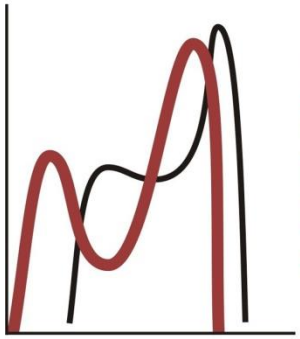


ИНСТИТУТ
МАТЕМАТИКИ
МЕХАНИКИ
КОМПЬЮТЕРНЫХ
НАУК

имени И.И. Воровича —

Архитектура компьютера и операционные системы

Лекция 18. Управление памятью.

Андреева Евгения Михайловна
доцент кафедры информатики и вычислительного эксперимента

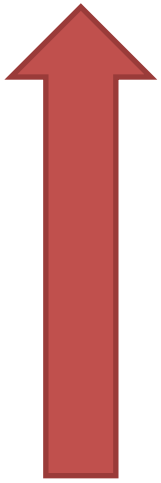
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Управление памятью

- Операционной системе приходится решать задачу распределения памяти между пользовательскими процессами и компонентами ОС.
- Эта деятельность называется управлением памятью.
- Часть ОС, которая отвечает за управление памятью, называется менеджером памяти (MMU - memory management unit).

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Иерархия памяти

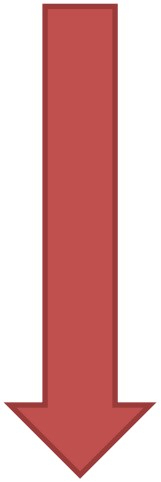


Стоимость одного бита

Регистры

Кэш

Время доступа
Объем



Оперативная память

Управляется менеджером памяти

Вторичная память

Управляется ОС

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Принцип локальности

- Большинство реальных программ в течение некоторого отрезка времени работает с небольшим набором адресов памяти – это принцип локальности
- Свойство локальности (соседние в пространстве и времени объекты характеризуются похожими свойствами) присуще не только функционированию ОС, но и природе вообще.

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Физическая память

- Оперативная физическая память может быть представлена в виде массива ячеек с линейными адресами.
- Совокупность всех доступных физических адресов в вычислительной системе – это ее физическое адресное пространство

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Адресное пространство

- Символьное адресное пространство – совокупность всех допустимых идентификаторов переменных
- Логическое адресное пространство – совокупность всех допустимых адресов, с которыми работает процессор
- Физическое адресное пространство – совокупность всех доступных физических адресов в вычислительной системе

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Связывание адресов

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Функции ОС для управления памятью

- Отображение логического адресного пространства процесса на физическое адресное пространство
- Распределение памяти между конкурирующими процессами
- Контроль доступа к адресным пространствам процессов
- Выгрузка процессов (целиком или частично) во внешнюю память
- Учет свободной и занятой памяти

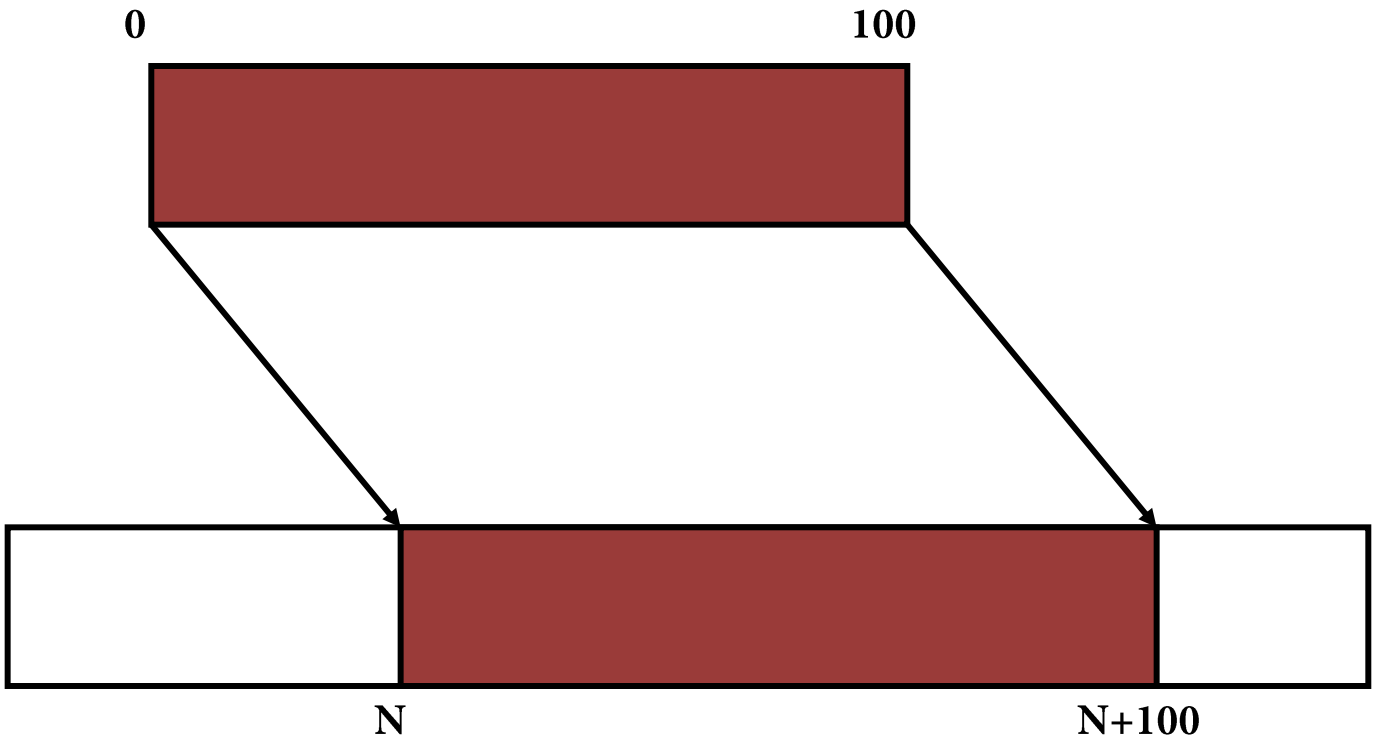
Стратегии управления памятью

- Линейное непрерывное отображение
  - Схема с фиксированными разделами
  - Схема с динамическими разделами
- Линейное кусочно-непрерывное отображение
  - Страничная организация памяти
  - Сегментная организация памяти

