Московский Технический Университет Связи и Информатики

Кафедра: Информационные Сети и Системы

Влияние гистерезиса управления трафиком на использование ресурса узла беспроводных систем передачи информации

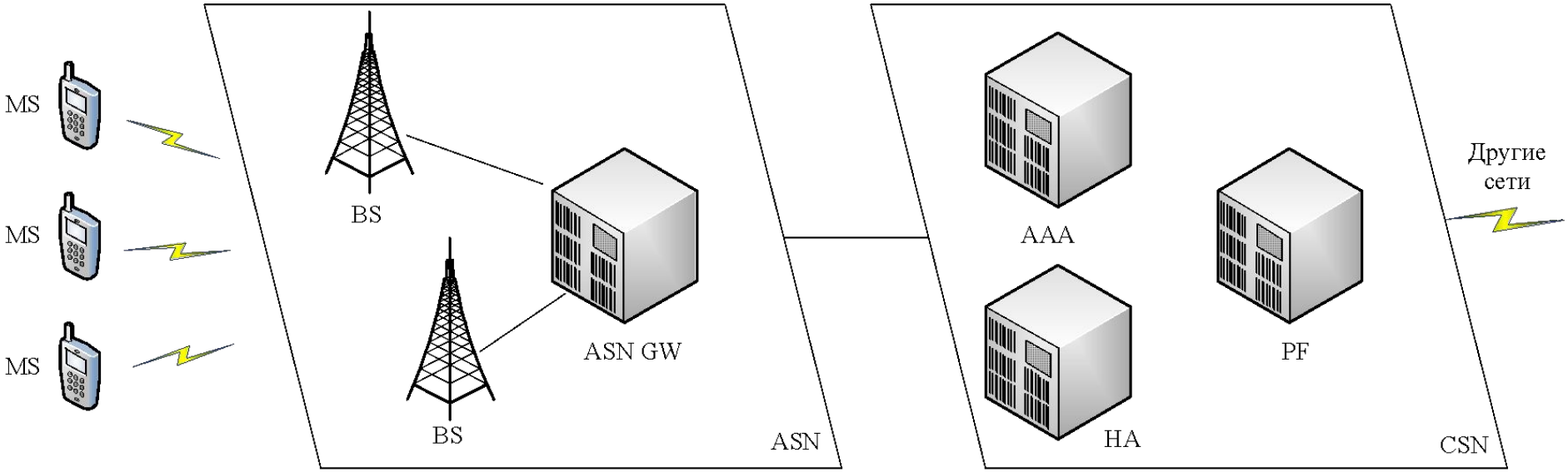
Автор: Чернушевич Александр Викторович
МТУСИ, аспирант каф. ИСиС
achernushevich@gmail.com
Научный руководитель: д. ф.-м. н.
Цитович И.И., ИИПИ РАН

Москва 2011

Положения выносимые на защиту

- Построена математическая модель сегмента БСПИ, учитывающая разные сервисные классы пользователей, их дифференцированный доступ к ресурсам сети, а также гистерезисы, возникающие при управлении доступом
- Проведен переход к упрощенной трехпотоковой модели, которая показала, что для учета ограничений на доступ к ресурсам сети необходимо различать состояния, когда обслуживаются или не обслуживаются требования соответствующего потока. Рассмотрены три возможных варианта обслуживания требований второго и третьего потоков.
- Проведено численное исследование, которое показало, что при перегруженной сети ($\rho>1$) наличие требований третьего сервисного класса приводит к снижению стоимостных показателей. В сильно нагруженной сети ($\rho>0,8$) за счет требований третьего сервисного класса ресурсы сети используются более полно, однако стоимостной функционал чувствителен к выбору границ гистерезиса для требований третьего сервисного класса. В слабо нагруженной сети ($\rho>0,7$) за счет требований третьего сервисного класса ресурсы сети используются более эффективно, чем при обслуживании только требований двух первых классов.
- Наиболее эффективным с учетом суточных колебаний нагрузки является обслуживание требований третьего сервисного класса таким образом, что в интервалах с высокой общей нагрузкой требований первых двух сервисных классов интенсивность потока требований третьего сервисного класса снижается за счет ухода на альтернативные сети.

