

### Список литературы

1 Врублевская В. И., Невзорова А. Б., Врублевский В. Б. Новый способ конструирования и изготовления износоустойчивых подшипников скольжения // Проблемы безопасности на транспорте. Гомель: БелГУТ, 1997. С. 113–116.

2 Врублевская В. И., Врублевский В. Б. Подшипники из древесины // Техника, экономика, организация. 1997. № 4. С. 10–11.

3 Путьевые машины / Под ред С. А. Соломонова. М.: Транспорт, 1985. 375 с.

4 Лончаков Э. Т., Петропавловский Б. П. Машины и механизмы для звеносборочных и звеноразборных работ. М.:Транспорт, 1984. 199 с.

5 Иванов М. Н. Детали машин: Учеб. для студентов втузов. М.:Высш.шк., 1998. 383 с.

Получено 15.11.2000

V. L. Moiseenko, V. B. Vrublevsky, D. I. Bochkaryov, V. A. Dovgyllo, A. B. Nevzorova. Production Tests of Plain Bearings on the Basis of Wood in the Friction Points of Roller Conveyers of the Link Track-laying Machine.

Using self-lubricating plain bearings on the wood basis increases the service life of roller conveyers of the link-laying machine. The economical effect in manufacturing friction points and repairing machines and mechanisms at the expense of simplifying the unit construction, reducing the expenditure of metal and ball bearing, reducing time on the maintenance and repair is obtained.

**Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2001. № 1**

УДК 621.394.74

*А. Н. СЕМЕНЮТА, доцент кафедры "Микропроцессорная техника и информационно-управляющие системы" Белорусского государственного университета транспорта, г. Гомель*

### СИНТЕЗ СЕТИ СВЯЗИ С АСИНХРОННЫМ МЕТОДОМ ПЕРЕДАЧИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Приведена методика синтеза Ш-ЦСИС с АТМ, предназначенная для использования в ситуациях, характеризующихся отсутствием статистически достоверных данных об основных параметрах ожидаемого на участках сети трафика.

Одной из основных тенденций развития ведомственных (корпоративных) сетей связи, в том числе и на железнодорожном транспорте, является создание широкополосных цифровых сетей с интеграцией служб (Ш-ЦСИС) и использованием асинхронного метода передачи информации (Asynchronous Transfer Mode - АТМ) [1,2]. Поэтому для всех стран мира актуальна проблема синтеза таких Ш-ЦСИС с АТМ, которые обеспечивали бы компромисс между качеством обслуживания потребителей и экономической эффективностью сети.

Для проектирования конкретной сети на базе известных методов расчетов элементов Ш-ЦСИС с АТМ, например рассмотренных в [3-5], необходима полная и достоверная информация о числовых значениях всех параметров, используемых при расчетах.

Однако, как правило, на начальных этапах проектирования таких сетей для конкретных объектов (в том числе и для предприятий железнодорожного транспорта) точные данные о количественном составе подключаемых абонентов, распределениях ожидаемых нагрузок по участкам и во времени, требованиях потребителей к качеству их обслуживания отсутствуют. Поэтому возникает необходимость в разработке методов синтеза Ш-ЦСИС с

АТМ, предназначенных для использования в ситуациях, характеризующихся неопределенностью относительно необходимых для расчетов сети исходных данных.

Один из подходов к разработке методов синтеза сетей связи при неопределенности относительно исходных данных базируется на использовании теории нечетких множеств, согласно которой для формализации нечеткой информации целесообразно использовать показатель, именуемый степенью принадлежности [7]. По определению степень принадлежности изменяется от 0 до 1 и характеризует субъективную вероятность принадлежности данного элемента к рассматриваемому множеству. Чем больше этот показатель, тем выше степень уверенности в принадлежности данного элемента к рассматриваемому множеству [8].

В данной работе предлагается методика синтеза Ш-ЦСИС с АТМ, основанная на использовании исходных данных, представленных с помощью нечетких переменных. При этом используются следующие допущения.