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

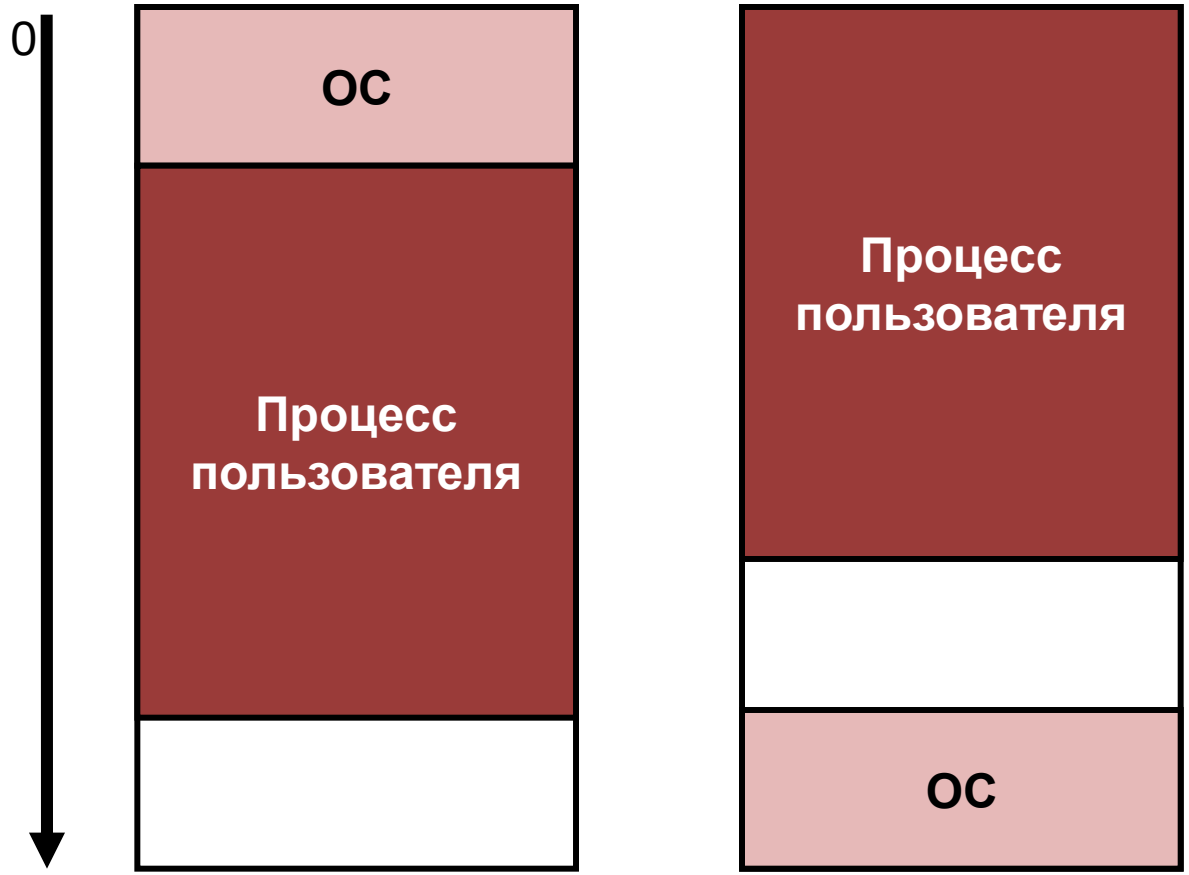
Линейное непрерывное отображение

- Логическое адресное пространство
- Физическое адресное пространство



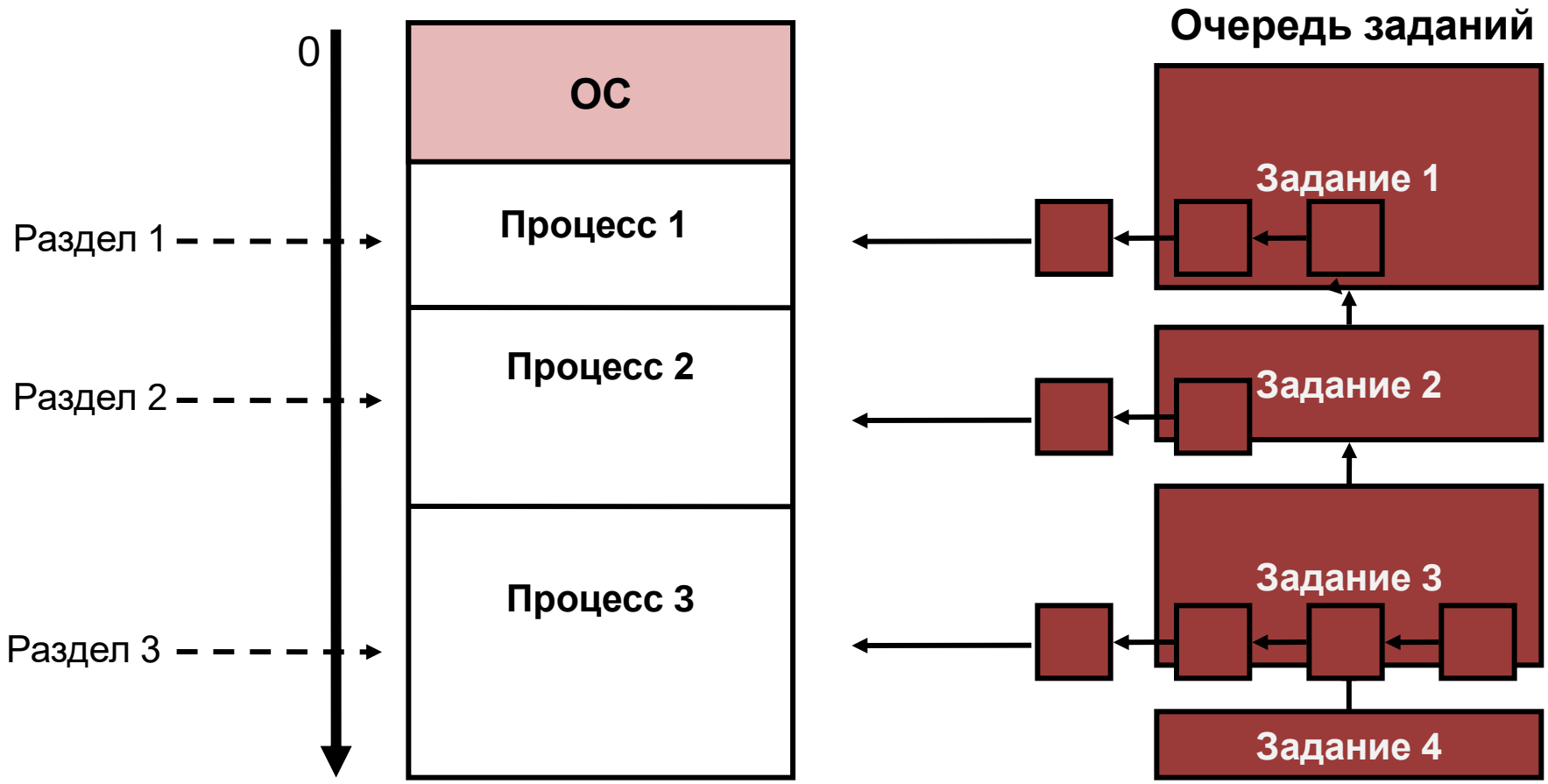
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Однопрограммная вычислительная система



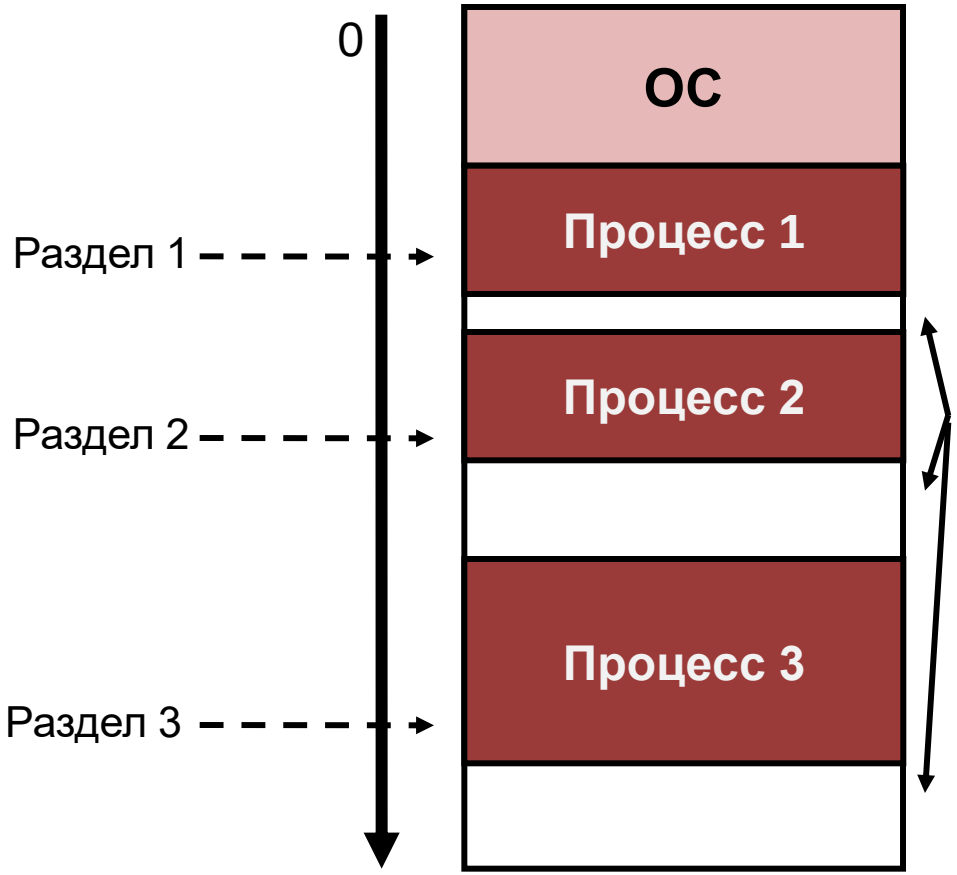
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Схема с фиксированными разделами



ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Внутренняя фрагментация



Внутренняя фрагментация – «потеря» части памяти, выделенной процессу, но не используемой им

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Способы организации больших программ

- Оверлейная структура

  Программа разбивается на несколько частей. Постоянно в памяти находится только загрузчик оверлеев, небольшое количество общих данных и процедур, а части загружаются по очереди

- Динамическая загрузка процедур

  Процедуры загружаются в память только по мере необходимости, после обращения к ним

- Оба способа основаны на применении принципа локальности

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

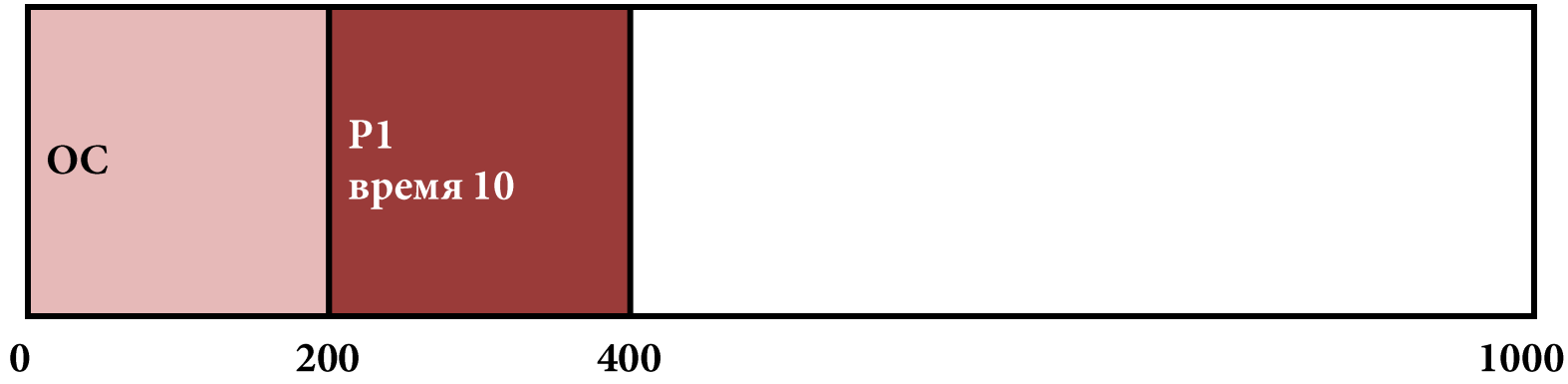
Схема с динамическими разделами

Очередь заданий

№	1	2	3	4	5
память	200	300	250	250	70
время	10	5	20	8	15

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Схема с динамическими разделами



Очередь заданий

№		2	3	4	5
память		300	250	250	70
время		5	20	8	15

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Схема с динамическими разделами

