

# **Введение в многопоточное программирование**

АКОС, МФТИ

31 октября, 2024



# Напомним:

## Что такое поток?

**Поток - это единица планирования процессорного времени.**

Поток является **частью процесса**.

Потоки могут **выполняться независимо** друг от друга.

## Что у всех потоков общее?

**Почти всё:** адресное пространство, набор дескрипторов, и прочее.

## Что у потока своё?

**| Контекст выполнения, стек, и всякие настройки...**

# Многопоточно стреляем себе в ногу

Поток 1

```
1 while(true) {  
2     strcpy(MSG, ".....");  
3 }
```

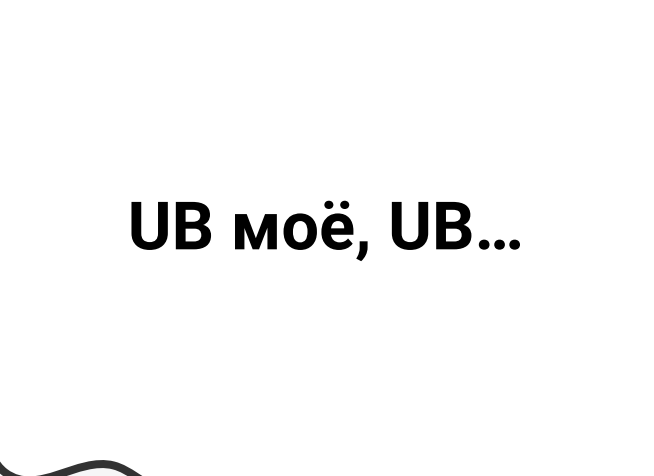
Поток 2

```
1 while(true) {  
2     strcpy(MSG, "@@@@@@");  
3 }
```

```
1 while(i < 100000) puts(MSG);
```

Главный поток

Что выведется?

[illegible]

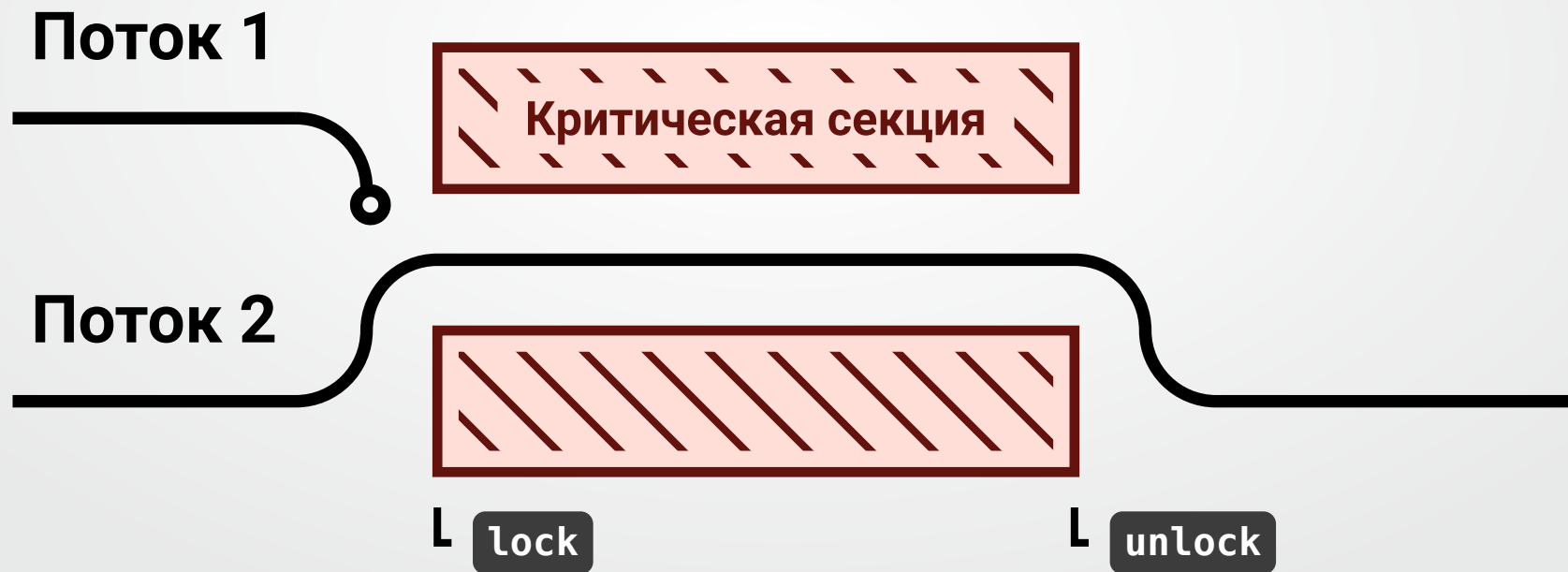
**UB moë, UB...**

## Как это исправить?

# mutex

Примитив синхронизации, позволяющий гарантировать выполнение участка кода только **одним потоком** одновременно. (дословно - **mutually exclusive**)

