Конвейер

- Характеристики:
  - Латентность
  - Пропускная способность
- Не конвейер
  - Для быстрого выполнения малого количества операций
- Конвейер
  - Для быстрого выполнения большого количества повторяющихся операций.
  - Время выполнения одной операции больше чем у не конвейерной реализации.

Конвейер инструкций

- Стадии:
  - Выборка инструкций.
  - Выборка данных из регистров и декодирование инструкции.
  - Исполнение инструкции (вычисление адреса).
  - Обращение к памяти (загрузка и сохранение).
  - Запись данных в регистры

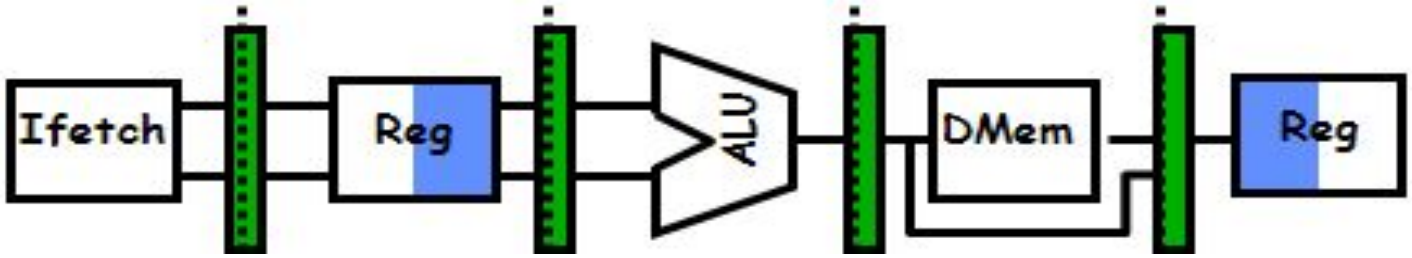
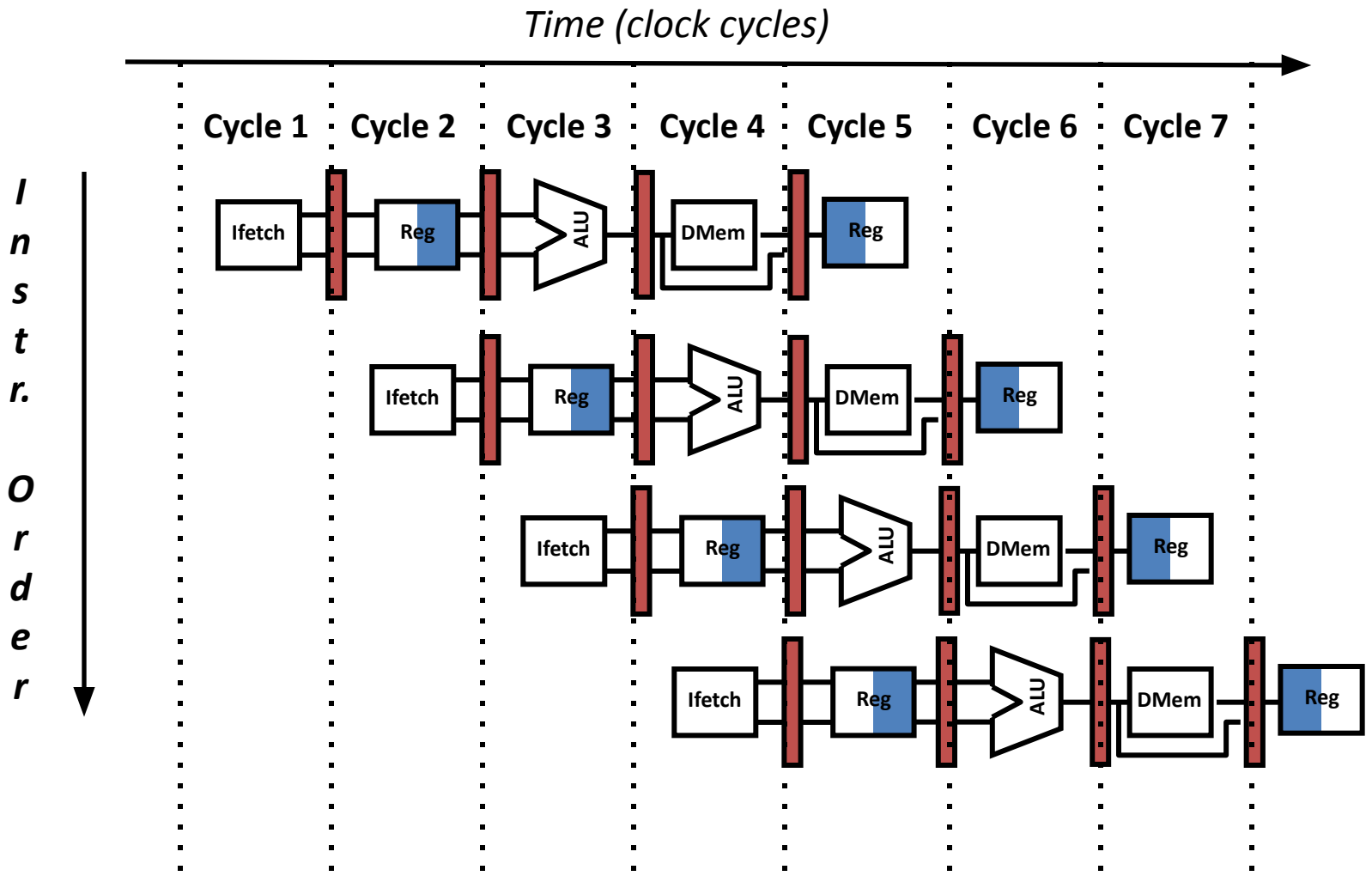


Диаграмма конвейерного исполнения



Что препятствует эффективному исполнению инструкций на конвейере?