Очередь заданий

№			3	4	5
память			250	250	70
время			20	8	15

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

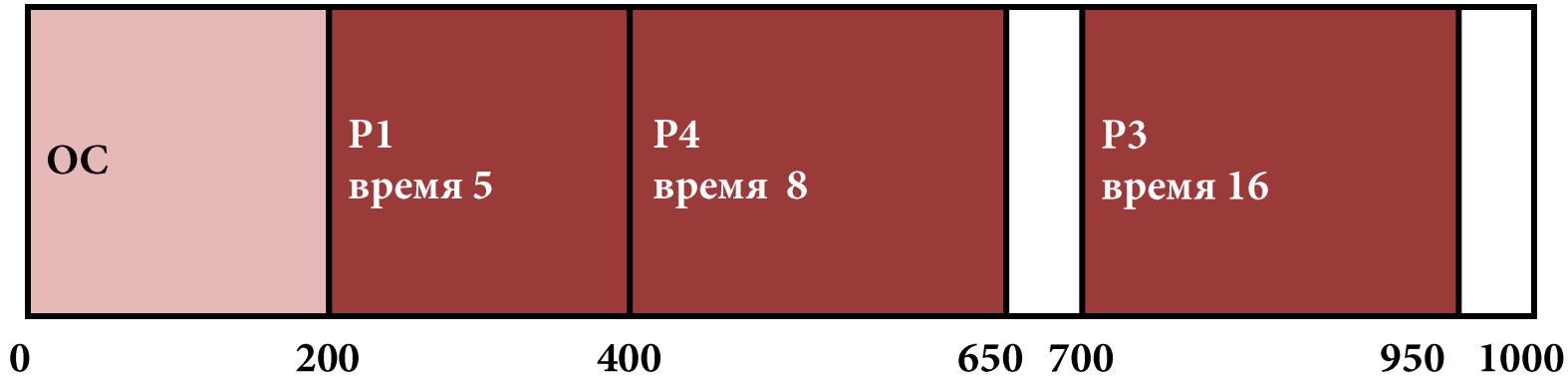
Схема с динамическими разделами

Очередь заданий

№				4	5
память				250	70
время				8	15

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Схема с динамическими разделами

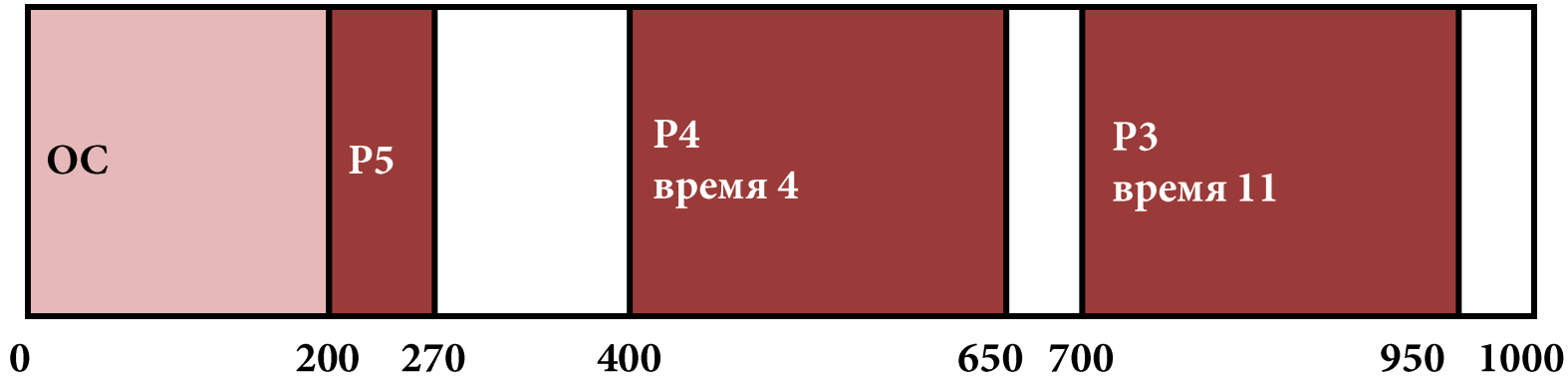


Очередь заданий

№					5
память					70
время					15

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Схема с динамическими разделами



Очередь заданий

№					
память					
время					

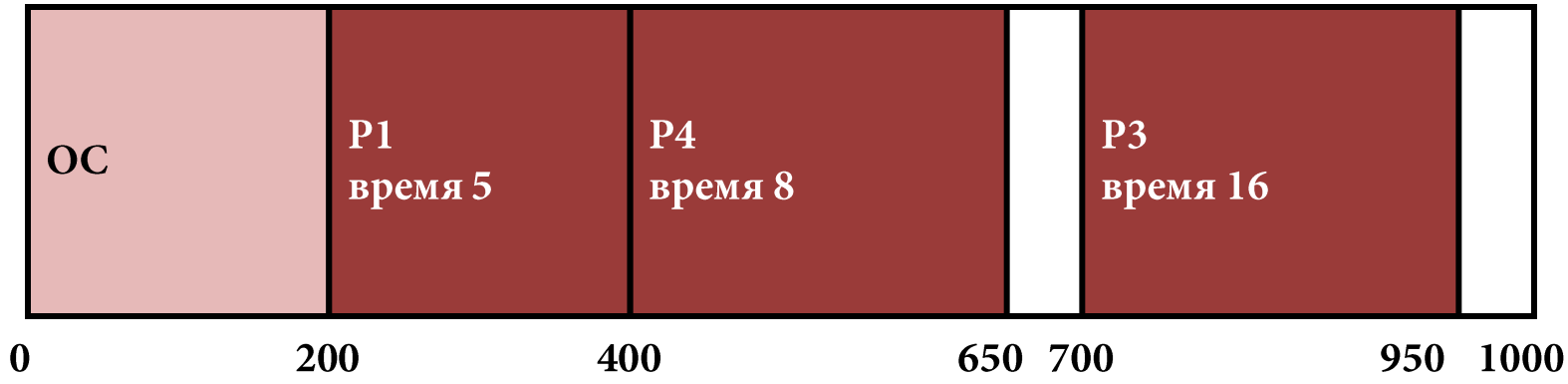
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Стратегии размещения нового процесса в памяти

- Первый подходящий (first-fit). Процесс размещается в первое подходящее по размеру пустое место
- Наиболее подходящий (best-fit). Процесс размещается в наименьшее подходящее по размеру пустое место
- Наименее подходящий (worst-fit). Процесс размещается в наибольшее пустое место

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Внешняя фрагментация

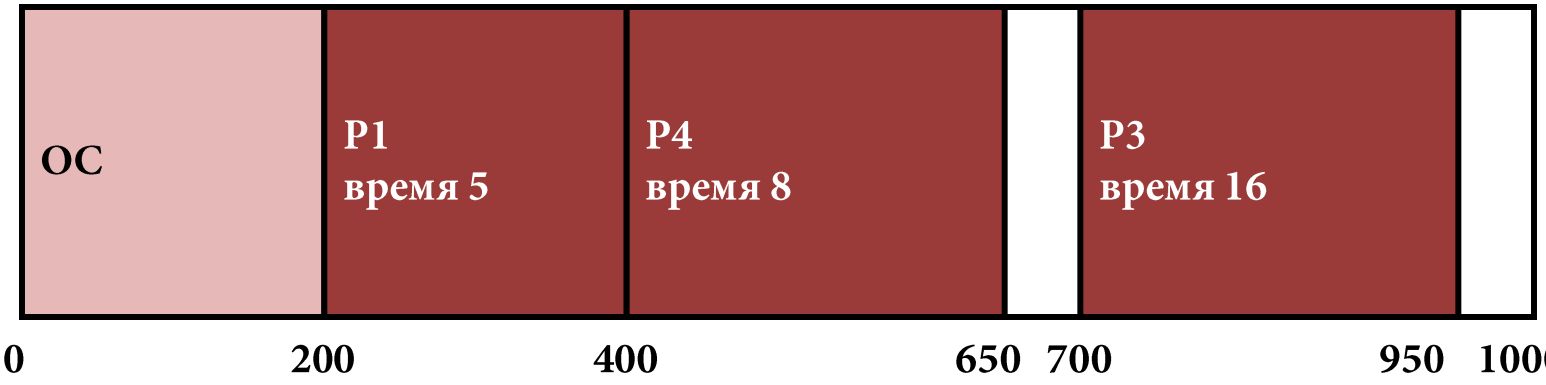


Очередь заданий

№	5
память	70
время	15

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

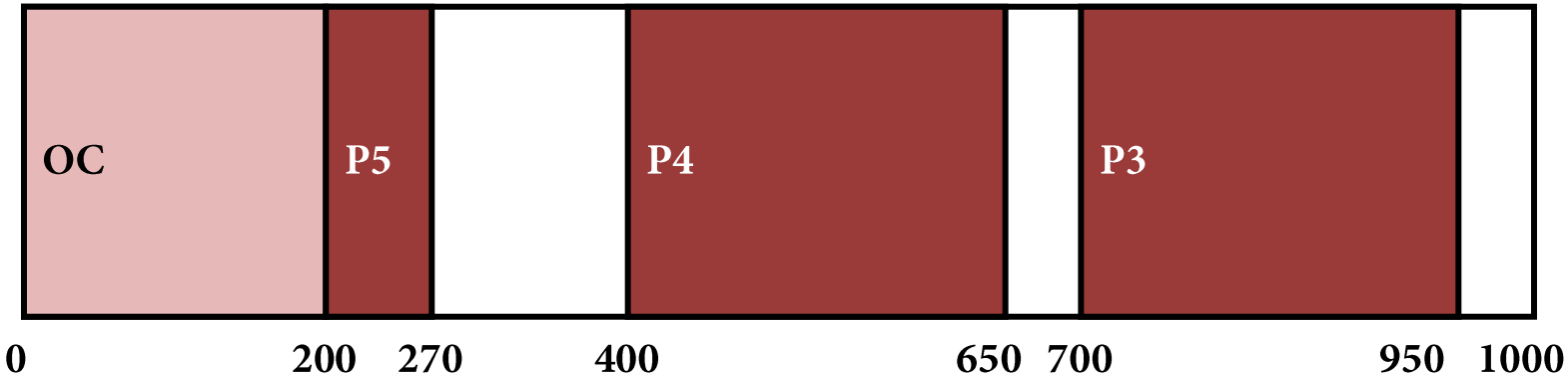
Внутренняя фрагментация



- Внешняя фрагментация – невозможность использования памяти, неиспользуемой процессами, из-за ее раздробленности
- Возможна и внутренняя фрагментация при почти полном заполнении процессом пустого фрагмента

