

**МОДЕЛЬ НЕОДНОРОДНОЙ ПО ПРОТОКОЛУ ДОСТУПА ГИБРИДНОЙ СЕТИ СВЯЗИ
С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ КАНАЛОВ СВЯЗИ**

**МОДЕЛЬ НЕОДНОРІДНОЇ ЗА ПРОТОКОЛОМ ДОСТУПУ ГИБРИДНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ
З УРАХУВАННЯМ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ**

**THE MODEL OF THE HETEROGENEOUS ON ACCESS PROTOCOL HYBRID
TELECOMMUNICATION NETWORK WITH TAKING INTO ACCOUNT THE RELIABILITY
OF TELECOMMUNICATION CHANNELS**

Аннотация. Рассмотрена гибридная сеть связи с неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений и протоколу доступа наземной подсетью. Рассмотрены процессы: выхода из строя и восстановления наземных и спутникового каналов связи. Показано, что при анализе процесса передачи межрегиональной информации в гибридной сети связи необходимо учитывать влияние этих процессов на характеристики сети. Разработана модель в дискретном времени неоднородной по протоколу доступа гибридной сети связи с учетом показателей надежности наземных и спутникового каналов связи.

Анотація. Розглянуто гібридну мережу зв'язку з наземною підмережею, неоднорідною за інтенсивністю вхідного потоку повідомлень і протоколом доступу. Розглянуто процеси: виходу з ладу та відновлення наземних і супутникових каналів зв'язку. Показано, що при аналізі процесу передавання міжрегіональної інформації в гібридній мережі зв'язку необхідно враховувати вплив цих процесів на характеристики мережі. Розроблено модель в дискретному часі неоднорідної за протоколом доступу гібридної мережі зв'язку з урахуванням показників надійності наземних і супутникових каналів зв'язку.

Summary. The hybrid telecommunication network with heterogeneous on intensity of the incoming message flow and access protocol the ground subnetwork is considered. The process of failure and restoration of terrestrial and satellite channels is considered, and it is shown that the analysis of the inter-regional information transmission in a hybrid network, must be considered its influence on network characteristics. A model in a discrete-time of hybrid heterogeneous network with taking into account the reliability of terrestrial and satellite channels is carried out.

В настоящее время для наиболее эффективного решения актуальных проблем электросвязи большое внимание уделяется созданию глобальной информационной инфраструктуры, одним из основных элементов которой являются спутниковые системы связи (ССС). В таких системах посредством спутника связи объединяются географически разбросанные и относительно удаленные друг от друга наземные сети связи, не имеющие связи между собой [1, 2].

Полученную при этом сеть относят к классу гибридных сетей связи, поскольку она состоит из спутниковой и наземной подсетей. Гибридные сети связи рассматриваются во многих работах (см., например [3...5]). В них решаются различные задачи по определению анализа характера передаваемого трафика, разрабатываются модели обслуживания трафика в неоднородных гибридных сетях связи, изучаются вопросы технической реализации и т.д. При этом недостаточное внимание уделяется очень важной проблеме – оценке влияния процесса отказов и восстановлений наземных и спутникового каналов связи на характеристики гибридной сети связи. От решения данной проблемы зависит качество обслуживания пользователей. Так, при отказе канала связи какой-либо локальной сети нарушается процесс передачи информации как внутри этой сети, так и передача из этой сети межрегиональной информации. При выходе из строя спутникового канала связи нарушается связь между объединяемыми локальными сетями и, как следствие, процесс передачи межрегиональной информации в гибридной сети. Эти ситуации должны быть ликвидированы как можно быстрее, поскольку они снижают качество обслуживания в гибридной сети. Поэтому, несомненно, представляет интерес разработка модели гибридной сети связи с учетом показателей надежности наземных и спутникового каналов связи.

Наземные локальные сети, объединяемые в гибридную сеть связи, могут использовать для обмена информацией различные методы и протоколы доступа к среде передачи: маркерный доступ

(МД), синхронный временной доступ (СВД) и др. В таком случае гибридная сеть является неоднородной по протоколу доступа.