Глава 1.
Структура сети Wi-MAX



MS – Абонентская станция

BS – Базовая станция

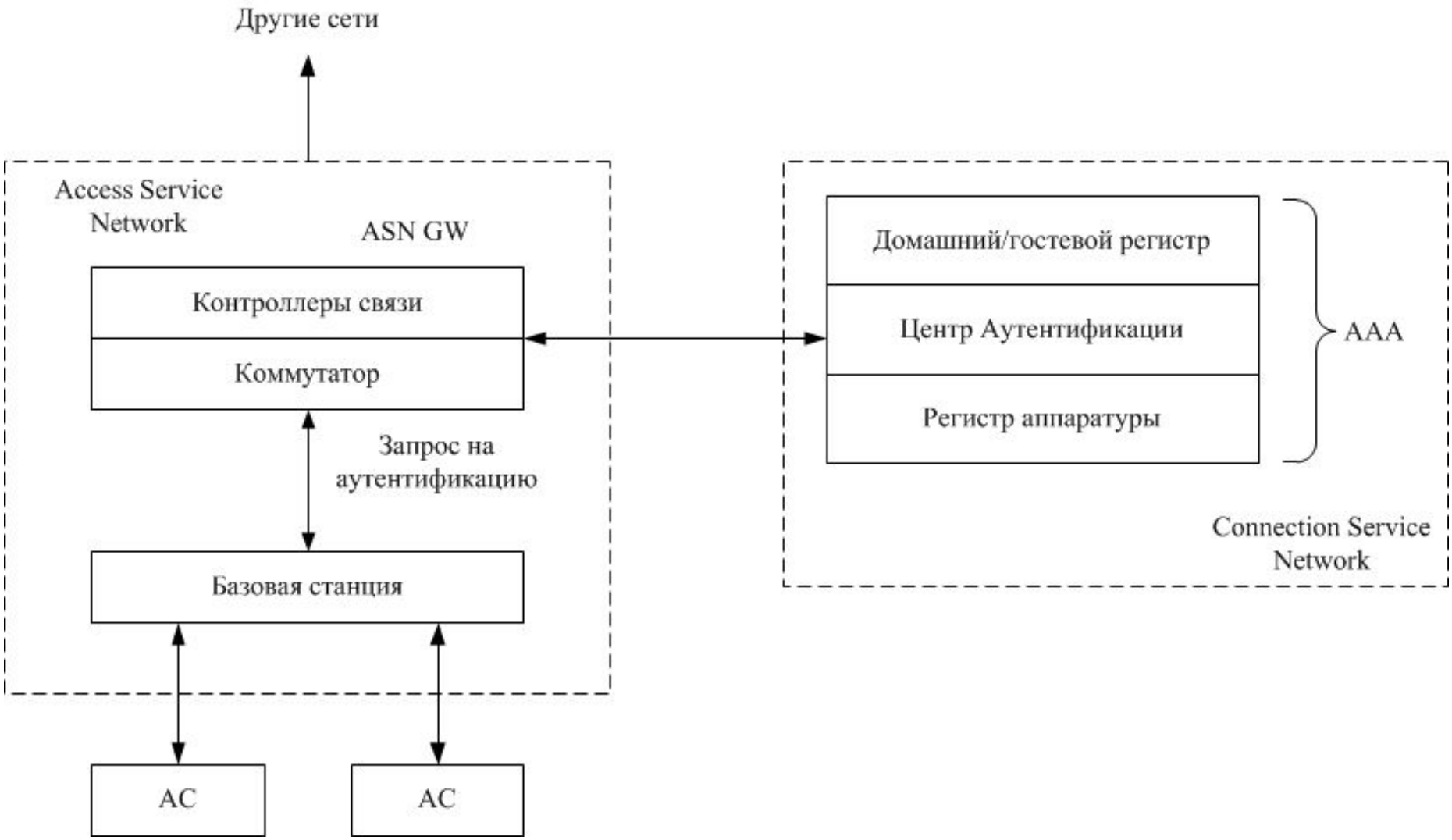
ASN - Сеть доступа к ресурсам

ASN-GW – Маршрутизатор сети доступа к ресурсам

CSN – Сеть обеспечения подключения к ресурсам сети

AAA – Аутентификация, Авторизация, Учет

Глава 1.
Схема обслуживания запросов пользователей на предоставление ресурсов в сети Wi-MAX



