

УДК 004.005

В. В. Климов, М. Н. Чепцов

Государственная образовательная организация высшего профессионального образования  
«Донецкий институт железнодорожного транспорта», г. Донецк  
283018, г. Донецк, ул. Горная, 6

## МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОЦЕНКИ РАЗМЕРА БУФЕРА КОНТРОЛЛЕРА БАЗОВОЙ СТАНЦИИ

V. V. Klimov, M. N. Cheptsov

State Educational Organization Of Higher Professional Education  
"Donetsk Institute of Railway Transport", Donetsk  
283018, c. Donetsk, Gornaya av.

## BASE STATION CONTROLLER BUFFER'S SIZE ESTIMATING PREDICTION METHOD

В. В. Клімов, М. М. Чепцов

Державна освітня організація вищої професійної освіти  
«Донецький інститут залізничного транспорту», м. Донецьк  
283018, г. Донецьк, вул. Горна, 6

## МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ОЦІНКИ РОЗМІРУ БУФЕРА КОНТРОЛЕРА БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ

В статье рассматривается задача прогнозирования оценки размера буфера контроллера базовой станции. Представлена дискретно-событийная модель работы планировщика в базе Max-Plus алгебры, учитывающая задержки на обработку запросов. Это позволяет отобразить динамику работы планировщика и повышает точность прогнозирования.

**Ключевые слова:** оценка объема буфера, Max-Plus алгебра, задержка на обработку запросов.

The article discusses the problem of predicting base station controller's buffer size estimate. A discrete-event model of the scheduler operation in the Max-Plus algebra basis, taking into account the query processing delays, is presented. It allows to display the dynamics of the planner and improves the accuracy of forecasting.

**Key words:** buffer size estimation, Max-Plus algebra, the query processing delays.

У статті обговорюється проблема прогнозування оцінки розміру буфера контролера базової станції. Представлена дискретно-подієва модель роботи планувальника в базисі Max-Plus алгебри з урахуванням затримок обробки запитів. Це дозволяє відображати динаміку планувальника і підвищує точність прогнозування.

**Ключові слова:** оцінки розміру буфера, Max-Plus алгебра, затримка обробки запитів.

Задача перераспределения ресурсов сетей передачи данных, независимо от способа переноса информации, становится все более острой в последнее десятилетие. Это вызвано резким увеличением пользователей и их требований к предоставляемым услугам. Таким образом, исследователи все чаще обращаются к задачам прогнозирования параметров и характеристик сетей передачи данных. К одной из вышеперечисленных относится задача прогнозирования оценки размера буферного пространства для контроллера базовой станции.

Прогнозирование оценки размера буферного пространства для контроллера базовой станции зависит от нескольких факторов, начиная от закона распределения поступающих пакетов и заканчивая дисциплиной обслуживания уже поступивших. Если для первого случая есть достаточное количество методов прогнозирования [1], то описанию последнего случая до сих пор посвящено большое количество исследований. При этом случайная составляющая формирует специфические характеристики поступающего трафика. В данной работе эта составляющая – фрактальный процесс. В общем случае, размер буфера должен быть большим для приема достаточного объема поступающего трафика. Это позволит обрабатывать трафик с высокой пачечностью. С другой стороны, время обработки трафика в буфере ограничивает его размер. Время на обработку пакетов должно соответствовать требуемому параметру задержки, или ее джиттера, согласно QoS (Quality of Service). Исходя из вышеперечисленного, ограничивая скорость поступающего трафика и регулируя процесс обслуживания трафика в буфере, достигается требуемое значение параметра QoS. Следовательно, **целью статьи** является разработка дискретно-событийной модели работы планировщика в базисе Max-Plus алгебры, учитывающей задержки на обработку запросов, что позволит отобразить динамику работы планировщика и повышает точность прогнозирования оценок эффективности работы участка транспортной сети. **Исследовательская задача** состоит в формализации различных моделей планировщиков в терминах идемпотентной алгебры для их представления в виде дискретно-событийных моделей, с учетом соответствующих параметров качества обслуживания для оценки необходимого объема размера буфера контроллера базовой станции.

