@JohnWings
#jbreak

Жизненный цикл JIT кода

Иван Крылов
Апрель, 2017

AZUL SYSTEMS

А туда ли вы пришли?

В других залах

2 Проклятие Spring Test
Кирилл Толкачев

3 Analyzing HotSpot Crashes
Volker Simonis

4 Платформа – архитектурные развилки
Алексей Курагин

А туда ли вы пришли?

- Этот доклад про внутренности JVM и про производительность

В других залах

2 Проклятие Spring Test
Кирилл Толкачев

3 Analyzing HotSpot Crashes
Volker Simonis

4 Платформа – архитектурные развилки
Алексей Курагин

А туда ли вы пришли?

- Этот доклад про внутренности JVM и про производительность
  - Общий интерес

В других залах

2 Проклятие Spring Test
Кирилл Толкачев

3 Analyzing HotSpot Crashes
Volker Simonis

4 Платформа – архитектурные развилки
Алексей Курагин

А туда ли вы пришли?

- Этот доклад про внутренности JVM и про производительность
  - Общий интерес
  - Отвечаете за производительность

В других залах

2 Проклятие Spring Test
Кирилл Толкачев

3 Analyzing HotSpot Crashes
Volker Simonis

4 Платформа – архитектурные развилки
Алексей Курагин

А туда ли вы пришли?

- Этот доклад про внутренности JVM и про производительность
  - Общий интерес
  - Отвечаете за производительность
    - Есть на чем тестировать

<u>В других залах</u>

2 Проклятие Spring Test
Кирилл Толкачев

3 Analyzing HotSpot Crashes
Volker Simonis

4 Платформа – архитектурные развилки
Алексей Курагин

А туда ли вы пришли?

- Этот доклад про внутренности JVM и про производительность
  - Общий интерес
  - Отвечаете за производительность
    - Есть на чем тестировать
    - Возможность собирать логи

<u>В других залах</u>

2 Проклятие Spring Test
Кирилл Толкачев

3 Analyzing HotSpot Crashes
Volker Simonis

4 Платформа – архитектурные развилки
Алексей Курагин

О чем будем говорить

О чем будем говорить

- Трансформация представления кода

О чем будем говорить

- Трансформация представления кода
- Профили кода

О чем будем говорить

- Трансформация представления кода
- Профили кода
- Деоптимизация

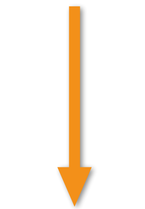
О чем будем говорить

- Трансформация представления кода
- Профили кода
- Деоптимизация
- 4 API для тюнинга компиляции

Конвейер

Конвейер

Javac
1) Статическая верификация
2) Неоптимизирующая компиляция



Исходный код *.java

Байткод

Конвейер

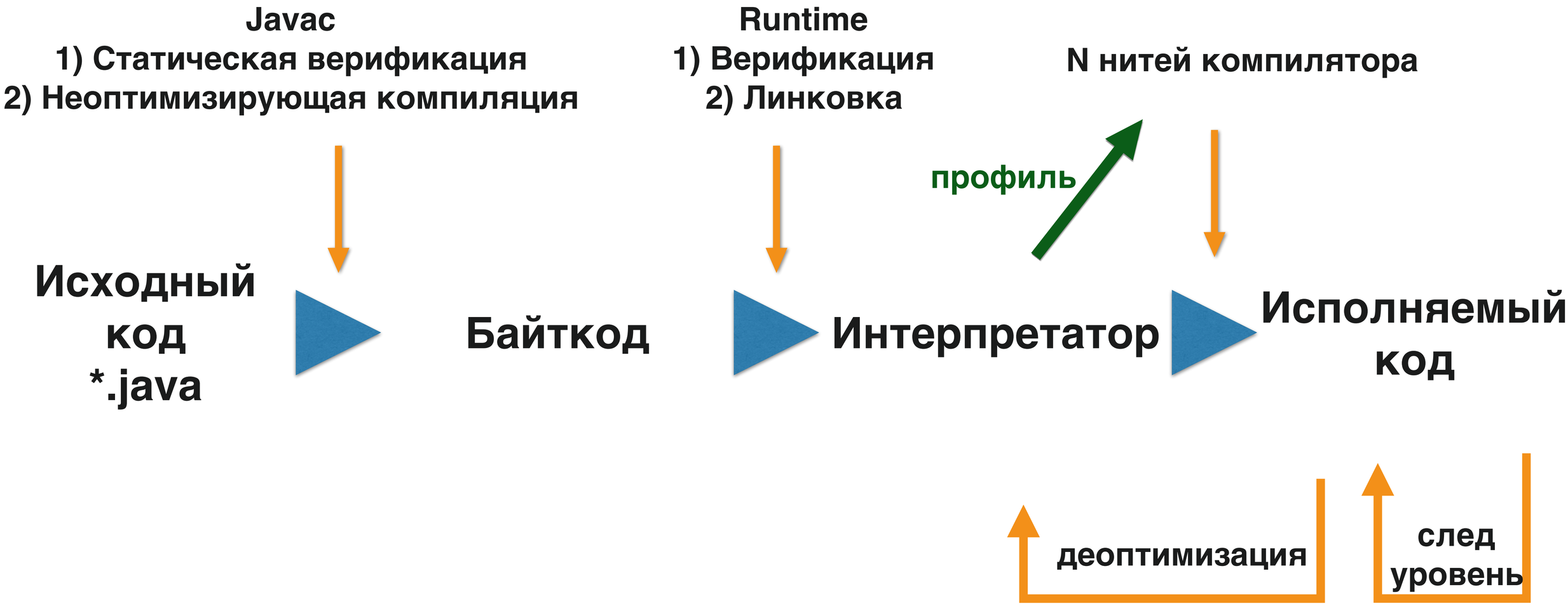
Javac
1) Статическая верификация
2) Неоптимизирующая компиляция

Runtime
1) Верификация
2) Линковка

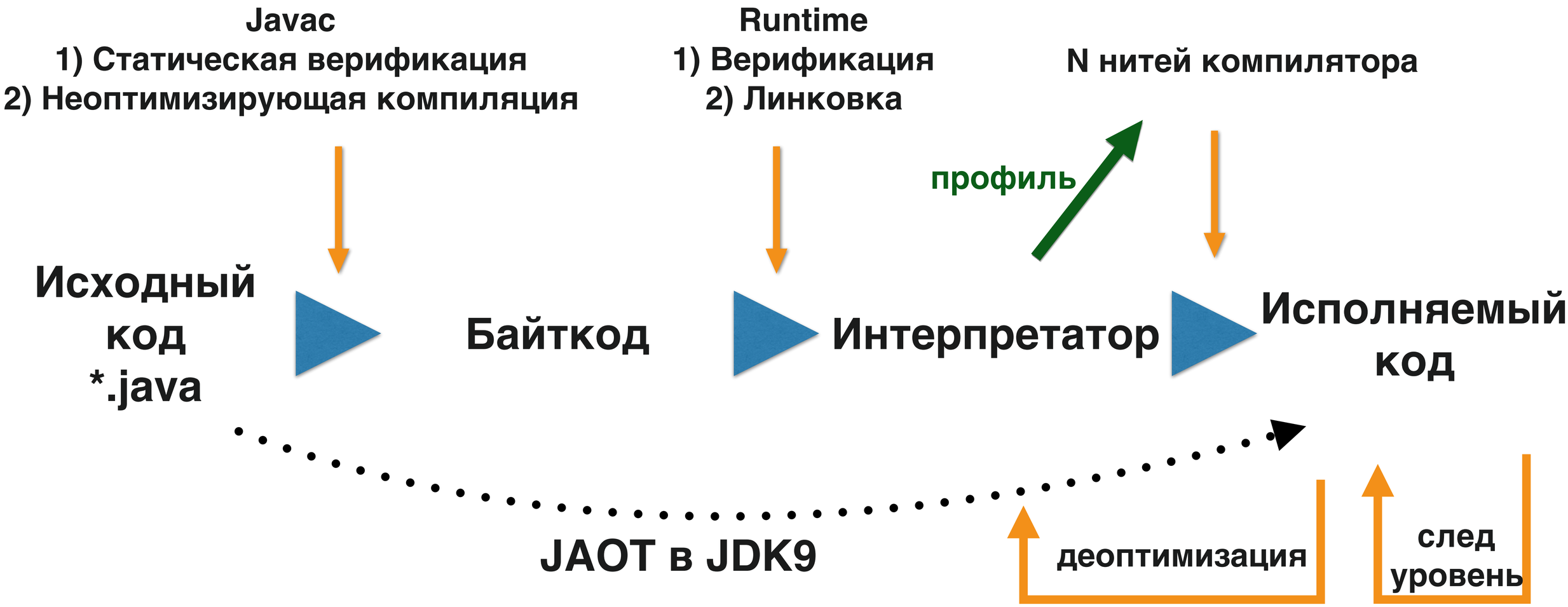
Конвейер


Javac
1) Статическая верификация
2) Неоптимизирующая компиляция
Runtime
1) Верификация
2) Линковка
N нитей компилятора
профиль
Исходный код *.java
Байткод
Интерпретатор

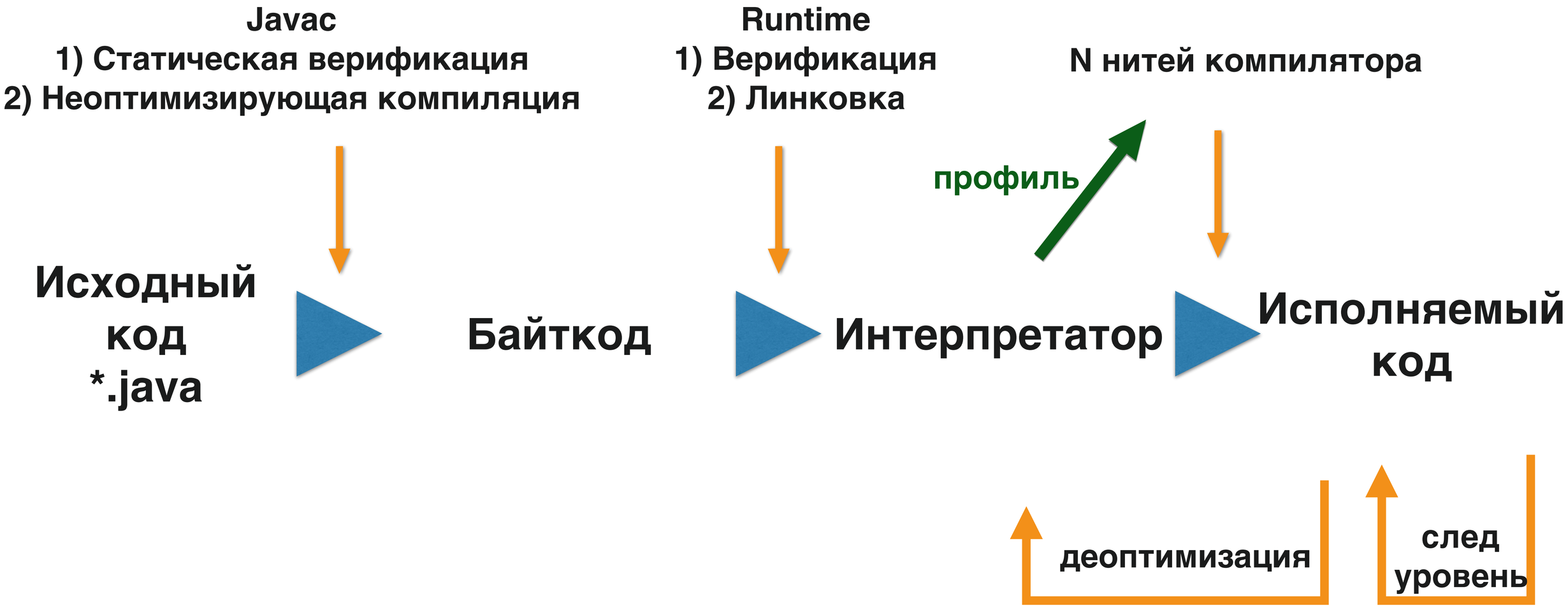
Конвейер


Javac
1) Статическая верификация
2) Неоптимизирующая компиляция
Runtime
1) Верификация
2) Линковка
N нитей компилятора
профиль
Исходный код *.java
Байткод
Интерпретатор
Исполняемый код
деоптимизация
след уровень

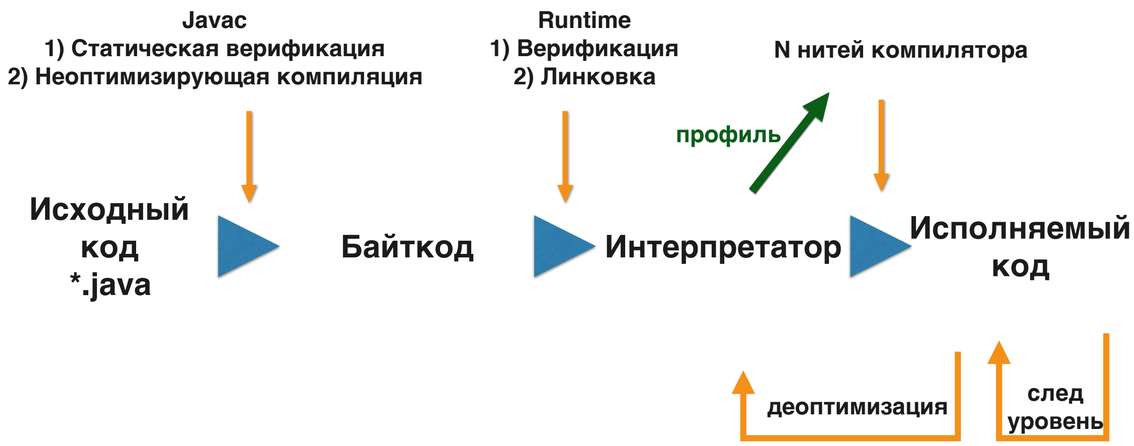
Конвейер


Javac
1) Статическая верификация
2) Неоптимизирующая компиляция
Runtime
1) Верификация
2) Линковка
N нитей компилятора
профиль
Исходный код *.java
Байткод
Интерпретатор
Исполняемый код
JAOT в JDK9
деоптимизация
след уровень