Глава 1.
Структура сети LTE

MS – Абонентская станция

BS (eNB) – Базовая станция

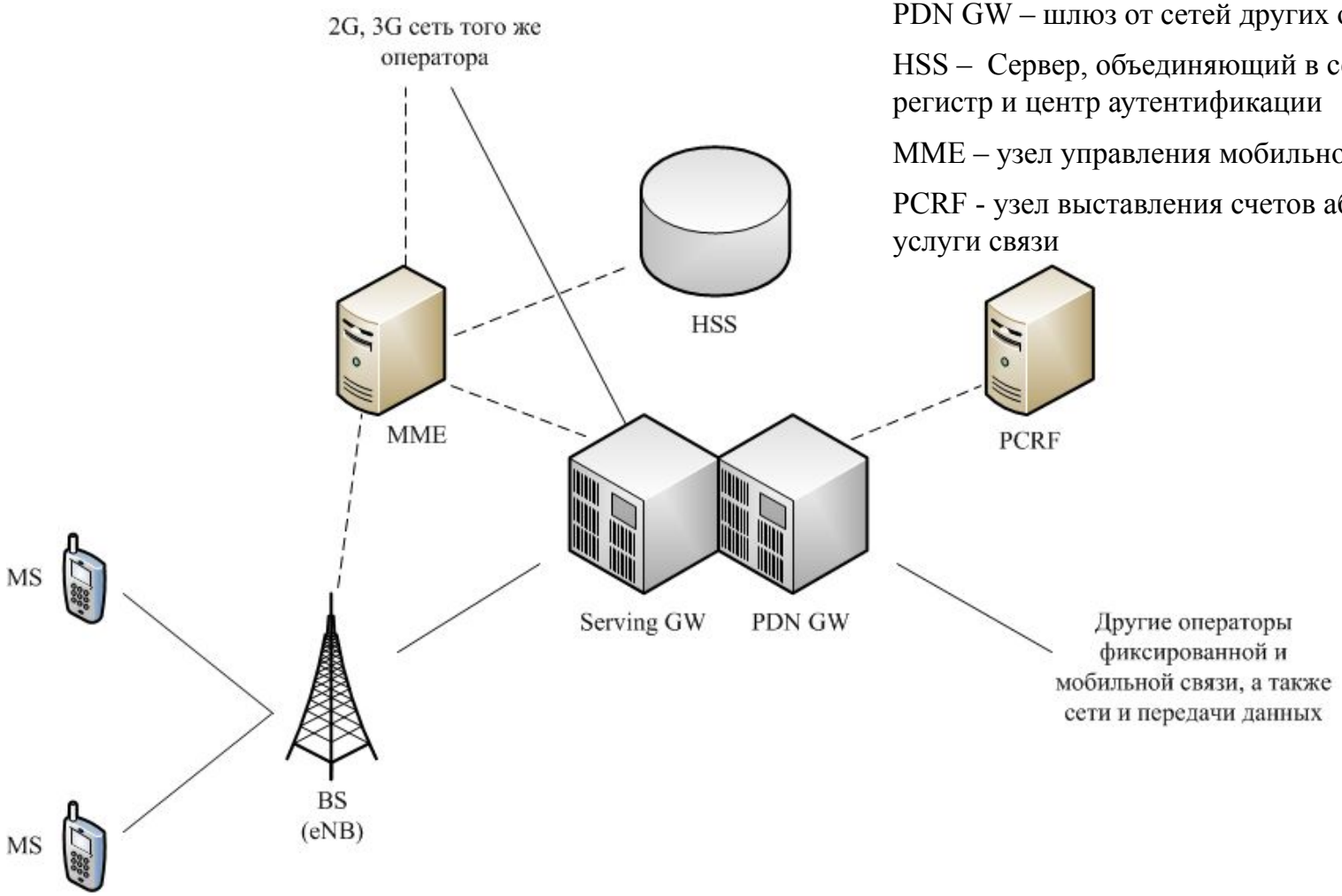
Serving GW – обслуживающий шлюз сети

PDN GW – шлюз от сетей других операторов

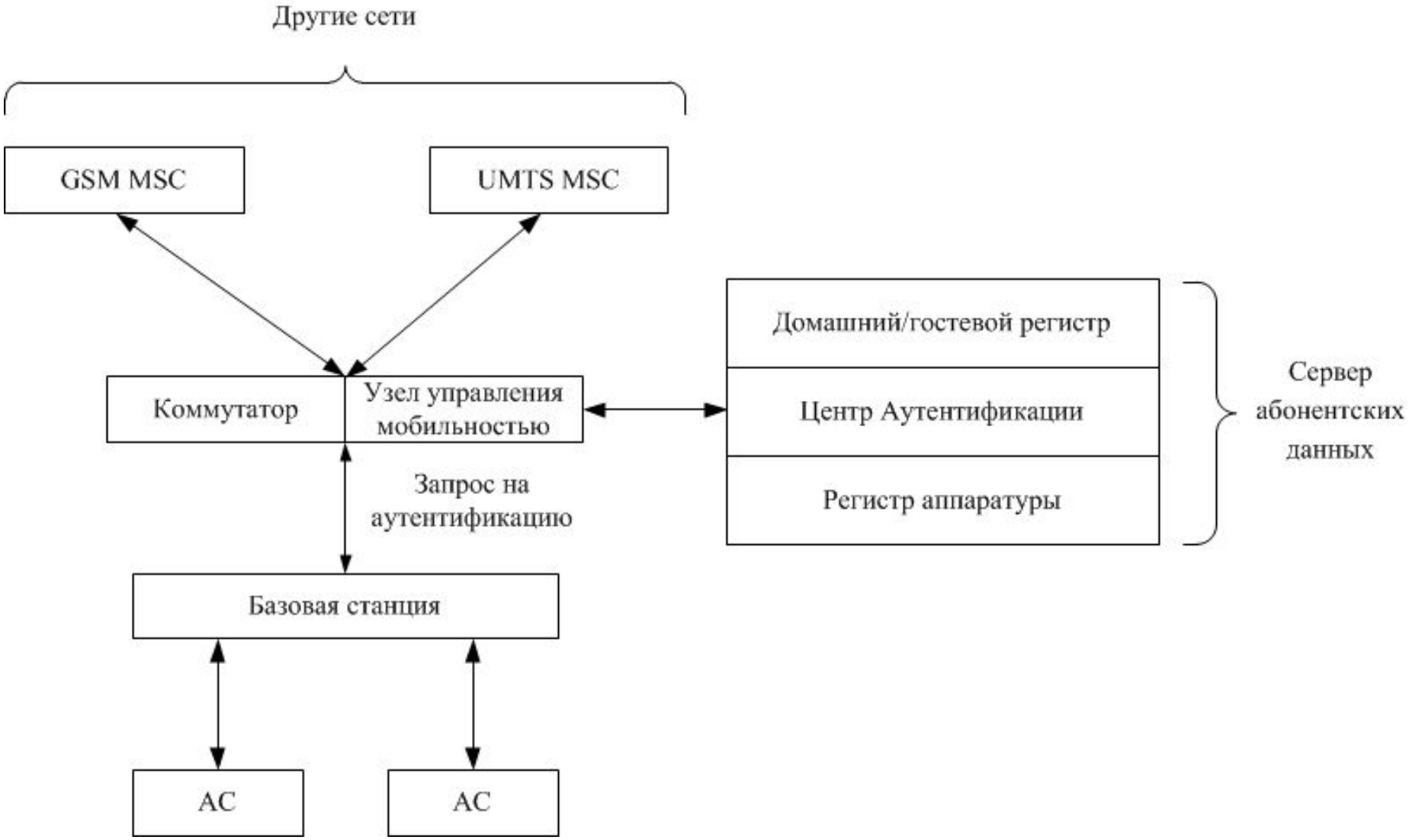
HSS – Сервер, объединяющий в себе домашний/гостевой регистр и центр аутентификации

MME – узел управления мобильностью

PCRF - узел выставления счетов абонентам за оказанные услуги связи



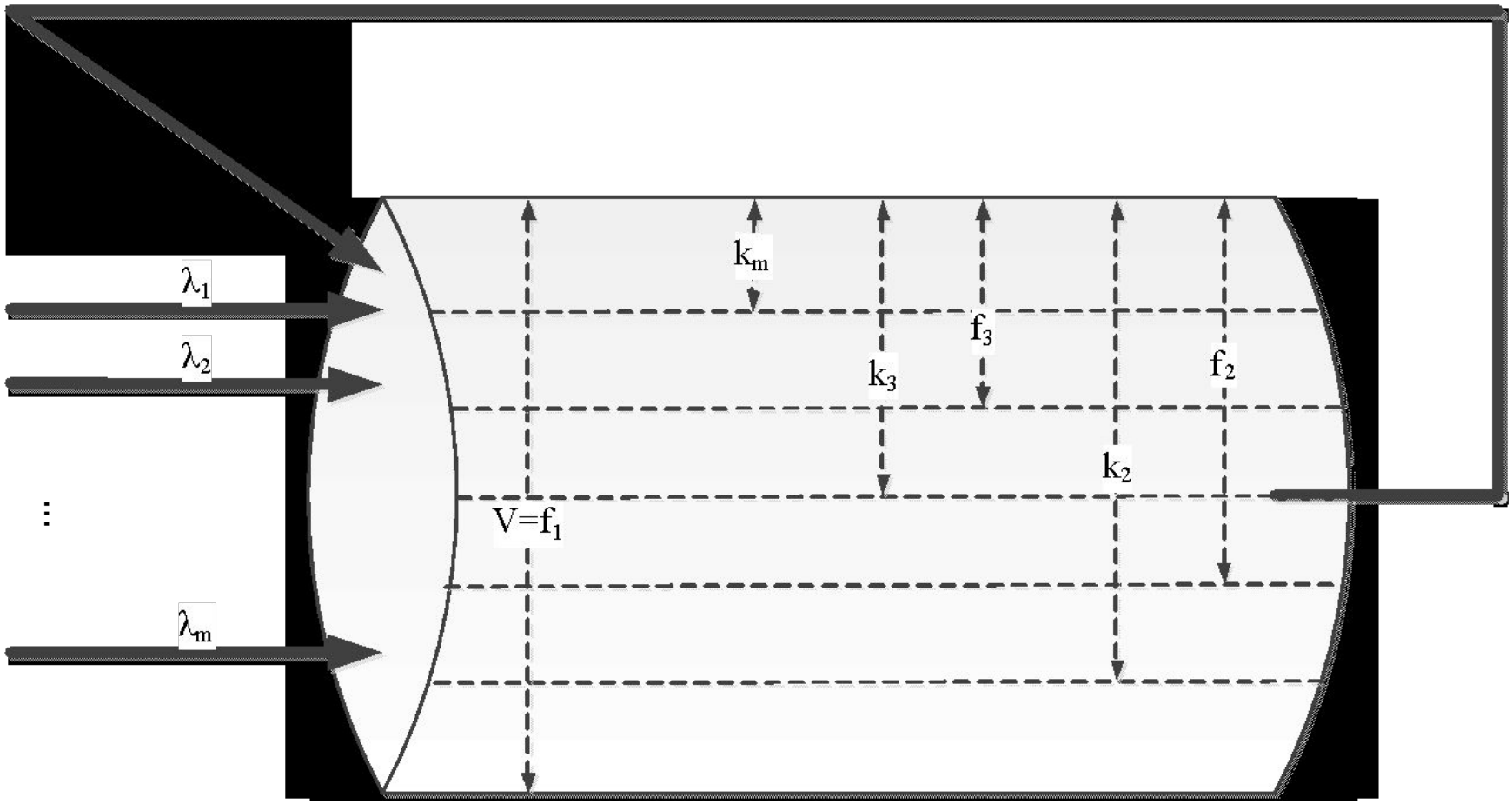
Глава 1.
Схема обслуживания запросов пользователей на предоставление ресурсов в сети LTE



Соотношение доходов и стоимости безлимитных тарифов в различных странах

Страна	Доход в месяц	Стоимость безлимитного тарифа	Отношение тарифа к месячной зарплате
Украина	$295,53	$95	32%
Казахстан	$561,59	$116	21%
Россия	$668,30	$98	15%
Венгрия	$897,55	$117	13%
Латвия	$919,85	$94	10%
Эстония	$1 072,22	$105	10%
Новая Зеландия	$2 100,00	$110	5%
США	$2 233,67	$89	4%
Англия	$2 633,33	$63	2%
Норвегия	$5 040,76	$112	2%

Глава 2.
Математическая модель дифференцированного обслуживания пользователей различных категорий