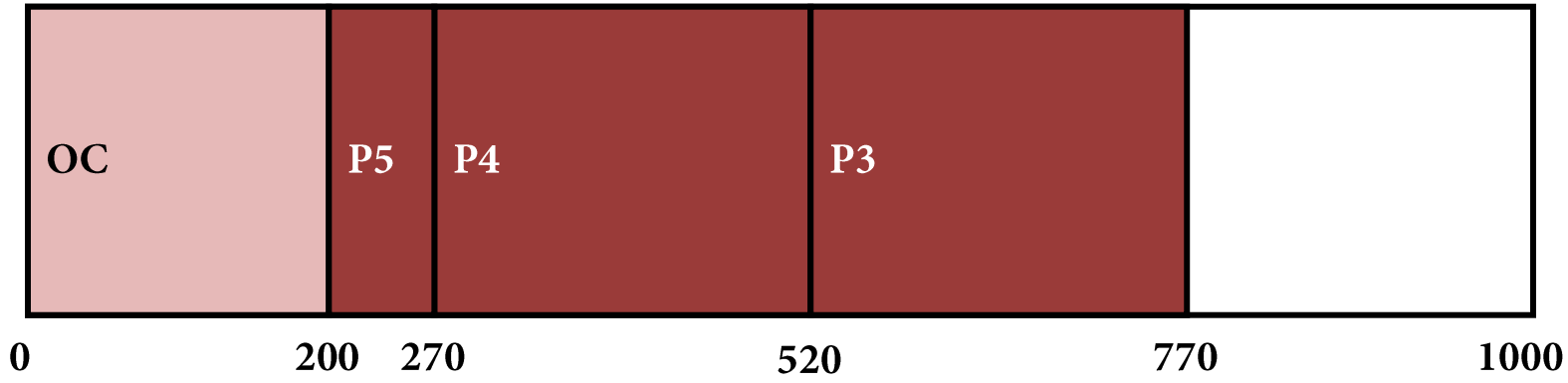
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

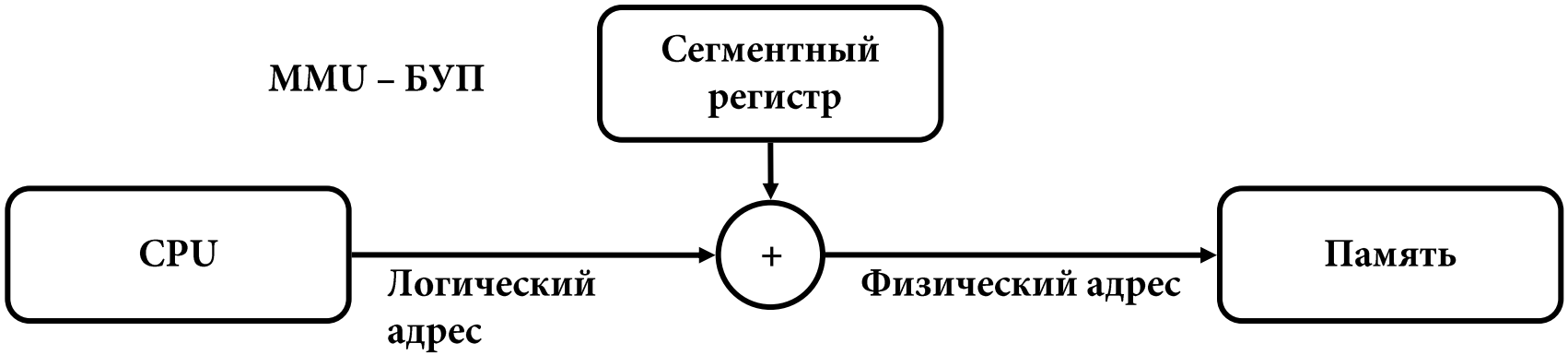
Сборка мусора



ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Сборка мусора

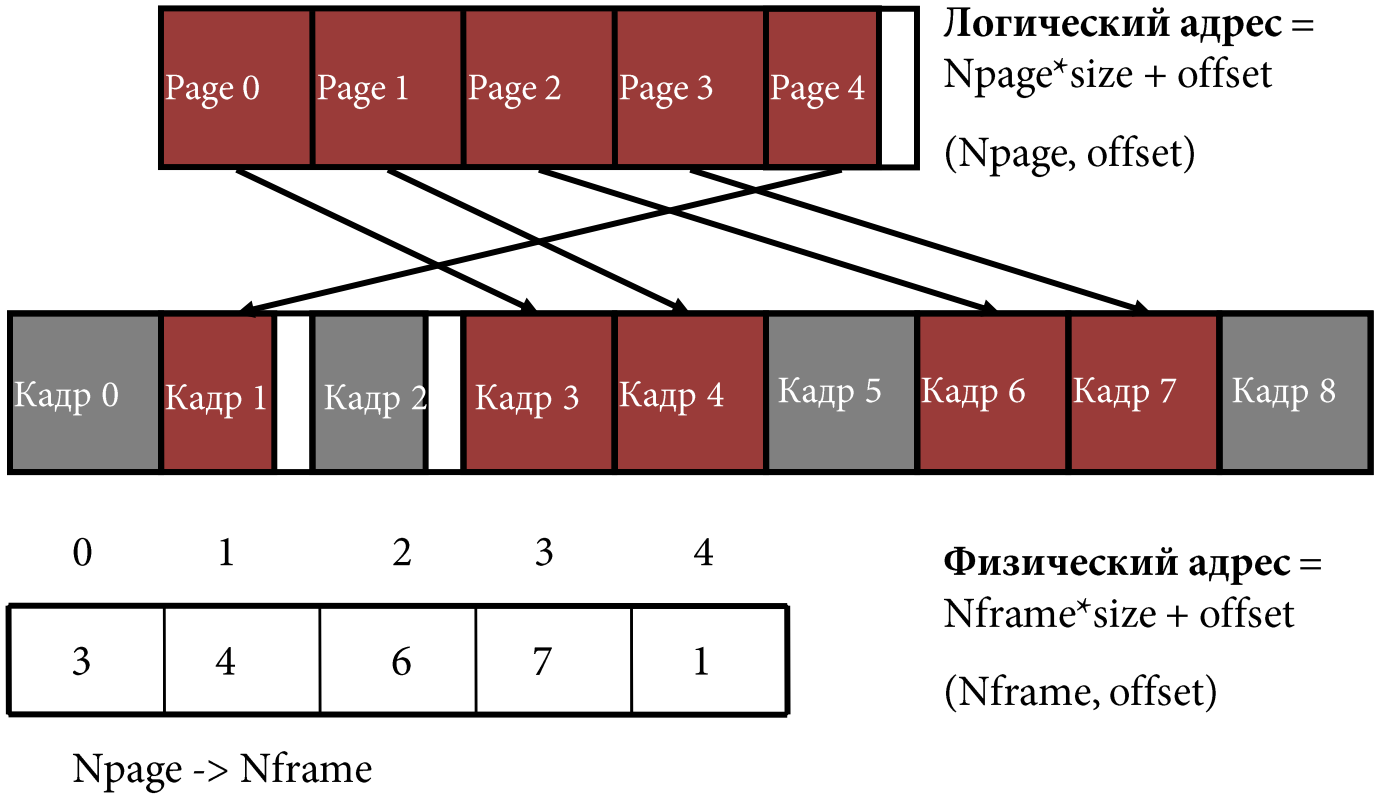




ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Страничная организация памяти

- Логическое адресное пространство
- Физическое адресное пространство
- Таблица страниц



Логический адрес = Npage*size + offset

(Npage, offset)