Но может быть и иначе

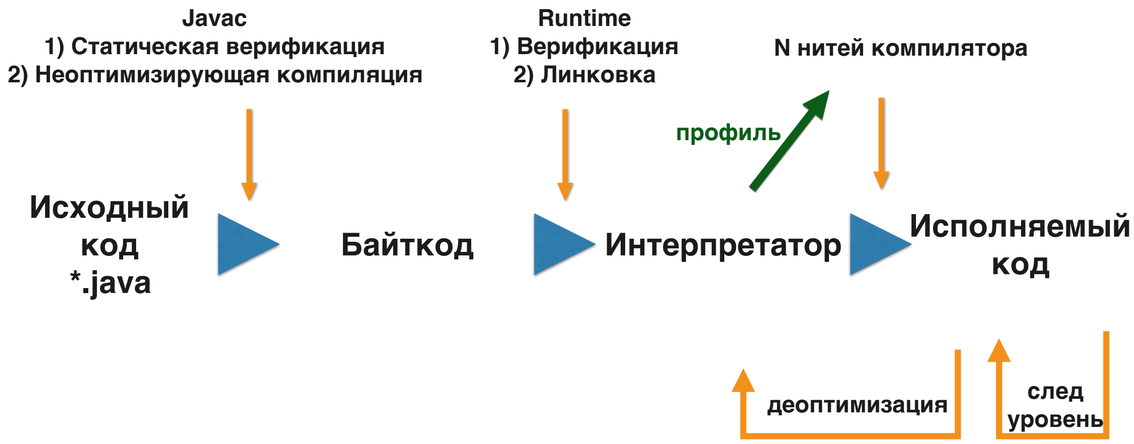


Но может быть и иначе



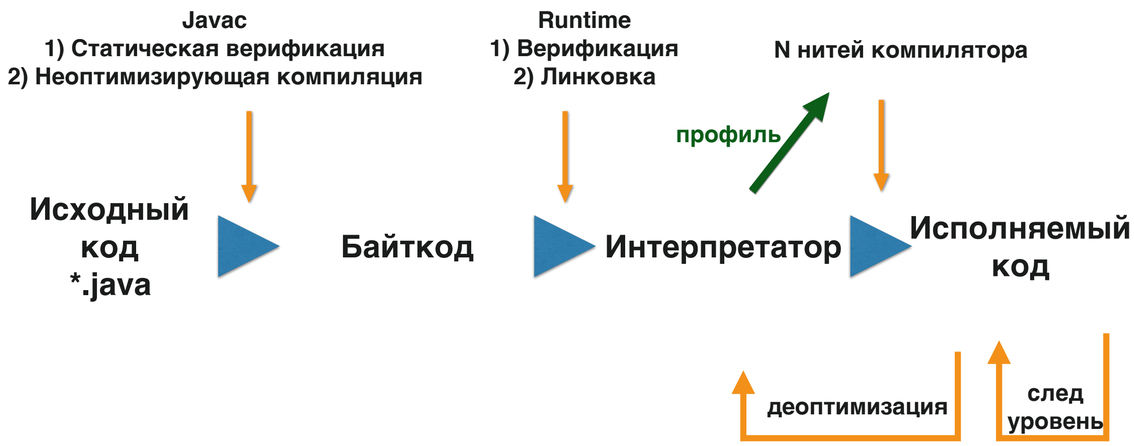
Но может быть и иначе

- Байткод в ВМ может “прилететь” вовсе не из javac
  - Компилятор любого JVM языка; jasm, ByteBuddy, …



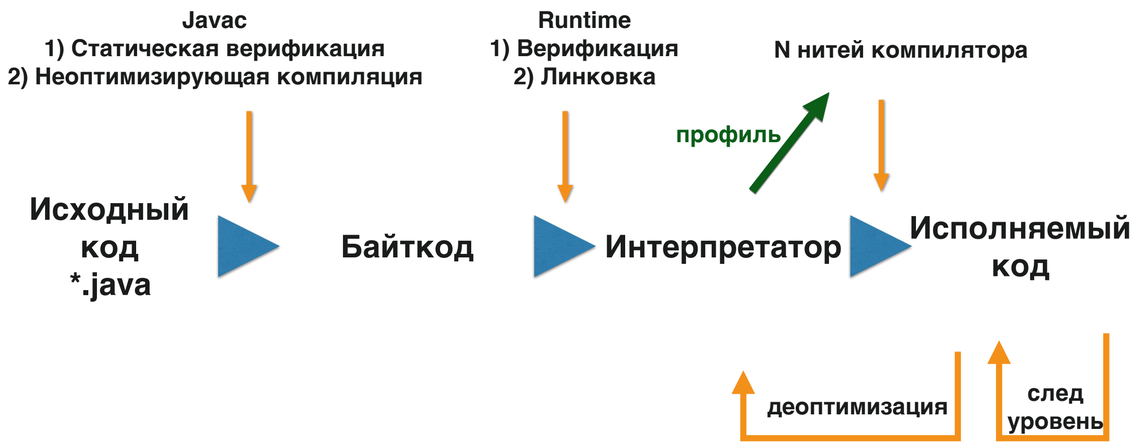
Но может быть и иначе

- Байткод в ВМ может “прилететь” вовсе не из javac
  - Компилятор любого JVM языка; jasm, ByteBuddy, …
- ВМ бывают без интерпретатора
  - JRockit VM



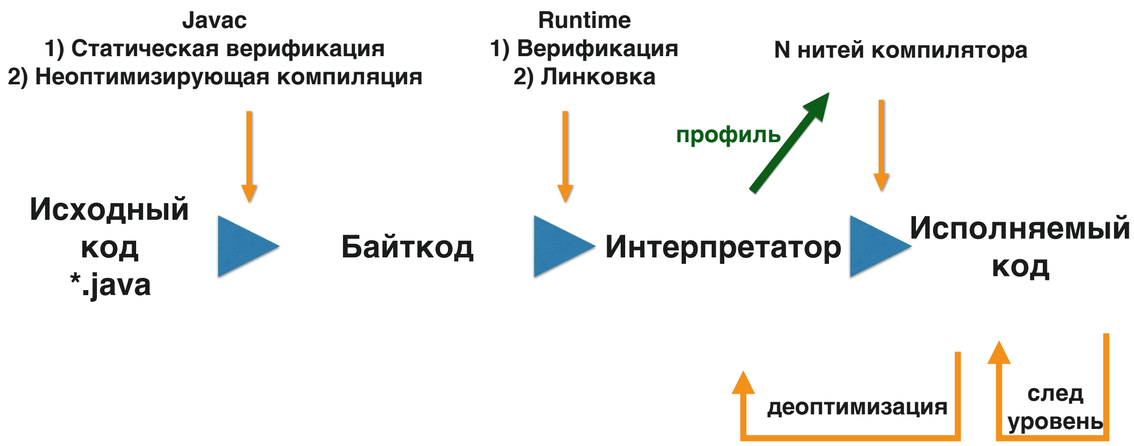
Но может быть и иначе

- Байткод в ВМ может “прилететь” вовсе не из javac
  - Компилятор любого JVM языка; jasm, ByteBuddy, …
- ВМ бывают без интерпретатора
  - JRockit VM
- ВМ бывают лишь с одним интерпретатором
  - Zero-port или -Xint



Но может быть и иначе

- Байткод в ВМ может “прилететь” вовсе не из javac
  - Компилятор любого JVM языка; jasm, ByteBuddy, …
- ВМ бывают без интерпретатора
  - JRockit VM
- ВМ бывают лишь с одним интерпретатором
  - Zero-port или -Xint
- AOT
  - Полностью AOT можно скомпилировать далеко не всякую программу
  - Гибридные JVM : Excelsior JET, AOT на базе Graal (в разработке)



Шаблонной интерпретатор

Шаблонной интерпретатор

- По сути - легковесный компилятор
  - На базе asm-шаблонов
  - Инстанциация адресами

Шаблонной интерпретатор

- По сути - легковесный компилятор
  - На базе asm-шаблонов
  - Инстанциация адресами
- Ведет подсчет вызовов

Шаблонной интерпретатор

- По сути - легковесный компилятор
  - На базе asm-шаблонов
  - Инстанциация адресами
- Ведет подсчет вызовов
- Поддерживает смешанный стек

Шаблонной интерпретатор

- По сути - легковесный компилятор
  - На базе asm-шаблонов
  - Инстанциация адресами
- Ведет подсчет вызовов
- Поддерживает смешанный стек
- Код выглядит как одна большая функция

Пример - ladd байткод

```
0x000000010a59a920: mov     (%rsp),%rax
0x000000010a59a924: add     $0x10,%rsp
0x000000010a59a928: mov     (%rsp),%rdx
0x000000010a59a92c: add     $0x10,%rsp
0x000000010a59a930: add     %rdx,%rax
0x000000010a590933: movzbl  0x1(%r13),%ebx
0x000000010a59a938: inc     %r13
0x000000010a59a93b: movabs  $0x10a0f6600,%r10
0x000000010a59a945: jmpq    *(%r10,%rbx,8)
```

Пример - ladd байткод

результат

```
0x000000010a59a920: mov     (%rsp),%rax
0x000000010a59a924: add     $0x10,%rsp
0x000000010a59a928: mov     (%rsp),%rdx
0x000000010a59a92c: add     $0x10,%rsp
0x000000010a59a930: add     %rdx,%rax
0x000000010a590933: movzbl  0x1(%r13),%ebx
0x000000010a59a938: inc     %r13
0x000000010a59a93b: movabs  $0x10a0f6600,%r10
0x000000010a59a945: jmpq    *(%r10,%rbx,8)
```

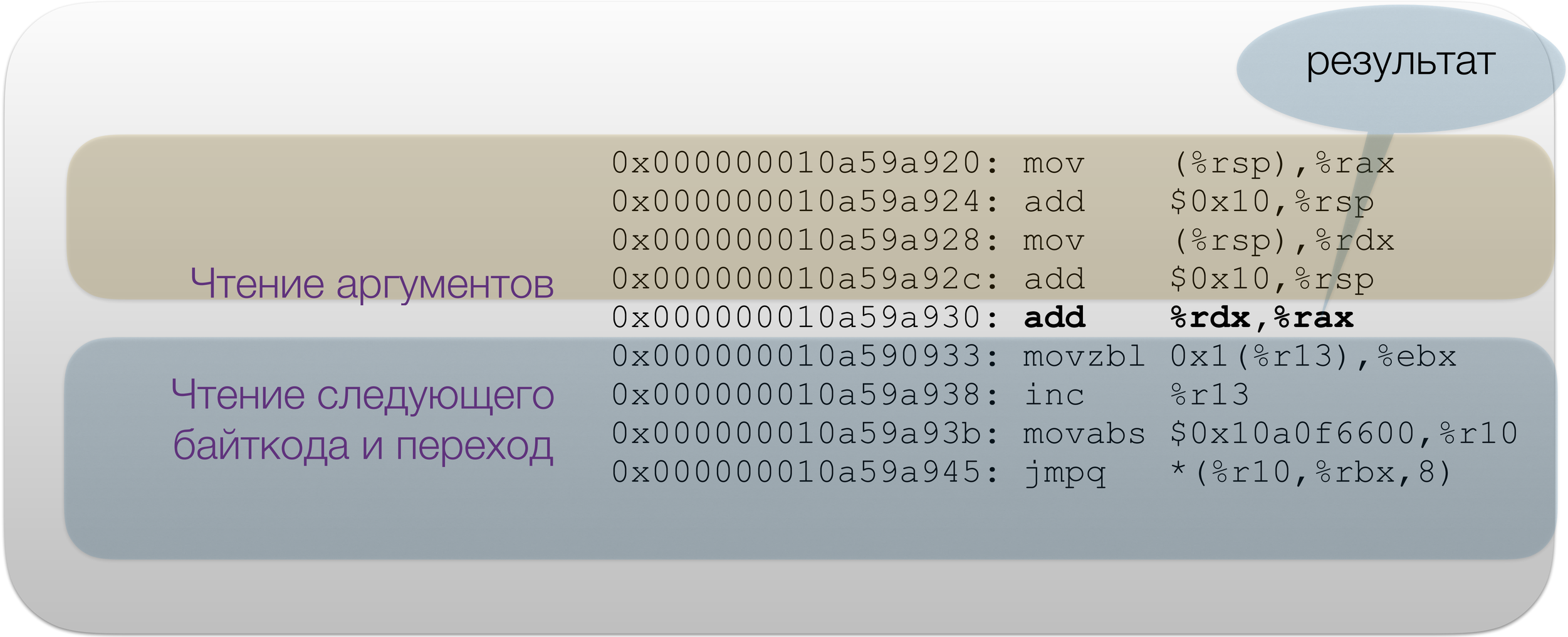
Пример - ladd байткод

результат

Чтение аргументов

```
0x000000010a59a920: mov     (%rsp),%rax
0x000000010a59a924: add     $0x10,%rsp
0x000000010a59a928: mov     (%rsp),%rdx
0x000000010a59a92c: add     $0x10,%rsp
0x000000010a59a930: add     %rdx,%rax
0x000000010a590933: movzbl  0x1(%r13),%ebx
0x000000010a59a938: inc     %r13
0x000000010a59a93b: movabs  $0x10a0f6600,%r10
0x000000010a59a945: jmpq    *(%r10,%rbx,8)
```

