} \cdot \\
& \quad p \neq \gamma \\
&\cdot (\theta_{uci} \cdot (\bar{\psi} \cdot Z^{-nom} + \psi_i \cdot Z^{-noc}) + (1-\theta_{uci}) \cdot Z^{-nmo}), \\
Q_k + P_k &= 1, Q_k = (1-P)^{n_k}, \psi_i + \bar{\psi}_i = 1,
\end{aligned}$$

где $g_{si\gamma}(Z)$ – Z-пр.р. интервала обслуживания сообщения для станций γ -й подсети i -й ЛСС для режима однократной передачи, Q_k – вероятность безошибочной передачи кадра длиной n_k бит, P_k – вероятность обнаружения ошибки при передаче кадра длиной n_k бит, p – вероятность ошибки в биномиальном дискретном канале, ψ_i – вероятность того, что СИС i -й ЛСС с маркерным доступом в цикле доступа взаимодействует со спутником связи.

Поскольку в гибридной сети связи при взаимодействии СИС со спутником связи подтверждения на принятый кадр не передается, а обнаружение ошибок происходит сравнением переданного кадра спутнику и принятого того же кадра в ширококвещательном режиме, то для СИС ЛСС с маркерным доступом Z-пр.р. интервала обслуживания сообщения запишется в виде:

$$\begin{aligned}
g_{uci}(Z) &= \bar{\psi}_i \cdot g_{лсм}(Z) \cdot Q_k \cdot (1 - P_k \cdot g_{лсм}(Z))^{-1} + \\
& \quad + \psi_i \cdot Z^{-M \cdot noc} \cdot Q_c \cdot (1 - P_c \cdot Z^{-M \cdot noc})^{-1}, \\
g_{лсм}(Z) &= Z^{-nom} \cdot \prod_{\gamma=1}^m (\theta_{i\gamma} \cdot Z^{-nom} + (1-\theta_{i\gamma}) \cdot Z^{-nmo})^{N\gamma}, \\
Q_k + P_k &= 1, Q_c + P_c = 1, Q_c = (1 - p_s)^{n_k}, \bar{\psi}_i + \psi_i = 1, i = \overline{1, M},
\end{aligned} \tag{13}$$

где $g_{лсм}(Z)$ – Z-пр.р. интервала обслуживания сообщения СИС ЛСС с маркерным доступом при взаимодействии с одной из станций данной сети, n_{oc} – длина в битах временного окна СИС для передачи кадра длиной n_k бит спутнику связи, $n_{oc} = 2(n_k + n_{pc}) + \tau_c$, n_{pc} – число бит, которое можно передать за время распространения сигнала от СИС к спутнику связи или от спутника связи к СИС, 2 – коэффициент, учитывающий фазы передачи сигнала от СИС к спутнику связи и от спутника связи к СИС в ширококвещательном режиме, Q_c – вероятность безошибочной передачи кадра длиной n_k бит

в спутниковом канале, P_c – вероятность обнаружения ошибки при передаче кадра длиной n_k бит в спутниковом канале, p_s – вероятность ошибки в спутниковом канале, τ_c – задержка, вносимая спутниковым ретранслятором при регенерации сигнала.

Z-пр.р.р. интервала обслуживания сообщения для станций ЛСС с синхронным временным доступом запишется в виде:

$$g_{i\gamma}(Z) = Q_k \cdot g_{si\gamma}(Z) \cdot (1 - P_k \cdot g_{si\gamma}(Z))^{-1}, \quad (14)$$

$$g_{si\gamma}(Z) = Z^{-N \cdot n_{ok}} (\theta_{uc} (\bar{\phi}_i Z^{-n_{ok}} + \phi_i Z^{-n_{oc}}) + (1 - \theta_{uc})),$$

Для СИС ЛСС с синхронным временным доступом Z-пр.р.р. интервала обслуживания сообщения запишется в виде:

$$g_{ucsi}(Z) = \bar{\psi}_{si} \cdot g_{lcs}(Z) \cdot Q_k \cdot (1 - P_k \cdot g_{lcs}(Z))^{-1} + \psi_{si} \cdot Z^{-M \cdot n_{oc}} \cdot Q_c \cdot (1 - P_c \cdot Z^{-M \cdot n_{oc}})^{-1}, \quad (15)$$

$$g_{lcs}(Z) = Z^{-N \cdot n_{ok}}$$

где $g_{lcs}(Z)$ – Z-пр.р.р. интервала обслуживания сообщения СИС ЛСС с синхронным временным доступом при взаимодействии с одной из станций данной сети.

Z-пр.р.р. интервала обслуживания сообщения на спутнике связи имеет вид:

$$g_R(Z) = Z^{-M \cdot n_{oc}}, \quad (16)$$

где M - число СИС в гибридной сети связи.

Соотношения (4) - (15) представляют собой модель гибридной сети связи с неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений и протоколу доступа наземной подсетью.

Перейдем к определению ВВХ рассматриваемой гибридной сети связи.