- Зависимости между инструкциями.
- Наличие зависимостей приводит к возникновению *конфликтов (hazard).*

Конфликт

- Конфликты – это некоторая ситуация, при которой не возможно запустить следующую инструкцию непосредственно за предыдущий, не нарушив *критерия сохранения корректности программы.*
- Запуск инструкции происходит спустя *n* тактов.
- Конфликты – это не атрибут программы или алгоритма, это следствие параллельного исполнения зависимых инструкций на процессоре.

Типы конфликтов.

- Структурные конфликты
  - Разным инструкциям требуется доступ к одному ресурсу процессора.
- Конфликты по данным
  - Следствие наличия зависимостей по данным именам.
- Конфликты по управлению
  - Следствие наличия зависимости по управлению.

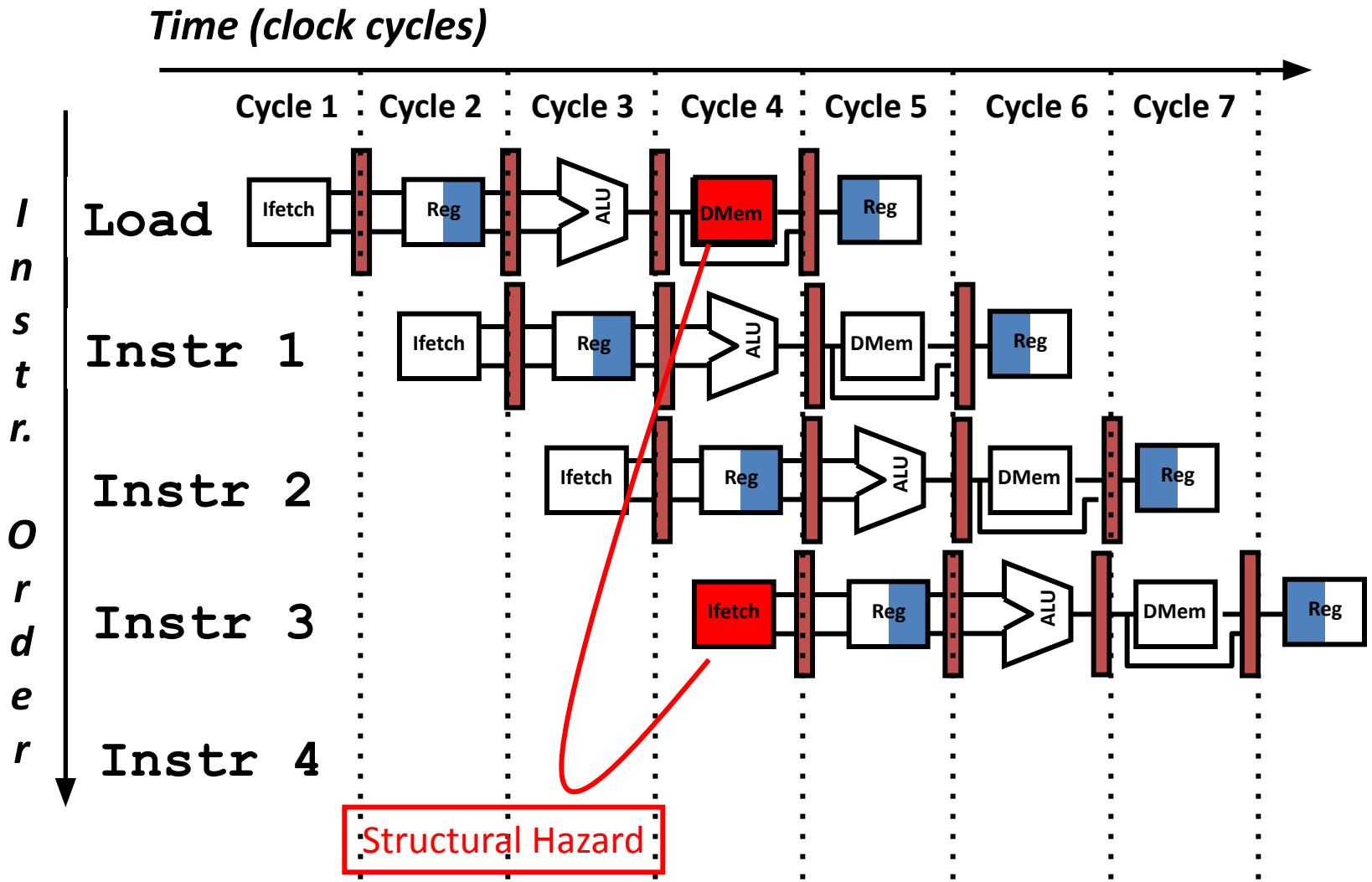
Конфликты по данным.

- RAW (read after write). Чтение поле записи.
  - i.R2 <- R1 + R3
    j.R4 <- R2 + R3
  - Возможен для скалярных и суперскалярных конвейерных процессоров.
- WAR (write after read) Запись после чтения.
  - i.r1 <- r2 + r3
    j. r3 <- r4 + r5
  - Возможен для суперскалярных процессоров.
- WAW (write after write). Запись после записи.
  - i.r2 <- r1 + r3
    j.r2 <- r4 + r7
  - Возможен для суперскалярных процессоров.

