

П. А. Михеев, С. П. Сущенко (Томск, ТГУ). Анализ агрегирующего порта маршрутизатора с однородными последовательными интерфейсами.

Рассмотрим звездообразный фрагмент сети, включающий в себя  $M + 1$  звеньев передачи данных, в котором в центральный транзитный узел по  $M$  входящим последовательным каналам связи поступают информационные потоки и мультиплексируются в один исходящий канал связи. Пусть обмен в каждом звене выполняется полными кадрами и организован в соответствии со старт-стопным протоколом, согласно которому кадр считается принятым узлом-приемником, если в нем не обнаружены ошибки. При искажении информационного кадра или квитанции, подтверждающей правильность приема кадра получателем, происходит повторная передача. Полагаем, что все каналы связи имеют одинаковое быстродействие, а узлы-отправители и узлы-получатели — одинаковое время обработки кадров при приеме и отправке. Тогда время полного цикла передачи кадра  $t$  будет одинаковым для всех звеньев рассматриваемого фрагмента. Будем считать, кроме того, что кадр, поступивший в транзитный узел в текущем цикле  $t$ , начнет передаваться по выходному каналу только в следующем цикле. Полагаем также, что безошибочная передача кадра данных во входящих каналах определяется вероятностями  $F_m$ ,  $m = 1, 2, \dots, M$ , а в исходящем канале — вероятностью  $F$ . Нетрудно усмотреть, что время безошибочной передачи кадра по каждому межузловому соединению является случайной величиной, кратной  $t$ . Если условия первой и повторных передач одинаковы, то данная величина имеет геометрический закон распределения с параметром  $F_m$  во входящих каналах и  $F$  — в исходящем канале связи. Будем считать также, что для хранения пакетов в выходной очереди в транзитном узле выделен пул совместно используемой буферной памяти объема  $N$ . Поведение рассматриваемого сетевого фрагмента представим в виде марковской системы массового обслуживания (СМО) с дискретным временем, конечным накопителем и одним обслуживающим прибором. Групповой входящий поток СМО определяется качеством входящих каналов  $F_m$ , а время обслуживания — качеством исходящего канала  $F$ . Динамика очереди к выходному каналу связи данной СМО описывается цепью Маркова. Мощность множества возможных состояний цепи Маркова определяется размерами буферной памяти. Важнейшей характеристикой СМО ограниченной емкости является пропускная способность. В рассматриваемом случае нормированное значение этого показателя определяется величиной пропущенного (обслуженного) потока:  $Z(F, F_1, \dots, F_M) = F \sum_{m=1}^M P_m$ , где  $P_m$  — вероятности состояний цепи Маркова. Анализ показывает, что для узла с однородными по быстродействию сетевыми интерфейсами пропускная способность фрагмента при наличии хотя бы одного абсолютно надежного входящего канала полностью определяется качеством исходящей линии связи  $F$ . В целом зависимость пропускной способности от достоверности передачи данных в выходном канале мажорируется кусочно линейной функцией

$$Z^*(F, F_1, \dots, F_M) = \begin{cases} F, & F \leq \sum_{m=1}^M F_m, \\ \sum_{m=1}^M F_m, & F > \sum_{m=1}^M F_m. \end{cases}$$

В наибольшей мере функция пропускной способности  $Z$  отстоит от мажоранты  $Z^*$  в точке  $F = \sum_{m=1}^M F_m \leq 1$ , а при  $\sum_{m=1}^M F_m > 1$  — в точке  $F = 1$ . Однако с ростом емкости буферной памяти  $N$  транзитного узла, агрегирующего входящий трафик от  $M$  каналов связи, потенциальные значения функции пропускной способности асимптотически приближаются снизу к кусочно линейной мажоранте  $Z^*$ . Этот факт хорошо согласуется с житейскими представлениями о том, что пропускная способность конвейера не превышает пропускной способности его самого «узкого участка». Отметим также, что минимум функции пропускной способности при прочих равных условиях достигается для однородных по качеству входящих каналов связи ( $F_m = F_* > 0$ ,  $m = 1, 2, \dots, M$ ). С ростом же неоднородности качества различных входящих кана-

лов при выполнении условия  $\sum_{m=1}^M F_m = \text{const}$  пропускная способность увеличивается, и при достижении по меньшей мере одним из входящих каналов абсолютной надежности ( $F_m = 1$ ) пропускная способность сетевого фрагмента возрастает до потенциально возможного значения  $F$ .