Средства ограничения доступа трафика в буфер можно разделить на два больших класса: пассивные и активные. К пассивным средствам ограничения относится группа алгоритмов Drop Tail [2]. Общий принцип этих алгоритмов заключается в принудительном ограничении длины очереди. Таким образом, возникают потери трафика с большой пачечностью. Алгоритмы активных средств ограничения очередями обладают рядом возможностей, по сравнению с пассивными. К таким возможностям относятся: ограничение вероятности захвата очереди пакетами одного потока; заблаговременное обнаружение перегрузки; уменьшение величины задержки пакета в буфере контроллера базовой станции. Это позволяет использовать сетевые ресурсы эффективнее. К алгоритмам активного класса средств ограничения относятся: RED, ARED, MRED, RIO, FRED [3] и пр. К недостаткам данной группы алгоритмов можно отнести отсутствие универсальности для разнотипного трафика, т.е. под каждый из типов трафика существует свой «идеальный» алгоритм, а также усложнение технической реализации вместе с ужесточением требований по обеспечению параметров качества обслуживания.

Кроме вышеперечисленных средств ограничения доступа трафика, существует ряд средств уменьшения его пачечности. Это достигается путем кондиционирования и используется для максимально возможного исключения вероятностной состав-

ляющей. В качестве средств кондиционирования трафика могут использоваться, как средства допуска нагрузки (Leaky bucket, Token bucket), так и планировщики обслуживания очередей.

Рассмотрим одну из математических моделей планировщика, временные диаграммы работы которого представлены на рис. 1. Идея планировщика обслуживания очередей в сетевом устройстве связана с понятием функции «виртуальное время». Физический смысл данной функции состоит в нахождении определенного момента времени, к которому привязываются все процессы поступления и обслуживания пакетов в планировщике.

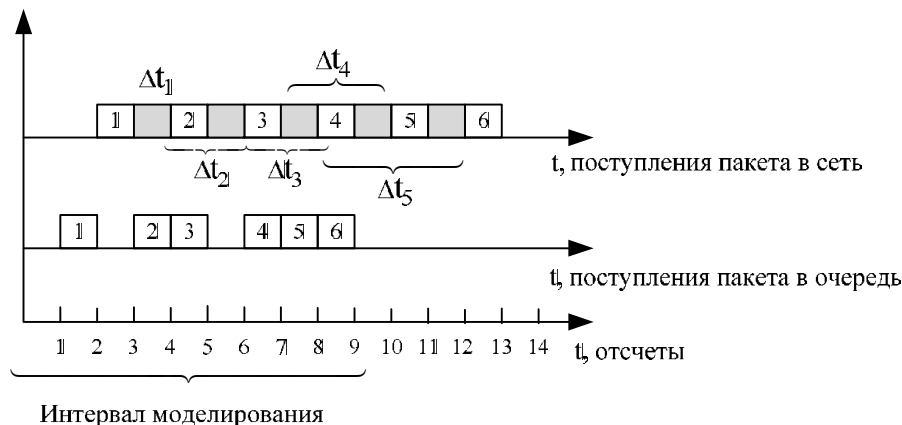


Рисунок 1 – Временные диаграммы работы планировщика

Рассмотрим основные принципы работы этой функции. Пусть время поступления первого пакета  $t_1 = 0$ . Значение функции «виртуальное время»  $V(t)$ , если отсутствует нагрузка равно 0, а в некоторый период  $\tau \leq t_j - t_{j-1}$ , может быть вычислено, в соответствии со следующим выражением:

$$V(t_{j-1} + \tau) = V(t_{j-1}) + \frac{\tau}{\sum_{i \in B_j} r_i}, \quad j = 2, 3, \dots, \quad (1)$$

где  $B_j$  – потоки, у которых хотя бы один из пакетов стоит в очереди на обслуживание («бэклог»-потоки).

Функция «виртуальное время» может быть также интерпретирована как скорость, с которой обслуживаются «бэклог»-потоки. Пусть  $k$ -й пакет,  $i$ -го потока поступает в одну из очередей классификатора в момент времени  $a_{i,k}$  и имеет длину  $L_{i,k}$ . Тогда значение «виртуальное время» окончания обслуживания  $F_{i,k}$  может быть определено из соотношения:

$$S_{i,k} = \max\{F_{i,k-1}, V(a_{i,k})\}, \quad (2)$$

$$F_{i,k} = S_{i,k} + \frac{L_{i,k}}{r_i}, \quad (3)$$

где  $S_{i,k}$  – значение параметра «время поступления»  $k$ -го пакета  $i$ -го потока в очередь;  $F_{i,k}$  – значение параметра «время окончания обслуживания»  $k$ -го пакета  $i$ -го потока;  $V(a_{i,k})$  – значение функции «виртуальное время» в момент времени  $a_{i,k}$  для  $k$ -го пакета  $i$ -го потока;  $L_{i,k}$  – длина  $k$ -го пакета,  $i$ -го потока;  $r_i$  – величина пропускной способности, выделяемая для обслуживания  $i$ -го потока.