Пример - ladd байткод



Пример - ladd байткод

Если в %RAX
нет операндов

№1

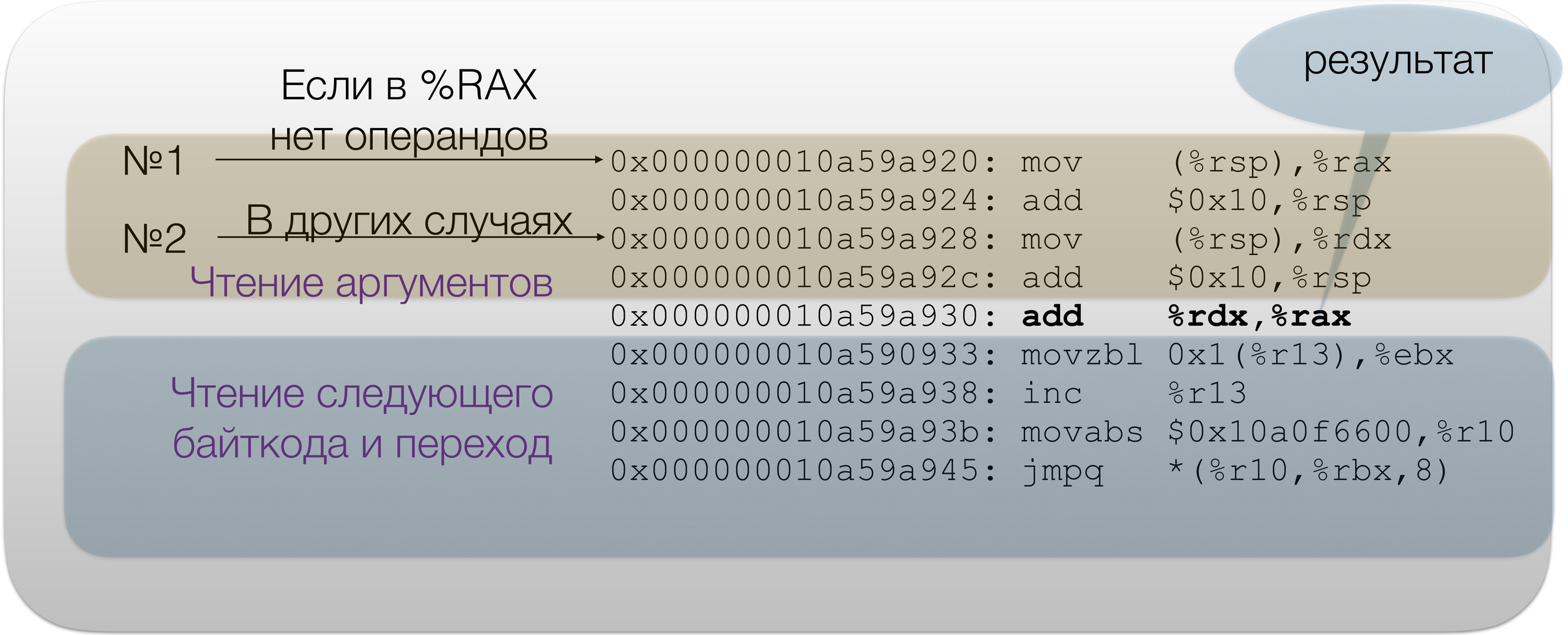
```
0x000000010a59a920: mov     (%rsp),%rax
0x000000010a59a924: add     $0x10,%rsp
0x000000010a59a928: mov     (%rsp),%rdx
0x000000010a59a92c: add     $0x10,%rsp
0x000000010a59a930: add     %rdx,%rax
0x000000010a590933: movzbl  0x1(%r13),%ebx
0x000000010a59a938: inc     %r13
0x000000010a59a93b: movabs  $0x10a0f6600,%r10
0x000000010a59a945: jmpq    *(%r10,%rbx,8)
```

Чтение аргументов

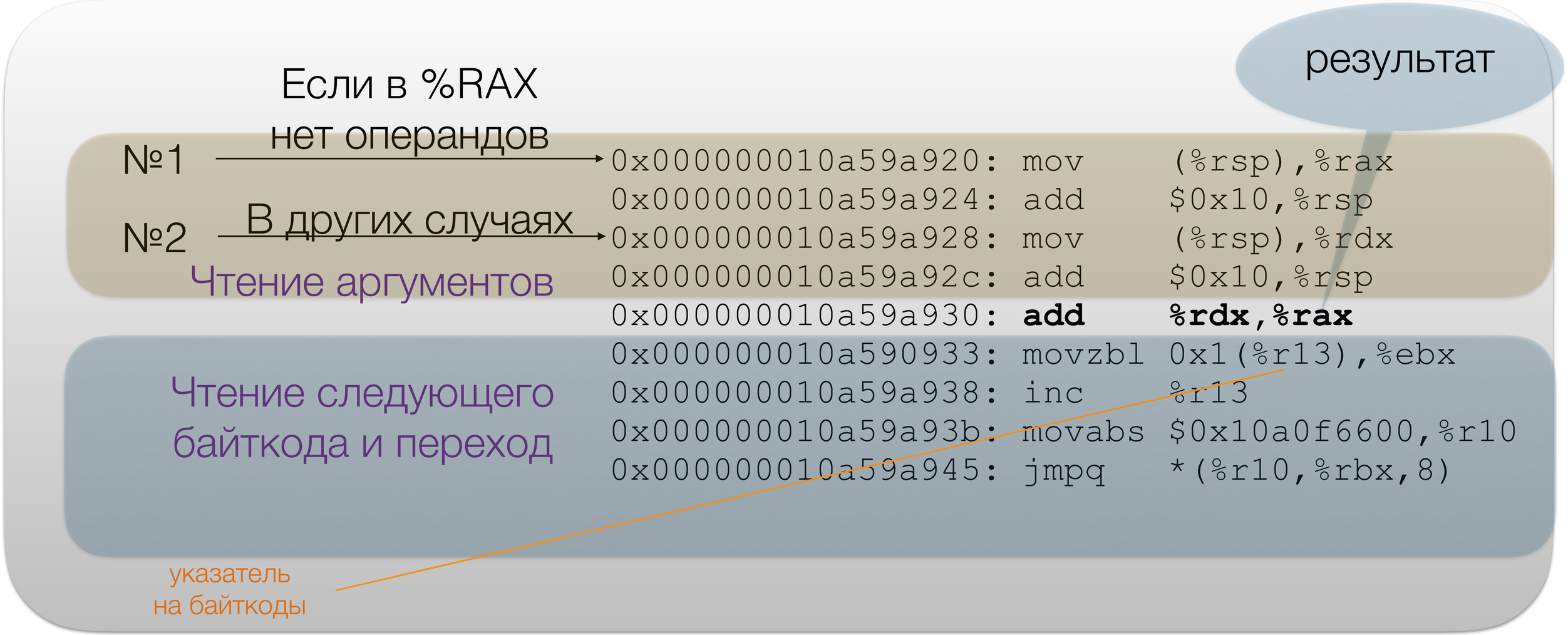
Чтение следующего байткода и переход

результат

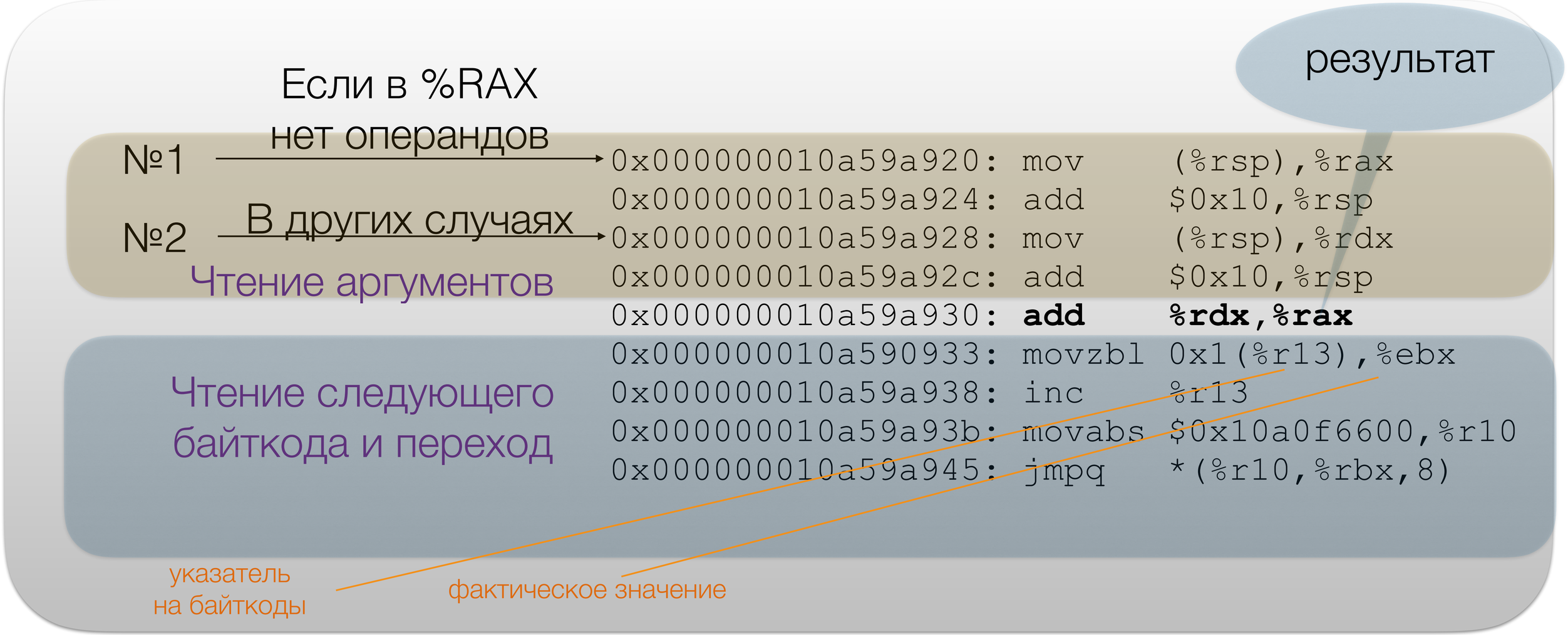
Пример - ladd байткод



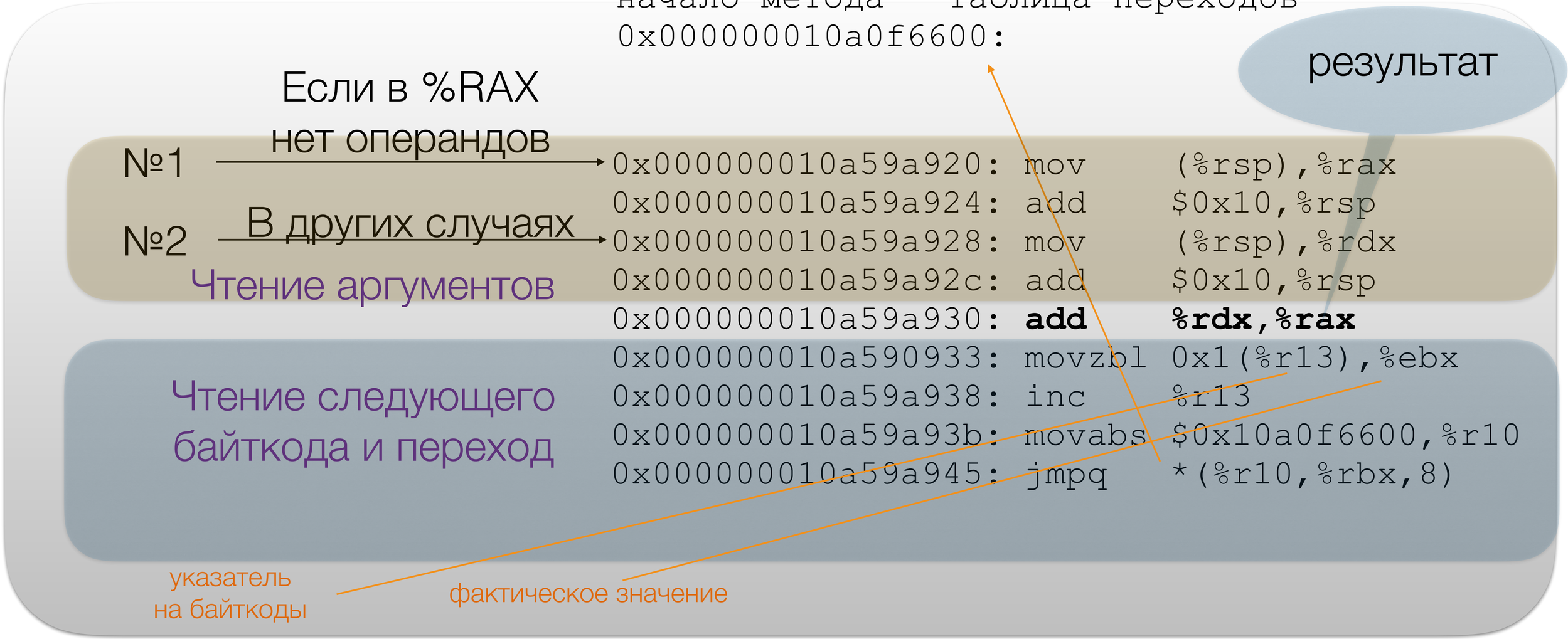
Пример - ladd байткод



Пример - ladd байткод



Пример - ladd байткод



Что такое профайл ?

Что такое профайл ?

- Это счетчики

Что такое профайл ?

- Это счетчики
  - Неточные

Что такое профайл ?

- Это счетчики
  - Неточные
  - Важно соотношение, а не абсолютные величины

Что такое профайл ?