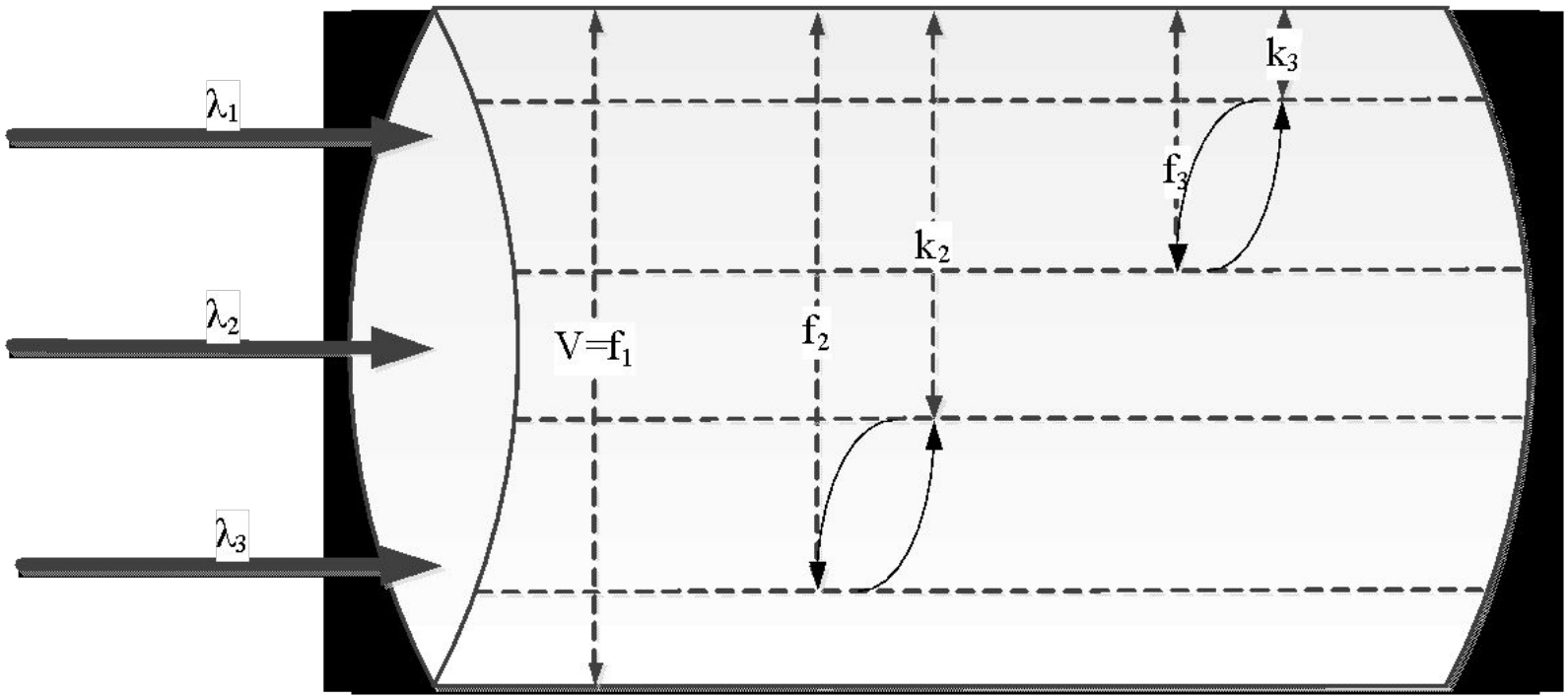
Глава 2.
Упрощенная трехпотоковая модель обслуживания запросов

Вводятся ***четыре подмножества состояний***:

1. Обслуживаются запросы всех трех сервисных классов;
2. Прекращаются обслуживаться запросы низшего сервисного класса;
3. Когда обслуживаются запросы пользователей только 1 сервисного класса.
4. когда обслуживаются запросы пользователей только первого и третьего сервисных классов.

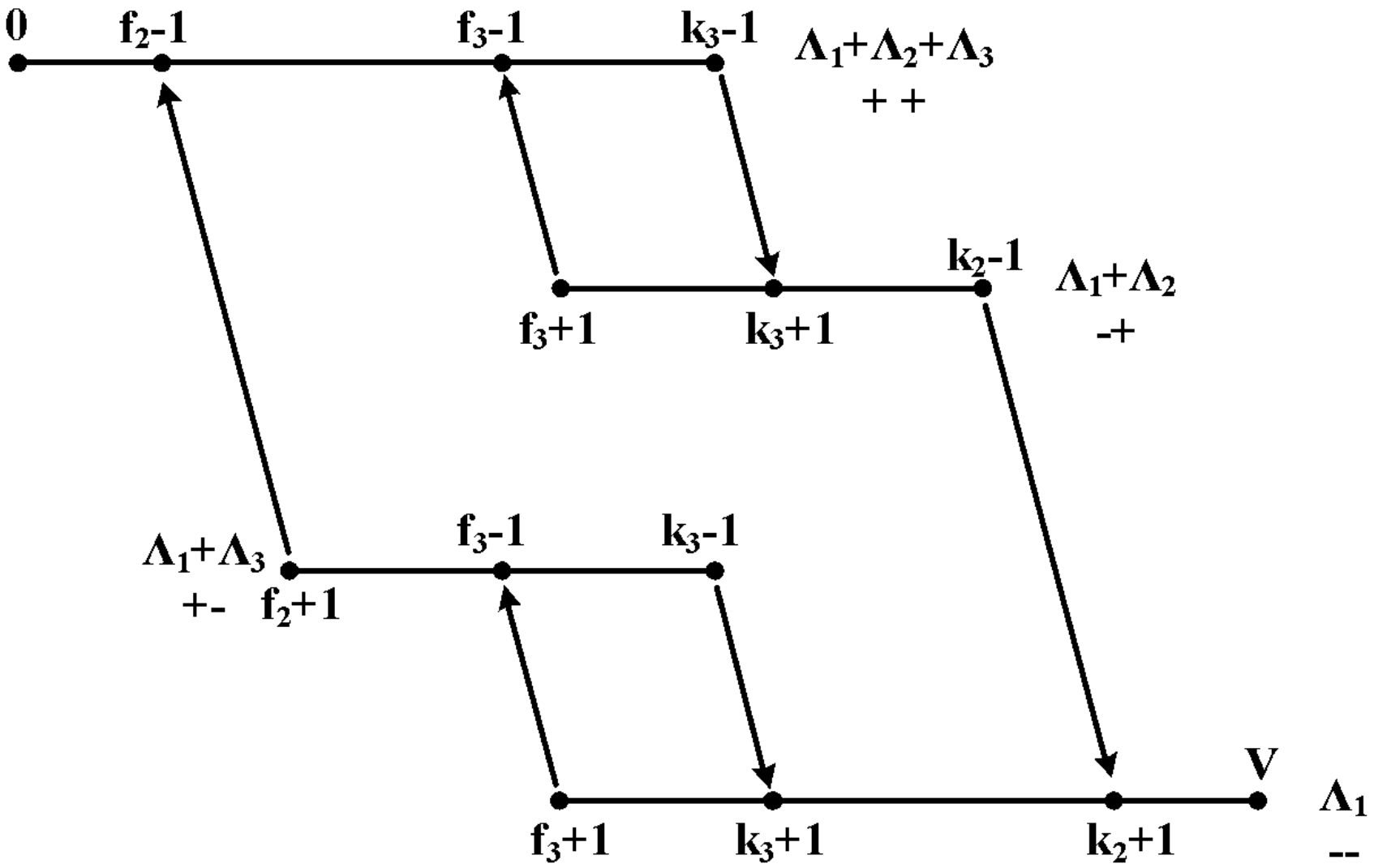
- ***Первое упрощение*** состоит в пуассоновской замене потока повторных запросов: $x_i = (\lambda_i + x_i) H_i P_i$,
- ***Второе упрощение*** состоит в замене времен обслуживания всех требований на единицу за счет перерасчета интенсивностей поступления запросов таким образом, что среднее значение объема занятого ресурса запросов *i*-го потока остается без изменений: $\Lambda_i = (\lambda_i + x_i) a_i$

Глава 2.
Упрощенная математическая модель



Глава 2.