1 Предполагается заданной структура проектируемой сети, определяемая графом  $G = \{A, B\}$ , где  $A$  – множество узлов сети,  $B$  – множество ребер (направлений связи между узлами).

2 Все узлы и ребра сети являются абсолютно

надежными.

3 Известен ряд допустимых к использованию узлов коммутации и систем передачи информации, а также их стоимостные показатели.

4 Известны требования потребителей услуг различных служб относительно качества их обслуживания (максимальная вероятность потери ячейки АТМ).

Содержательно задача синтеза Ш-ЦСИС с АТМ в случае наличия абсолютно достоверных исходных данных формулируется следующим образом. Требуется определить производительности узлов коммутации и скорости систем передачи информации на участках сети (выбрать их типы из заранее заданного набора), при которых достигается минимальная стоимость сети при условии выполнения всех требований относительно качества обслуживания потребителей, т. е.

$$C = \sum_{i=1}^M c_i^y + \sum_{j=1}^N c_j^k \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$q_i \leq q_i^n, i = 1, \dots, n,$$

где  $C$  – общая стоимость сети;  $c_i^y$  – стоимость  $i$ -го узла коммутации;  $c_j^k$  – стоимость  $j$ -й системы передачи информации;  $M$  – число узлов коммутации в сети;  $N$  – число систем передачи информации в сети;  $q_i$  – значение  $i$ -го показателя качества обслуживания потребителей для данного варианта построения сети;  $q_i^n$  – заданное максимально допустимое значение  $i$ -го показателя качества обслуживания потребителей;  $n$  – число показателей качества обслуживания.

При наличии неопределенности относительно исходных данных без дополнительной информации, получаемой от лица, принимающего решения (ЛПР), обойтись невозможно. Следовательно, в процессе синтеза Ш-ЦСИС с АТМ при неопределенности относительно исходных данных необходимо определить наиболее предпочтительный с точки зрения ЛПР вариант выбора узлов коммутации и систем передачи информации для использования на участках сети при условии выполнения всех требований относительно качества обслуживания потребителей.

Предлагаемая методика синтеза Ш-ЦСИС с АТМ при нечетко заданных исходных данных состоит из пяти этапов.

Этап 1. Построение функций принадлежности исходных данных.

Согласно [4,5] для расчетов элементов Ш-ЦСИС с АТМ необходимо знать числовые значения следующих исходных данных:

- число абонентов  $k$ -й службы, подключенных к  $i$ -му узлу  $N_i^{(k)}$ ;
- интенсивность потока заявок от абонентов  $k$ -й службы  $\gamma^{(k)}$ ;
- средняя длительность сеанса связи между

абонентами  $k$ -й службы  $T^{(k)}$ ;

- коэффициенты замыкания нагрузки абонентов  $k$ -й службы, подключенных к  $i$ -му узлу  $k_{si}^{(k)}$ ;
- коэффициенты тяготения  $k_{ij}^{(k)}$  между абонентами  $k$ -й службы, включенными в узлы  $i$  и  $j$ ;
- среднее значение скорости передачи информации от абонента  $k$ -й службы  $B_m^{(k)}$ ;
- коэффициент пачечности скорости передачи информации от абонента  $k$ -й службы  $k_p^{(k)}$ .

Получить точные значения этих параметров на начальных этапах проектирования конкретной сети затруднительно. Гораздо легче указать интервал возможных изменений этих параметров, а затем оценить субъективную степень вероятности появления конкретного значения каждого параметра из используемого интервала (функцию принадлежности параметра к множеству допустимых значений).

Процедуры построения функций принадлежности описаны в ряде работ. Так, например, в [8] предложен способ построения функций принадлежности, основанный на применении стандартных наборов графиков функций принадлежности. ЛПР выбирает наиболее подходящий ему график, а затем в диалоге с ПЭВМ определяет его параметры. Таким образом, используя такие процедуры, на данном этапе оценивают функции принадлежности всех исходных данных.