- Это счетчики
  - Неточные
  - Важно соотношение, а не абсолютные величины
  - С защитой от переполнения

Что такое профайл ?

- Это счетчики
  - Неточные
  - Важно соотношение, а не абсолютные величины
  - С защитой от переполнения
- Иногда есть дополнительное поле для свойств

Что такое профайл ?

- Это счетчики
  - Неточные
  - Важно соотношение, а не абсолютные величины
  - С защитой от переполнения
- Иногда есть дополнительное поле для свойств
  - Какие классы попались при профилировании

Посмотрим на methodCounter.hpp

Посмотрим на methodCounter.hpp

interpreter_invocation_count &
invocation_counter

interpreter_throwout_count

backedge_counter

number_of_breakpoints (4 dbg)

nmethod_age

interpreter_invocation_limit &
interpreter_backward_branch_limit

interpreter_profile_limit

invoke_mask

backedge_mask

rate & prev_time

highest_comp_level &
highest_osr_comp_level

А кроме профиля что нужно?

А кроме профиля что нужно?

```
class A {
 static List<String> list = new LinkedList<>();
 static {
  DateFormat dateFormat = new
    SimpleDateFormat("yyyy/MM/dd HH:mm:ss");
  list.add(dateFormat.format(new Date()));
 }
 static List<String> getList() {
  return list;
 }
}
```

А кроме профиля что нужно?

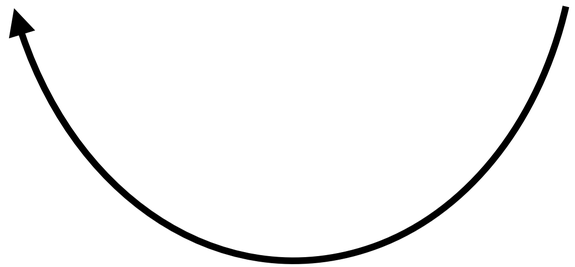
```
class A {
 static List<String> list = new LinkedList<>();
 static {
  DateFormat dateFormat = new
    SimpleDateFormat("yyyy/MM/dd HH:mm:ss");
  list.add(dateFormat.format(new Date()));
 }
 static List<String> getList() {
  return list;
 }
}
```

```
class B
{
 String process(String s, int i)
 {
  if (i < A.list.size())
   return  s.concat(A.list.get(i));
  else
   return s;
 }
}
```

А кроме профиля что нужно?

```
class A {
 static List<String> list = new LinkedList<>();
 static {
  DateFormat dateFormat = new
    SimpleDateFormat("yyyy/MM/dd HH:mm:ss");
  list.add(dateFormat.format(new Date()));
 }
 static List<String> getList() {
  return list;
 }
}
```

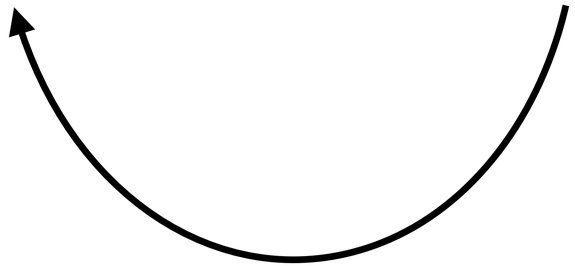
```
class B
{
 String process(String s, int i)
 {
  if (i < A.list.size())
   return  s.concat(A.list.get(i));
  else
   return s;
 }
}
```



А кроме профиля что нужно?

```
class A {
 static List<String> list = new LinkedList<>();
 static {
  DateFormat dateFormat = new
    SimpleDateFormat("yyyy/MM/dd HH:mm:ss");
  list.add(dateFormat.format(new Date()));
 }
 static List<String> getList() {
  return list;
 }
}
```

```
class B
{
 String process(String s, int i)
 {
  if (i < A.list.size())
   return  s.concat(A.list.get(i));
  else
   return s;
 }
}
```

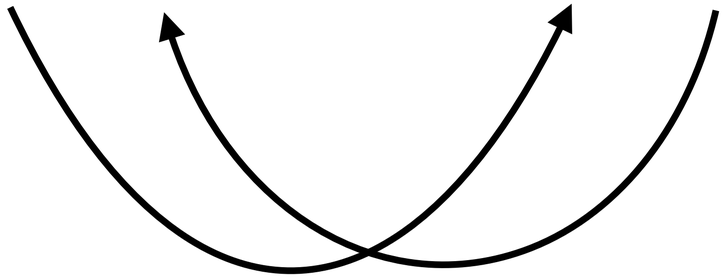


B.process() можно **скомпилировать** после инициализации класса A

А кроме профиля что нужно?

```
class A {
 static List<String> list = new LinkedList<>();
 static {
  DateFormat dateFormat = new
    SimpleDateFormat("yyyy/MM/dd HH:mm:ss");
  list.add(dateFormat.format(new Date()));
 }
 static List<String> getList() {
  return list;
 }
}
```

```
class B
{
 String process(String s, int i)
 {
  if (i < A.list.size())
   return  s.concat(A.list.get(i));
  else
   return s;
 }
}
```



B.process() можно **скомпилировать** после инициализации класса A

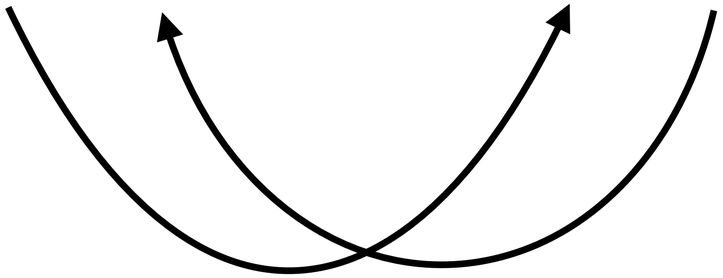
А кроме профиля что нужно?

```
class A {
 static List<String> list = new LinkedList<>();
 static {
  DateFormat dateFormat = new
    SimpleDateFormat("yyyy/MM/dd HH:mm:ss");
  list.add(dateFormat.format(new Date()));
 }
 static List<String> getList() {
  return list;
 }
}
```

```
class B
{
 String process(String s, int i)
 {
  if (i < A.list.size())
   return  s.concat(A.list.get(i));
  else
   return s;
 }
}
```

Инициализация A происходит после первого вызова `B.process()`

(Если только `B.process()` использует `A`)



B.process() можно **скомпилировать** после инициализации класса A

О простоте Enum

```
public enum SimpleEnum {
  One
};
```

О простоте Enum

```
public enum SimpleEnum {
  One
};
```

```
>ll SimpleEnum.java
-rw-r--r--  1 ivan  staff  35 Feb 23 21:30 SimpleEnum.java
>ll SimpleEnum.class
-rw-r--r--  1 ivan  staff  732 Feb 23 21:30 SimpleEnum.class
```

О простоте Enum

```
public enum SimpleEnum {
  One
};
```

О простоте Enum

```
public enum SimpleEnum {
  One
};
```

```
Compiled from "SimpleEnum.java"
public final class SimpleEnum extends java.lang.Enum<SimpleEnum> {
  public static final SimpleEnum One;

  public static SimpleEnum[] values();
    Code:
       0: getstatic     #1                  // Field $VALUES:[LSimpleEnum;
       3: invokevirtual #2                  // Method "[LSimpleEnum;".clone:()Ljava/lang/Object;
       6: checkcast     #3                  // class "[LSimpleEnum;"
       9: areturn

  public static SimpleEnum valueOf(java.lang.String);
    Code:
       0: ldc           #4                  // class SimpleEnum
       2: aload_0
       3: invokestatic  #5                  // Method java/lang/Enum.valueOf:(Ljava/lang/Class;Ljava/lang/String;)Ljava/lang/Enum;
       6: checkcast     #4                  // class SimpleEnum
       9: areturn

  static {};
    Code:
       0: new           #4                  // class SimpleEnum
       3: dup
       4: ldc           #7                  // String One
       6: iconst_0
       7: invokespecial #8                  // Method "<init>":(Ljava/lang/String;I)V
      10: putstatic     #9                  // Field One:LSimpleEnum;
      13: iconst_1
      14: anewarray     #4                  // class SimpleEnum
      17: dup
      18: iconst_0
      19: getstatic     #9                  // Field One:LSimpleEnum;
      22: aastore
      23: putstatic     #1                  // Field $VALUES:[LSimpleEnum;
      26: return
}
```

Что делает конструктор Enum-а?

```
public enum SimpleEnum {
  One
};
```

```
static {};
  Code:
     0: new           #4                  // class SimpleEnum
     3: dup
     4: ldc           #7                  // String One
     6: iconst_0
     7: invokespecial #8                  // Method "<init>":(Ljava/lang/String;I)V
    10: putstatic     #9                  // Field One:LSimpleEnum;
    13: iconst_1
    14: anewarray     #4                  // class SimpleEnum
    17: dup
    18: iconst_0
    19: getstatic     #9                  // Field One:LSimpleEnum;
    22: aastore
    23: putstatic     #1                  // Field $VALUES:[LSimpleEnum;
    26: return
}
```

Инлайнинг - ключик к оптимизациям

Инлайнинг - ключик к оптимизациям

```
class A {
  boolean Cond;
  A (bool v) { Cond = v; }

  int outerMethod(B b,C c)
  {
     int a=2;
     if (Cond) {
        a+=b.inner1();
     else
        a+=c.inner2();
     return a;
  }
}
```

Инлайнинг - ключик к оптимизациям

```
class A {
  boolean Cond;
  A (bool v) { Cond = v; }

  int outerMethod(B b,C c)
  {
     int a=2;
     if (Cond) {
        a+=b.inner1();
     else
        a+=c.inner2();
     return a;
  }
}
```

```
class B {
  int inner1() {
    …;
  }
}
```

Инлайнинг - ключик к оптимизациям

```
class A {
  boolean Cond;
  A (bool v) { Cond = v; }

  int outerMethod(B b,C c)
  {
     int a=2;
     if (Cond) {
        a+=b.inner1();
     else
        a+=c.inner2();
     return a;
  }
}
```

```
class B {
  int inner1() {
   …;
  }
}
```

```
class C {
  int inner2() {
   …..
  }
}
```

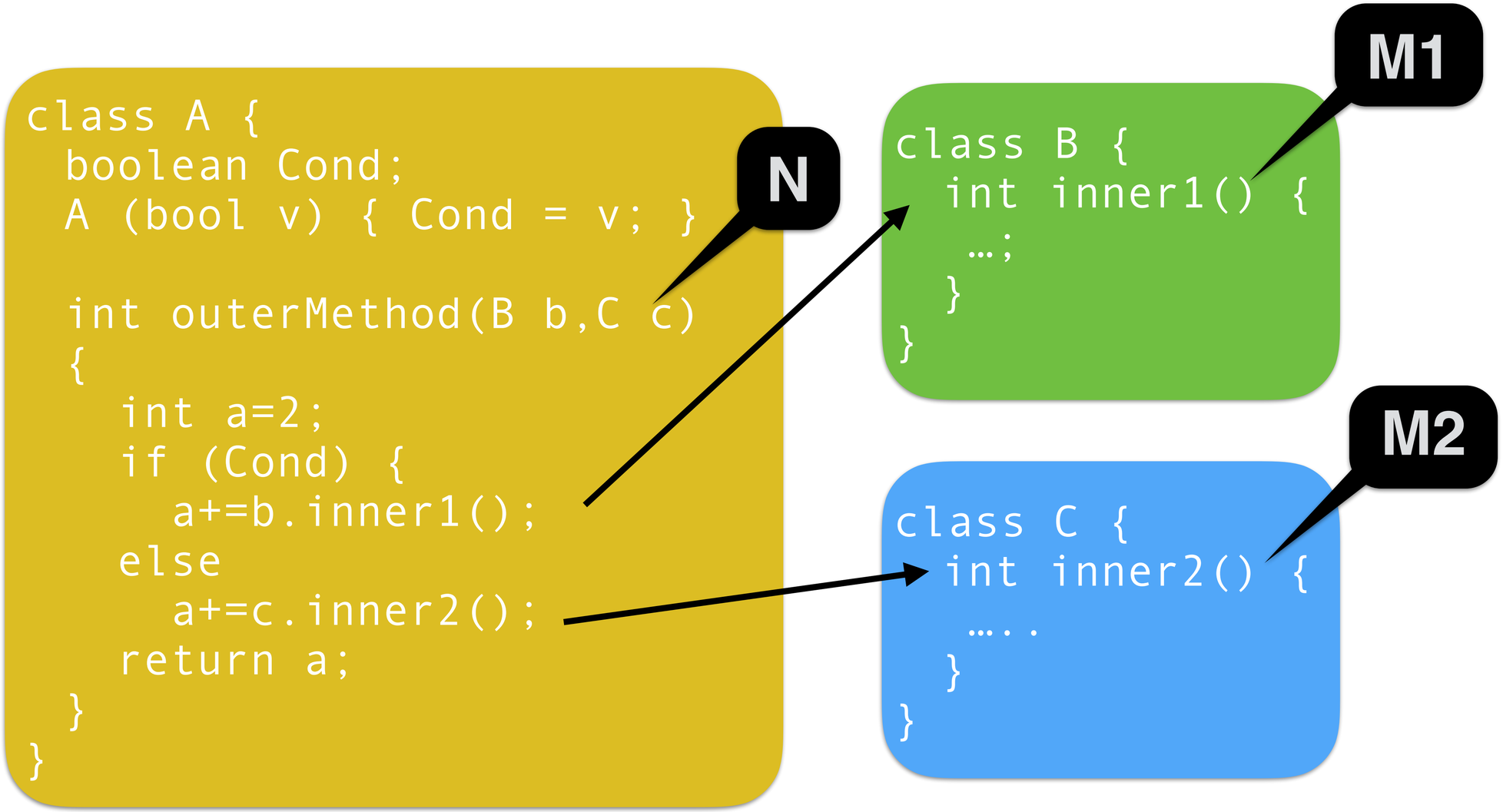
Инлайнинг - ключик к оптимизациям

```
class A {
  boolean Cond;
  A (bool v) { Cond = v; }

  int outerMethod(B b,C c)
  {
     int a=2;
     if (Cond) {
        a+=b.inner1();
     else
        a+=c.inner2();
     return a;
  }
}
```

```
class B {
  int inner1() {
    …;
  }
}
```

```
class C {
  int inner2() {
    …..
  }
}
```