Имеет две операции: `lock` и `unlock`. Иногда их называют `acquire` и `release`



# pthread\_mutex\_t

## Реализация мьютекса в библиотеке pthread

pthread\_mutex\_init(...)

Конструктор;

pthread\_mutex\_destroy(...)

Деструктор;

pthread\_mutex\_lock(...)

Захватить с ожиданием;

pthread\_mutex\_trylock(...)

Захватить немедленно или вернуть EBUSY ;

pthread\_mutex\_unlock(...)

Отпустить мьютекс.

```
1 pthread_mutex_lock(&lock);  
2  
3 // Эта строка исполнится не более чем одним потоком одновременно  
4  
5 pthread_mutex_unlock(&lock);
```

# Задача об обедающих философах



- **Философы сидят за круглым столом и едят бесконечную лапшу.**
- Каждый философ может либо есть, либо размышлять произвольное время.
- Чтобы начать есть, философу нужно взять **две вилки.**
- Число вилок равно числу философов.
- **Как нужно брать вилки, чтобы не возникло взаимоблокировки?**

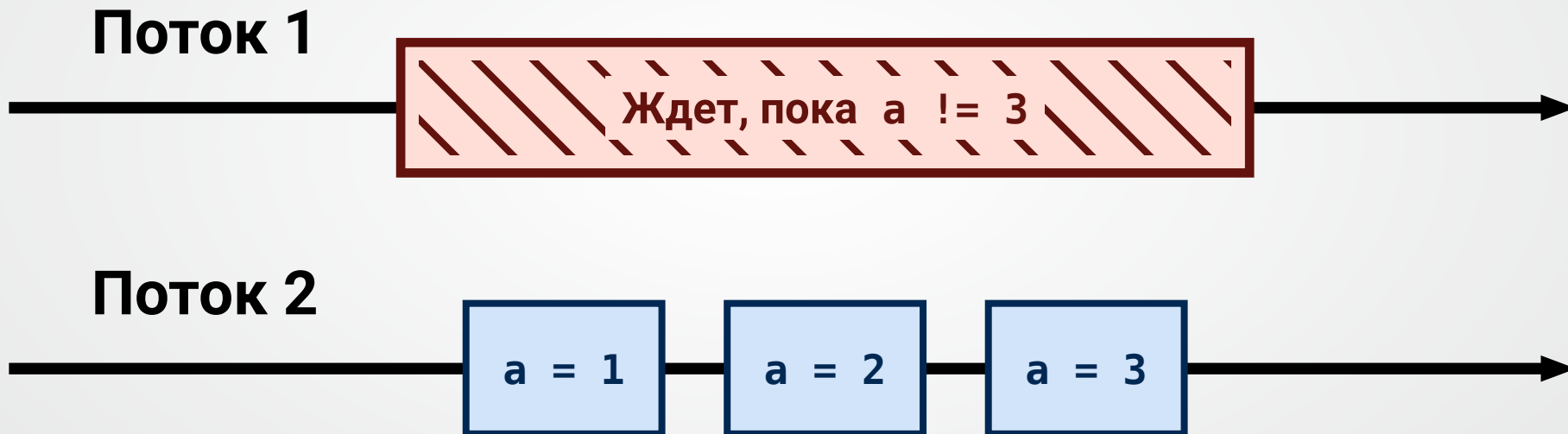
Автор иллюстрации: Benjamin D. Esham



# condvar

Примитив синхронизации для ожидания условия. Работает в паре с мьютексом.

- Дословно - **conditional variable**



- Саму переменную и условие ожидания **можно сделать любыми**.

## Ожид.поток:

`lock()`

```
a != "key"
wait()
```

```
a != "key"
wait()
```

```
a == "key"
unlock()
```

## Обновляющие потоки:

`lock()`

```
a = "foo"
signal()
unlock()
```

`lock()`

```
a = "key"
signal()
unlock()
```

## Интерфейс condvar

**`wait()`** :

- **Заснуть**, освободив мьютекс. При пробуждении захватить мьютекс.
- После пробуждения нужно перепроверить условие.