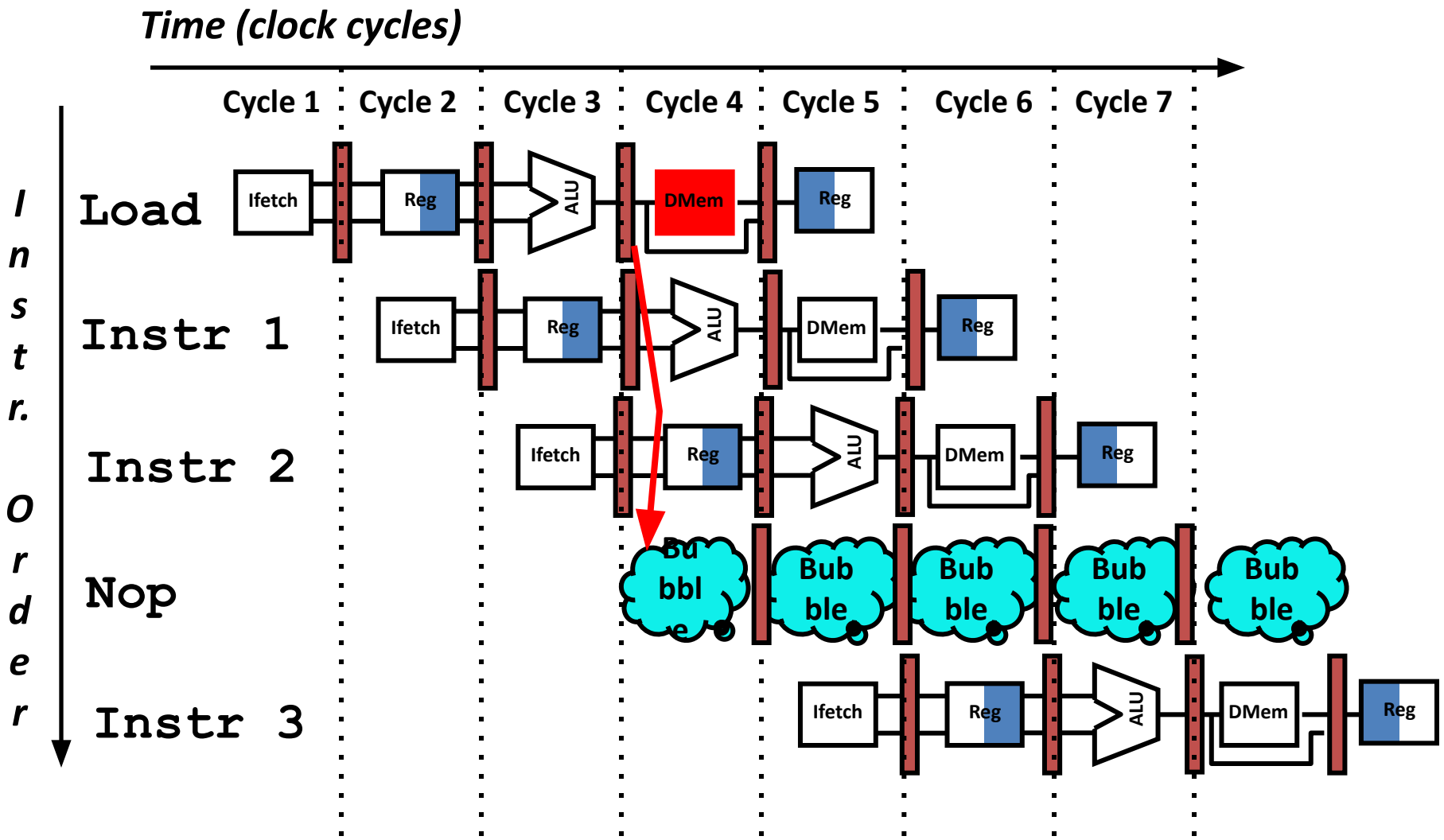
Способы разрешения конфликтов.

- Программные
  - Обнаружение конфликтов в процессе компиляции и добавление инструкций nop.
  - Статическое планирование конвейера.
- Аппаратные
  - Добавление устройства обнаружения конфликтов и останова конвейера.
  - Добавление специфичных аппаратных решений.

Структурные конфликты и механизмы их устранения.