$V>k_2>k_3;\ 0<f_2<f_3$



Глава 3.
$V>k_2>k_3$; $0<f_2<f_3$ – (2/3)

Уравнения (1) статистического равновесия являются стандартными для процесса рождения и гибели для следующих отрезков:

От 0 до (f_2-1): $$p_v^{++}v = p_{v-1}^{++}(\Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3), v = 1,\ldots, f_2,$$

От k_2 до V: $$p_v^{++}v = p_{v-1}^{++}(\Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3), v = 1,\ldots, f_2, \qquad (1)$$

Для всех остальных состояний при выводе уравнений статистического равновесия нужно учитывать циркуляцию вероятностей, которая на различных участках множества состояний будет различной:

От f_2 до (f_3-1): $$p_v^{++}v + x_1 = p_{v-1}^{++}(\Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3), v = f_2 + 1,\ldots, f_3,$$

От f_2 до (f_3-1): $$p_v^{-+}v - x_1 = p_{v-1}^{-+}(\Lambda_1 + \Lambda_3), v = f_2 + 1,\ldots, f_3. \qquad (2)$$

Глава 3.
$V>k_2>k_3$; $0<f_2<f_3$ – (3/3)

От k_3 до (k_2-1): $p_v^{+-}v + x_1 = p_{v-1}^{+-}(\Lambda_1 + \Lambda_2), v = k_3 + 1, \ldots, k_2 - 1,$

От k_3 до (k_2-1): $p_v^{--}v - x_1 = p_{v-1}^{--}\Lambda_1, v = k_3 + 1, \ldots, k_2 - 1,$

От f_3 до (k_3-1): $p_v^{++}v + x_1 + x_2 = p_{v-1}^{++}(\Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3), v = f_3 + 1, \ldots, k_3 - 1,$

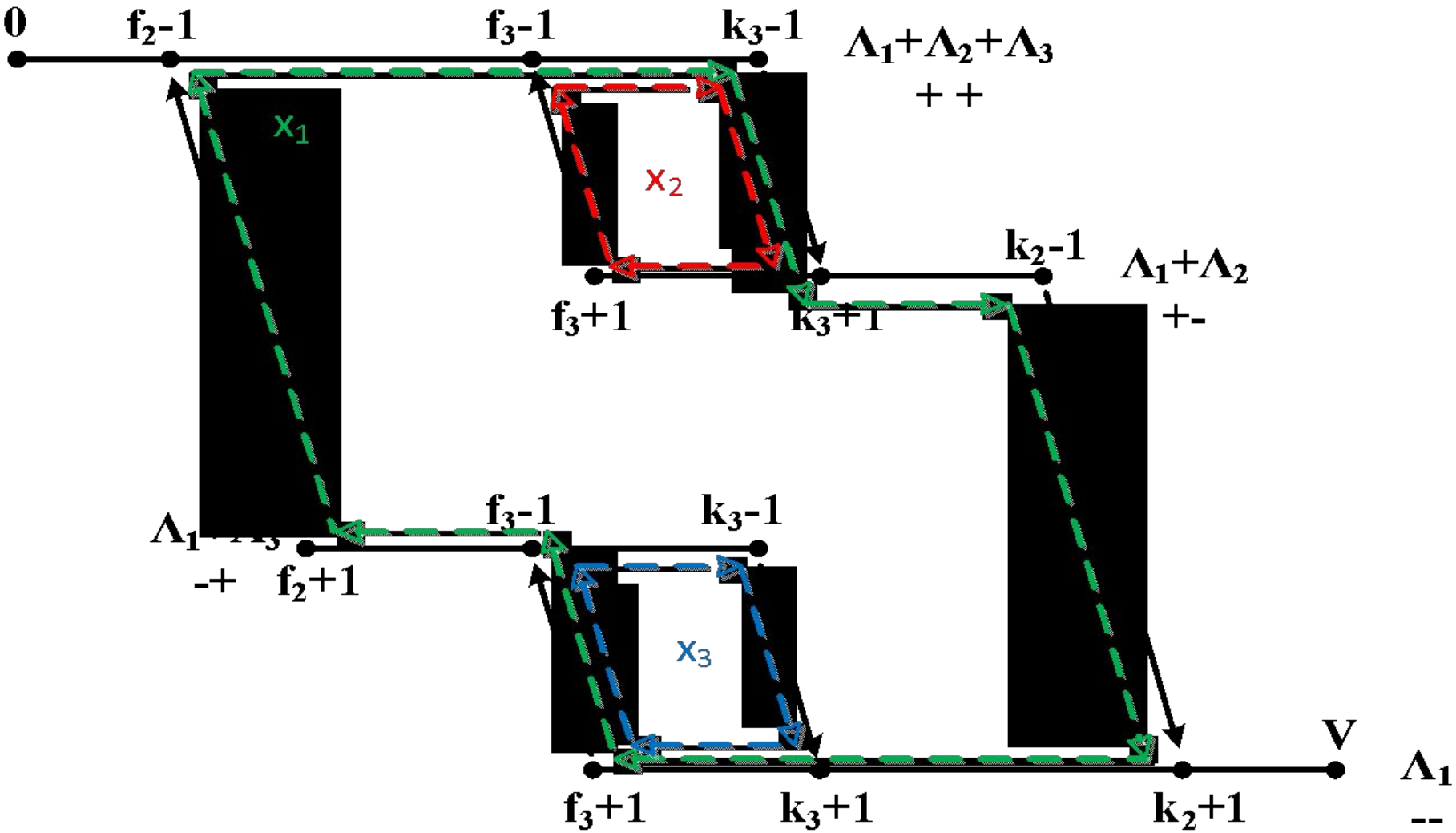
От f_3 до (k_3-1): $p_v^{+-}v - x_2 = p_{v-1}^{+-}(\Lambda_1 + \Lambda_2), v = f_3 + 1, \ldots, k_3 - 1,$

От f_3 до (k_3-1): $p_v^{-+}v + x_3 = p_{v-1}^{-+}(\Lambda_1 + \Lambda_2), v = f_3 + 1, \ldots, k_3 - 1,$

От f_3 до (k_3-1): $p_v^{--}v - x_1 - x_3 = p_{v-1}^{--}(\Lambda_1 + \Lambda_2), v = f_3 + 1, \ldots, k_3 - 1.$

Глава 3.