Подобные сети рассмотрены в [6]. В [6] показано, что в гибридных сетях связи следует различать два вида процессов передачи информации: передача местной (внутри локальной сети) информации и передача межсетевой информации. Процесс передачи местной информации исследован в работах многих авторов (см., например [7,8]). Процесс же передачи межрегиональной (межсетевой) информации в гибридной сети связи, если не считать работ автора (см., например [6,9]), исследован недостаточно.

В [6] разработана модель гибридных сетей связи в дискретном времени и определены их вероятностно-временные характеристики, позволяющие оценить временные затраты на межсетевой информационный обмен. Однако разработанная модель не учитывают влияния процессов отказа и восстановления наземных и спутникового каналов связи на характеристики гибридной сети связи. Поэтому целью данной работы является разработка модели неоднородной по протоколу доступа гибридной сети связи, учитывающей процессы выхода из строя и восстановления наземных и спутникового каналов связи.

Объектом исследования в работе является гибридная пакетная сеть связи, наземная подсеть которой состоит из локальных сетей связи (ЛСС), содержащих спутниковые интерфейсные станции (СИС). СИС различных ЛСС связаны друг с другом звездообразно через спутниковый ретранслятор широкоэмитательным радиоканалом 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. ЛСС наземной подсети разделены на две группы. Подуровень управления доступом в ЛСС одной группы реализует протокол МД, а в другой – СВД.

Обратимся к модели гибридной сети связи, разработанной в [6]. В [6] показано, что процесс передачи межсетевой информации в гибридной пакетной сети является сложным и многоэтапным. Процесс передачи межсетевой информации в такой сети состоит из следующих фаз: 1 – станция-отправитель передает кадр СИС своей ЛСС; 2 – взаимодействие передающей СИС со спутником связи; 3 – взаимодействие спутника связи с приемной СИС через широкоэмитательный радиоканал; 4 – приемная СИС передает кадр станции-адресату.

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 соответственно i -й ЛСС с протоколом МД и j -й ЛСС с протоколом СВД, спутниковых интерфейсных станций i - и j -й ЛСС соответственно с протоколом МД и СВД, $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, L}$, $\gamma = \overline{1, m}$, и спутникового ретранслятора [6]:

$$\begin{cases} f_{T_{\gamma}}(Z) = \frac{(1 - \theta_{T_{\gamma}})g_{T_{\gamma}}(Z)(1 - Z)}{1 - p_{T_{\gamma}}Z - q_{T_{\gamma}}Zg_{T_{\gamma}}(Z)}, & f_{s_{j\gamma}}(Z) = \frac{(1 - \theta_{s_{j\gamma}})g_{s_{j\gamma}}(Z)(1 - Z)}{1 - p_{s_{j\gamma}}Z - q_{s_{j\gamma}}Zg_{s_{j\gamma}}(Z)}, \\ f_{ST_i}(Z) = \frac{(1 - \theta_{ST_i})g_{ST_i}(Z)(1 - Z)}{1 - p_{ST_i}Z - q_{ST_i}Zg_{ST_i}(Z)}, & f_{Ssj}(Z) = \frac{(1 - \theta_{Ssj})g_{Ssj}(Z)(1 - Z)}{1 - p_{Ssj}Z - q_{Ssj}Zg_{Ssj}(Z)}, \\ f_R(Z) = \frac{(1 - \theta_R)g_R(Z)(1 - Z)}{1 - p_RZ - q_RZg_R(Z)}. \end{cases} \quad (1)$$

где $f_{T_{\gamma}}(Z)$, $f_{s_{j\gamma}}(Z)$, $f_{ST_i}(Z)$, $f_{Ssj}(Z)$, $f_R(Z)$ Z – преобразование для рядов распределений дискретного времени задержки соответственно для станций γ -й подсети соответственно i -й ЛСС с протоколом МД и j -й ЛСС с протоколом СВД, $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, L}$, $\gamma = \overline{1, m}$, $i \neq j$, спутниковых интерфейсных станций i - и j -й ЛСС соответственно с протоколом МД и СВД, и спутникового ретранслятора; $\theta_{T_{\gamma}}$, $\theta_{s_{j\gamma}}$, θ_{ST_i} , θ_{Ssj} , θ_R – вероятности занятого состояния буферов станций γ -й подсети соответственно i -й ЛСС с протоколом МД и j -й ЛСС с протоколом СВД, спутниковых