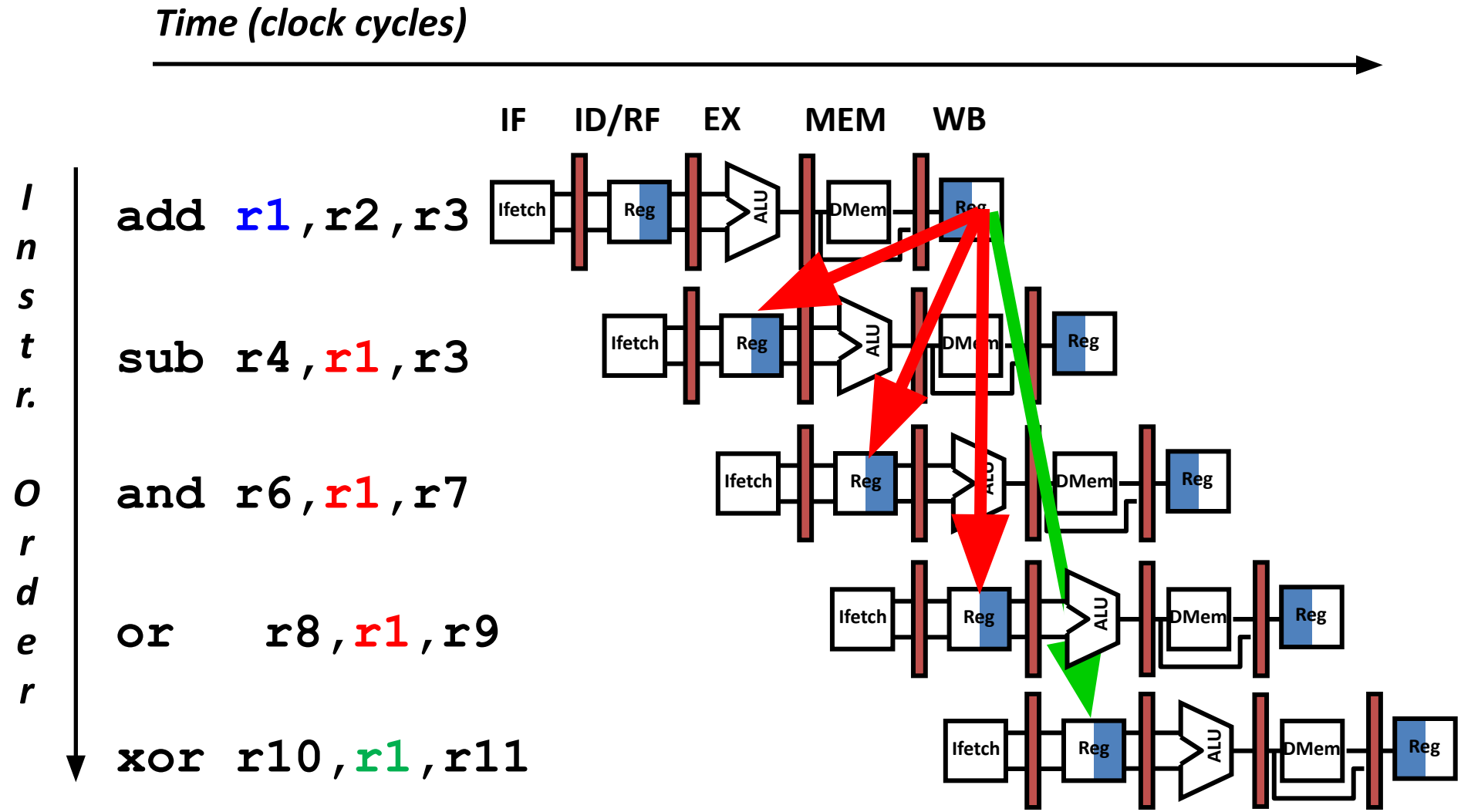
Структурные конфликты и механизмы их устранения.



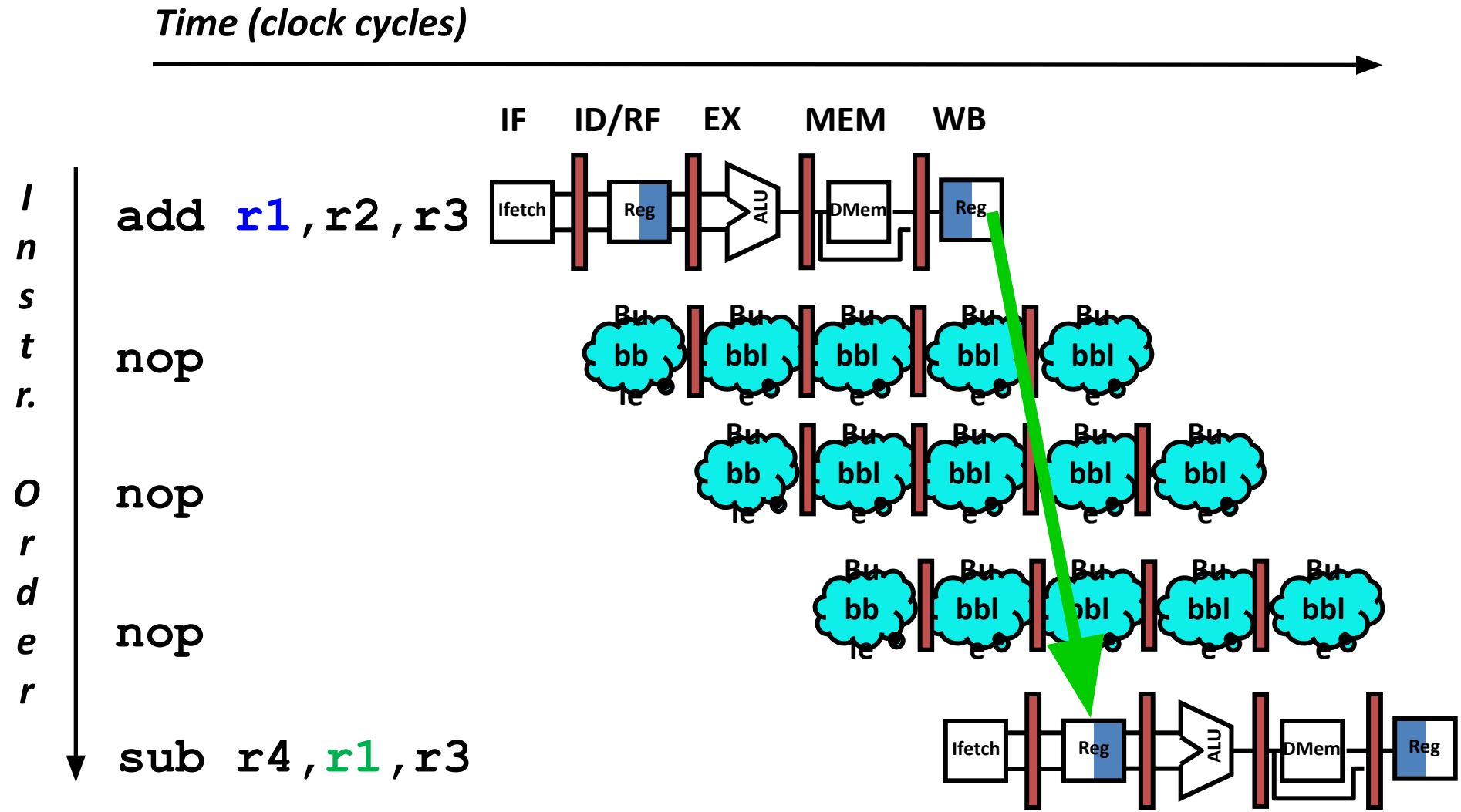
Структурные конфликты и механизмы их устранения.

