**К РАСЧЕТУ ВЕРОЯТНОСТИ БЛОКИРОВКИ
ФИЗИЧЕСКОГО КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ «ВНИЗ» В
СЕТИ 5G NEW RADIO**

Назарьин Артем Игоревич

Студент

Факультет ФМиЕН РУДН имени П. Лумумбы, Москва, Россия

E-mail: nazaryin-ai@pfur.ru

Научный руководитель — Сопин Эдуард Сергеевич

Для анализа показателей эффективности беспроводных сетей используется математический аппарат теории массового обслуживания, в частности, ресурсные системы массового обслуживания (РесМО) [1]. В сетях 5G New Radio (NR), в сравнении с сетями предыдущих поколений, используются более сложные антенны с большим количеством конфигураций. Из-за этого растет объем информации, который требуется передавать в физическом канале управления «вниз» (PDCCH, Physical Downlink Control Channel), что, в свою очередь, приводит к возможному недостатку емкости этого канала. Таким образом, для оценки показателей эффективности функционирования сети 5G NR необходимы методы расчета вероятности блокировки не только в общем транспортном физическом канале линии «вниз» (PDSCH, Physical Downlink Shared Channel), но и в физическом канале управления «вниз».

В данной работе построена РесМО с N приборами, представляющими максимальное число пользовательских устройств, поддерживаемых базовой станцией 5G NR, $M = 2$ типами ресурсов и вектором $\mathbf{R} = (R_1, R_2)$, характеризующим распределение общего числа физических ресурсных блоков (PRB, Physical Resource Block) между каналами PDCCH и PDSCH. Заявки поступают в систему согласно пуассоновскому процессу с интенсивностью λ , время обслуживания распределено экспоненциально с параметром μ . Каждая заявка требует одно место в системе и случайный вектор ресурсов $\mathbf{r} = (r_1, r_2)$, распределенный в соответствии с заданным распределением $\{p_j\}$, $0 < j \leq \mathbf{R}$, где p_j представляет собой вероятность того, что сессии передачи данных требуется j_1 PRB в физическом транспортном канале PDSCH и j_2 PRB в контрольном канале PDCCH. Для уменьшения пространства состояний рассматривается упрощенная система, в которой отслеживается только общий объем занятых ресурсов. В [2] показано, что стационарные распределения в исходной и упрощенной модели совпадают. Схема модели представлена на

рис. 1.

Пусть в системе находится $\xi(t)$ заявок, занимающих суммарно $\gamma(t) = (\gamma_1(t), \gamma_2(t))$ единиц ресурса в момент времени t . Поведение системы описывается случайным процессом $X(t) = \{\xi(t), \gamma(t) : 0 \leq n \leq N, \mathbf{0} \leq \mathbf{r} \leq \mathbf{R}\}$. Система удовлетворяет следующим условиям: если в момент времени t_i поступления заявки в системе находится $\xi(t_i) = N$ заявок, то поступившая заявка сбрасывается; если поступившая в момент времени t_i заявка требует больше ресурсов, чем доступно, т. е. $(\mathbf{R} - \gamma < \mathbf{r})$, то поступившая заявка сбрасывается; если в момент времени t_i поступления заявки $\xi(t_i) < N$ и требуется $(\mathbf{R} - \gamma \geq \mathbf{r})$ ресурсных единиц, заявка принимается для обслуживания и занимает $\mathbf{r}$ ресурсов. По завершении обслуживания заявка покидает систему, освобождая занятый ею объем ресурсов.

Пусть $p_{\mathbf{j}}^{(k)}$ обозначает вероятность того, что k заявок совместно требуют $\mathbf{j}$ ресурсов. Отметим, что эти вероятности представляют собой k -кратную свертку исходного распределения $p_{\mathbf{j}}$ и могут быть вычислены рекуррентно:

$$p_{\mathbf{j}}^{(k)} = \sum_{\mathbf{0} \leq \mathbf{i} \leq \mathbf{j}} p_{\mathbf{i}} p_{\mathbf{j}-\mathbf{i}}^{(k-1)}, 2 \leq k \leq N. \quad (1)$$

Согласно [2], стационарные вероятности процесса $X(t)$ можно найти по формулам:

$$q_0 = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\xi(t) = 0\} = \left(1 + \sum_{k=1}^N \frac{\rho^k}{k!} \sum_{\mathbf{0} \leq \mathbf{r} \leq \mathbf{R}} p_{\mathbf{r}}^{(k)} \right)^{-1},$$

$$q_k(\mathbf{r}) = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\xi(t) = k, \gamma(t) = \mathbf{r}\} = q_0 p_{\mathbf{r}}^{(k)} \frac{\rho^k}{k!}, \quad (2)$$

$$1 \leq k \leq N, \mathbf{0} \leq \mathbf{r} \leq \mathbf{R},$$

где $\rho = \lambda/\mu$.

Для расчета вероятности потери π суммируются вероятности $q_N(\mathbf{r})$, соответствующие состояниям, в которых система заполнена, и вероятности того, что в системе закончился ресурс:

$$\pi = q_0 \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\rho^k}{k!} \sum_{\mathbf{0} \leq \mathbf{r} \leq \mathbf{R}} p_{\mathbf{r}}^{(k)} \left(1 - \sum_{\mathbf{0} \leq \mathbf{j} \leq \mathbf{R}-\mathbf{r}} p_{\mathbf{j}} \right) + q_0 \frac{\rho^N}{N!} \sum_{\mathbf{0} \leq \mathbf{r} \leq \mathbf{R}} p_{\mathbf{r}}^{(N)}. \quad (3)$$