**`signal()`** :

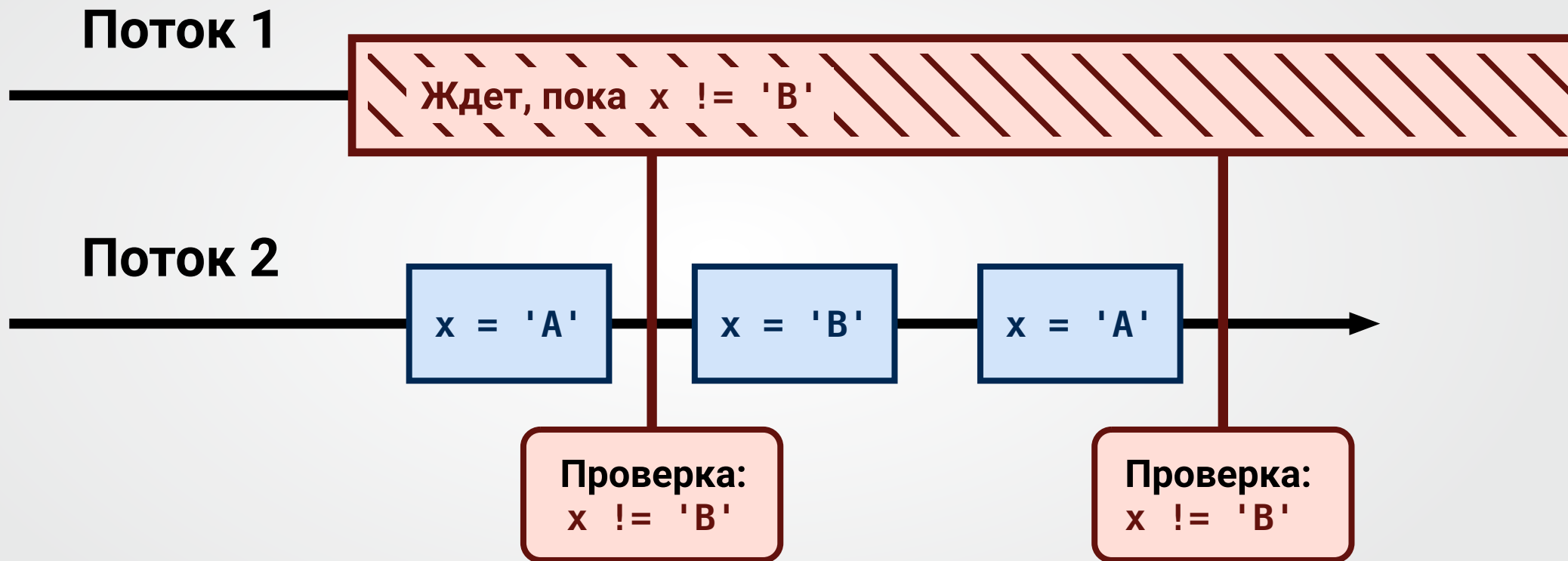
- **Разбудить один** из ожидающих потоков.

**`broadcast()`** :

- **Разбудить все** ожидающие потоки.

Синим выделены критические секции.

## В чем проблема `condvar`?



Проверки могут происходить не сразу. Это может привести к [проблеме ABA](#).

## Корректное использование `condvar`

```
1 lock(&mutex);
2 while(!condition) {
3     wait(&condvar, &mutex);
4 }
5
6 /* Условие выполнено */
7
8 unlock(&mutex);
```

Ожидание условия

```
1 lock(&mutex);
2 strcpy(a, "foo"); // Или key
3 signal(&condvar);
4 unlock(&mutex);
```

Изменение переменной



## Осторожно, Spurious wakeups!

Иногда поток может проснуться сам, без вызова `signal()` или `broadcast()`.