Этап 2. Определение элементов матрицы информационного тяготения между узлами проектируемой сети.

Для расчетов Ш-ЦСИС с АТМ необходимо знать числовые значения интенсивностей потоков заявок от абонентов  $k$ -й службы, поступающих на каждый элемент (узел коммутации или цифровой тракт системы передачи) сети. Эти данные определяются на основе матрицы информационного тяготения между узлами сети, в которой на пересечениях строк и столбцов для каждой пары узлов указываются исходящие и входящие потоки. Числовые значения этих потоков при наличии достоверных исходных данных рассчитываются известным образом на основе коэффициентов замыкания и тяготения нагрузки. Например, интенсивность потока заявок на виртуальные соединения от абонентов  $k$ -й службы, направленных к абонентам того же узла, определяется по формуле

$$\gamma_{ii}^{(k)} = \gamma_o^{(k)} k_{si}^{(k)},$$

где  $\gamma_o^{(k)}$  – общая (суммарная) интенсивность потока заявок на виртуальные соединения от абонентов  $k$ -й службы;

$$\gamma_o^{(k)} = \gamma^{(k)} N_i^{(k)}.$$

Аналогично, интенсивность потока заявок на виртуальные соединения от абонентов  $k$ -й службы узла  $i$  к абонентам узла  $j$  определяется по формуле

$$\gamma_{ij}^{(k)} = \gamma_o^{(k)} (1 - k_{si}^{(k)}) k_{ij}^{(k)}.$$

Затем на основании матрицы тяготения, известной структуре проектируемой сети и механизма распределения потоков находятся числовые значения интенсивностей потоков заявок от абонентов  $k$ -й службы, поступающих на каждый элемент сети (элементы матрицы тяготения).

В случае нечетко заданных исходных данных механизм расчетов элементов матрицы тяготения остается тем же самым, однако при расчетах необходимо оперировать функциями принадлежности, отображающими исходные данные, и арифметическими операциями над нечеткими числами. В результате этого элементами матрицы тяготения являются соответствующие функции принадлежности интенсивностей потока заявок на виртуальные соединения между узлами сети для каждой службы, которые вычисляются на данном этапе.

**Э т а п 3.** Определение функций принадлежности основных параметров трафика, поступающего на элементы сети.

В [4 - 5] показано, что производительность узла коммутации или скорость цифрового тракта системы передачи для обслуживания без потерь трафика, поступающего на элементы сети от источников нагрузки всех служб Ш-ЦСИС с АТМ, описывается нормальным законом распределения. При этом основные параметры такого трафика (математическое ожидание  $V$  и дисперсия  $D$ ) определяются по формулам:

$$V = \sum_{k=1}^K N_{bc}^{(k)} B_m^{(k)} = \sum_{k=1}^K \gamma_s^{(k)} T^{(k)} B_m^{(k)};$$

$$D = \sum_{k=1}^K \gamma_s^{(k)} T^{(k)} B_m^{(k)} k_p^{(k)} B_m^{(k)},$$

где  $K$  – число служб сети;  $N_{bc}^{(k)}$  – среднее число заявок на виртуальные соединения от абонентов  $k$ -й службы, поступающих на элемент сети в единицу времени;  $\gamma_s^{(k)}$  – интенсивность потока заявок от абонентов  $k$ -й службы, поступающего на элемент сети (определяется на основании известной структуры сети и используемого алгоритма распределения потоков).

В случае нечетко заданных исходных данных механизм расчетов основных параметров трафика остается тем же самым, однако при расчетах необходимо оперировать функциями принадлежности исходных данных, необходимых для проведения расчетов, и нечеткими эквивалентами арифметических операций. Таким образом, на данном этапе вычисляются функции принадлежности среднего значения  $A^V$  и дисперсии трафика  $A^D$ , поступающего на каждый элемент сети.