- Второй способ устранения приводит к добавлению второго канала к памяти, разделению общего кэша на кэш данных и кэш инструкций.

Конфликт RAW



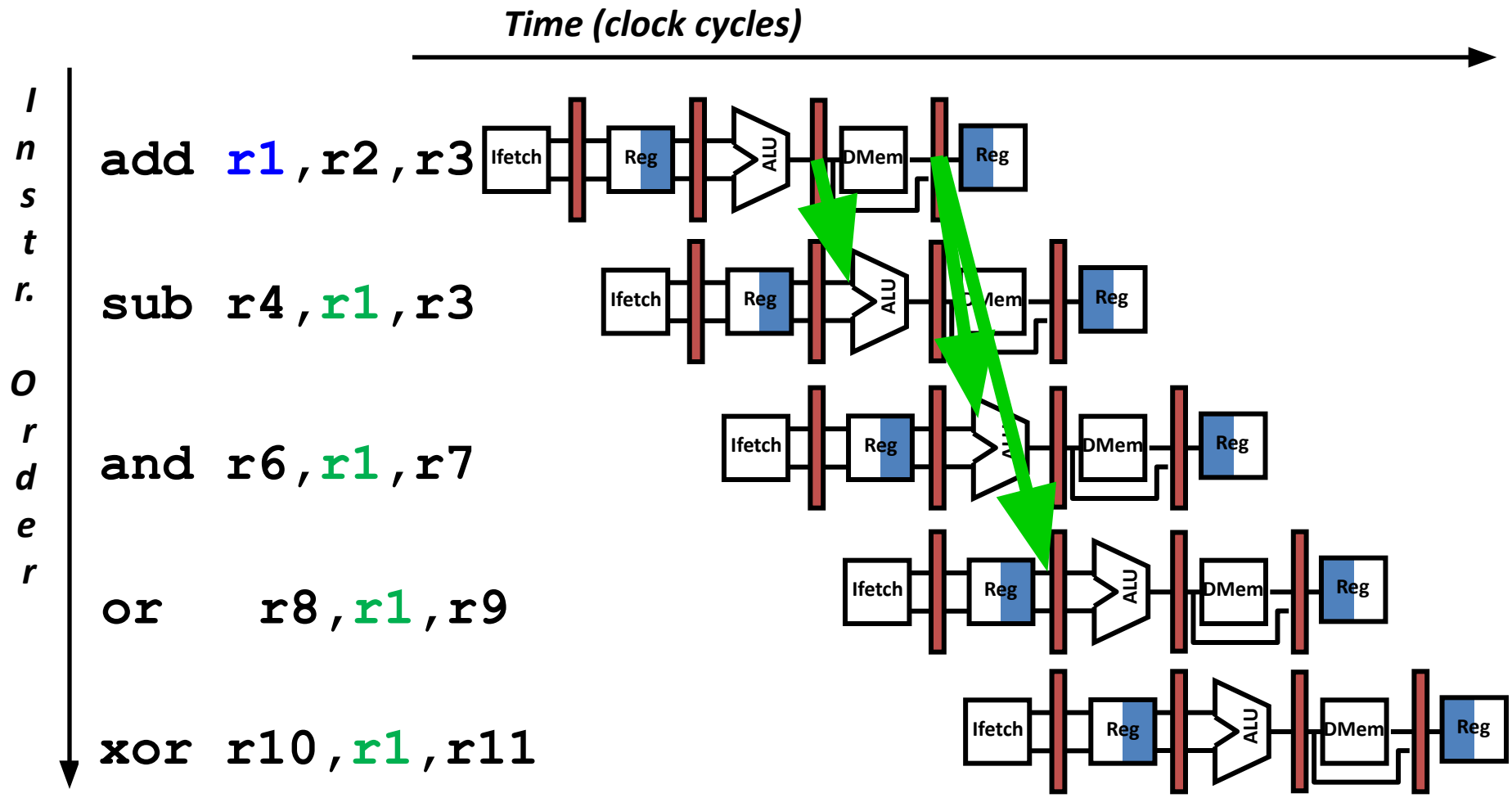
Конфликт RAW



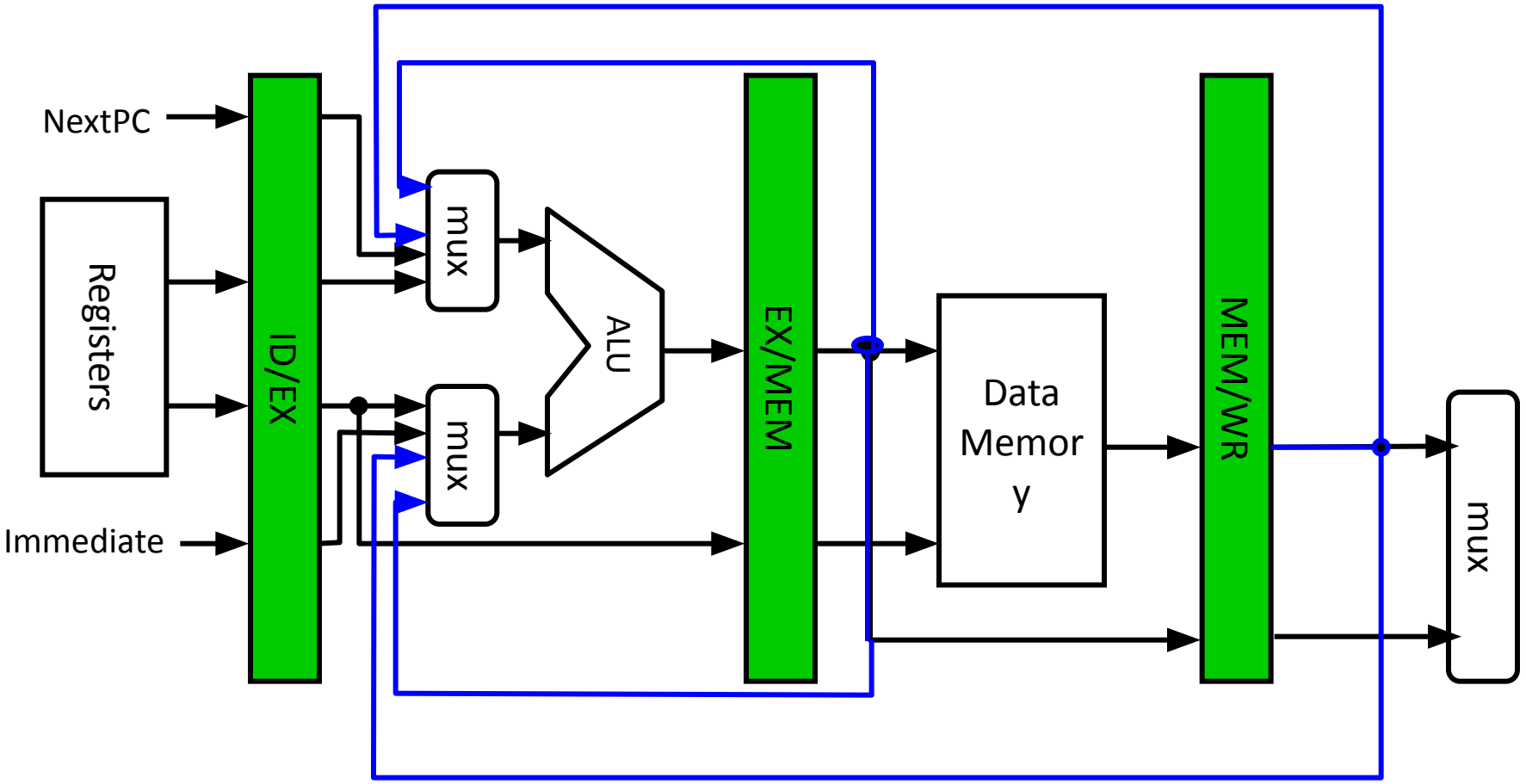
Устранение RAW конфликтов методом bypass

- Метод Bypass сводиться к возможности передачи данных между стадиями конвейера напрямую.
- Вход стадии может быть соединен с выходом любой последующей стадии.