Инлайнинг - ключик к оптимизациям



Недавний баг про инлайнинг

Недавний баг про инлайнинг

- Обнаружили регрессию в 24% на бенчмарке

Недавний баг про инлайнинг

- Обнаружили регрессию в 24% на бенчмарке
- Анализ данных инлайнинга

Недавний баг про инлайнинг

- Обнаружили регрессию в 24% на бенчмарке
- Анализ данных инлайнинга
  - 4249 - заинлайнено до регрессии

Недавний баг про инлайнинг

- Обнаружили регрессию в 24% на бенчмарке
- Анализ данных инлайнинга
  - 4249 - заинлайнено до регрессии
  - 3184 - в “проблемном” билде

Инлайнинг, которого мы так ждали

Инлайнинг, которого мы так ждали

- *Вызываемый метод большой*

Инлайнинг, которого мы так ждали

- *Вызываемый метод большой*
- *Уровень вложенности большой*

Инлайнинг, которого мы так ждали

- *Вызываемый метод большой*
- *Уровень вложенности большой*

} Можно настроить

Инлайнинг, которого мы так ждали

- *Вызываемый метод большой*
- *Уровень вложенности большой*

} Можно настроить

- *Вызываемый метод отрабатывает исключения ?*
  (`InlineMethodsWithExceptionHandlers`*)*

Инлайнинг, которого мы так ждали

- *Вызываемый метод большой*
- *Уровень вложенности большой*

} Можно настроить

- *Вызываемый метод отрабатывает исключения ?*
  (`InlineMethodsWithExceptionHandlers`*)*
- *Вызываемый метод synchronized*
  (`InlineSynchronizedMethods`*)*

Инлайнинг, которого мы так ждали

- *Вызываемый метод большой*
- *Уровень вложенности большой*

} Можно настроить

- *Вызываемый метод отрабатывает исключения ?* *(*`InlineMethodsWithExceptionHandlers`*)*
- *Вызываемый метод synchronized* *(*`InlineSynchronizedMethods`*)*
- *Класс с вызываемым методом не инициализирован*

Инлайнинг, которого мы так ждали

- *Вызываемый метод большой*
- *Уровень вложенности большой*

} Можно настроить

- *Вызываемый метод отрабатывает исключения ?* *(*`InlineMethodsWithExceptionHandlers`*)*
- *Вызываемый метод synchronized* *(*`InlineSynchronizedMethods`*)*
- *Класс с вызываемым методом не инициализирован*
- *Несбалансированиие мониторы*

Инлайнинг, которого мы так ждали

- *Вызываемый метод большой*
- *Уровень вложенности большой*

} Можно настроить

- *Вызываемый метод отрабатывает исключения ?*
  (`InlineMethodsWithExceptionHandlers`*)*
- *Вызываемый метод synchronized*
  (`InlineSynchronizedMethods`*)*
- *Класс с вызываемым методом не инициализирован*
- *Несбалансированиие мониторы*
- *Содержит байткод jsr (!)*

http://cliffhacks.blogspot.ru/2008/02/java-6-tryfinally-compilation-without.html

Как инлайнинг может навредить?

Как инлайнинг может навредить?

```
class A {
  boolean Cond;
  A (bool v) { Cond = v; }

  int outerMethod(B b,C c)
  {
     int a=2;
     if (Cond) {
        a+=b.inner1();
     else
        a+=c.inner2();
     return a;
  }
}
```

Как инлайнинг может навредить?

```
class A {
  boolean Cond;
  A (bool v) { Cond = v; }

  int outerMethod(B b,C c)
  {
     int a=2;
     if (Cond) {
        a+=b.inner1();
     else
        a+=c.inner2();
     return a;
  }
}
```

```
class B {
  int inner1() {
    …;
  }
}
```

Как инлайнинг может навредить?

```
class A {
  boolean Cond;
  A (bool v) { Cond = v; }

  int outerMethod(B b,C c)
  {
     int a=2;
     if (Cond) {
        a+=b.inner1();
     else
        a+=c.inner2();
     return a;
  }
}
```

```
class B {
  int inner1() {
   …;
  }
}
```

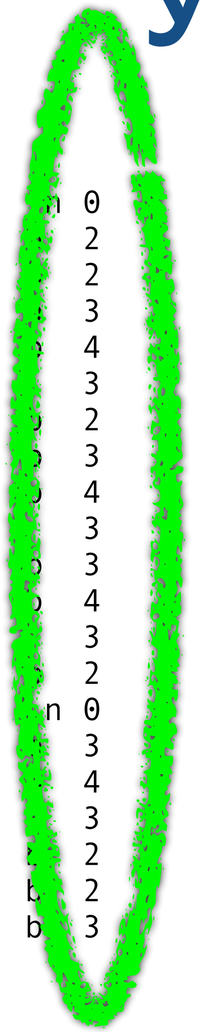
```
class C {
  int inner2() {
   …..
  }
}
```

Уровень компиляции?

Уровень компиляции?

```
495    7      n 0       jdk.internal.reflect.Reflection::getCallerClass (native)   (static)
495    8    b  2       java.util.Properties::getProperty (49 bytes)
497    9    b  2       java.util.concurrent.ConcurrentHashMap::get (162 bytes)
500   10    b  3       java.lang.String::hashCode (48 bytes)
503   11    b  4       java.lang.String::hashCode (48 bytes)
507   10       3       java.lang.String::hashCode (48 bytes)   made not entrant
507   12    b  2       java.lang.StringLatin1::hashCode (42 bytes)
509   13    b  3       java.lang.Boolean::<clinit> (31 bytes)
510   14    b  4       java.lang.Boolean::<clinit> (31 bytes)
510   13       3       java.lang.Boolean::<clinit> (31 bytes)   made not entrant
511   15    b  3       java.lang.Boolean::<init> (10 bytes)
511   16    b  4       java.lang.Boolean::<init> (10 bytes)
513   15       3       java.lang.Boolean::<init> (10 bytes)   made not entrant
513   17    b  2       java.lang.Object::<init> (1 bytes)
513   18     n 0       java.lang.Class::getPrimitiveClass (native)   (static)
514   19    b  3       java.lang.Boolean::parseBoolean (19 bytes)
514   20    b  4       java.lang.Boolean::parseBoolean (19 bytes)
516   19       3       java.lang.Boolean::parseBoolean (19 bytes)   made not entrant
516   21    b  2       java.lang.String::isLatin1 (19 bytes)
517   22    b  2       java.lang.Integer::parseInt (259 bytes)
533   23    b  3       java.lang.Character::<clinit> (25 bytes)
```

Уровень компиляции?



```
495    7       n 0    jdk.internal.reflect.Reflection::getCallerClass (native)   (static)
495    8         2    java.util.Properties::getProperty (49 bytes)
497    9         2    java.util.concurrent.ConcurrentHashMap::get (162 bytes)
500   10         3    java.lang.String::hashCode (48 bytes)
503   11         4    java.lang.String::hashCode (48 bytes)
507   10         3    java.lang.String::hashCode (48 bytes)   made not entrant
507   12         2    java.lang.StringLatin1::hashCode (42 bytes)
509   13         3    java.lang.Boolean::<clinit> (31 bytes)
510   14         4    java.lang.Boolean::<clinit> (31 bytes)
510   13         3    java.lang.Boolean::<clinit> (31 bytes)   made not entrant
511   15         3    java.lang.Boolean::<init> (10 bytes)
511   16         4    java.lang.Boolean::<init> (10 bytes)
513   15         3    java.lang.Boolean::<init> (10 bytes)   made not entrant
513   17         2    java.lang.Object::<init> (1 bytes)
513   18       n 0    java.lang.Class::getPrimitiveClass (native)   (static)
514   19         3    java.lang.Boolean::parseBoolean (19 bytes)
514   20         4    java.lang.Boolean::parseBoolean (19 bytes)
516   19         3    java.lang.Boolean::parseBoolean (19 bytes)   made not entrant
516   21         2    java.lang.String::isLatin1 (19 bytes)
517   22         2    java.lang.Integer::parseInt (259 bytes)
533   23         3    java.lang.Character::<clinit> (25 bytes)
```