Перепишем выражения (2) и (3) для  $N$  «бэклог»-потоков, причем  $N < m$ , где  $m$  – количество очередей в сетевом устройстве:

$$\mathbf{F}(k+1) = \max\{\mathbf{F}(k), \mathbf{V}(a(k+1))\} + \frac{\mathbf{L}(k+1)}{r}, \quad (4)$$

где  $\mathbf{F}$  – вектор-столбец значений «виртуального времени» окончания обслуживания, размерности  $N \times 1$ , где  $N$  – количество «бэклог»-потоков.

Матрица  $\mathbf{V}$ , с размерностью  $N \times N$ , характеризует значения функции «виртуальное время» поступления пакетов в очереди классификатора. Постоянная величина  $r$  характеризует величину пропускной способности, которая выделяется под  $N$  «бэклог»-потоков. Вектор-столбец  $\mathbf{L}(k+1)$  характеризует длины пакетов, поступающих в очереди классификатора. Таким образом, выражение (4) отображает динамику работы планировщика со взвешенным обслуживанием очередей. Применение данного способа кондиционирования трафика, по представленной выше математической модели, априори предполагает следующие трудности: сложность в вычислениях, из-за нелинейности уравнения (4) и ухудшение показателей качества обслуживания, так как потоки будут задерживаться, ожидая обслуживания. Следовательно, представленная математическая модель должна быть модифицирована для устранения либо ослабления этих недостатков.

Рассмотрим следующую модель работы планировщика в контроллере базовой станции. Для оценки размера буфера рассмотрим следующий временно-событийный граф:

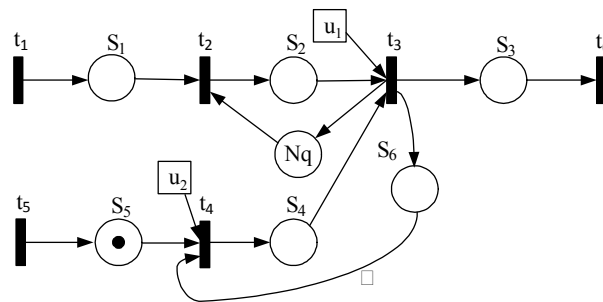


Рисунок 2 – Временно-событийный граф с управляемым переходом

Для графа, представленного на рисунке 2, введем следующие переменные:  $t_1$  – поступление заявки/пакета;  $t_2$  – заявка/пакет становится очередь планировщика, емкостью  $N_q$ ;  $t_3$  – заявка/пакет обслуживаются устройством с заданным законом обслуживания  $\alpha$ ;  $t_4$  – управление очередью;  $t_5$  – поступление управляющего воздействия;  $t_6$  – поступление пакета в сеть. Автономные переходы, запуски которых не зависят от маркировки в сети Петри, обозначены  $t_1$  и  $t_5$ . Временные моменты запуска переходов  $t_1$  и  $t_5$  образуют входящую последовательность  $\{u_1(k)\}_{k \geq 1}$  и  $\{u_2(k)\}_{k \geq 1}$ . Запуск перехода  $t_6$  рассматривается как выход, и соответствующий временной момент  $k$ -го запуска данного перехода обозначен через  $y(k)$ . Пусть  $x_1(k), x_2(k), x_3(k)$  соответствуют моментам  $k$ -го запуска переходов  $t_2, t_3$  и  $t_4$ . Для всех выражений, рассматриваемых далее операция « $\cdot$ » соответствует операции «обобщенное умножение» для идемпотентного полуполя, а операция « $\oplus$ » – «обобщенное сложение» соответственно.