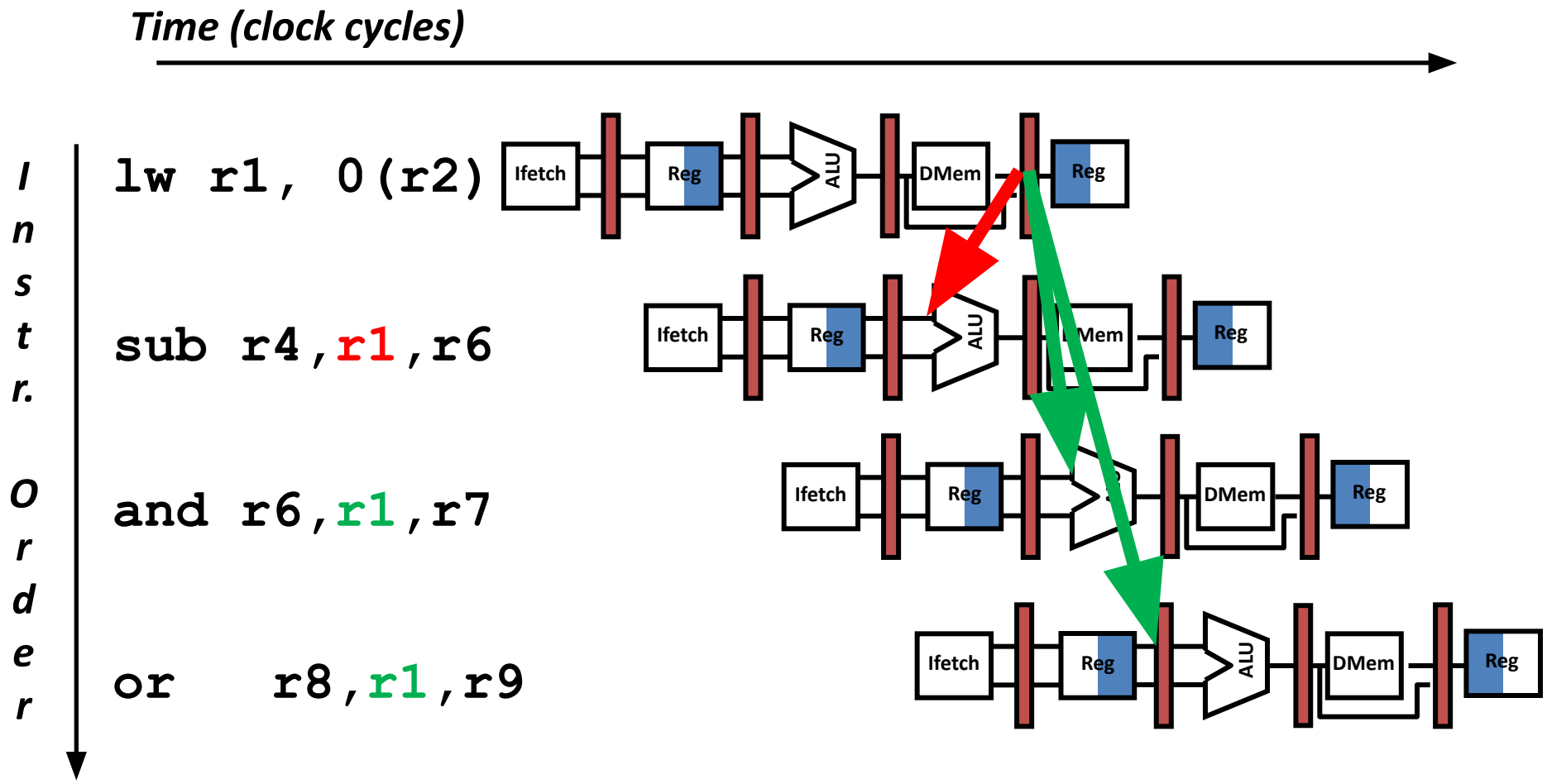
Пример механизма bypass.



Аппаратные изменения для работы bypass



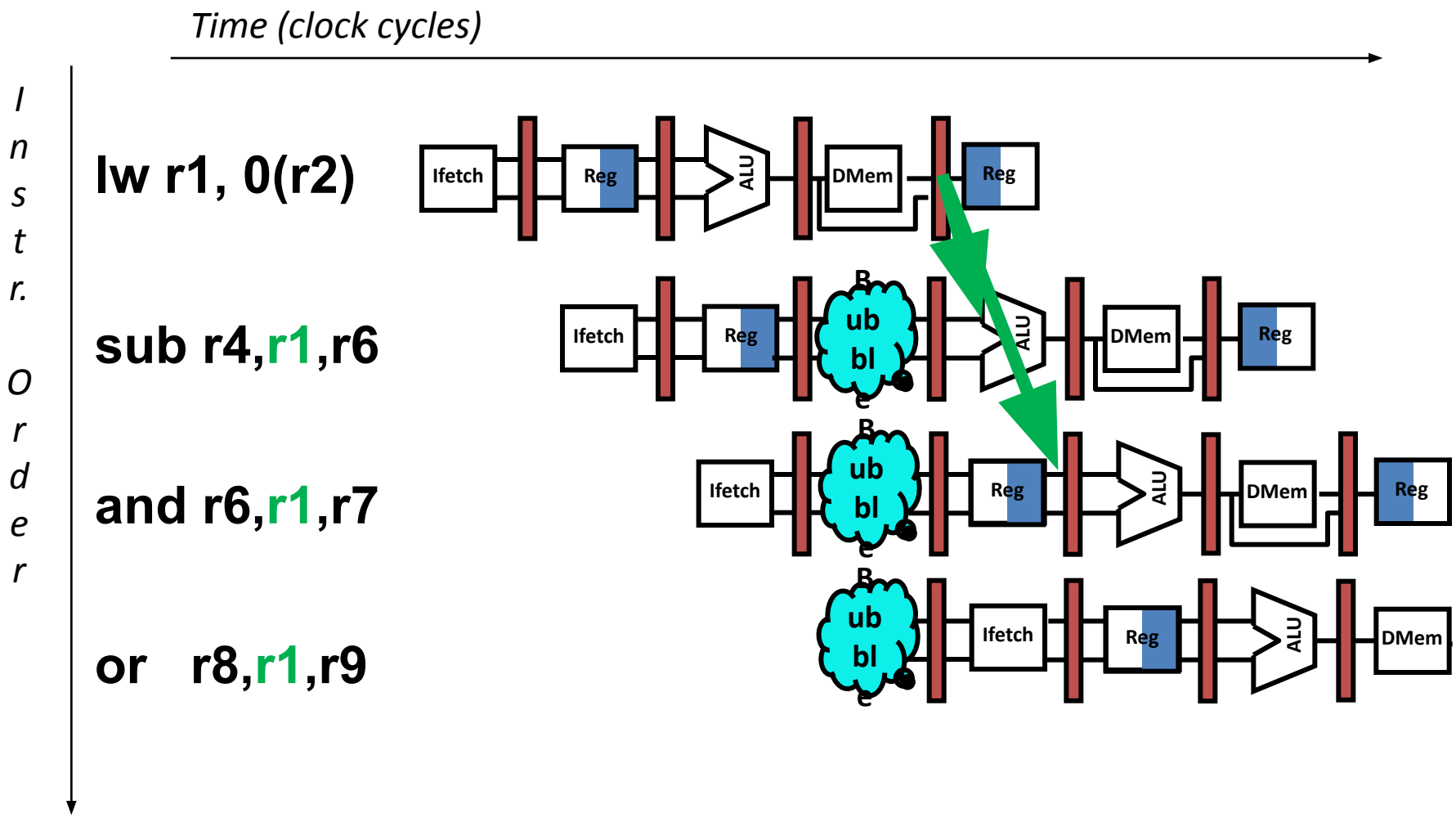
Ограничения bypass (проблема загрузки)



Ограничения bypass

- Данные могут быть переданы на другую стадию, только в том случае, если они реально существуют.
- Необходимым и достаточным условием работы bypass механизма является наличие требуемых данных хотя бы на одной стадии конвейера к тому моменту, когда они действительно потребуются.