интерфейсных станций i -й и j -й ЛСС соответственно с протоколом МД и СВД, и спутникового ретранслятора; $g_{T_{i\gamma}}(Z)$, $g_{s_{j\gamma}}(Z)$, $g_{ST_i}(Z)$, $g_{S_{sj}}(Z)$, $g_R(Z)$ – это Z -преобразование для рядов распределений интервалов обслуживания для станций γ -й подсети соответственно i -й ЛСС с протоколом МД и j -й ЛСС с протоколом СВД и спутникового ретранслятора; $q_{T_{i\gamma}}$ и $q_{s_{j\gamma}}$ – вероятности поступления сообщения на такте T работы сети в буфер коммуникационной станции соответственно i -й ЛСС с протоколом МД и j -й ЛСС с протоколом СВД, $p_{T_{i\gamma}}$ и $p_{s_{j\gamma}}$ – вероятности отсутствия сообщения на такте T для коммуникационной станции соответственно i -й ЛСС с протоколом МД и j -й ЛСС с протоколом СВД, $p_{ST_i} = 1 - q_{T_{i\gamma}}$, $p_{s_{j\gamma}} = 1 - q_{s_{j\gamma}}$, q_{T_i} и $q_{S_{sj}}$ – вероятности поступления сообщения на такте T работы сети в буфер СИС соответственно i -й ЛСС с протоколом МД и j -й ЛСС с протоколом СВД, p_{ST_i} и $p_{S_{sj}}$ – вероятности отсутствия сообщения на такте T для СИС соответственно i -й локальной сети связи с протоколом маркерного доступа и j -й ЛСС с протоколом синхронного временного доступа; $p_{ST_i} = 1 - q_{ST_i}$, $p_{S_{sj}} = 1 - q_{S_{sj}}$, q_R – вероятность поступления сообщения на такте T в буфер спутникового ретранслятора; p_R – вероятность отсутствия сообщения на такте T для спутникового ретранслятора, $p_R = 1 - q_R$.

Вероятности $\theta_{T_{i\gamma}}$, $\theta_{s_{j\gamma}}$, θ_{ST_i} , $\theta_{S_{sj}}$ и θ_R определяются из уравнений интерференции:

$$\begin{cases} \theta_{T_{i\gamma}} = q_{T_{i\gamma}} \bar{n}_{T_{i\gamma}}, \bar{n}_{T_{i\gamma}} = (d / dZ^{-1}) g_{T_{i\gamma}}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \theta_{s_{j\gamma}} = q_{s_{j\gamma}} \bar{n}_{s_{j\gamma}}, \bar{n}_{s_{j\gamma}} = (d / dZ^{-1}) g_{s_{j\gamma}}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \theta_{ST_i} = q_{ST_i} \bar{n}_{T_i}, \bar{n}_{T_i} = (d / dZ^{-1}) g_{ST_i}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \theta_{S_{sj}} = q_{S_{sj}} \bar{n}_{s_j}, \bar{n}_{s_j} = (d / dZ^{-1}) g_{S_{sj}}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \theta_R = q_R \bar{n}_R, \bar{n}_R = (d / dZ^{-1}) g_R(Z) \Big|_{Z=1}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\bar{n}_{T_{i\gamma}}$, $\bar{n}_{s_{j\gamma}}$, \bar{n}_{T_i} , \bar{n}_{s_j} , \bar{n}_R – среднее дискретное время обслуживания соответственно для станций γ -й подсети соответственно i -й ЛСС с протоколом МД и j -й ЛСС с протоколом СВД; $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, L}$, $\gamma = \overline{1, m}$, спутниковых интерфейсных станций i -й и j -й ЛСС соответственно с протоколом МД и СВД, и спутникового ретранслятора.