Тогда

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= x_2(k - N_q + 1) \oplus u_1(k+1), \\ x_2(k+1) &= x_1(k+1) \oplus x_2(k) \oplus x_3(k+1), \\ x_3(k+1) &= \alpha \cdot x_3(k) \oplus u_2(k+1) \\ y(k) &= x_2(k) \end{aligned} \tag{5}$$

или в матрично-векторной форме

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(k+1) &= \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ e & \varepsilon & e \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \end{pmatrix}}_{=\mathbf{A}_0} \cdot \mathbf{x}(k+1) \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & e & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & e \end{pmatrix}}_{=\mathbf{A}_1} \cdot \mathbf{x}(k) \oplus \dots \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon & e & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \end{pmatrix}}_{=\mathbf{A}_{N_q}} \cdot \mathbf{x}(k - N_q + 1) \oplus \\ &\oplus \underbrace{\begin{pmatrix} e & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \alpha \end{pmatrix}}_{=\mathbf{B}_0} \cdot \mathbf{u}(k+1), \\ y(k) &= \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon & e & \varepsilon \end{pmatrix}}_{=\mathbf{C}_1} \cdot \mathbf{x}(k), \end{aligned}$$

где  $\mathbf{x}(k) = (x_1(k) \quad x_2(k) \quad x_3(k))^T$ , а все матрицы  $\mathbf{A}_i = \mathbf{N}$ ,  $i = \overline{2, N_q - 1}$ .

Первое уравнение в (5) можно переписать в явном виде следующим образом [4]:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(k+1) &= \mathbf{A}_0^* \cdot (\mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{x}(k) \oplus \mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{x}(k-1) \oplus \dots \oplus \mathbf{B}_0 \cdot \mathbf{u}(k+1)) \tag{6} \\ \mathbf{x}(k+1) &= \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & e & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & e \end{pmatrix}}_{=\mathbf{A}_1} \cdot \mathbf{x}(k) \oplus \dots \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \varepsilon & e & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \end{pmatrix}}_{=\mathbf{A}_{N_q}} \cdot \mathbf{x}(k - N_q + 1) \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} e & e \\ \varepsilon & e \\ \varepsilon & \alpha \end{pmatrix}}_{=\mathbf{B}_0} \cdot \mathbf{u}(k+1). \end{aligned}$$

Введем обозначения:  $\tilde{\mathbf{x}}(k) = (\mathbf{x}(k)^T \quad \mathbf{x}(k-1)^T \quad \dots \quad \mathbf{x}(k - N_q + 1)^T)^T$  и  $\tilde{\mathbf{u}}(k) = \mathbf{u}(k+1)$ , тогда из (6):

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \mathbf{x}(k+1) \\ \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{x}(k-1) \\ \dots \\ \mathbf{x}(k - N_q + 3) \\ \mathbf{x}(k - N_q + 2) \end{pmatrix} &= \underbrace{\begin{pmatrix} \overline{\mathbf{A}}_1 & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \dots & \mathbf{N} & \overline{\mathbf{A}}_{N_q} \\ \mathbf{E} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \dots & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \mathbf{E} & \mathbf{N} & \dots & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \dots & \mathbf{N} & \mathbf{N} \\ \mathbf{N} & \mathbf{N} & \mathbf{N} & \dots & \mathbf{E} & \mathbf{N} \end{pmatrix}}_{=\mathbf{A}} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{x}(k-1) \\ \mathbf{x}(k-2) \\ \dots \\ \mathbf{x}(k - N_q + 2) \\ \mathbf{x}(k - N_q + 1) \end{pmatrix} \oplus \underbrace{\begin{pmatrix} \overline{\mathbf{B}}_0 \\ \mathbf{N} \\ \mathbf{N} \\ \dots \\ \mathbf{N} \\ \mathbf{N} \end{pmatrix}}_{=\mathbf{B}} \cdot \tilde{\mathbf{u}}(k), \tag{7} \\ y(k) &= \underbrace{\begin{pmatrix} \mathbf{C}_1 & \mathbf{N} & \dots & \mathbf{N} \end{pmatrix}}_{=\mathbf{C}} \cdot (\mathbf{x}(k)^T \quad \mathbf{x}(k-1)^T \quad \dots \quad \mathbf{x}(k - N_q + 1)^T)^T, \end{aligned}$$

что дает возможность переписать уравнения (5) в форме, соответствующей уравнениям в пространстве состояний:

$$\begin{aligned}\tilde{\mathbf{x}}(k+1) &= \mathbf{A} \cdot \tilde{\mathbf{x}}(k) \oplus \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}(k), \\ y(k) &= \mathbf{C} \cdot \tilde{\mathbf{x}}(k).\end{aligned}\quad (8)$$

На рис. 3 приведена диаграмма Гантта процесса обслуживания заявок устройством с буфером емкостью  $N_q = 3$ .