$V>k_2>k_3;\ 0<f_2<f_3$ – (1/3)



Глава 3.
$V>k_2>k_3$; $0<f_2<f_3$ – Алгоритм вычисления стационарных вероятностей (1/5)

1. Полагаем $x_1 = 1$
2. Вычисляем $p^{+-}_{k_2-1}$ по формуле $p^{+-}_{k_2-1} = \dfrac{x_1}{\Lambda_1 + \Lambda_2}$,
3. Вычисляем p^{+-}_{v} по формуле $p^{+-}_{v(-1)} = \dfrac{p^{+-}_{v(-1)}(\Lambda_1 + \Lambda_2) + x_1}{v}, \quad v = f_3 + 1, \ldots, k_3,$
4. Находим значение c_1 по формуле $p^{+-}_{k_3} = C_1 x_1.$
5. Полагаем $x_2=1$
6. Вычисляем $p^{+-}_{f_3+1}$ по формуле $p^{+-}_{f_3+1} = \dfrac{x_2}{f_3 + 1}$,
7. Вычисляем p^{+-}_{v} по формуле $p^{+-}_{v} = \dfrac{p^{+-}_{v-1}(\Lambda_1 + \Lambda_2) + x_2}{v}, \quad v = f_3 + 2, \ldots, k_3,$

Глава 3.
$V>k_2>k_3$; $0<f_2<f_3$ – Алгоритм вычисления стационарных вероятностей (2/5)

8. Находим значение C_2 по формуле $p_{k_3}^{+-} = C_2 x_2.$

9. Вычисляем x_2 по формуле $x_2 = \frac{C_1}{C_2} x_1.$

10. Пересчитываем все вероятности, вычисленные в п. 5 и 6, с новым значением x_2

11. Вычисляем $p_{f_2+1}^{-+}$ по формуле $p_{f_2+1}^{-+} = \frac{x_1}{f_2+1},$

12. Вычисляем p_v^{+-} по формуле $p_v^{-+} = \frac{p_{v-1}^{+-}(\Lambda_1+\Lambda_3)+x_1}{v}, \quad v = f_2+2,\dots,f_3,$

13. Находим значение C_3 по формуле $p_{f_3}^{-+} = C_3 x_1.$

14. Полагаем $x_3=1$

Глава 3.
$V>k_2>k_3$; $0<f_2<f_3$ – Алгоритм вычисления стационарных вероятностей (3/5)

15. Вычисляем $p_{k_3-1}^{-+}$ по формуле $p_{k_3-1}^{-+} = \dfrac{x_3}{\Lambda_1 + \Lambda_3}$,

16. Вычисляем p_v^{-+} по формуле $p_v^{-+} = \dfrac{p_{v+1}^{+-}(v+1) + x_3}{\Lambda_1 + \Lambda_3}, \quad v = f_3, \ldots, k_3 - 2,$

17. Находим значение C_4 по формуле $p_{f_3}^{+-} = C_4 x_3.$

18. Вычисляем x_3 по формуле $x_3 = \dfrac{C_3}{C_4} x_1.$

19. Пересчитываем все вероятности, вычисленные в п. 12 и 13, с новым значением x_3

20. Вычисляем $p_{k_3-1}^{++} = \dfrac{x_1 + x_2}{\Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3}$

21. Вычисляем p_v^{++} по формуле $p_v^{++} = \dfrac{p_{v+1}^{++}(v+1) + x_1 + x_2}{\Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3}, \quad v = k_3 - 2, \ldots, f_3,$

Глава 3.
$V>k_2>k_3$; $0<f_2<f_3$ – Алгоритм вычисления стационарных вероятностей (4/5)

22. Вычисляем p_v^{++} по формуле $$p_v^{++} = \frac{p_{v+1}^{++}(v+1)+x_1}{\Lambda_1+\Lambda_2+\Lambda_3}, \quad v = f_3-1,\dots,f_2,$$

23. Вычисляем p_v^{++} по формуле $$p_v^{++} = \frac{p_{v+1}^{++}(v+1)}{\Lambda_1+\Lambda_2+\Lambda_3}, \quad v = f_2-1,\dots,0,$$

24. Вычисляем $$p_{f_3+1}^{--} = \frac{x_1+x_3}{f_3+1}$$

25. Вычисляем p_v^{--} по формуле $$p_v^{--} = \frac{p_{v-1}^{--}\Lambda_1+x_1+x_3}{v}, \quad v = f_3+1,\dots,k_3,$$

26. Вычисляем p_v^{--} по формуле $$p_v^{--} = \frac{p_{v-1}^{--}\Lambda_1+x_1}{v}, \quad v = k_3+1,\dots,k_2,$$

27. Вычисляем p_v^{--} по формуле $$p_v^{--} = \frac{p_{v-1}^{--}\Lambda_1}{v}, \quad v = k_2+1,\dots,V,$$

28. Вычисляем сумму всех вероятностей по формуле

Глава 3.
$V>k_2>k_3$; $0<f_2<f_3$ – Алгоритм вычисления стационарных вероятностей (5/5)

29. Обратную величину суммы полагаем равной x_1

30. Умножаем все вероятности на x_1

Глава 4.
Численное исследование свойств управления доступом непересекающимися гистерезисами (1/3)

$a_1=2$, $a_2=3$, $a_3=1$, $H_1=0{,}9$; $H_2=H_3=0{,}8$; $v=100$

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
λ_1	30	30	30	30	20	20	20	20	20
λ_2	10	10	10	10	10	10	10	10	10
λ_3	30	30	30	30	30	30	30	10	10
ρ	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
ρ_{12}	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
k_2	96	93	93	93	93	96	96	96	96
f_2	94	90	90	90	90	93	93	93	93
k_3	70	70	80	89	80	80	90	90	90
f_3	40	40	75	85	75	75	85	85	88
π_1	0,0069	0,0021	0,0023	0,0035	0,0000	0,0001	0,0007	0,0003	0,0001
π_2	0,1456	0,2361	0,2617	0,3902	0,0183	0,0070	0,0795	0,0305	0,0156
π_3	0,9895	0,9907	0,9802	0,9003	0,9557	0,9365	0,9133	0,3744	0,1529
Λ_1	30,18	30,05	30,06	30,09	20,00	20,01	20,00	20,00	20,00
Λ_2	11,26	12,17	12,51	14,49	10,15	10,06	10,68	10,23	10,13
Λ_3	143,45	143,79	138,02	106,70	118,89	119,21	111,04	13,75	11,13
m	89,8	86,0	87,9	90,6	82,0	82,1	90,5	78,3	79,3

Глава 4.
Численное исследование свойств управления доступом непересекающимися гистерезисами (2/3)

- При нагрузке в узле, превосходящей его пропускную способность или близкой к ней, необходимо использовать достаточно далеко отстоящие гистерезисы для требований второго и третьего сервисных классов.

0	1	2	3	4
ρ	1,2	1,2	1,2	1,2
k_2	96	93	93	93
f_2	94	90	90	90
k_3	70	70	80	89
f_3	40	40	75	85
π_1	0,0069	0,0021	0,0023	0,0035
π_2	0,1456	0,2361	0,2617	0,3902
π_3	0,9895	0,9907	0,9802	0,9003
m	89,8	86,0	87,9	90,6

- Гистерезис для требований второго сервисного класса должен быть достаточно узким, если суммарная нагрузка первого и второго сервисных классов составляет не более 0,7 эрл. на ОПЕ.