Уровни компиляции

Уровни компиляции

4 - C2 со всеми оптимизациями

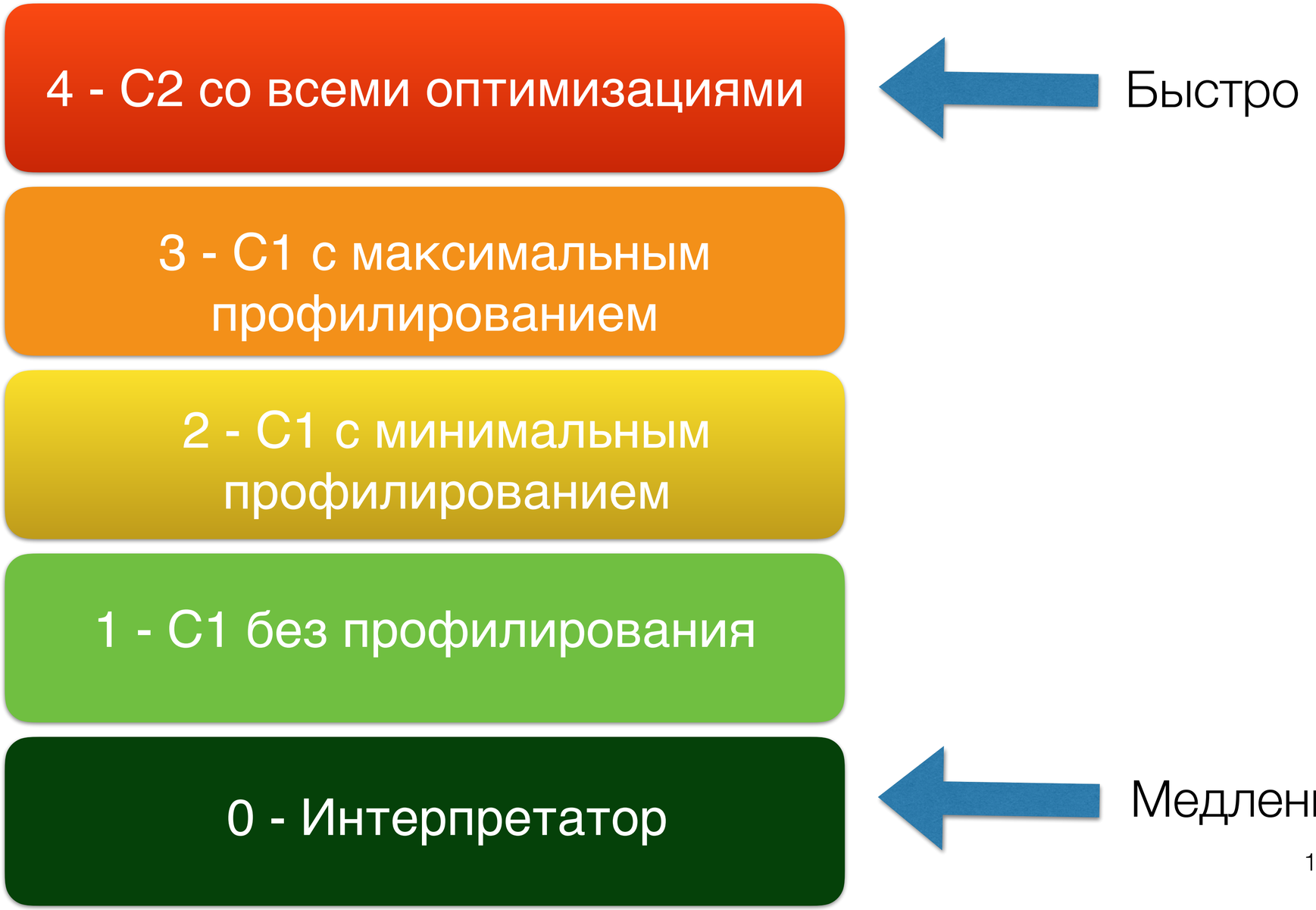
3 - C1 с максимальным профилированием

2 - C1 с минимальным профилированием

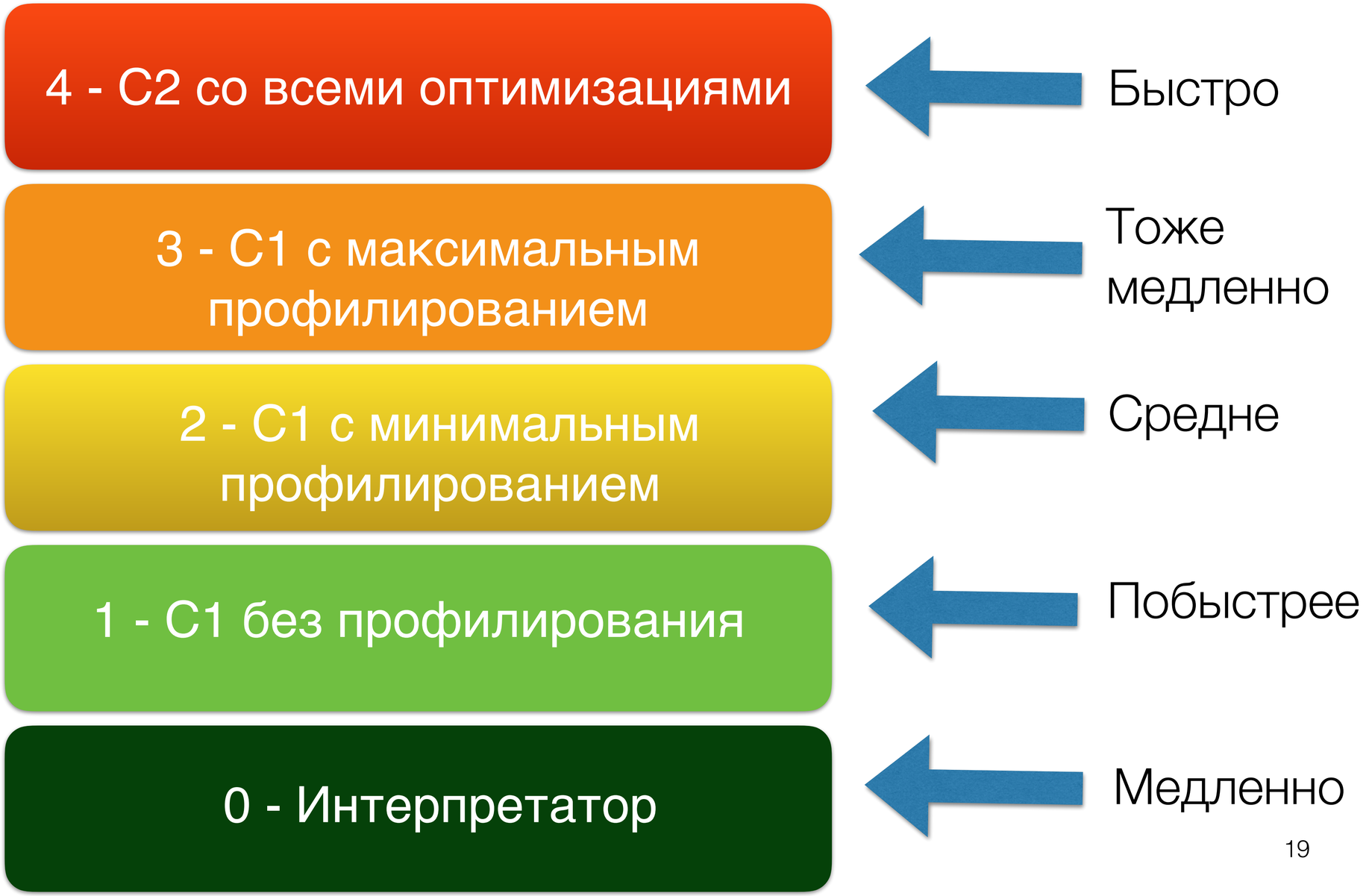
1 - C1 без профилирования

0 - Интерпретатор

Уровни компиляции



Уровни компиляции



Уровни компиляции

Уровни компиляции

Уровни компиляции

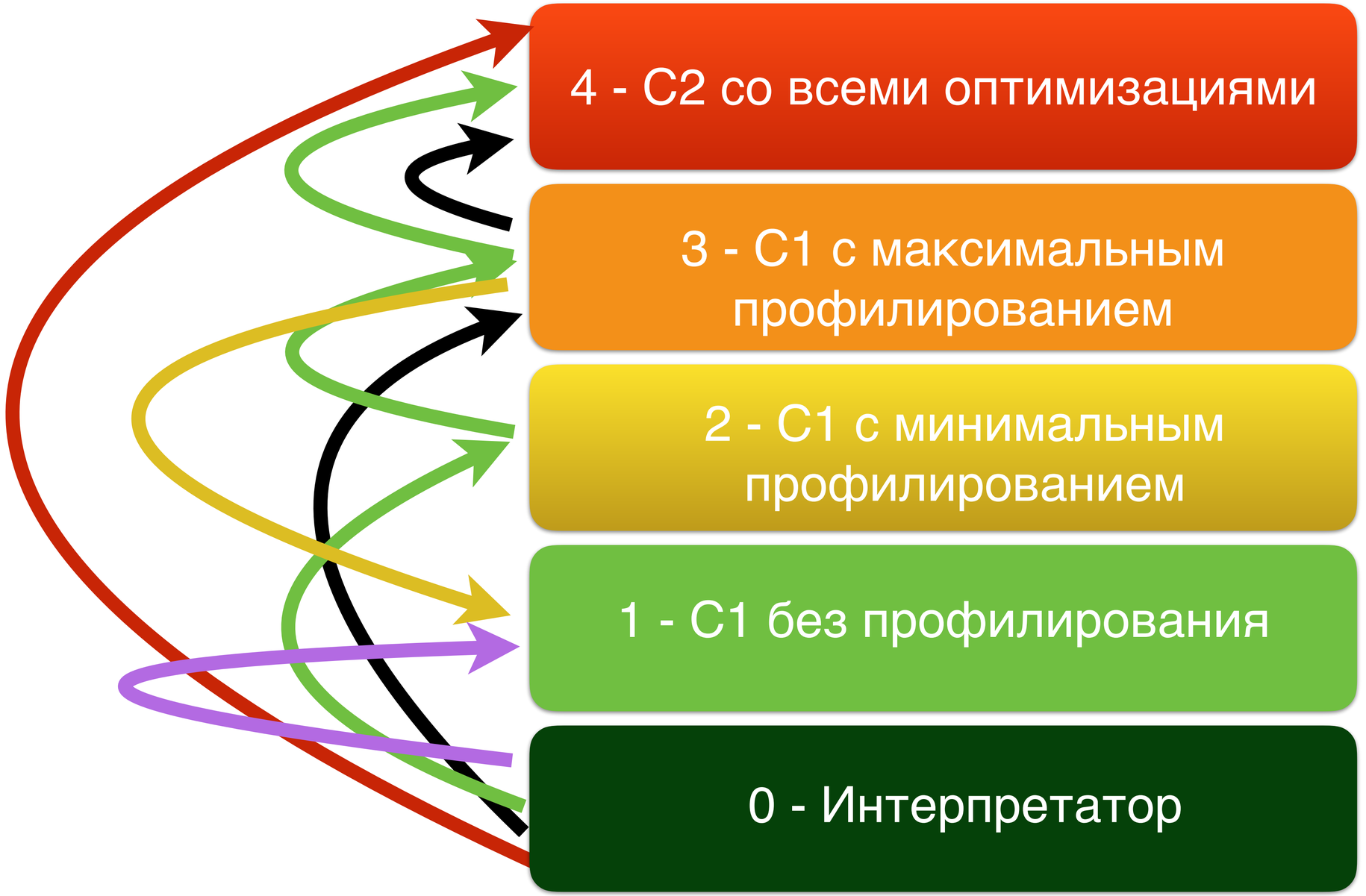
Уровни компиляции

Уровни компиляции

Уровни компиляции

Уровни компиляции

Уровни компиляции



4 - C2 со всеми оптимизациями

3 - C1 с максимальным профилированием

2 - C1 с минимальным профилированием

1 - C1 без профилирования

0 - Интерпретатор

Быстро

Тоже медленно

Средне

Побыстрее

Медленно

Уровни компиляции

Уровни компиляции

Деоптимизации бывают так как…

Деоптимизации бывают так как…

- … компилятор делает “оптимистичные” предположения

Деоптимизации бывают так как…

- … компилятор делает “оптимистичные” предположения
  - а AOTы так не могут

Деоптимизации бывают так как…

- … компилятор делает “оптимистичные” предположения
  - а AOTы так не могут
- … невозможен анализ “всей программы”

Не все оптимизации спекулятивные

Не все оптимизации спекулятивные

Детерминированные

- Constant propagation
- Loop invariant
- …

Спекулятивные с механизмом отката

- Bias locking
- NUMA-aware allocation
- TSX transactions
- Uncommon trap
- …

Спекулятивные с немедленной остановкой

- CHA invalidation
- Final fields modified
- …

Невидимый код

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление
  - Выход за пределы

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление
  - Выход за пределы

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление
  - Выход за пределы

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление
  - Выход за пределы
  - Деление на 0

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление
  - Выход за пределы
  - Деление на 0

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление
  - Выход за пределы
  - Деление на 0
  - 0-ссылки

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление
  - Выход за пределы
  - Деление на 0
  - 0-ссылки

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление
  - Выход за пределы
  - Деление на 0
  - 0-ссылки

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление
  - Выход за пределы
  - Деление на 0
  - 0-ссылки
  - Проверка типов

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление
  - Выход за пределы
  - Деление на 0
  - 0-ссылки
  - Проверка типов

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Невидимый код

- Проверки из JVMS
  - Обнуление
  - Выход за пределы
  - Деление на 0
  - 0-ссылки
  - Проверка типов
  - ....

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i] = new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

Причины деоптимизации с детализацией источника с точностью до байткода

Причины деоптимизации с детализацией источника с точностью до байткода

- Null Check (null object or div 0)
- Null Assert
- Range Check (OOB)
- Class Check (Unexpected class)
- Array Check (Unexpected array class)
- Intrinsic operand
- Bimorphic inlining failed

Причины деоптимизации с детализацией источника с точностью до метода

Причины деоптимизации с детализацией источника с точностью до метода

- Unloaded class
- Uninitialized class
- Unreached code
- Unhandled exception
- Unexpected Constraint
- Div0 check
- Age (tier threshold reached)
- Predicate failed
- Loop limit check
- Speculate class check
- Speculate Null Check
- Rm state change
- Unstable if
- Reason unstable fused if

Uncommon trap. Что делаем?

- Случайность?
- Паттерн сменился?
- А что со старым кодом делать?
- Надо ли компилировать снова?

- Что будет происходить при следующих вызовах?

```
class C {
  int val;

  C[] kInverseVector(int k, C[] v) {
    C[] result = new C[v.length];
    for (int i=0; i < v.length; i++){
      result[i]=new C();
      result[i].val = k / v[i].val ;
    }
    return result;
  }
}
```

API для настройки компилятора

API для настройки компилятора

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Airbus_A380_cockpit.jpg

I. Старый добрый CompileCommand

I. Старый добрый CompileCommand

- Можно указать статически
  - Через -XX:HotspotCompile
  - .hotspot_compiler or
    -XX:CompileCommandFile=/path/to/thefile

I. Старый добрый CompileCommand

- Можно указать статически
  - Через -XX:HotspotCompile
  - .hotspot_compiler or -XX:CompileCommandFile=/path/to/thefile
- Можно указать динамически
  - jcmd Compiler.directives_add

I. Старый добрый CompileCommand

- Можно указать статически
  - Через -XX:HotspotCompile
  - .hotspot_compiler or -XX:CompileCommandFile=/path/to/thefile
- Можно указать динамически
  - jcmd Compiler.directives_add
- Синтакс:
  команда пакет/Класс метод

```
exclude    java/lang/Thread setPriority
dontinline java/lang/String charAt
```

I. Старый добрый CompileCommand

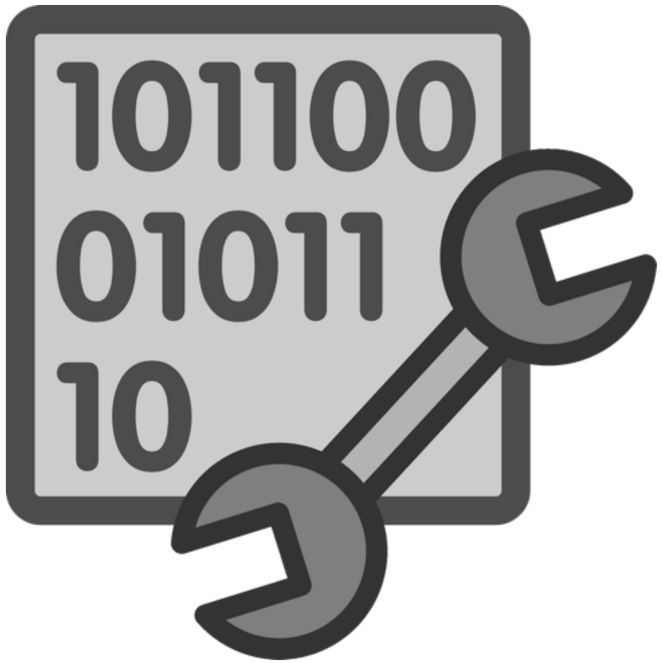
- Можно указать статически
  - Через -XX:HotspotCompile
  - .hotspot_compiler or
    -XX:CompileCommandFile=/path/to/thefile
- Можно указать динамически
  - jcmd Compiler.directives_add
- Синтакс:
  команда пакет/Класс метод
- Команды:
  - `dontinline` или `exclude` или `excludec2` или `excludec1`

```
exclude    java/lang/Thread setPriority
dontinline java/lang/String charAt
```

II. Compiler Control в Java 9

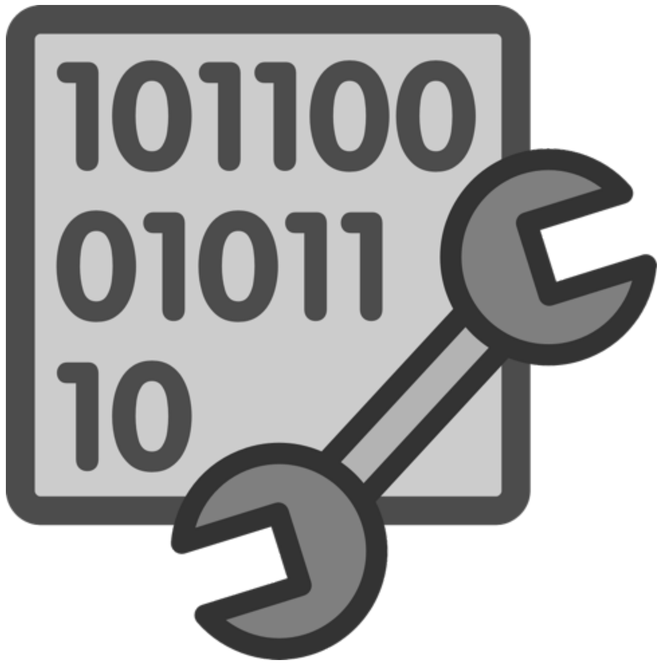
```
{
 // паттерны
 match: ["steve.*","alex.*"]

 c2: {
    Enable: false     // Игнорируем только для c2.
}

 // Для обоих компиляторов
 // “+” значит принудительно, “-“ значит запретить
 inline : [ "+java/util.*", "-com/sun.*"],
 PrintInlining: true
}
```