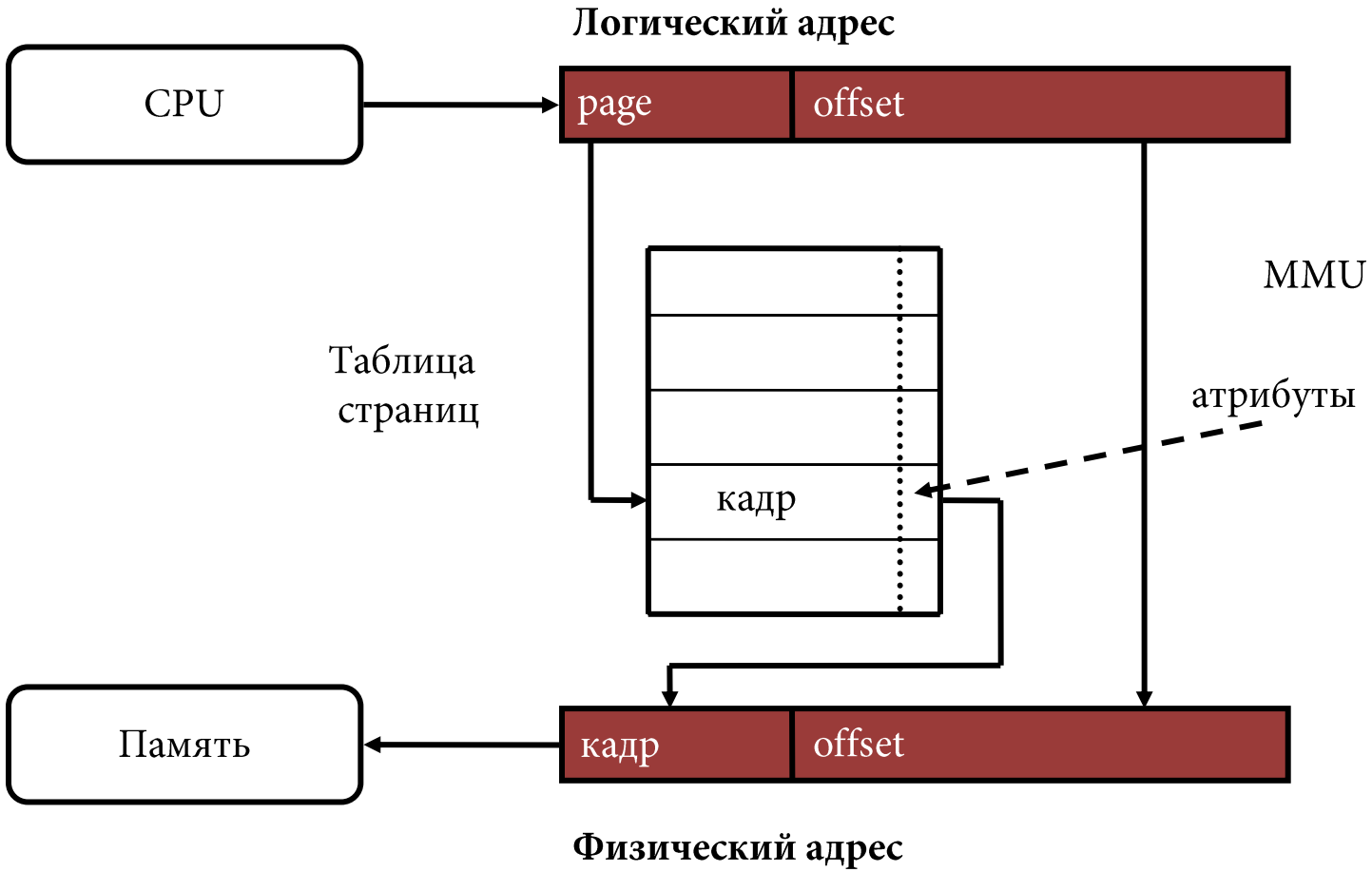
Физический адрес = Nframe*size + offset

(Nframe, offset)

Свойственна внутренняя фрагментация

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

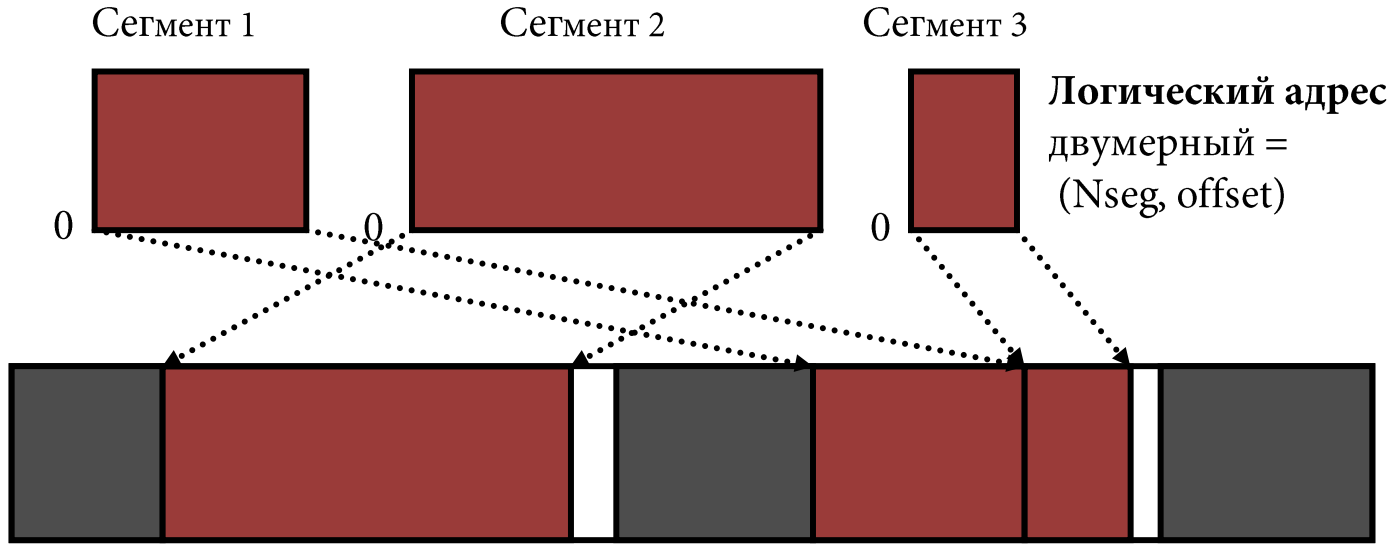
Страничная организация памяти



ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Сегментная организация памяти

- Логическое адресное пространство
- Физическое адресное пространство



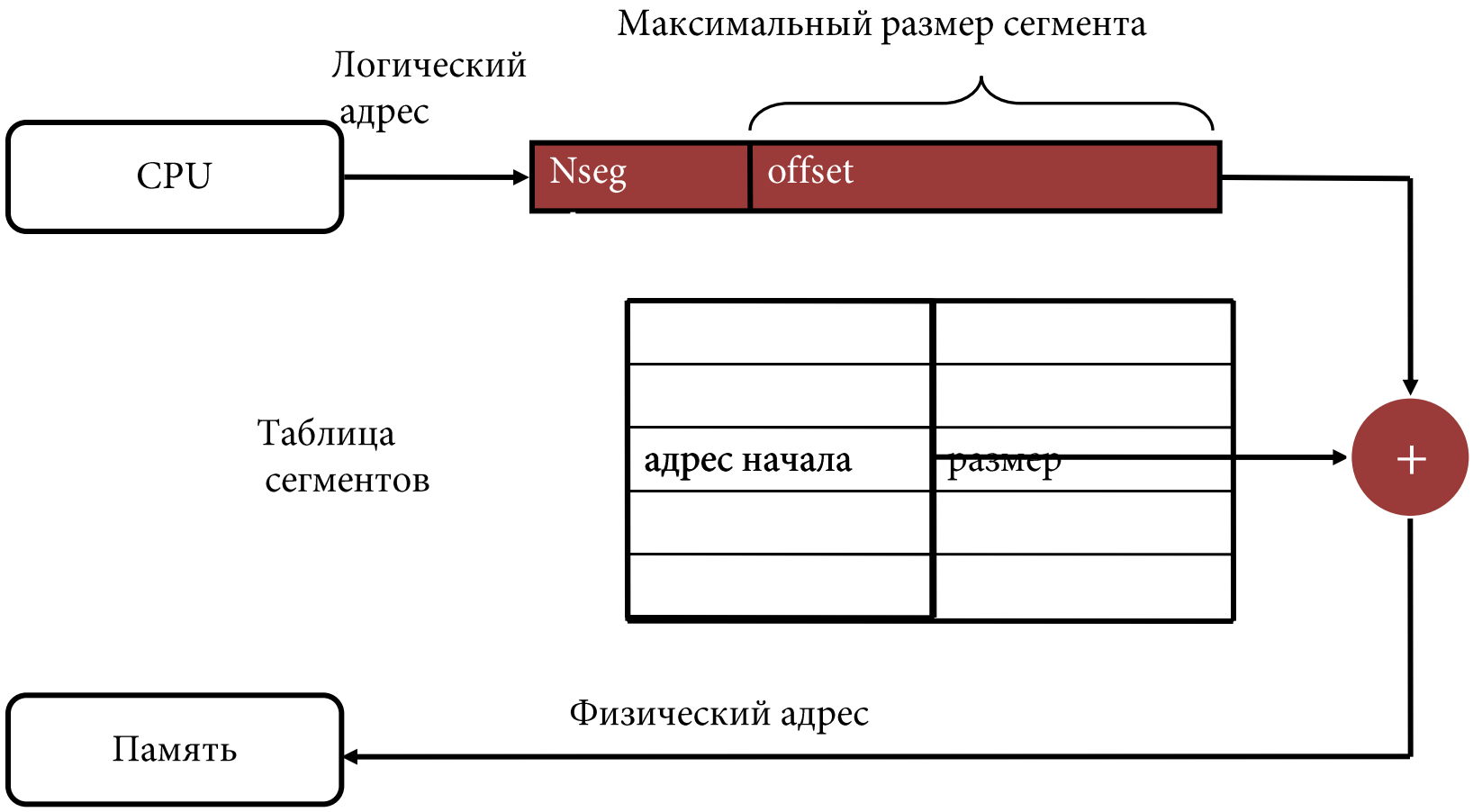
Логический адрес – двумерный = (Nseg, offset)