При этом выражения для $g_{T_{i\gamma}}(Z)$, $g_{ST_i}(Z)$ имеют соответственно вид:

$$\begin{aligned} g_{T_{i\gamma}}(Z) &= Q_k \cdot g_{s_{i\gamma}}(Z) \cdot (1 - P_k \cdot g_{s_{i\gamma}}(Z))^{-1}, \\ g_{ST_i}(Z) &= \bar{\psi}_i \cdot g_{лсм}(Z) \cdot Q_k \cdot (1 - P_k \cdot g_{лсм}(Z))^{-1} + \\ &+ \psi_i \cdot Z^{-F \cdot n_{oc}} \cdot Q_c \cdot (1 - P_c \cdot Z^{-F \cdot n_{oc}})^{-1}, \\ g_{s_{i\gamma}}(Z) &= Z^{-n_{om}} \cdot (\theta_{i\gamma} \cdot Z^{-n_{om}} + (1 - \theta_{i\gamma}) \cdot Z^{-n_{mo}})^{N_{\gamma} - 1} \cdot \\ &\cdot \prod_{p=1}^{M-1} (\theta_{ip} \cdot Z^{-n_{om}} + (1 - \theta_{ip}) \cdot Z^{-n_{mo}})^{N_p}, \\ & \quad p \neq \gamma \\ &\cdot (\theta_{ST_i} \cdot (\bar{\psi} \cdot Z^{-n_{om}} + \psi_i \cdot Z^{-n_{oc}}) + (1 - \theta_{ST_i}) \cdot Z^{-n_{mo}}), \\ Q_k + P_k &= 1, \quad Q_k = (1 - P)^{n_k}, \quad \psi_i + \bar{\psi}_i = 1, \\ g_{лсм}(Z) &= Z^{-n_{om}} \cdot \prod_{\gamma=1}^m (\theta_{i\gamma} \cdot Z^{-n_{om}} + (1 - \theta_{i\gamma}) \cdot Z^{-n_{mo}})^{N_{\gamma}}, \\ Q_k + P_k &= 1, \quad Q_c + P_c = 1, \quad Q_k = (1 - P)^{n_k}, \quad Q_c = (1 - p_s)^{n_k}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\bar{\psi}_i + \psi_i = 1, \quad i = \overline{1, M},$$

где $g_{sj\gamma}(Z)$ – Z -преобразование для рядов распределений интервалов обслуживания сообщения для станций γ -й подсети i -й ЛСС с маркерным доступом 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; $g_{лсм}(Z)$ – Z -преобразование для рядов распределений интервалов обслуживания сообщения для 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 широковещательном 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; F – число СИС в гибридной сети связи, $F = M + L$.

А выражения для $g_{sj\gamma}(Z)$, $g_{Ssj}(Z)$ имеют соответственно вид:

$$\begin{aligned} g_{sj\gamma}(Z) &= Q_k \cdot g_{xj\gamma}(Z) \cdot (1 - P_k \cdot g_{xj\gamma}(Z))^{-1}, \\ g_{xj\gamma}(Z) &= Z^{-Ln_{ok}} (\theta_{STi} (\bar{\psi}_j Z^{-n_{ok}} + \psi_j Z^{-n_{oc}}) + (1 - \theta_{STi})), \\ g_{Ssj}(Z) &= \bar{\psi}_j \cdot g_{лсs}(Z) \cdot Q_c \cdot (1 - P_c \cdot g_{лсs}(Z))^{-1} + \\ &+ \psi_j \cdot Z^{-F \cdot n_{oc}} \cdot Q_c \cdot (1 - P_c \cdot Z^{-F \cdot n_{oc}})^{-1}, \quad \psi_j + \bar{\psi}_j = 1, \quad j = \overline{1, L}, \\ g_{лсs}(Z) &= Z^{-L \cdot n_{ok}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $g_{xj\gamma}(Z)$ – Z -преобразование для рядов распределений интервалов обслуживания для станций γ -й подсети j -й ЛСС с протоколом СВД для режима однократной передачи; ψ_j – вероятность того, что СИС j -й ЛСС с СВД в цикле доступа взаимодействует со спутником связи; $g_{лсs}(Z)$ – Z -преобразование для рядов распределений интервалов обслуживания сообщения для СИС ЛСС с синхронным временным доступом при взаимодействии с одной из станций данной сети.