**Э т а п 4.** Формирование промежуточных решений задачи.

При полностью известных основных параметрах трафика и допустимом значении верхней гра-

ницы вероятности потери ячейки АТМ  $P_{PLR}$  требуемая пропускная способность элемента сети (производительность узла или скорость цифровой системы передачи) определяется по формуле

$$V_{TP} = V + u\sqrt{D}, \quad (2)$$

где  $u$  – вспомогательный коэффициент, числовое значение которого определяется в зависимости от требуемой нормы на вероятность потери ячейки АТМ  $P_{PLR}$  из таблицы, приведенной в [4].

В случае нечетко заданных исходных данных целесообразно сначала определить несколько промежуточных вариантов решений, основанных на числовых значениях исходных данных из интервалов их возможных значений, а затем выбрать из них наиболее предпочтительный. Для этого введем в рассмотрение  $S$  действительных чисел  $\alpha_s$  ( $0 \leq \alpha_s \leq 1$ ). При этом

$$\alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \alpha_3 \leq \dots \leq \alpha_S.$$

Содержательно множество введенных чисел можно интерпретировать как набор степеней доверия, при которых будут определяться промежуточные решения.

Произведем разложение нечетких множеств средних значений и дисперсий трафика, поступающего на каждый элемент сети  $A^V$  и  $A^D$ , на  $S$  четких  $\alpha$ -уровневых подмножеств  $A_\alpha^V$  и  $A_\alpha^D$  в соответствии с введенными числами [7]:

$$A^V = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \alpha A_\alpha^V, \quad A^D = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \alpha A_\alpha^D.$$

Так как вероятность потери ячейки АТМ растет с увеличением числовых значений основных параметров трафика, определим в полученных  $S$  четких  $\alpha$ -уровневых подмножествах  $A_\alpha^V$  и  $A_\alpha^D$  максимальные значения:

$$V_\alpha^{\max} = \max\{V; \forall V \in A_\alpha^V\},$$

$$D_\alpha^{\max} = \max\{D; \forall D \in A_\alpha^D\}.$$

Тогда каждый из  $S$  наборов максимальных значений  $V_\alpha^{\max}$  и  $D_\alpha^{\max}$  можно интерпретировать как исходные данные для определения требуемой пропускной способности элемента сети (производительности узла или скорости цифровой системы передачи) на основании формулы (2), причем  $\alpha_s$  является субъективной оценкой полученного решения по степени доверия. Таким образом, любой набор  $V_\alpha^{\max}$  и  $D_\alpha^{\max}$  определяет несколько решений задачи синтеза сети (1) с известной степенью доверия, каждое из которых на данном этапе рассматривается в качестве промежуточного.

**Э т а п 5.** Принятие окончательного решения.

Окончательный выбор решения целесообразно осуществлять как с учетом стоимости промежуточного решения и степени доверия к нему (известных из предыдущего этапа), так и с учетом

риска от того, что параметры трафика в сети на практике могут оказаться больше, чем использованные при расчетах элементов сети. Это может привести к тому, что потребуется установка дополнительного оборудования с целью выполнения требований по качеству обслуживания абонентов (потребуется дополнительные средства). Поэтому в качестве меры риска промежуточного решения предлагается использовать величину затрат на установку дополнительного оборудования, когда вместо использованных при расчетах данного промежуточного решения параметров трафика в сеть поступит трафик с максимально возможными параметрами (наиболее неблагоприятный случай).

Таким образом, каждое промежуточное решение задачи синтеза сети можно оценить тремя критериями, поэтому на данном этапе для принятия окончательного решения (выбора наиболее предпочтительного варианта) необходимо воспользоваться известными процедурами выбора наилучшей альтернативы из группы их, оцениваемых по нескольким количественно измеряемым критериям [9].