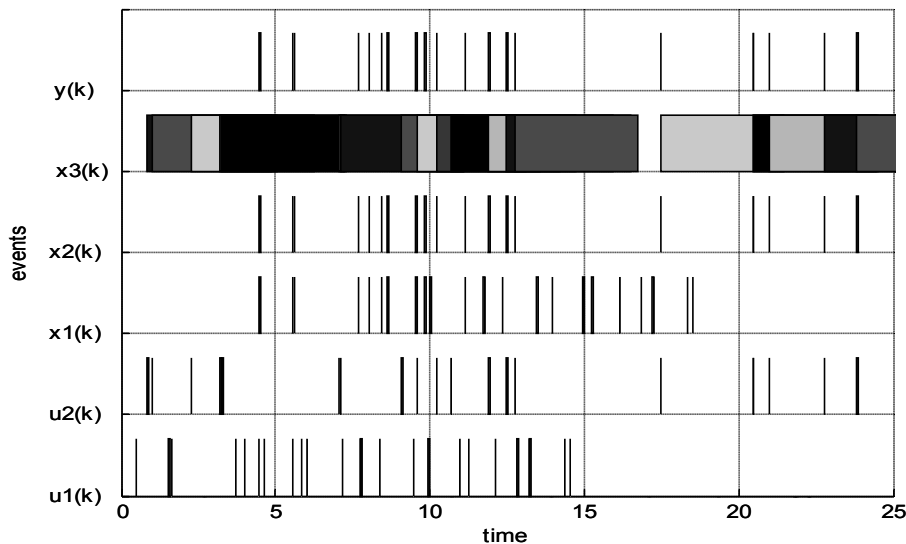


Рисунок 3 – Диаграмма Гантта процесса обслуживания заявок устройством с буфером конечной емкости  $N_q = 3$

На представленной диаграмме просматриваются моменты: поступления заявок в буфер устройства  $x_1(k)$  (запуск перехода  $t_2$ ), начала обслуживания заявки/пакета устройством  $x_2(k)$  (запуск перехода  $t_3$ ), поступления управляющего воздействия  $x_4(k)$  (запуск перехода  $t_4$ ), а также моменты времени поступления заявки/пакета в сеть  $y(k)$ .

Данная модель позволяет описывать такие параметры, как времена поступления пакетов в очередь на обслуживание, с учетом процесса обслуживания при заданном законе обслуживания. То есть данная модель позволяет отображать оценку интенсивности поступления пакетов в очередь. Представленная модель отображает работу классического планировщика с одной очередью.

В качестве математической модели, позволяющей наиболее точно описывать работу планировщика, используется модель планировщика со взвешенным обслуживанием очередей. В этой модели учтены такие параметры, как: вносимые задержки, размер буферного пространства каждой очереди.

Для нахождения оценки объема буфера контроллера базовой станции, формализуем задачу использования канала выходного интерфейса с заданным качеством обслуживания, введем следующие ограничения:

$$\tilde{\mathbf{d}} \leq \mathbf{d}_{\max}, \quad (9)$$

$$\mathbf{r}^{вых} \leq \mathbf{r}^{преб}, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N r_i^{вых} \leq C, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (11)$$

где  $\mathbf{d}_{\max}$  – вектор максимально допустимых задержек для потоков в очередях;  $N$  – число «бэклог»-потоков и размерность векторов;  $\mathbf{r}^{преб}$  – вектор необходимых, согласно SLA (Service Level Agreement), интенсивностей обслуживания очередей;  $\mathbf{r}^{вых}$  – вектор интенсивностей обслуживания потоков;  $C$  – скорость выходного интерфейса.

$$\frac{\mathbf{L}(k+1)}{r} \otimes \tilde{\mathbf{V}}(a(k+1)) = \tilde{\mathbf{F}}(k+1),$$

$$\tilde{\mathbf{V}}(a(k+1)) = \frac{\mathbf{L}(k+1)}{r} \otimes' \tilde{\mathbf{F}}(k+1), \quad (12)$$

$$\mathbf{D} = \tilde{\mathbf{V}}(a(k+1)) - \mathbf{V}(a(k+1)). \quad (13)$$

Для нахождения необходимого значения емкости буфера, достаточно найти математически разницу между значениями функций «виртуальное время» обслуживания, для кондиционированного и не кондиционированного трафика, решив уравнение (13) относительно функции  $\tilde{\mathbf{V}}(a(k+1))$ .