Z -преобразование для рядов распределений интервалов обслуживания сообщения на спутнике связи имеет вид:

$$g_R(Z) = Z^{-F \cdot n_{oc}}. \quad (5)$$

Для получения модели неоднородной по протоколу доступа гибридной сети связи с учетом показателей надежности каналов связи воспользуемся подходом из [9]. Подход основан на использовании модели неоднородной гибридной сети связи, в которой каналы безотказны, в модели надежности системы, предложенной О.С. Чугреевым, Ю.А. Ариненко и Б.В. Шитовым. Рассмотренная гибридная сеть связи в [9] является неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений и однородной по протоколу доступа. Модель надежности учитывает коэффициент готовности k_g и распределение времени восстановления T_v канала связи в виде отдельного параметра:

$$h(Z) = g(Z) / (\mu \bar{\phi}_v(Z) + \bar{\mu}), \quad \mu = 1 - \bar{\mu}, \quad (6)$$

где $h(Z)$ – Z -преобразование для рядов распределений интервалов обслуживания сообщения в неидеальном канале связи; μ – вероятность возникновения отказа на интервале T ; $\bar{\mu}$ – вероятность отсутствия отказа на интервале T (такт работы сети); $\bar{\phi}_v(Z)$ – Z -преобразование рядов

распределений дискретного в интервалах T времени восстановления канала связи; $g(Z)$ – Z -преобразование для рядов распределений интервалов обслуживания сообщения в идеальном канале связи.

Тогда выражения для $h_{T\gamma}(Z)$, $h_{sj\gamma}(Z)$, $h_{STi}(Z)$, $h_{Ssj}(Z)$, $h_R(Z)$ с учетом модели надежности для неоднородной по протоколу доступа гибридной сети связи запишутся в виде:

$$\begin{aligned} h_{T\gamma}(Z) &= g_{T\gamma}(Z) / (\mu_i \bar{\varphi}_{vi}(Z) + \bar{\mu}_i), \mu_i = 1 - \bar{\mu}_i, \\ h_{sj\gamma}(Z) &= g_{sj\gamma}(Z) / (\mu_j \bar{\varphi}_{vj}(Z) + \bar{\mu}_j), \mu_j = 1 - \bar{\mu}_j, \\ h_{STi}(Z) &= g_{STi}(Z) / (\mu_i \bar{\varphi}_{vi}(Z) + \bar{\mu}_i), \mu_i = 1 - \bar{\mu}_i, \\ h_{Ssj}(Z) &= g_{Ssj}(Z) / (\mu_j \bar{\varphi}_{vj}(Z) + \bar{\mu}_j), \mu_j = 1 - \bar{\mu}_j, \\ h_R(Z) &= g_R(Z) / (\mu_R \bar{\varphi}_R(Z) + \bar{\mu}_R), \mu_R = 1 - \bar{\mu}_R, \end{aligned} \quad (7)$$

где μ_i, μ_j, μ_R – вероятности возникновения отказа соответственно в канале i -й ЛСС с маркерным доступом, в канале j -й ЛСС с синхронным временным доступом и спутниковом канале связи на интервале T ; $\bar{\mu}_i, \bar{\mu}_j, \bar{\mu}_R$ – вероятности отсутствия отказа соответственно в канале i -й ЛСС с маркерным доступом, в канале j -й ЛСС с синхронным временным доступом и спутниковом канале связи на интервале T ; $\bar{\varphi}_{vi}(Z), \bar{\varphi}_{vj}(Z), \bar{\varphi}_R(Z)$ – Z -преобразование рядов распределений дискретного в интервалах T времени восстановления соответственно канала i -й ЛСС с МД, канала j -й ЛСС с СВД и спутникового канала связи.