Физический адрес линейный = физический адрес начала сегмента + offset

Свойственна внешняя фрагментация

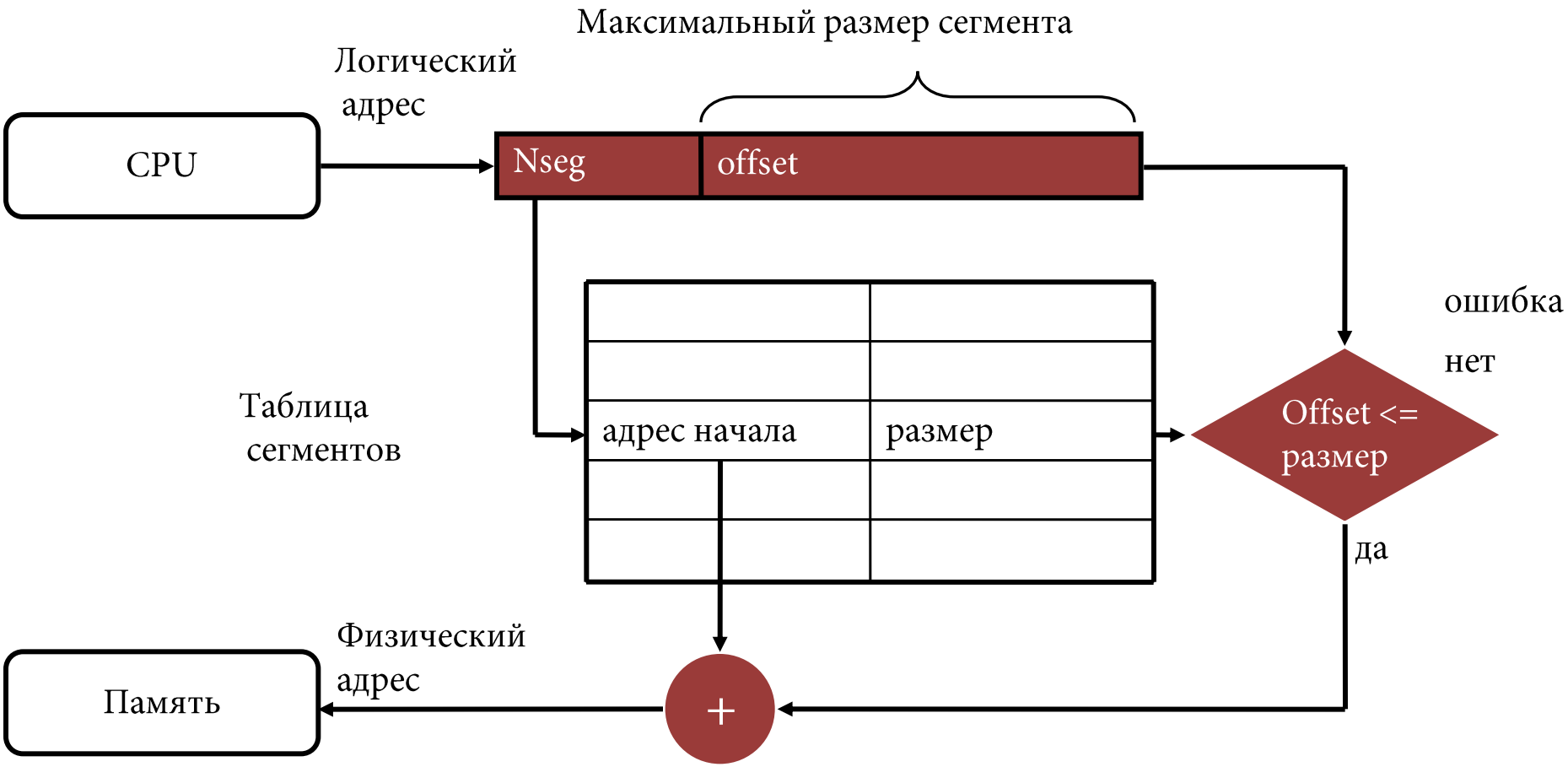
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Сегментная организация памяти



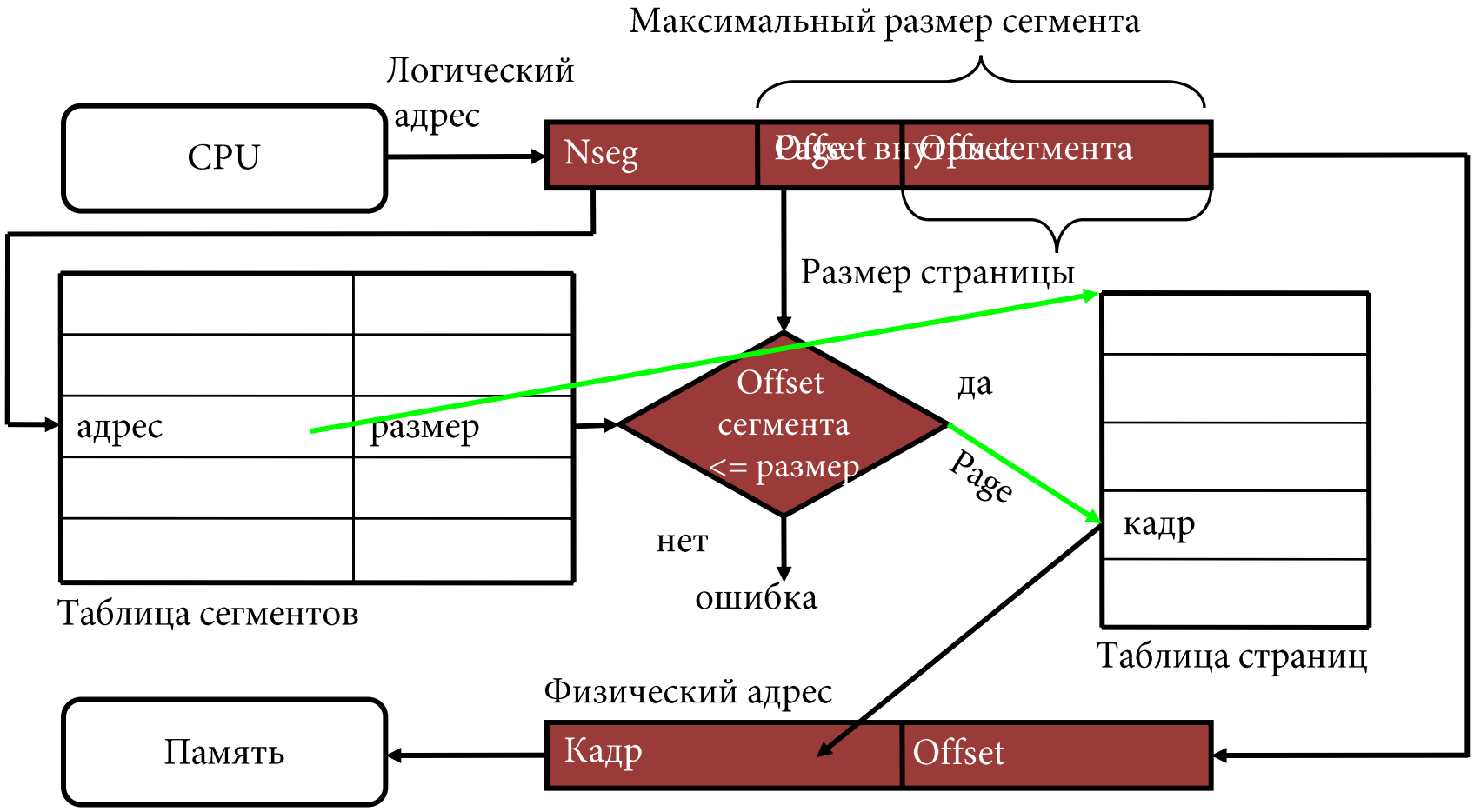
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Сегментная организация памяти



ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Сегментно-страничная организация памяти



Виртуальная память

- В схемах виртуальной памяти у процесса создается иллюзия того, что вся необходимая ему информация имеется в основной памяти.
- Для этого, во-первых, занимаемая процессом память разбивается на несколько частей, например страниц.
- Во-вторых, логический адрес , к которому обращается процесс, динамически транслируется в физический адрес.
- В тех случаях, когда страница, к которой обращается процесс, не находится в физической памяти, нужно организовать ее подкачку с диска.
- Для контроля наличия страницы в памяти вводится специальный *бит присутствия*, входящий в состав атрибутов страницы в *таблице страниц*

Преимущества

- Программа не ограничена объемом физической памяти. Упрощается разработка программ, поскольку можно задействовать большие виртуальные пространства, не заботясь о размере используемой памяти.
- Поскольку появляется возможность частичного помещения программы (процесса) в память и гибкого перераспределения памяти между программами, можно разместить в памяти больше программ, что увеличивает загрузку процессора и пропускную способность системы.

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

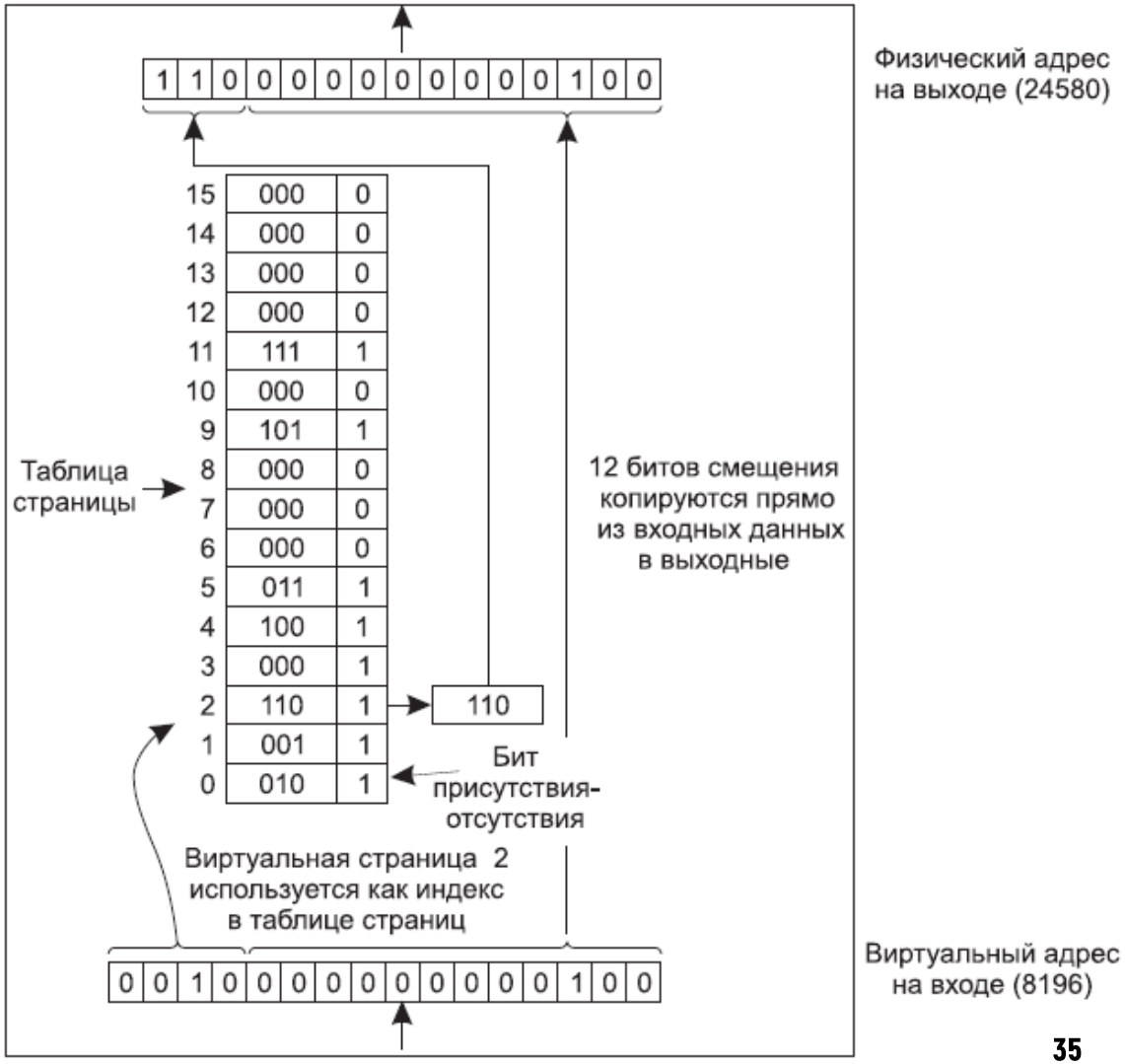
Связь между виртуальными адресами и адресами физической памяти