Ограничения (9) могут быть рассчитаны, исходя из следующих соображений. Вектор  $\mathbf{e}$ , характеризующий время, затрачиваемое на обслуживание, вносит некоторую величину задержки в ее значение «из конца-в-конец» и фактически «замедляет» поток. А вектор управления «корректирует» эти задержки. Введем следующую переменную:

$$\mathbf{W} = \mathbf{A} \cdot \tilde{\mathbf{x}}(k) \oplus \mathbf{B}_0 \cdot \mathbf{u}(k), \quad (14)$$

тогда (14) перепишется в

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \mathbf{W} \oplus \mathbf{B}_1 \cdot \mathbf{u}_1(k). \quad (15)$$

Решая уравнение (15), относительно  $\mathbf{W}$ , можно получить две оценки:

– точную, если  $\mathbf{W} < \tilde{\mathbf{x}}(k+1)$ , то  $\mathbf{B}_1 \cdot \mathbf{u}_1(k) = \tilde{\mathbf{x}}(k+1)$ ;

$$\mathbf{u}_1(k) = \mathbf{B}_1^{-T} \cdot \tilde{\mathbf{x}}(k+1); \quad (16)$$

– грубую, если  $\mathbf{W} = \tilde{\mathbf{x}}(k+1)$ , то  $\mathbf{B}_1 \cdot \mathbf{u}_1(k) \leq \tilde{\mathbf{x}}(k+1)$ ; вектор корректировок вычисляется согласно (16).

Для оценки представленных математических выкладок произведено моделирование, результаты которого представлены графическими зависимостями, рис. 4 и 5.

Согласно зависимостям, представленным на рис. 4, можно сделать вывод о меньшем времени нахождения пакетов в буфере, если дисциплина обслуживания очередей – LLQ.

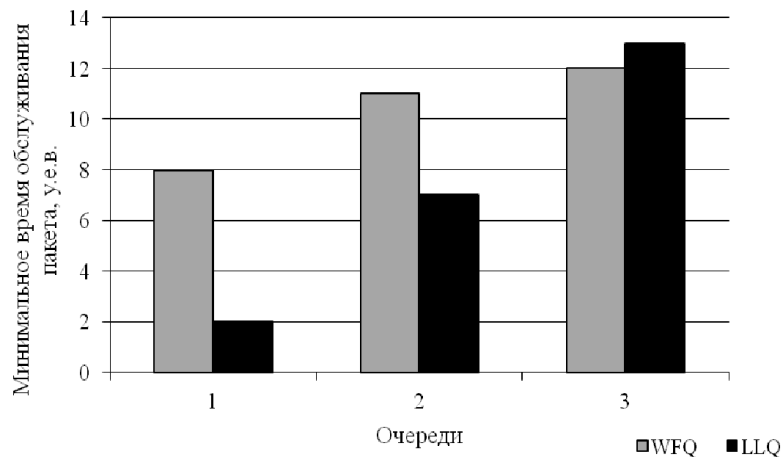


Рисунок 4 – Минимальное время обслуживания в зависимости от дисциплины обслуживания (очередь 1 в LLQ приоритетная)

Исходя из представленных зависимостей, дисциплина обслуживания достаточно слабо влияет на общие показатели качества, при оценке пропускной способности.

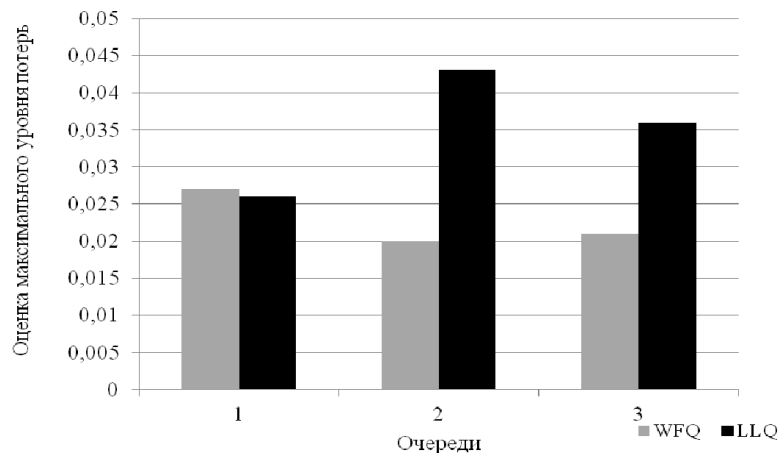


Рисунок 5 – Величина параметра качества обслуживания (очередь 1 в LLQ приоритетная)