Директивы для обоих компиляторов



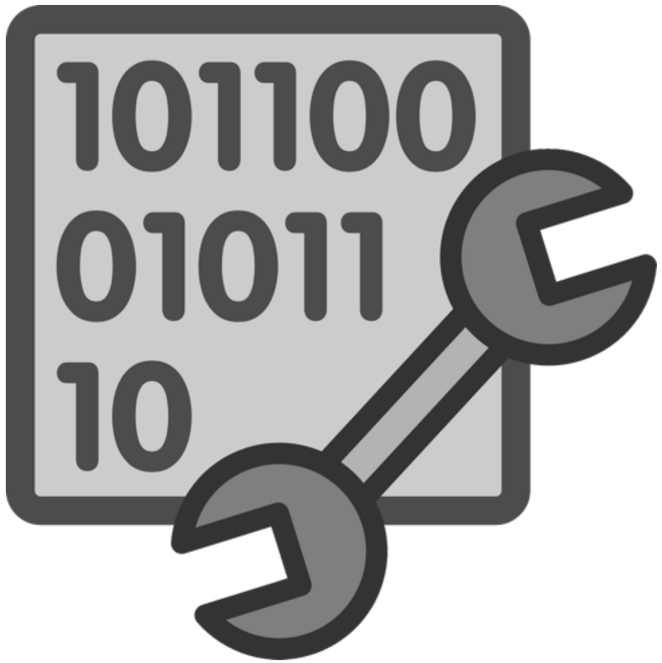
Директивы для обоих компиляторов

```
Enable

bool Exclude

bool Inline

bool BreakAtExecute

bool BreakAtCompile

bool Log

bool PrintAssembly
```



Директивы для обоих компиляторов

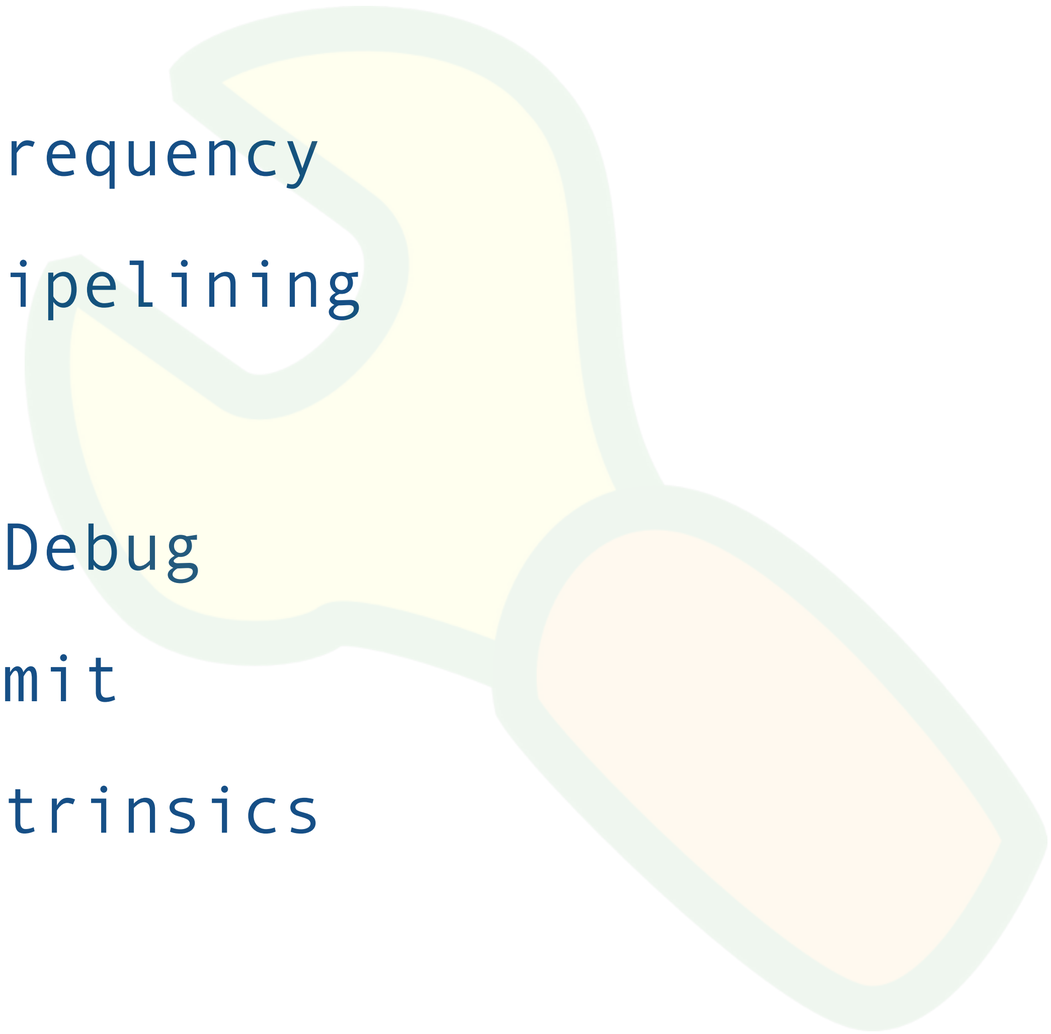
```
Enable

bool Exclude

bool Inline

bool BreakAtExecute

bool BreakAtCompile

bool Log

bool PrintAssembly

bool PrintInlining

bool PrintNMethods

bool ReplayInline

bool DumpReplay

bool DumpInline

bool
CompilerDirectivesIgnoreCompileCommands
```



Директивы для **C2**

Директивы для C2

```
BlockLayoutByFrequency

bool raceOptoPipelining

bool Vectorize

bool VectorizeDebug

intx MaxNodeLimit

intx DisableIntrinsics
```



Директивы для C2

```
BlockLayoutByFrequency
bool raceOptoPipelining
bool Vectorize
bool VectorizeDebug
intx MaxNodeLimit
intx DisableIntrinsics
bool PrintOptoAssembly
bool PrintIntrinsics
bool TraceOptoOutput
bool TraceSpilling
bool CloneMapDebug
bool IGVPrintLevel
```

III. java.lang.Compiler

III. java.lang.Compiler

```
{
    Compiler.enable();  //
    Compiler.command("{com.mycompany.*}(compile)");
    System.out.println("Now let's wait till compilation is done");
    Compiler.command("waitOnCompilationQueue");
    System.out.println("Compilation is complete");
    Compiler.disable(); // turn the compiler off
}
```

III. java.lang.Compiler

- OpenJDK / Oracle - нет поддержки

```
{
    Compiler.enable();  //
    Compiler.command("{com.mycompany.*}(compile)");
    System.out.println("Now let’s wait till compilation is done");
    Compiler.command("waitOnCompilationQueue");
    System.out.println("Compilation is complete");
    Compiler.disable(); // turn the compiler off
}
```

III. java.lang.Compiler

- OpenJDK / Oracle - нет поддержки
- IBM J9 поддерживают
  http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSSTCZ_2.0.0/com.ibm.rt.doc.20/realtime/rt_jit.html

```
{
    Compiler.enable();  //
    Compiler.command("{com.mycompany.*}(compile)");
    System.out.println("Now let's wait till compilation is done");
    Compiler.command("waitOnCompilationQueue");
    System.out.println("Compilation is complete");
    Compiler.disable(); // turn the compiler off
}
```

III. java.lang.Compiler

- OpenJDK / Oracle - нет поддержки
- IBM J9 поддерживают
  http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSSTCZ_2.0.0/com.ibm.rt.doc.20/realtime/rt_jit.html
- У Zing-а немного другой синтаксис
  http://docs.azul.com/zing/Zing_UserGuide/#Zing_UserGuide/Zing_AT_ReadyNow_EnsureCriticalMethodsareCompiled_CompilerAPI.htm

```
{
    Compiler.enable();  //
    Compiler.command("{com.mycompany.*}(compile)");
    System.out.println("Now let's wait till compilation is done");
    Compiler.command("waitOnCompilationQueue");
    System.out.println("Compilation is complete");
    Compiler.disable(); // turn the compiler off
}
```

III. java.lang.Compiler

- OpenJDK / Oracle - нет поддержки
- IBM J9 поддерживают
  http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSSTCZ_2.0.0/com.ibm.rt.doc.20/realtime/rt_jit.html
- У Zing-а немного другой синтаксис
  http://docs.azul.com/zing/Zing_UserGuide/#Zing_UserGuide/Zing_AT_ReadyNow_EnsureCriticalMethodsareCompiled_CompilerAPI.htm
- Oracle ~~хотет вынести~~ вынес этот API из 9ки
  https://bugs.openjdk.java.net/browse/JDK-4285505

```
{
    Compiler.enable();  //
    Compiler.command("{com.mycompany.*}(compile)");
    System.out.println("Now let's wait till compilation is done");
    Compiler.command("waitOnCompilationQueue");
    System.out.println("Compilation is complete");
    Compiler.disable(); // turn the compiler off
}
```

IV. Java-Level JVM Compiler Interface

IV. Java-Level JVM Compiler Interface ?

Заметки на полях

Заметки на полях

JEP-243 Java-Level JVM Compiler Interface

Заметки на полях

JEP-243 Java-Level JVM Compiler Interface

- *Работает только с Graal*

Заметки на полях

JEP-243 Java-Level JVM Compiler Interface

- *Работает только с Graal*
- *Нет поддержки C2 (и не планируется)*

IV. AZUL SYSTEMS ReadyNow

AZUL SYSTEMS

IV. AZUL SYSTEMS ReadyNow

- Напоминает PGO-оптимизацию gcc

AZUL SYSTEMS

IV. AZUL SYSTEMS ReadyNow

- Напоминает PGO-оптимизацию gcc
- Для регулярно используемых приложение

AZUL SYSTEMS

IV. AZUL SYSTEMS ReadyNow

- Напоминает PGO-оптимизацию gcc
- Для регулярно используемых приложение
- При первом запуске приложения - профиль собирается

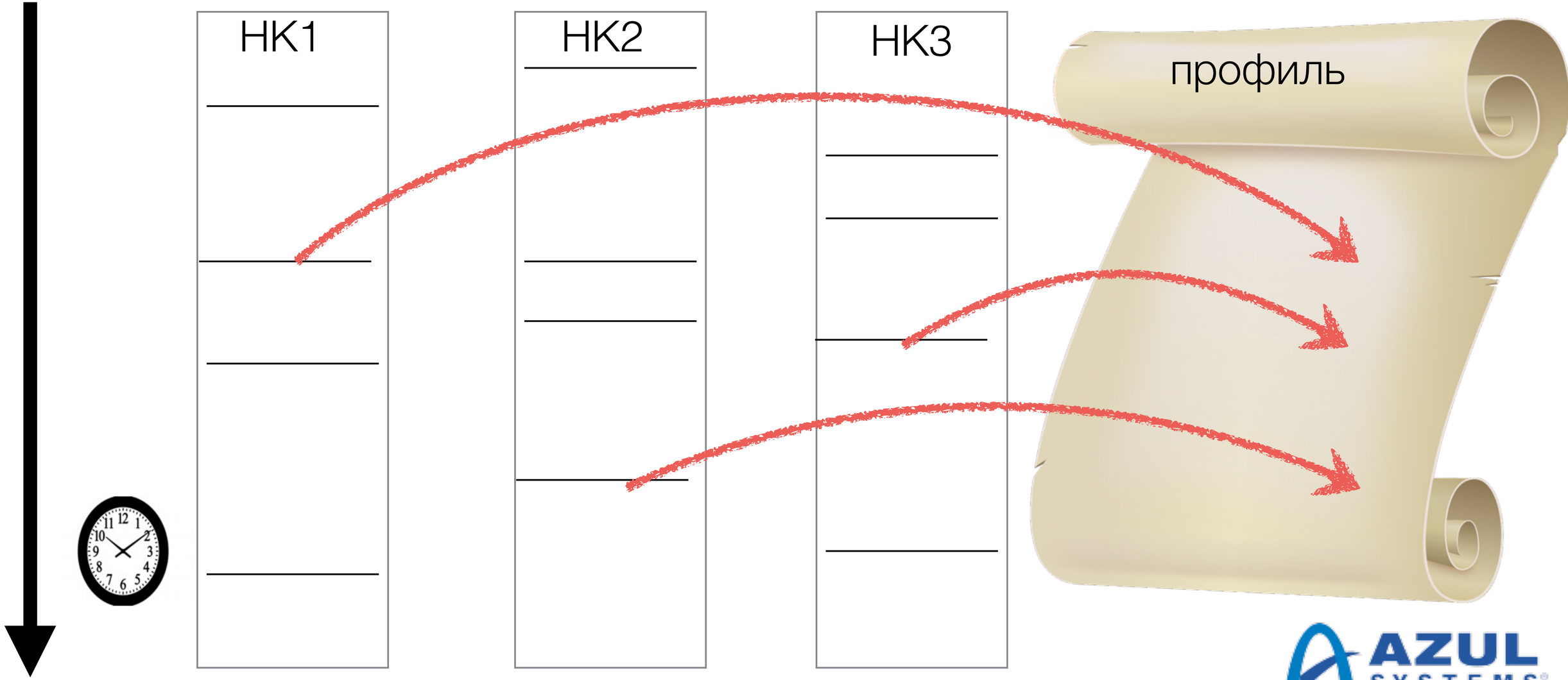
AZUL SYSTEMS

IV. AZUL SYSTEMS ReadyNow

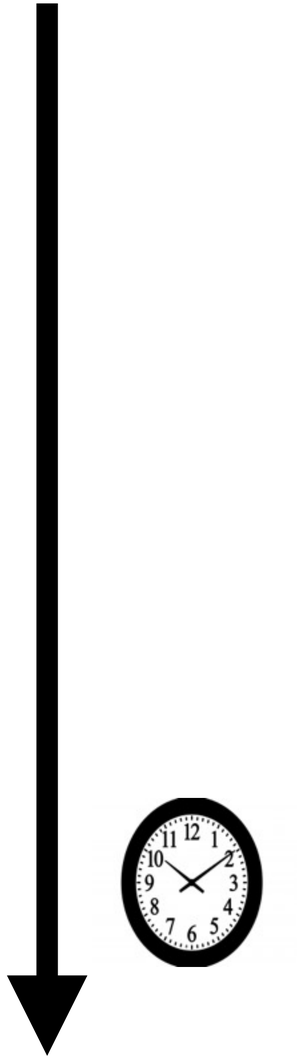
- Напоминает PGO-оптимизацию gcc
- Для регулярно используемых приложение
- При первом запуске приложения - профиль собирается
- При последующих - используется и обновляется