0	5	6	7
ρ	0,7	0,7	0,7
k_3	80	80	90
f_3	75	75	85
π_2	0,0183	0,0070	0,0795

Глава 4.
Численное исследование свойств управления доступом непересекающимися гистерезисами (2/2)

- Гистерезис по обслуживанию требований третьего класса должен быть достаточно широким, чтобы обеспечить сохранения режима доступа при колебаниях нагрузки в области ее больших значений.
- Если вся поступающая нагрузка в узле может быть пропущена с малой вероятностью потерь, то гистерезисы для второго и третьего сервисных классов должны быть близкими.

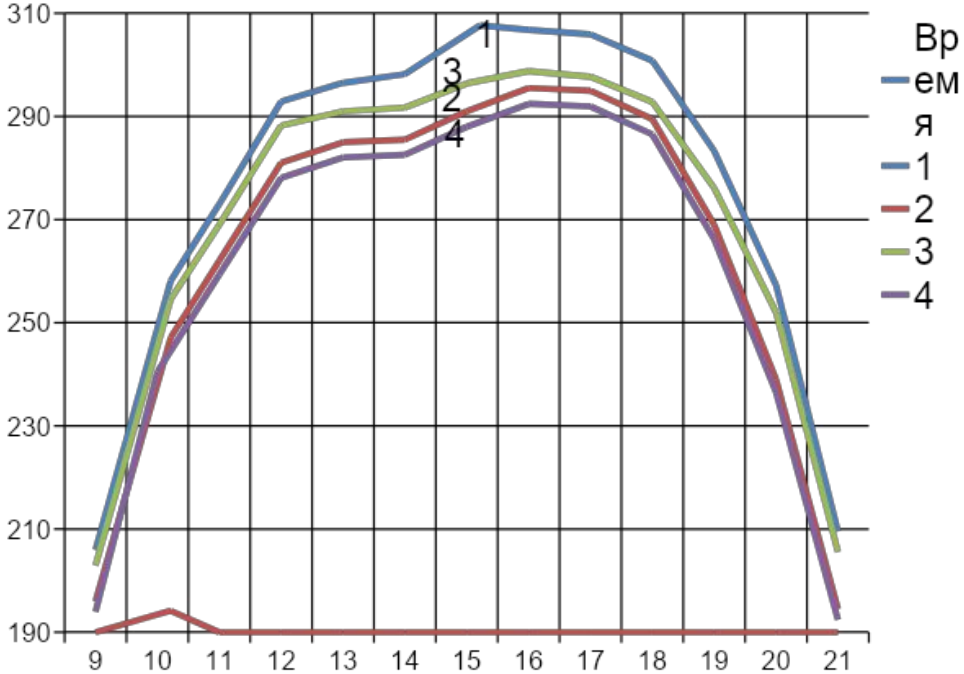
0	8	9
ρ	0,8	0,8
ρ_{12}	0,7	0,7
k_2	96	96
f_2	93	93
k_3	90	90
f_3	85	88
π_2	0,0305	0,0156
π_3	0,3744	0,1529
m	78,3	79,3

- Снижение вероятности настойчивости пользователей, создающих нагрузку третьего сервисного класса, приводит не только к существенному уменьшению числа повторных требований в сети, но и улучшает другие показатели качества функционирования сети.

0	1	2	3	4
ρ	1,2	1,2	1,2	1,2
π_1	0,0069	0,0021	0,0023	0,0035
π_2	0,1456	0,2361	0,2617	0,3902
Λ_3	143,45	143,79	138,02	106,70
m	89,8	86,0	87,9	90,6

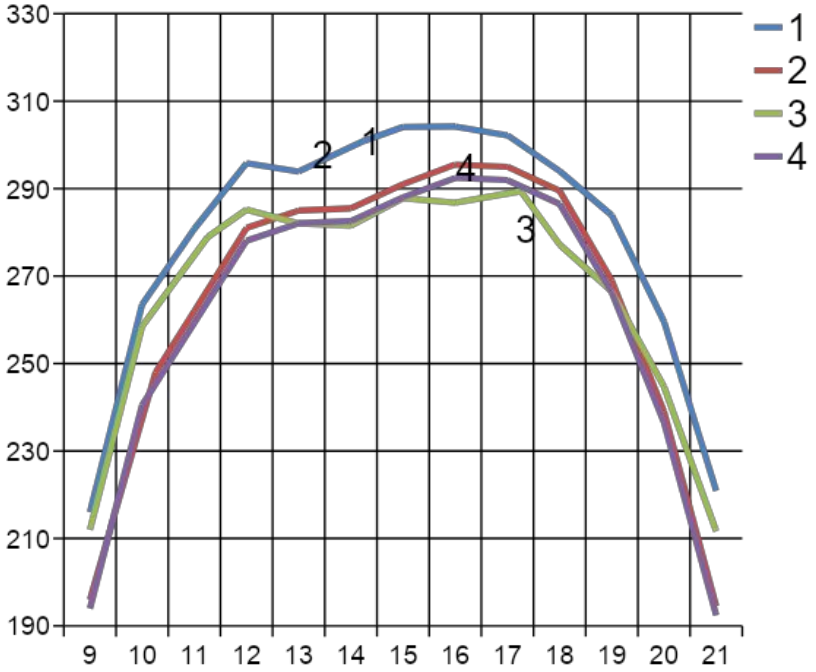
0	1	2	3	4
ρ	1,2	1,2	1,2	1,2
π_1	0,0058	0,0020	0,0031	0,0022
π_2	0,1248	0,2191	0,2418	0,2419
Λ_3	48,35	49,07	44,23	48,25
m	85,2	85,1	89,9	87,4

Глава 4.
Численное исследование свойств математической модели узла беспроводной сети с учетом суточных колебаний нагрузки



Профиль значений стоимостных функционалов в дневное и вечернее время при малой нагрузке, создаваемой требованиями третьего сервисного класса, и

