М. А. Б у т а к о в а, **С. В. Ч у б е й к о** (Ростов-на-Дону, РГУПС)**. Некоторые аспекты математических моделей очередей с обеспечением качества обслуживания.**

Модели теории систем и сетей массового обслуживания (СМО и СеМО) на протяжении многих лет являются одними из наиболее распространенных моделей вычислительных систем и информационных сетей. Тем не менее, возрастающая сложность топологии информационных сетей, увеличение объемов передаваемой информации, разнородность и «взрывной» характер трафика, наличие в нем свойств самоподобия и долговременной зависимости, интенсивно изучаемых на нынешнем этапе моделирования информационных сетей, делают все более затруднительными применение в этой области Марковских СеМО. Еще одним обстоятельством, ограничивающим применение хорошо изученных методов теории СМО и СеМО, является активное использование в реально существующих распределенных информационных системах и сетях принципов обеспечения некоторого гарантированного уровня качества услуг, предоставляемых пользователям сетей.

В связи с этим, в течение последнего десятилетия развивается подход к моделированию информационных систем и сетей на основе моделей очередей с обеспечением качества обслуживания, называемый в зарубежной научной литературе «network calculus» [1, 2], пока не имеющий соответствующего устоявшегося русскоязычного термина. Очевидно, что буквальный перевод термина «network calculus» — «сетевое исчисление» никак не отражает сути моделей, положенных в основу этого метода моделирования, поэтому (приближенно) названный термин можно охарактеризовать как «методы моделирования инфокоммуникационных сетей с учетом требований производительности и качества обслуживания». Отметим особенности вышеназванного метода моделирования, несколько отличающего его от широко известных в СМО и СеМО методов: входной поток имеет «взрывной характер», большие уклонения, что может означать возможность описания входного потока заявок на обслуживание вероятностными распределениями, имеющими бесконечное математическое ожидание; функционирование элементов обслуживания в общем случае описывается нелинейными соотношениями «вход–выход», что может привести к невозможности адекватного подбора вероятностного распределения длительности обслуживания из числа известных; длина очереди элемента обслуживания не является бесконечной, но может динамически изменяться для обеспечения некоторых заранее заданных гарантированных характеристик качества обслуживания; дисциплина обслуживания может динамически изменять как правила отказа требований в обслуживании, так и правила выбора требований на обслуживание в соответствии с некоторыми заранее заданными граничными значениями, обеспечивающими гарантированный уровень качества обслуживания.

В соответствии с данными особенностями обслуживания математический аппарат «network calculus» состоит из: 1) моделей входного потока и его фильтрации; 2) моделей описания нелинейных устройств обслуживания и методов их линеаризации; 3) моделей управления параметрами обслуживания и методами описания соотношений, характеризующих выходной поток. Заметим также, что модели входного потока и модели обслуживания описываются как кумулятивные процессы.

Обозначим $A(t)$ — кумулятивный входящий поток, $A^*(t)$ — кумулятивный исходящий поток на интервале времени $(0,t]$, $S(t)$ — кумулятивный поток обслуживания, $A(0)=A^*(0)=S(0)=0$, $0\leqslant s\leqslant t$, $A(s,t)=A(t)-A(s)$, $A^*(s,t)=A^*(t)-A^*(s)$, $S(s,t)=S(t)-S(s)$.

Обозначим $F=\{f(\cdot)\colon\, 0\leqslant f(x)\leqslant f(y)$ для всех $0\leqslant x\leqslant y\}$ — множество неотрицательных в широком смысле неубывающих функций, $\widehat{F}=\{f(\cdot)\colon\, 0\leqslant f(y)\leqslant f(x)$ для всех $0\leqslant x\leqslant y\}$ — множество неотрицательных в широком смысле невозрастающих функций.

Утверждение 1. *Для входного кумулятивного потока можно построить* *фильтрующий функционал* $A \sim \langle \alpha, \beta \rangle$, $\alpha \in F$, $\beta \in \widehat{F}$, *обеспечивающий заданные границы входного потока, если для всех* $t \geqslant 0$ *и* $x \geqslant 0$

$$\mathbf{P}\left\{ \sup_{0 \leqslant x \leqslant t} \sup_{0 \leqslant u \leqslant s} [A(u, s) - \beta(s - u) > x] \right\} \leqslant \alpha(x).$$

Утверждение 2. *Для входного кумулятивного потока* $A(t)$ *можно построить функционал обслуживания* $S \sim \langle \gamma, \delta \rangle$, $\gamma \in F$, $\delta \in \widehat{F}$, *обеспечивающий заданные границы кумулятивного потока обслуживания* $S(t)$, *если* $\mathbf{P}\left\{\sup_{0 \leqslant x \leqslant t}[A \otimes \gamma - A^*(s)] > x\right\} \leqslant \delta(x)$ *для всех* $t \geqslant 0$ *и* $x \geqslant 0$, *где* $(f \otimes g)(t) = \inf_{0 \leqslant x \leqslant t}\{f(sg(t - s)\}$.

Утверждения 1 и 2 предназначены для определения граничных значений характеристик обслуживания при решении задачи обеспечения качества обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Le Boudec J. Y.*, *Thiran P.* Network Calculus. New York: Springer-Verlag, 2001, v. LNCS 2050, Lecture Notes in Computer Science.
2. *Jiang Y.*, *Liu Y.* Stochastic Network Calculus. New York: Springer, 2008.