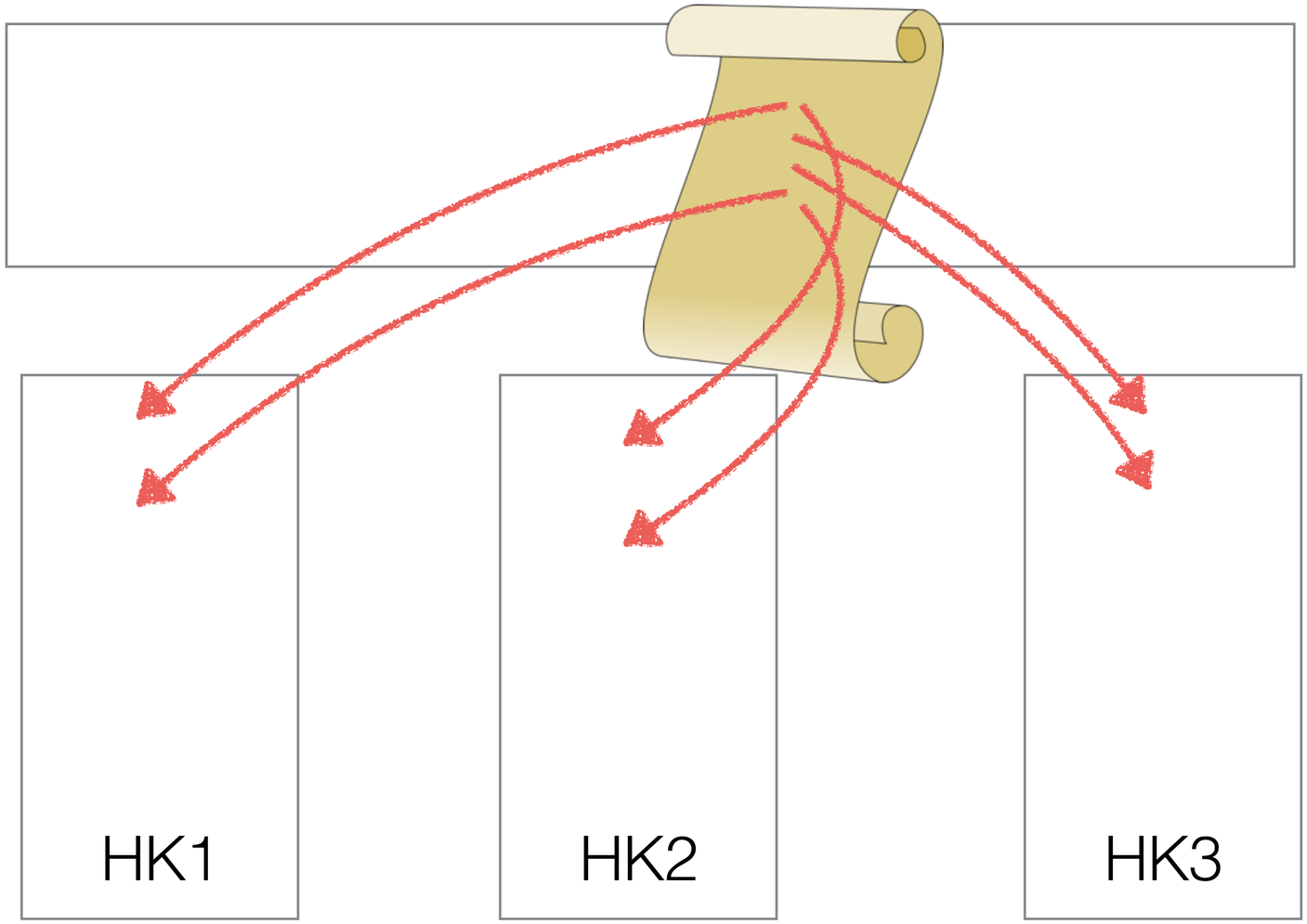
AZUL SYSTEMS

Запись профиля RN



Использование профиля RN





IV. AZUL SYSTEMS ReadyNow

AZUL SYSTEMS

IV. AZUL SYSTEMS ReadyNow

- Между AOT и JIT
  - Большинство компиляций происходят раньше обычного и не в ущерб качеству

AZUL SYSTEMS

IV. AZUL SYSTEMS ReadyNow

- Между AOT и JIT
  - Большинство компиляций происходят раньше обычного и не в ущерб качеству
- Подгружается профиль, а не скомпилированный код

AZUL SYSTEMS

IV. AZUL SYSTEMS ReadyNow

- Между AOT и JIT
  - Большинство компиляций происходят раньше обычного и не в ущерб качеству
- Подгружается профиль, а не скомпилированный код
- “Ошибок прошлых мы уже не повторим”
  - Деоптимизации многократно реже обычного

AZUL SYSTEMS

IV. AZUL SYSTEMS ReadyNow

- Между AOT и JIT
  - Большинство компиляций происходят раньше обычного и не в ущерб качеству
- Подгружается профиль, а не скомпилированный код
- “Ошибок прошлых мы уже не повторим”
  - Деоптимизации многократно реже обычного
- Ощутимый эффект в “хороших” случаях

AZUL SYSTEMS

IV. AZUL SYSTEMS ReadyNow

- Между AOT и JIT
  - Большинство компиляций происходят раньше обычного и не в ущерб качеству
- Подгружается профиль, а не скомпилированный код
- “Ошибок прошлых мы уже не повторим”
  - Деоптимизации многократно реже обычного
- Ощутимый эффект в “хороших” случаях
- Запасной вариант - обычная JIT компиляция

AZUL SYSTEMS

Три требования к ReadyNow

AZUL SYSTEMS

Три требования к ReadyNow

I. Адекватность профиля

AZUL SYSTEMS

Три требования к ReadyNow

I. Адекватность профиля

II. Применимость профиля

AZUL SYSTEMS

Три требования к ReadyNow

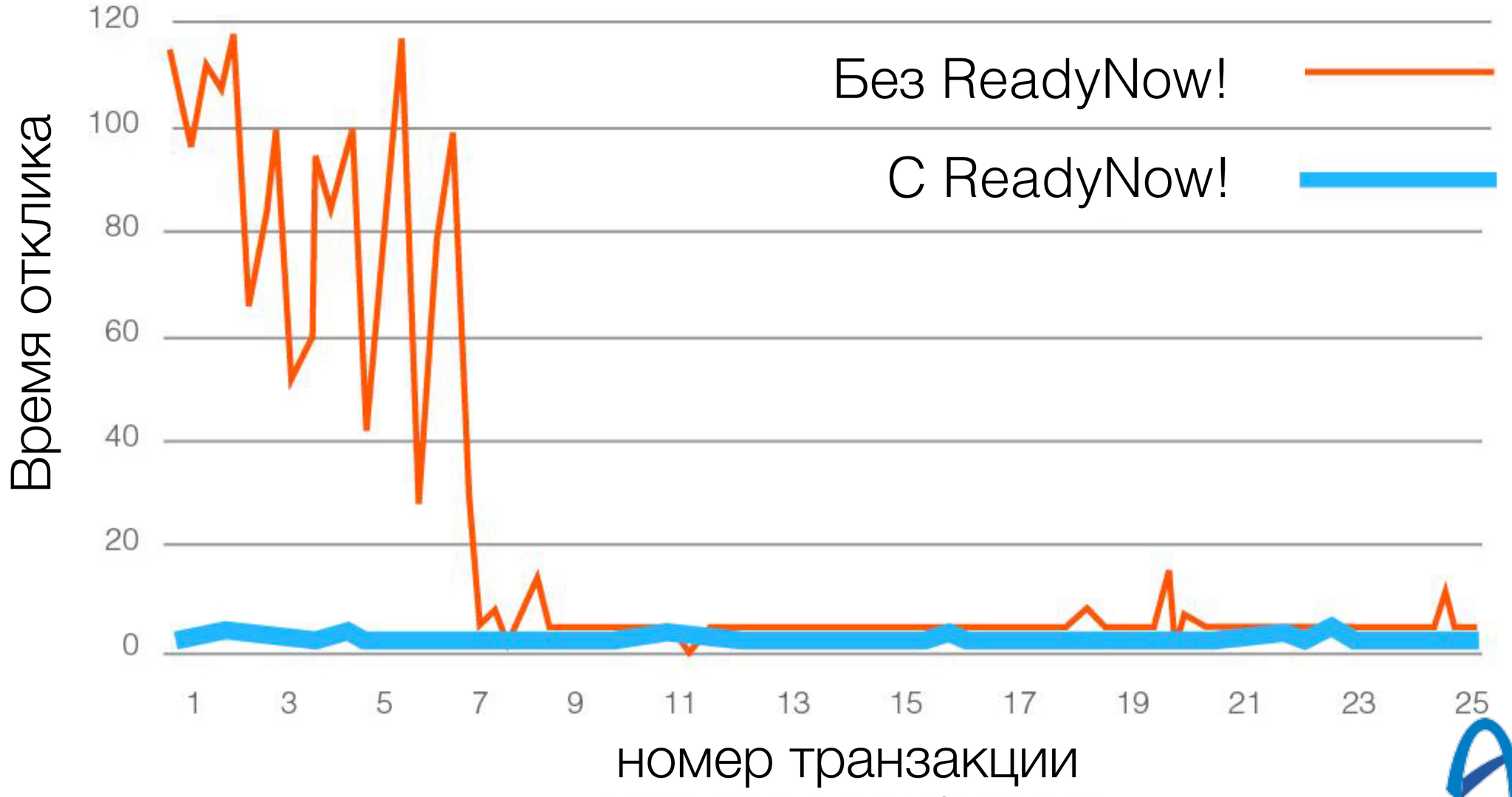
I. Адекватность профиля

II. Применимость профиля

III. Разрешимость зависимостей

AZUL SYSTEMS

ReadyNow



AZUL SYSTEMS

Ahead of Time Компиляция в JDK9

Ahead of Time Компиляция в JDK9

```
jaotc --output libjava.base.so --module java.base
jaotc --output libHelloWorld.so HelloWorld.class
java -XX:AOTLibrary=./libHelloWorld.so HelloWorld
```

Ahead of Time Компиляция в JDK9

- Для быстрого запуски приложений
- Совместим с JIT (см. диаграмму выше)
- Только Linux x64
- Офиц. поддерживается только модуль java.base
- Нельзя менять JVM флаги при запуске скомпилированного кода
- Нет поддержки
  - динамически создаваемых классов
  - reflection
  - instrumentation

```
jaotc --output libjava.base.so --module java.base
jaotc --output libHelloWorld.so HelloWorld.class
java -XX:AOTLibrary=./libHelloWorld.so HelloWorld
```


AZUL
SYSTEMS

AZUL SYSTEMS

Zing: Виртуальная Java-машина для крупного бизнеса

- Главная цель - улучшение показателей функционирования виртуальной Java-машины для предприятий
- Неизменная производительность - не просто быстро, а ВСЕГДА быстро
- Сборка мусора больше не влияет на производительность приложений
- Широчайшая сфера применения:
  - от интерактивных приложений до задач, критичных ко времени отклика
  - от микросервисов до приложений, требующих больших объемов памяти
- Устраняет необходимость в большинстве известных "костылей" в вашем коде


AZUL
SYSTEMS

Zulu Embedded: Когда нужны решения для встроенных систем

- 100% открытый код - технология, основанная на OpenJDK
- Сертифицирована на совместимость и соответствие Java SE
- Показатели функционирования, идентичные OpenJDK и Oracle Java SE
- Высококлассная поддержка
- Релизация для Linux x86, ARM32, ARM64, PPC32, MIPS, а также Windows и Mac OS

AZUL SYSTEMS

Zulu Embedded: Когда нужны решения для встроенных систем

- 100% открытый код - технология, основанная на OpenJDK
- Сертифицирована на совместимость и соответствие Java SE
- Показатели функционирования, идентичные OpenJDK и Oracle Java SE
- Высококлассная поддержка
- Релизация для Linux x86, ARM32, ARM64, PPC32, MIPS, а также Windows и Mac OS

Время для вопросов

Спасибо за помощь - Douglas Hawkins

@dougqh

Иван Крылов

@JohnWings

AZUL SYSTEMS