*Пример.* Рассматривается условный пример по синтезу Ш-ЦСИС с АТМ на участке железной дороги. Структура проектируемой сети приведена на рисунке 1 (именно такую структуру имеют Ш-ЦСИС с АТМ на участках высокоскоростных железных дорог).

Требуется определить наиболее предпочтительный вариант построения сети для организации трех служб: стандартной телефонной связи, высокоскоростной передачи файлов, видеотелефонии. Максимально допустимая вероятность потери пакета  $P_{PLR} < 10^{-3}$ .

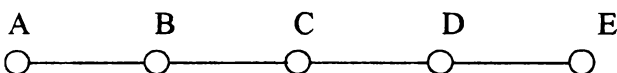


Рисунок 1 - Структура проектируемой сети

Предполагается, что при построении сети допускается использовать узлы коммутации и цифровые системы передачи, основные параметры которых приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Параметры допустимых к использованию узлов коммутации

Производительность узла, Гбит/с	2	4	6	8	10
Стоимость узла, тыс. у.е.	100	180	250	350	500

Таблица 2 – Параметры допустимых к использованию систем передачи

Скорость цифровой системы передачи, Мбит/с	140	155	622
Стоимость системы передачи, тыс. у.е.	90	110	150

Используя процедуры, описанные в [8], ЛПР построил необходимые для расчетов графики функций принадлежности исходных данных для всех служб. В качестве примера на рисунке 2 приведен график функции принадлежности коэффициента пачечности для трафика службы видеотелефонии.

Подобную форму имеют графики функции принадлежности элементов матрицы тяготения и основных параметров трафика, поступающего на элементы рассматриваемой сети.

Результаты расчетов требуемых производительностей узлов и скоростей передачи цифровых систем на участках сети для десяти промежуточных решений приведены в таблице 3.

На основании таблиц 1–3 выбраны технические средства для элементов сети, определены их стоимости, а затем получены оценки всех промежуточных решений по используемым критериям (таблица 4).



Рисунок 2 – Оценка функции принадлежности коэффициента пачечности для трафика службы видеотелефонии

Для принятия окончательного решения использовалась многокритериальная теория полезности [9], согласно которой наиболее предпочтительное решение имеет максимальное значение общей полезности

$$U = \sum_{i=1}^L k_i U_i(x_i), \quad \sum_{i=1}^L k_i = 1,$$

где  $U_i(x_i)$  – значение функции полезности для  $i$ -го критерия;  $x_i$  – числовое значение  $i$ -го критерия;  $L$  – число критериев;  $k_i$  – весовые коэффициенты критериев ( $0 \leq k_i < 1$ ).

Таблица 3 – Производительность узлов и скорость передачи цифровых систем для промежуточных решений

Промежуточные решения	Степень уверенности	Требуемая производительность узла сети, Гбит/с					Требуемая скорость участка сети, Мбит/с			
		A	B	C	D	E	A-B	B-C	C-D	D-E
1	0,1	5,86	6,85	9,35	7,58	4,09	175	242	227	161
2	0,2	5,49	6,42	9,02	7,12	3,89	169	231	217	155
3	0,3	5,09	5,97	8,73	6,64	3,68	163	219	206	149
4	0,4	4,68	5,51	8,37	6,15	3,47	156	207	196	142
5	0,5	4,26	5,02	8,05	5,63	3,25	150	195	185	136
6	0,6	3,81	4,50	7,72	5,07	3,08	143	182	174	129
7	0,7	3,33	3,95	7,38	4,47	2,78	136	170	162	123
8	0,8	2,81	3,34	7,05	3,81	2,52	129	156	151	116
9	0,9	2,20	2,64	6,71	3,05	2,25	121	143	138	109
10	1,0	1,48	1,79	6,36	2,09	1,95	113	128	125	102