## pthread\_cond\_t

Реализация `condvar` в библиотеке `pthread`

`pthread_cond_init(...)`

Конструктор;

`pthread_cond_destroy(...)`

Деструктор;

`pthread_cond_wait(...)`

Освободить мьютекс и **ожидать сигнала**;

`pthread_cond_timedwait(...)`

Аналогично, но с таймаутом;

`pthread_cond_signal(...)`

**Разбудить один** ожидающий процесс.

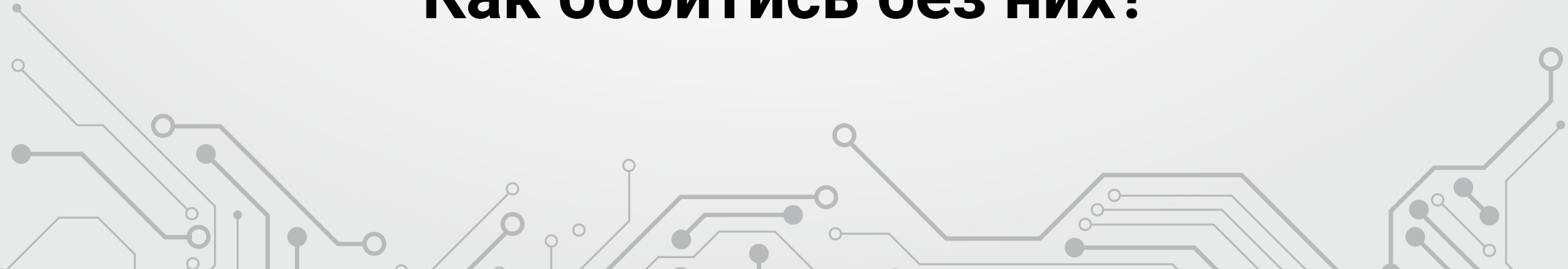
`pthread_cond_broadcast(...)`

**Разбудить все** ожидающие процессы.

# Чем плохи блокировки?

- Накладные расходы на системные вызовы;
- Можно долго ждать планировщик;
- Можно поймать deadlock.

## Как обойтись без них?



# Атомарные операции

## и Lock-Free

# Атомарность

Это гарантия того, что операция будет выполнена целиком и неделимо.

---

- Процессоры умеют атомарно работать с простыми типами. В x86 за это отвечает префикс **lock**. Например, так:

<b>lock add</b> [ebx], ecx		Атомарно $*(\text{ebx}) += \text{ecx};$
<b>lock xchg</b> [ebx], ecx		Атомарно $*(\text{ebx}) \rightleftharpoons \text{ecx};$
<b>lock cmpxchg</b> [ebx], ecx		Атомарно <b>if</b> (eax == *(ebx)) $*(\text{ebx}) \rightleftharpoons \text{ecx};$

- У некоторых инструкций префикс **lock** есть неявно. Например, у **xchg**.
- Некоторые простые структуры данных можно сделать потокобезопасными с помощью лишь атомарных операций, без мьютексов и блокировок.



# Атомарность в Си

Начиная с C11, переменные можно аннотировать как атомарные через `_Atomic`

```
void atomic_init(A* obj, C desired)
```

Конструктор;

```
C atomic_load(A* obj)
```

Атомарное чтение;

```
void atomic_store(A* obj, C desired)
```

Атомарная запись;

```
C atomic_exchange(A* obj, C desired)
```

Атомарно обменивать значения;

```
C atomic_add(A* obj, M desired)
```

Атомарное сложение;

*И так далее...*

Интерфейс к `cmpxchg` на x86, или аналогичным инструкциям на других платформах:

- `bool atomic_compare_exchange_weak(A* obj, C* expected, C desired)`
- `bool atomic_compare_exchange_strong(A* obj, C* expected, C desired)`

`weak` отличается от `strong` тем, что может дать ложный сбой. [See docs](#).

# Неблокирующий стек

Основан на связном списке. За кадром – определения структур `node` и `stack`.

```
1 void push(_Atomic stack_t *s, node_t
   *node)
2 {
3     stack_t next = {};
4     stack_t orig = atomic_load(s);
5     do {
6         node->next = orig.node;
7         next.tag = orig.tag + 1;
8         next.node = node;
9     } while(
10         !atomic_compare_exchange_weak(
11             s, &orig, next))
12 }
```

```
1 node *pop(_Atomic stack_t *s)
2 {
3     stack_t next = {};
4     stack_t orig = atomic_load(s);
5     do {
6         if (orig.node == NULL)
7             return NULL;
8         next.tag = orig.tag + 1;
9         next.node = orig.node->next;
10    } while(
11        !atomic_compare_exchange_weak(
12            s, &orig, next))
13    return orig.node;
14 }
```

Lock-Free структуры писать сложно. Даже стек.  
А Lock-Free очереди вообще посвящена [научная работа](#).

**Спасибо за внимание!**



[github.com/JakMobius/courses/tree/main/mipt-os-basic-2024](https://github.com/JakMobius/courses/tree/main/mipt-os-basic-2024)