- Пусть у нас есть компьютер, генерирующий 16-разрядные адреса.
- У этого компьютера есть только 32 Кбайт физической памяти.
- Виртуальное адресное пространство будет 64 Кбайт
- Логический адрес 0 преобразуется в физический 8192
- Логический адрес 20500 преобразуется в физический 12308

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Таблица страниц

- Размер страницы 4Кб=2^{12}байт
- Тогда 16-ти разрядный адрес разбивается на 2 части: $2^{16}=2^4+2^{12}$
- 2^4-адрес страницы
- 2^{12} -смещение внутри страницы



ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

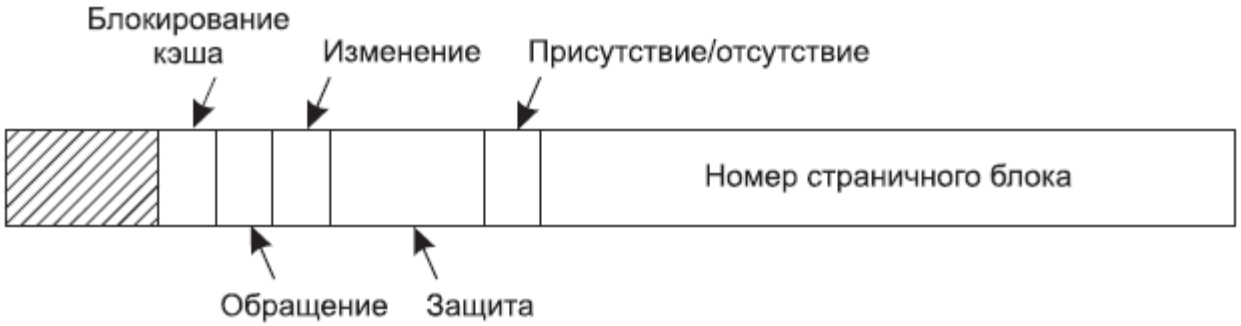
Пример для сегментной организации памяти

- В вычислительной системе с сегментной организацией памяти и 32-х битовым адресом максимальный размер сегмента составляет 2 Mb. Для некоторого процесса таблица сегментов в этой системе имеет вид:

Номер сегмента	Адрес начала сегмента	Длина сегмента
1	0x00000000	0x180000
3	0x00200000	0x080000
5	0x01000000	0x010000

- Какому физическому адресу соответствует логический адрес 0x00a03222?
- 0000 0000 1010 0000 0011 0010 0010 0010
- 0000 0001 0000 0000 0011 0010 0010 0010
- 0x01003222

Структура записи в таблице страниц



- бит *присутствия-отсутствия:*1-виртуальная страница присутствует в памяти, 0 - виртуальная страница в памяти отсутствует
- бит *защиты* сообщает о том, какого рода доступ разрешен: если бит один, то 0 – разрешены чтение-запись, 1 только для чтение (их может быть 3 - на чтение, запись, выполнение)
- бит *изменения* отслеживает режим использования страницы, если страница подвергалась модификации, ее нужно сбросить обратно на диск
- бит *обращения* устанавливается при обращении к странице как для чтения, так и для записи. Он призван помочь операционной системе выбрать страницу для выгрузки из памяти
- бит *блокирования кэша* актуален для тех страниц, которые отображаются на регистры устройств, а не на память.

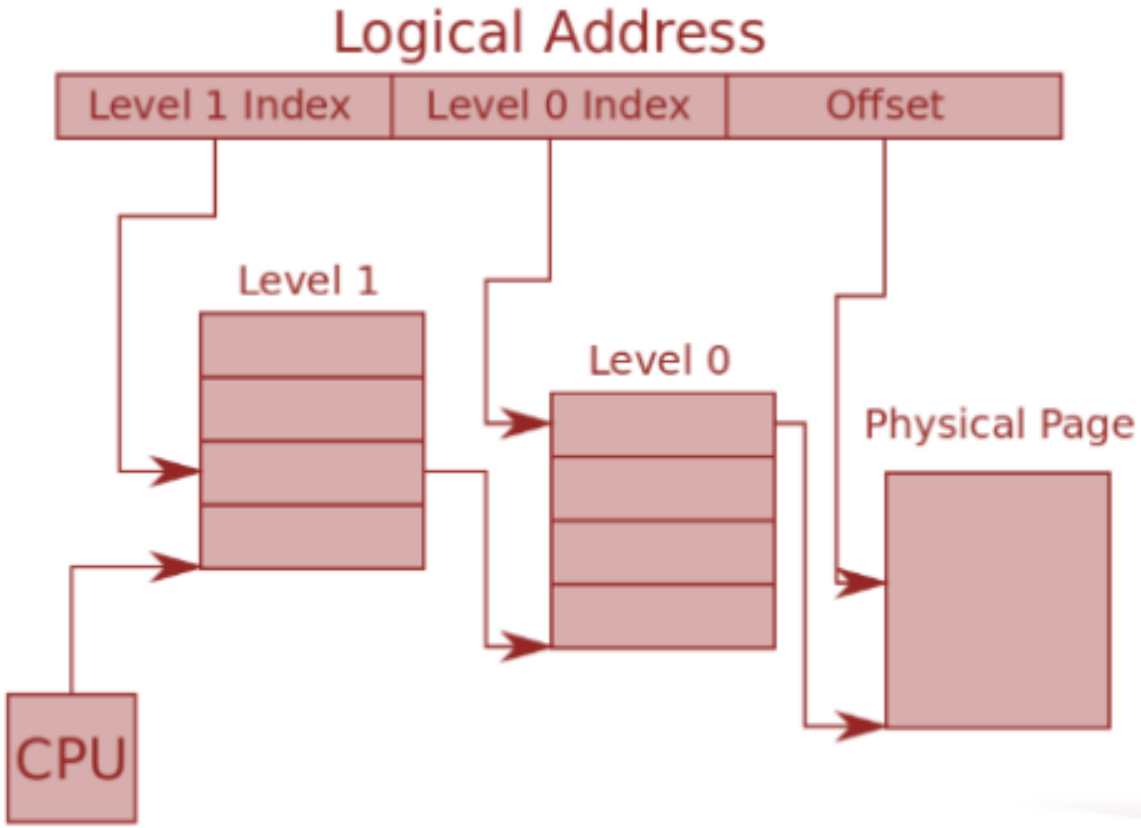
Ускорение работы

- Если пространство виртуальных адресов слишком обширное, таблица страниц будет иметь весьма солидный размер.
- Отображение виртуального адреса на физический должно быть быстрым.

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Многоуровневая таблица страниц

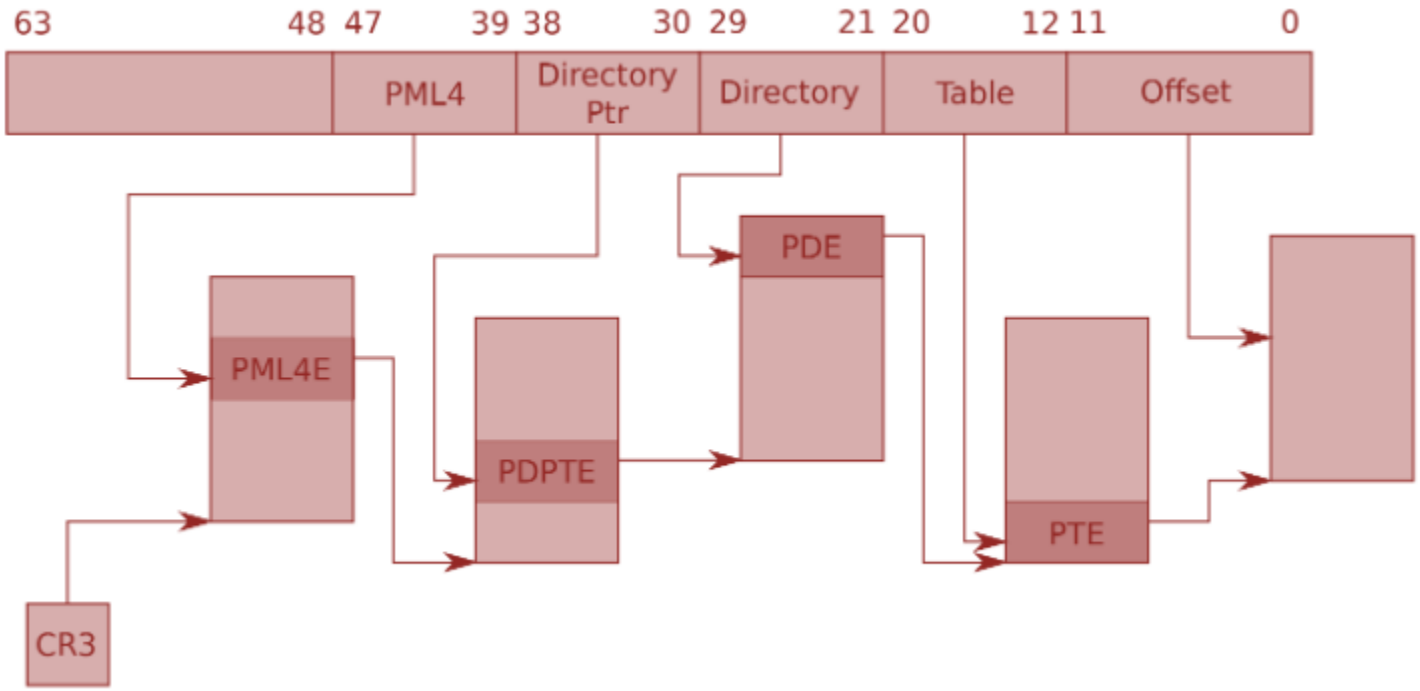
- 32-разрядный процессор способен адресовать до 4Гб памяти
- страничные блоки размером 4 Кб
- $2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^{12} = 2^{32}$ адресуемых байтов



ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

4-х уровневая таблица страниц

- Записей в таблицах - 512
- Размеры страниц могут быть 4Кб, 2Мб и 1Гб



ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Translation lookaside buffer (TLB)

- Буфер быстрого преобразования адреса, который иногда еще называют ассоциативной памятью

Задействована	Виртуальная страница	Изменена	Защищена	Страничный блок
1	140	1	RW	31
1	20	0	R X	38
1	130	1	RW	29
1	129	1	RW	62
1	19	0	R X	50
1	21	0	R X	45
1	860	1	RW	14
1	861	1	RW	75

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Среднее время доступа процессора к данным

- Пусть T_{mem} – время доступа процессора к оперативной памяти
- P – вероятность (частота) попаданий в ассоциативную память при обращении к данным
- T_{tlb} – время обращения к ассоциативной памяти
- Среднее время доступа процессора к одному данному при **двухуровневой** страничной организацией памяти будет задаваться формулой:

$$T_{tlb} + P*T_{mem} + (1-P)*3*T_{mem}$$

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

«Страничное нарушение» (page fault)

- Страничное нарушение может:
  - при отсутствии страницы в оперативной памяти,
  - при попытке записи в страницу с атрибутом "только чтение"
  - при попытке чтения или записи страницы с атрибутом "только выполнение".
- В любом из этих случаев вызывается обработчик страничного нарушения, являющийся частью ОС.
- Ему передается:
  - причина возникновения исключительной ситуации
  - виртуальный *адрес*, обращение к которому вызвало нарушение.

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Стратегии управления страничной памятью

- **Стратегия выборки (fetch policy)** - в какой момент следует переписать страницу из вторичной памяти в первичную.
  - по запросу
    - вступает в действие в тот момент, когда процесс обращается к отсутствующей странице, содержимое которой находится на диске
  - с упреждением.
    - осуществляет опережающее чтение, то есть кроме страницы, вызвавшей исключительную ситуацию, в память также загружается несколько дополнительных страниц.
- **Стратегия размещения (placement policy)** - в какой участок первичной памяти поместить поступающую страницу.
- **Стратегия замещения (replacement policy)** - какую страницу нужно вытолкнуть во внешнюю память, чтобы освободить место в оперативной памяти.

Алгоритмы замещения страниц

- В случае отсутствия свободного страничного кадра в основной памяти ОС должна:
  - найти некоторую занятую страницу основной памяти;
  - переместить в случае надобности ее содержимое во внешнюю память;
  - переписать в этот страничный кадр содержимое нужной виртуальной страницы из внешней памяти;
  - должным образом модифицировать необходимый элемент соответствующей таблицы страниц;
  - продолжить выполнение процесса, которому эта виртуальная страница понадобилась

Виды алгоритмов замещения страниц

- Локальные алгоритмы:
  - распределяют фиксированное или динамически настраиваемое число страниц для каждого процесса. Когда процесс израсходует все предназначенные ему страницы, система будет удалять из физической памяти одну из его страниц, а не из страниц других процессов.
- Глобальные алгоритмы:
  - в случае возникновения исключительной ситуации может занять любую физическую страницу, независимо от того, какому процессу она принадлежала.

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Алгоритм FIFO

0	1	2	3	0	1	4	0	1	2	3	4	
0	0	0	3	3	3	4	4	4	4	4	4	
	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2	
		2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	
pf	pf	pf	pf	pf	pf	pf			pf	pf		9pf

0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	3	3	
	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	4	
		2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
			3	3	3	3	3	3	2	2	2	
pf	pf	pf	pf			pf	pf	pf	pf	pf	pf	10pf

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Оптимальный алгоритм (OPT)

0 1 2 3 0 1 4 0 1 2 3 4

0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
		2	3	3	3	4	4	4	4	4	4
pf	pf	pf	pf			pf			pf	pf	

7pf

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Алгоритм LRU (Least Recently Used)

- Выталкивание дольше всего не использовавшейся страницы.

0	1	2	3	0	1	4	0	1	2	3	4

0	0	0	3	3	3	4	4	4	2	2	2	
	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	
		2	2	2	1	1	1	1	1	1	4	
pf	pf	pf	pf	pf	pf	pf			pf	pf	pf	10pf

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		2	2	2	2	4	4	4	4	3	3	
			3	3	3	3	3	3	2	2	2	
pf	pf	pf	pf			pf			pf	pf	pf	8pf

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Алгоритм NFU (Not Frequently Used)

- Выталкивание редко используемой страницы.
- Для алгоритма требуются программные счетчики, по одному на каждую страницу, которые сначала равны нулю.
- При каждом прерывании по времени (а не после каждой инструкции) операционная система сканирует все страницы в памяти и у каждой страницы с установленным флагом обращения увеличивает на единицу значение счетчика, а флаг обращения сбрасывает.
- Кандидатом на освобождение оказывается страница с наименьшим значением счетчика, как страница, к которой реже всего обращались.

Трешинг (Thrashing)

- Высокая частота страничных нарушений называется трешинг
- Процесс находится в состоянии трешинга, если при его работе больше времени уходит на подкачку страниц, нежели на выполнение команд.
- Такого рода критическая ситуация возникает вне зависимости от конкретных алгоритмов замещения.

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Трешинг при глобальном алгоритме замещения

- При глобальном алгоритме замещения процесс, которому не хватает кадров, начинает отбирать кадры у других процессов, которые в свою очередь начинают заниматься тем же.
- В результате все процессы попадают в очередь запросов к устройству вторичной памяти (находятся в состоянии ожидания), а очередь процессов в состоянии готовности пустеет. Загрузка процессора снижается.
- Операционная система реагирует на это увеличением *степени мультипрограммирования*, что приводит к еще большему трешингу и дальнейшему снижению загрузки процессора.
- Таким образом, пропускная способность системы падает.

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Трешинг при локальном алгоритме замещения

- Эффект трешинга, возникающий при использовании глобальных алгоритмов, может быть ограничен за счет применения локальных алгоритмов замещения.
- При локальных алгоритмах замещения если даже один из процессов попал в трешинг, это не сказывается на других процессах.
- Однако он много времени проводит в очереди к устройству выгрузки, затрудняя подкачку страниц остальных процессов.

Зависимость

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

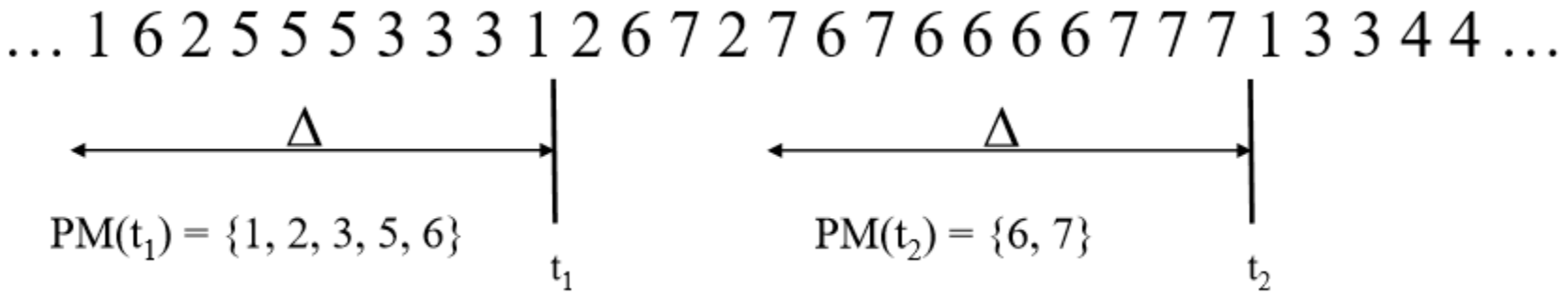
Модель рабочего множества

- Основывается на принципе локальности.
- Рабочее множество – это набор страниц, активно использующихся вместе длительное время.
- Модель предполагает, что во время выполнения процесс перемещается от одного рабочего множества к другому.
- Рабочие множества определяются структурой программы и организацией данных.

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Окно рабочего множества

- Модель рабочего множества использует:
  - параметр Δ – окно рабочего множества и
  - полную строку прошедших обращений к памяти.



- Количество кадров выделяемых процессу определяется размером рабочего множества

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Страничные демоны

- Их задача - поддерживать систему в состоянии наилучшей производительности.
- Во многих клонах ОС Unix есть сборщик страниц, реализующий облегченный вариант алгоритма откачки, основанный на использовании рабочего набора.
  - Данный *демон* производит откачку страниц, не входящих в рабочие наборы процессов. Он начинает активно работать, когда количество страниц в списке свободных страниц достигает установленного нижнего порога
- В ОС Windows есть менеджер балансного набора, который вызывается раз в секунду или тогда, когда размер свободной памяти опускается ниже определенного предела, и отвечает за суммарную политику управления памятью и поддержку рабочих множеств.

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ МЕХАНИКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК имени И.И. Воровича

Домашнее задание

- Подготовка к тестированию по лекциям.
- Читать книгу Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы, стр.214-290.