Учитывая (7) в (2) запишем систему уравнений интерференции для гибридной сети:

$$\begin{cases} \theta_{T\gamma} = q_{T\gamma} \bar{n}_{T\gamma}, \bar{n}_{T\gamma} = (d / dZ^{-1}) h_{T\gamma}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \theta_{sj\gamma} = q_{sj\gamma} \bar{n}_{sj\gamma}, \bar{n}_{sj\gamma} = (d / dZ^{-1}) h_{sj\gamma}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \theta_{STi} = q_{STi} \bar{n}_{Ti}, \bar{n}_{Ti} = (d / dZ^{-1}) h_{STi}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \theta_{Ssj} = q_{Ssj} \bar{n}_{sj}, \bar{n}_{sj} = (d / dZ^{-1}) h_{Ssj}(Z) \Big|_{Z=1}, \\ \theta_R = q_R \bar{n}_R, \bar{n}_R = (d / dZ^{-1}) h_R(Z) \Big|_{Z=1}, \end{cases} \quad (8)$$

где $\bar{n}_{T\gamma}, \bar{n}_{sj\gamma}, \bar{n}_{Ti}, \bar{n}_{sj}, \bar{n}_R$ – среднее дискретное время обслуживания сообщений, передаваемых по ненадежному восстанавливаемому каналу соответственно i -й ЛСС с МД для станций γ -й подсети, j -й ЛСС с СВД для станций γ -й подсети, СИС i -й ЛСС с МД, СИС j -й ЛСС с СВД и спутниковому ненадежному восстанавливаемому каналу.

В заключение отметим, что разработанная модель неоднородной по протоколу доступа гибридной сети связи учитывает процессы отказов и восстановлений наземных и спутникового каналов связи. Данная модель позволяет определить вероятностно-временные характеристики гибридной сети связи и учесть влияние на них процессов отказов и восстановлений наземных и спутникового каналов связи, а также – решать различные системные задачи и проектные процедуры.

Литература

1. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / [В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович]. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Столинс В. Передача данных / Столинс В. – СПб.: Питер, 2004. – 750 с.
3. Семенов Е.С. Моделирование гибридной сети связи следующего поколения на основе конвергенции технологий беспроводного доступа / Е.С. Семенов, П.В. Барташевич, С.В. Черных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://elibr.psuti.ru/ifte09_to7_no1/Semenov_Bartashevich_Chernih.pdf.

4. Язловецкий Я.С. Анализ методов синхронизации средств электросвязи мультисервисных сетей / Я.С. Язловецкий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vsbel.by/File/2012_2/metod.pdf.
5. Хатунцев А.Б. Разработка метода анализа показателей качества обслуживания сигнальных сообщений в гибридных сетях с коммутацией пакетов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. тех. наук: спец. 05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» / А.Б. Хатунцев; Московский технический университет связи и информатики. – М., 2011. – 17 с.
6. Гезалов Э.Б. Модель гибридной сети связи с неоднородной наземной подсетью / Э.Б. Гезалов // Вестник Харьковского Технического Университета-«ХПИ». Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение». – Харьков, 2010. – № 20. – С. 34-44.
7. Дубровин В.С. Сверхширокополосные системы связи. Особенности и возможности применения / В.С. Дубровин, И.В. Колесникова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/UWB_communication_systems.pdf.
8. Вишневский В.М. Региональные беспроводные сети передачи данных на базе протокола Radio-Ethernet: состояние, моделирование, примеры реализации / [В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, Б.Н. Терещенко, В.М. Воробьев, И.Н. Астафьева, Ю.В. Целикин, Г.Ф. Гайкович, Д.Н. Мацнев] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ict.edu.ru/ft/004413/2.pdf>.
9. Гезалов Э.Б. Модель неоднородной гибридной сети связи с учетом показателей надежности каналов связи / Э.Б. Гезалов // Журнал «Ученые записки» Азербайджанского Высшего Военно-Морского Училища. – Баку, 2012. – № 21. – С. 131-141.