Среднее время задержки сообщения $\bar{t}_{q\gamma}$ для абонентов γ -ой подсети i - й ЛСС определяется так:

$$\bar{t}_{q\gamma} = \bar{t}_{i\gamma} + \bar{t}_{uc_i} + \bar{t}_R + \bar{t}_{uc_k},$$

где $\bar{t}_{i\gamma}$ и $\bar{t}_{uc k}$ – среднее время задержки сообщения соответственно для абонентов γ -ой подсети i -й ЛСС (первая фаза процесса передачи) и приемной СИС k -й ЛСС (четвертая фаза процесса передачи), $\gamma = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, M}$, $i \neq k$, \bar{t}_{iC} и \bar{t}_R – среднее время задержки сообщения для соответственно СИС i -й ЛСС (вторая фаза) и спутникового ретранслятора (третья фаза).

Компоненты, входящие в (16), определяются так:

$$\begin{aligned} \bar{t}_{i\gamma} &= \bar{n}_{i\gamma} T_{0i}, \quad \bar{n}_{i\gamma} = \left(d / dZ^{-1} \right) f_{i\gamma}(Z) / Z=1, \\ \bar{t}_{uc i} &= \bar{n}_{uc i} T_{0i}, \quad \bar{n}_{uc i} = \left(d / dZ^{-1} \right) f_{uc i}(Z) / Z=1, \\ \bar{t}_R &= \bar{n}_R T_c, \quad \bar{n}_R = \left(d / dZ^{-1} \right) f_R(Z) / Z=1, \\ \bar{t}_{uc k} &= \bar{n}_{uc k} T_{0k}, \quad \bar{n}_{uc k} = \left(d / dZ^{-1} \right) f_{uc k}(Z) / Z=1, \end{aligned} \quad (18)$$

где $\bar{n}_{i\gamma}, \bar{n}_{uc i}, \bar{n}_R$ и $\bar{n}_{uc k}$ – среднее дискретное время задержки сообщения для соответственно абонентов γ -ой подсети i -й ЛСС, СИС i -й ЛСС, спутникового ретранслятора и СИС k -й ЛСС, T_{0i}, T_{0k} , и T_{0c} – такты работы соответственно i -й ЛСС, k -й ЛСС и спутникового ретранслятора. В качестве такта работы гибридной сети связи выбирается минимальный такт, остальные же такты берутся кратными этому интервалу.

Вероятность своевременной доставки сообщения $\bar{P}_{ci\gamma}$ для абонентов γ -ой подсети i -й ЛСС при стохастическом старении информации биномиального вида определяется выражением:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{ci\gamma} &= \left. \prod_{n=1}^4 f_{qn}(Z) \right|_{Z=Q_{\partial n}^{-1}}, \\ \bar{T}_{\partial n} &= T_{0i} / (1 - Q_{\partial n}) \end{aligned} \quad (19)$$

где $\bar{T}_{\partial n}$ – среднее допустимое время старения информации в n -й фазе, $Q_{\partial n}$ – параметр биномиального старения информации в n -й фазе.

Производительность гибридной сети связи определим как интенсивность своевременно обслуженного сетью потока сообщений, содержащих межрегиональную информацию:

$$R_p = \sum_{i=1}^M \sum_{\gamma=1}^m \left(q_{i\gamma} N_{i\gamma} \bar{\Pi}_{ci\gamma} / T_{0i} \right) \quad (20)$$

Для гибридной сети связи общего применения информационная скорость передачи определяется следующим образом:

$$R_c^{OP} = \sum_{i=1}^M \sum_{\gamma=1}^m \left(q_{i\gamma} N_{i\gamma} k_{i\gamma} / T_{0i} \right) \quad (21)$$

где $k_{i\gamma}$ – длина информационной части кадра.

Информационная скорость передачи в гибридной сети связи реального времени определяется так:

$$R_c^{PB} = \sum_{i=1}^M \sum_{\gamma=1}^m \left(q_{i\gamma} N_{i\gamma} \bar{\Pi}_{ci\gamma} k_{i\gamma} / T_{0i} \right) \quad (22)$$

Таким образом, разработана модель гибридной сети связи с неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений и протоколу доступа наземной подсетью и определены ее вероятностно-временные характеристики, позволяющие оценить затраты на информационный обмен в сети и решать различные системные задачи и проектные процедуры.

Список литературы: 1. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации.-М.:Техносфера,2005.-592 с. 2. Столингс В. Передача данных.-СПб.: Питер,2004.-750 с. 3. Э.Б. Гезалов, Э.Н. Мамедов. Моделирование гибридной пакетной сети. //Доклады 2-ой Международной конференции "Спутниковая связь", Москва,1996; Т. I. С.213-219. 4. Гезалов Э.Б. К вопросу о проектировании гибридных сетей связи.//Труды Международной конференции «Научно-технический прогресс и современная авиация». Том II.-Баку, 2009, С. 70-73. 5. Гезалов Э.Б. Модель неоднородной локальной сети с учетом характеристик надежности канала связи.//Сборник научных трудов Днепропетровского Государственного Университета Украины «Актуальные проблемы информатизации и информационных технологий».Том II. - Днепропетровск, ДНУ, 2007,С.43-48. 6. Гезалов Э.Б. Модель неоднородной локальной сети с протоколом комбинированного доступа. // Петербургский журнал электроники. №1. – Санкт-петербург, 2008, С.1-7. 7. Суздаев А.В., Чугреев О.С. Передача данных в локальных сетях связи -М.: Радио и связь, 1987.

Поступила в редколлегию 17.03.09