Коэффициент использования, для представленной модели, составляет: 0,65–0,7 для очереди с LLQ и 0,55–0,68 для WFQ соответственно. Для оценки точности прогнозирования, сравним результаты, полученные с помощью разработанных моделей и классической.

Согласно классическому определению, оценку среднего времени пребывания заявок в системе, при условии, что существует один сервер, т.е. только одна очередь и на вход поступает поток, представляющий фрактальное броуновское движение (самоподобный поток) [5], можно оценить по формуле Норрса:

$$T = \frac{N}{\rho}, \quad (17)$$

$$N = \frac{(1 - \rho)^{\frac{\alpha - 0,8}{\alpha - 0,8 - 1}}}{\frac{0,5}{\rho^{\alpha - 0,8 - 1}}}, \quad (18)$$



где  $\alpha$  – это параметр формы распределения Парето,  $\rho$  – коэффициент использования, для рассматриваемого случая равен интенсивности поступающей нагрузки.

При условии, что  $\alpha = 1,32$ , согласно (17), произведена оценка среднего времени пребывания заявок в системе для спрогнозированных, согласно (16), коэффициентов использования и для различного вида очередей. Результаты оценок приведены на рис. 6.

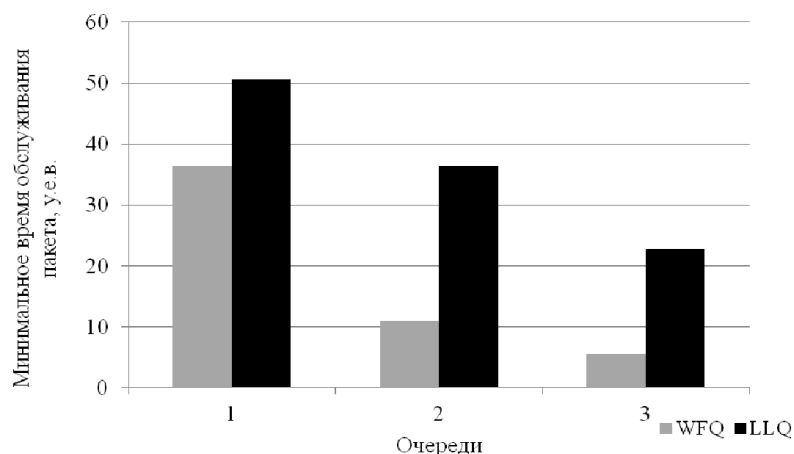


Рисунок 6 – Минимальное время обслуживания в зависимости от дисциплины обслуживания (очередь 1 в LLQ приоритетная)

Согласно полученным зависимостям можно сказать, что использование модели, отражающей динамику работы планировщика, позволяет улучшать прогноз параметров качества обслуживания, а, следовательно, и параметров эффективности работы сети.

## Выводы

В статье сделано предположение о возможности использования планировщика пакетов для разработки метода оценки размера буфера с целью улучшения точности прогнозирования оценок параметров качества обслуживания.

На основе этого предположения разработана модель планировщика в терминах идемпотентной алгебры. Представленная дискретно-событийная модель используется в качестве базовой для планировщиков как со взвешенным, так и с гибридным обслуживанием. Проведены исследования влияния типа планировщика пакетов на показатели качества обслуживания. Сделан вывод о мере влияния параметров качества обслуживания на коэффициент использования. Так, для классического метода оценки коэффициента использования, при улучшении оценок параметров качества обслуживания, он резко уменьшается. Для разработанной дискретно-событийной модели, данное уменьшение составляет до 10%.

Таким образом, впервые разработана дискретно-событийная модель работы планировщика в базисе Max-Plus алгебры, учитывающая задержки на обработку запросов. Это позволяет отобразить динамику работы планировщика и повышает точность прогнозирования оценок эффективности работы участка транспортной сети.