Таблица 4 – Оценка промежуточных решений

Промежуточное решение	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Степень уверенности	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Общая стоимость, тыс. у. е.	1910	1840	1840	1840	1840	1610	1520	1410	1350	1090
Возможные дополнительные затраты, тыс. у. е.	0	70	70	70	70	300	390	500	560	820
Полезность решения	0,52	0,53	0,66	0,56	0,58	0,62	0,61	0,58	0,60	0,48

На основе процедур, детально описанных в монографии [9], построены графики функций полезности  $U_i(x)$  каждого из трех используемых критериев для ЛПР (для примера на рисунке 3 приведена функция полезности критерия “Общая стоимость сети”), а также определены числовые значения весовых коэффициентов критериев ( $k_1 = 0,14$ ;  $k_2 = 0,34$ ;  $k_3 = 0,52$ ).

На основании полученных коэффициентов и функций полезности для каждого критерия рассчитаны числовые значения общей функции полезности всех промежуточных решений, которые приведены в последней строке таблицы 4. Таким образом, из таблицы 4 следует, что в качестве окончательного (наиболее предпочтительного) решения следует выбрать третье промежуточное решение.

В заключение следует отметить, что предлагаемая методика основывается на множестве задаваемых проектировщиком (заказчиком) исходных данных, субъективно оцениваемых соответствующей степенью доверия. При использовании такого подхода проектировщик (заказчик) должен определить интервал возможных изменений всех используемых при расчетах исходных данных, оценить степень принадлежности их к множеству

возможных значений, а также риск от реализации основанного на них решения.

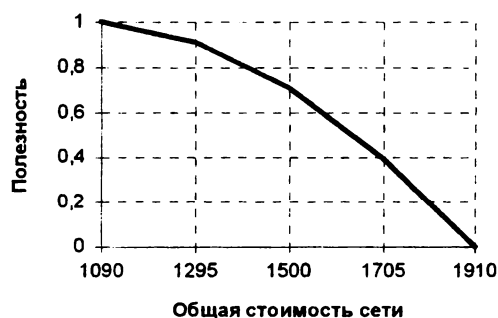


Рисунок 3 - Функция полезности критерия “Общая стоимость”, отражающая предпочтения ЛПР

Поэтому применение предлагаемой методики наиболее целесообразно на начальных этапах жизненного цикла Ш-ЦСИС с АТМ ведомств (корпораций), характеризующихся отсутствием статистически достоверных данных об основных параметрах ожидаемого трафика. Именно такая ситуация характерна для железных дорог, которые планируют поэтапное использование Ш-ЦСИС с АТМ в ближайшем будущем.

#### Список литературы

- 1 Лазарев В. Г. Интеллектуальные цифровые сети: Справочник. - М.: Финансы и статистика, 1996.
- 2 Нейман В. И. Сети с асинхронным способом передачи АТМ // Автоматика, телемеханика и связь. 1997. № 2. С.19–24.
- 3 Пороцкий С. М. Дискретная марковская модель функционирования узла АТМ-сети // Автоматика и телемеханика. 1996. № 4. С.110–117.

- 4 Назаров А. Н., Симонов М. В. АТМ: технология высокоскоростных сетей. – М.: Эко-Трендз, 1997.
- 5 Назаров А. Н. Модель и метод статистического мультиплексирования трафика в цифровых трактах с оценкой качества функционирования узлового оборудования АТМ сетей // Электросвязь. 2000. № 3. С.14–19.
- 6 Мартынов В. И. Синтез сети с коммутацией пакетов при нечетко заданных параметрах нагрузки // Электросвязь. 1999. № 5. С.30–32.

7 Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта/ Под ред. Д.А.Поспелова.–М.: Наука,1986.

8 Модели принятия решений на основе лингвистической переменной / А.Н.Борисов и др.– Рига: Зинатне, 1982.

9 Кини Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь, 1981.

Получено 22.10.1999

**A. N. Seneniouta.** A method for ATM network synthesis in fuzzy decision making environment.

A method for ATM network synthesis in fuzzy decision making environment has been suggested along with application to a part of high-speed railway.