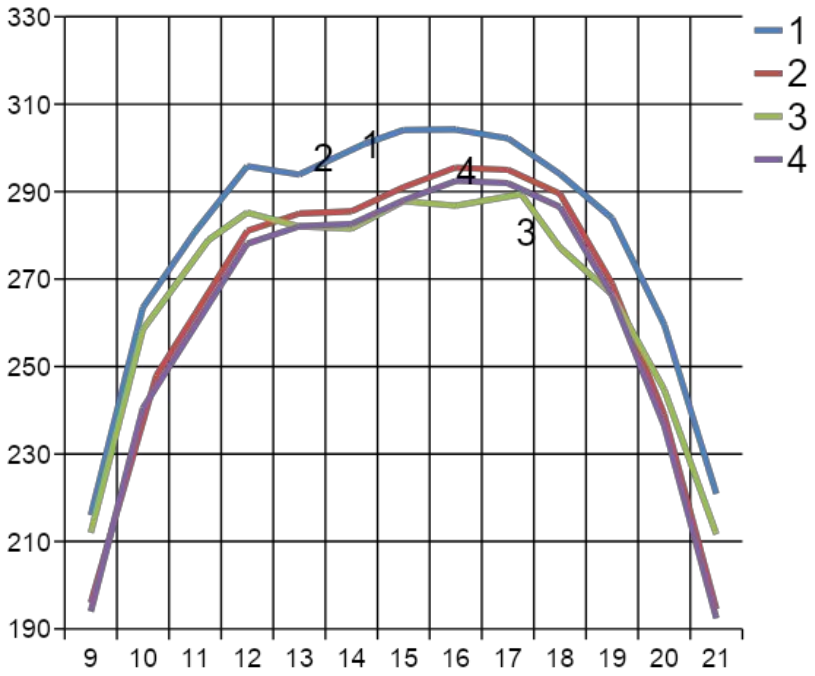
$H_3 = 0,8$



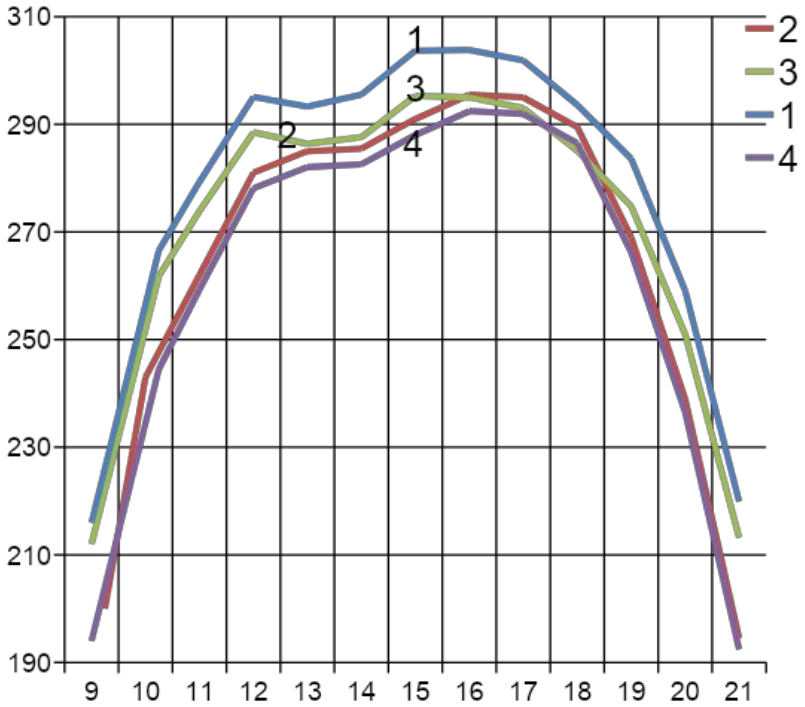
Профиль значений стоимостных функционалов в дневное и вечернее время при большой нагрузке, создаваемой требованиями третьего сервисного класса, и

$H_3 = 0,8$

Глава 4.
Численное исследование свойств математической модели узла беспроводной сети с учетом суточных колебаний нагрузки



Профиль значений стоимостных функционалов в дневное и вечернее время при большой нагрузке, создаваемой требованиями третьего сервисного класса, и $H_3 = 0,8$



Профиль значений стоимостных функционалов в дневное и вечернее время при большой нагрузке, создаваемой требованиями третьего сервисного класса, и $H_3 = 0,4$

Основные результаты диссертационной работы

- Разработана математическая модели сегмента БСПИ, учитывающая разные сервисные классы пользователей, их дифференцированный доступ к ресурсам сети, а также гистерезисы, возникающие при управлении доступом БСПИ
- Исследована упрощенная трехпотоковая математическая модель для исследования показавшее, что для учета ограничений на доступ к ресурсам сети необходимо различать состояния, когда обслуживаются или не обслуживаются требования соответствующего потока.
- Разработаны алгоритмы вычисления стационарных вероятностей трехпотоковой модели в зависимости от расположения гистерезисов.
- Стоимостные функционалы слабо чувствительны к вероятности потерь требований, в особенности требований приоритетных классов, поэтому их оптимизацию нужно проводить только при сохранении ограничений на качество обслуживания требований первых двух классов.

Основные результаты диссертационной работы

- Снижение вероятности настойчивости пользователей, создающих требования третьего сервисного класса, позволяет повышать эффективность функционирования сети.
- Наиболее эффективным является обслуживание, когда на интервалах с высокой общей нагрузкой требований первых двух сервисных классов интенсивность потока требований третьего сервисного класса снижается за счет ухода на альтернативные сети. Это можно обеспечить за счет правильного выбора ширины гистерезиса для третьего сервисного класса.

Основные публикации

1. Чернушевич А.В. Построение сетей следующего поколения (NGN) на оборудовании фирмы Siemens // 59 студенческая конференция МТУСИ, Москва: издательство МТУСИ, 2006
2. **Цитович И.И., Чернушевич А.В. Влияние гистерезиса на управление приоритетами в телекоммуникационной сети // Обозрение прикладной и промышленной математики. Т. 15. № 6. 2008. С. 1141-1142.**
3. Цитович И.И., Наумова Е.О., Чернушевич А.В. Влияние гистерезиса при управлении трафиком на характеристики узла мобильной сети // РНТОРЭС им. А.С.Попова. Научная сессия, посвященная Дню радио. B.LXIV. М.: Инсвязьиздат. 2009. С. 343-345.
4. **Цитович И.И., Чернушевич А.В. О влиянии гистерезиса управления трафиком на эффективность функционирования мультисервисной сети // Обозрение прикладной и промышленной математики. Т. 17. № 2. 2010. С. 314-315.**
5. Цитович И.И., Чернушевич А.В. Особенности приоритетного обслуживания при передаче информации в реальном времени в сетях передачи данных // Девятый Международного симпозиум «Интеллектуальные системы» ИНТЕЛС, Владимир, 2010. С.
6. Чернушевич А.В. Особенности приоритетного обслуживания при передаче информации реального времени в LTE-сетях // Труды Международной научно-технической конференции «INTERMATIC-2010». М.: Энергоатомиздат. 2010. Ч. 3. С. 260-263.
7. **Чернушевич А.В. Управление распределением ресурсов сегмента беспроводной широкополосной сети // T-COMM. Телекоммуникации и транспорт. Сентябрь. 2011, с.156-159**
8. Чернушевич А.В. Математическая модель сегмента беспроводной широкополосной сети при дифференцированном обслуживании абонентов // Всероссийская конференция с международным участием "Информационно-телекоммуникационные технлогии и математическое моделирование высокотехнологичных систем", М.: РУДН. 2011. С. 59–61.
9. Чернушевич А.В. Динамическое управление приоритетами при дифференцированном обслуживании пользователей беспроводной сети // РНТОРЭС им. А.С.Попова. Научная сессия, посвященная Дню радио. B.LXVI. М.: Инсвязьиздат. 2011. С. 295-298.
10. Цитович И.И., Чернушевич А.В. Расчет стационарных вероятностей трехпотоковой модели управления доступом к ресурсам БШС с гистерезисами // Информационные процессы. Т. 11, № 2. 2011, с. 262-276
11. **Tsitovich I.I., Chernushevich A.V. Calculation of stationary probabilities for a three-stream model of control of the access of the resources of a wireless wideband network with hysteresis. Journal of Communication Technology and Electronics, vol. 56 №12. 2011. P.1543-1551**