## Список литературы

1. Adam, Ivo. Queueing Theory [Текст] / Ivo Adam, Jacques Resing // Department of Mathematics and Computing Science Eindhoven University of Technology. – The Netherlands, 2001. – 180.
2. Patel S. Performance measure of Drop tail and RED algorithm [Текст] / Patel S., Gupta, P., Singh, G. – Electronic Computer Technology (ICECT), 2010 International Conference on. – Kuala Lumpur, 2010. – P. 35-38.
3. Floyd, S. et al. Adaptive RED: An Algorithm for Increasing the Robustness of RED's Active Queue Management [Текст] / Floyd, S. et al. – 2001. – 12.
4. Cochet-Terrasson J. A constructive fixed point theorem for min-max functions [Текст] / J. Cochet-Terrasson, S. Gaubert and J. Gunawardena // Dynamics and Stability of Systems, USA – Vol 14, No. 4. – pp. 407-433.
5. Ложковский, А.Г. Расчет характеристик системы с очередью при самоподобном трафике сети [Текст] / А.Г. Ложковский, А.С. Артющик // Научные труды ОНАС им. А.С. Попова. – Одесса. – 2016. – №2. – С. 80-87.

## References

1. Adam, Ivo, Resing Jacques. Queueing Theory. *Department of Mathematics and Computing Science Eindhoven University of Technology*, The Netherlands, 2001, 180.
2. Patel S., Gupta, P., Singh, G. Performance measure of Drop tail and RED algorithm. *Electronic Computer Technology (ICECT), 2010 International Conference on*, Kuala Lumpur, 2010, P. 35-38.
3. Floyd, S. et al. *Adaptive RED: An Algorithm for Increasing the Robustness of RED's Active Queue Management*, 2001, 12.
4. Cochet-Terrasson J., Gaubert S. and Gunawardena J. A constructive fixed point theorem for min-max functions. *Dynamics and Stability of Systems*, USA, Vol 14, No. 4, pp. 407-433.
5. Lozhkovskii A.G., Artuschik A.S. Calculation of the queue system characteristics When self-similar network traffic, *Proceedings of the O.S. Popov ONAT*, Odessa., 2016, No. 2, P. 80-87.

## RESUME

*V. V. Klimov, M. N. Cheptsov*

### *Base Station Controller Buffer's Size Estimating Prediction Method*

Base station controller buffer space predicting estimation depends on several factors, ranging from the incoming packets distribution law to the servicing discipline received ones. For the first case, there are a sufficient number of predicting methods. Description of the second is the main subject of this article. Particular attention is paid to the self-similar nature of the incoming traffic.

The proposed method is based on the service scheduler discrete event model. This made it possible to take into account the dynamic characteristics of the scheduler in the method, formalizing them in the state space, and to obtain refined predicted parameters

Modeling made it possible to determine the dependence of the influence of the scheduler type on the quality of service parameters and the utilization rate. The prediction accuracy has increased to 10%.

The developed discrete-event model of the scheduler in the Max-Plus algebra basis, which takes into account the query processing delays, allows to display the scheduler dynamics and increases the accuracy of predicting method for the base station controller's buffer size estimating.

## РЕЗЮМЕ

*В. В. Климов, М. Н. Чепцов*

*Метод прогнозирования оценки размера буфера контроллера базовой станции*

Прогнозирование оценки размера буферного пространства для контроллера базовой станции зависит от нескольких факторов, начиная от закона распределения поступающих пакетов, заканчивая дисциплиной обслуживания уже поступивших. Для первого случая есть достаточное количество методов прогнозирования. Описание второго – основной предмет данного исследования. Особое внимание уделено самоподобному характеру поступающего трафика.

Предложенный метод основан на дискретно-событийной модели планировщика обслуживания. Это позволило учесть в методе динамические характеристики планировщика, формализовав их в пространстве состояний, и получить уточненные прогнозируемые параметры.

Моделирование позволило определить зависимость влияния типа планировщика на показатели качества обслуживания и коэффициент использования. Точность прогнозирования увеличилась до 10%.

Разработанная дискретно-событийная модель планировщика в базисе Max-Plus алгебры, учитывающая задержки на обработку запросов, позволяет отобразить динамику работы планировщика и повышает точность прогнозирования метода оценки размера буфера контроллера базовой станции.

Статья поступила в редакцию 30.03.2020.