Решение проблемы загрузки остановкой конвейера

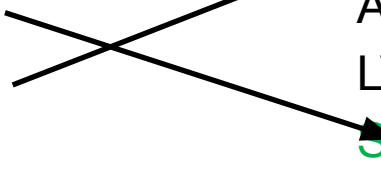


Статическое планирование конвейера

- Это программный подход, который сводиться к перестановке инструкций внутри программы для того, чтобы минимизировать количество тактов простоя конвейера.

Пример

```
LW  Rb,b
LW  Rc,c
ADD     Ra,Rb,Rc
SW      a,Ra
LW  Re,e
LW  Rf,f
SUB     Rd,Re,Rf
SW  d,Rd
```

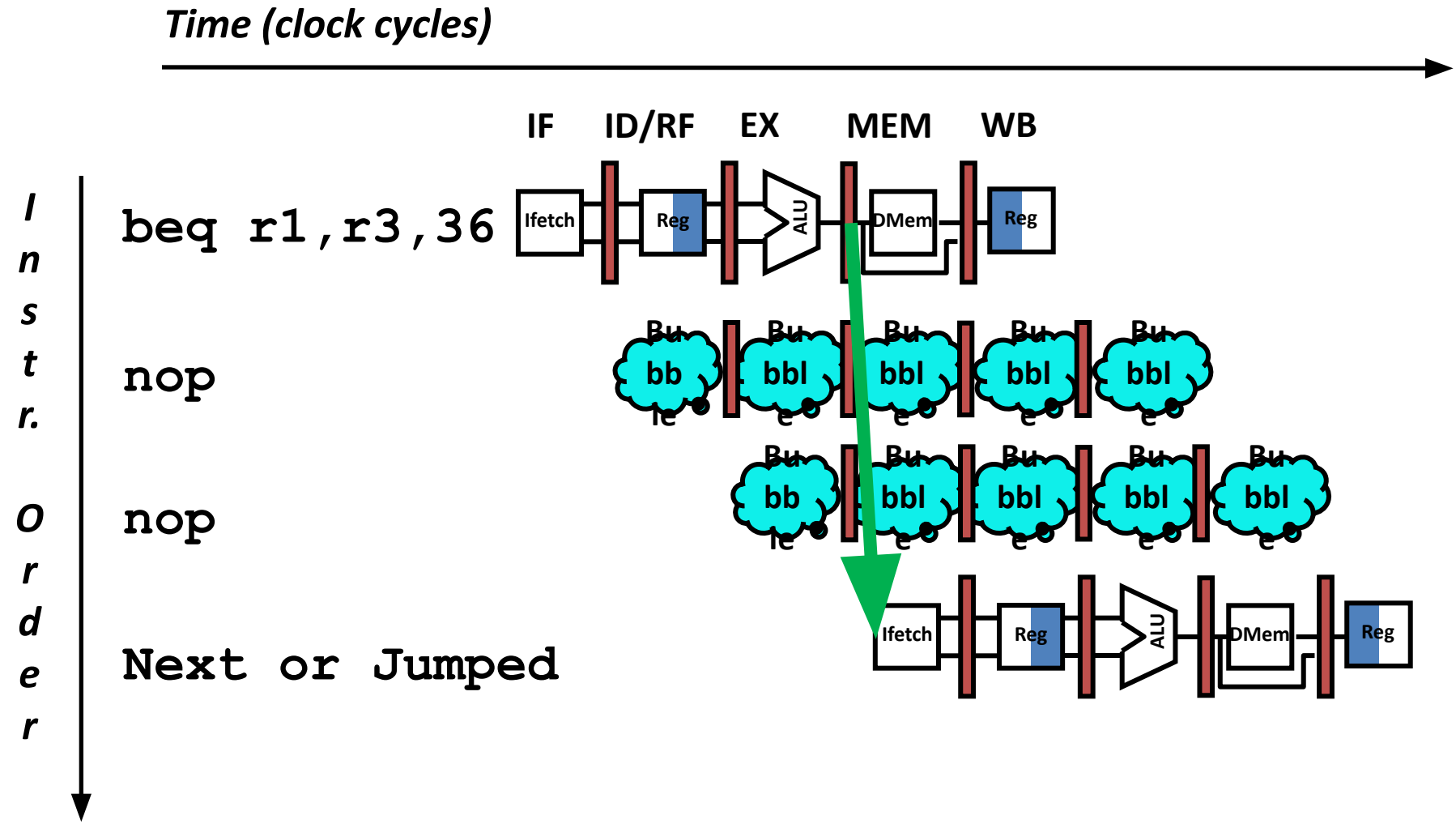


```
LW  Rb,b
LW  Rc,c
LW  Re,e
ADD     Ra,Rb,Rc
LW  Rf,f
SW      a,Ra
SUB     Rd,Re,Rf
SW  d,Rd
```

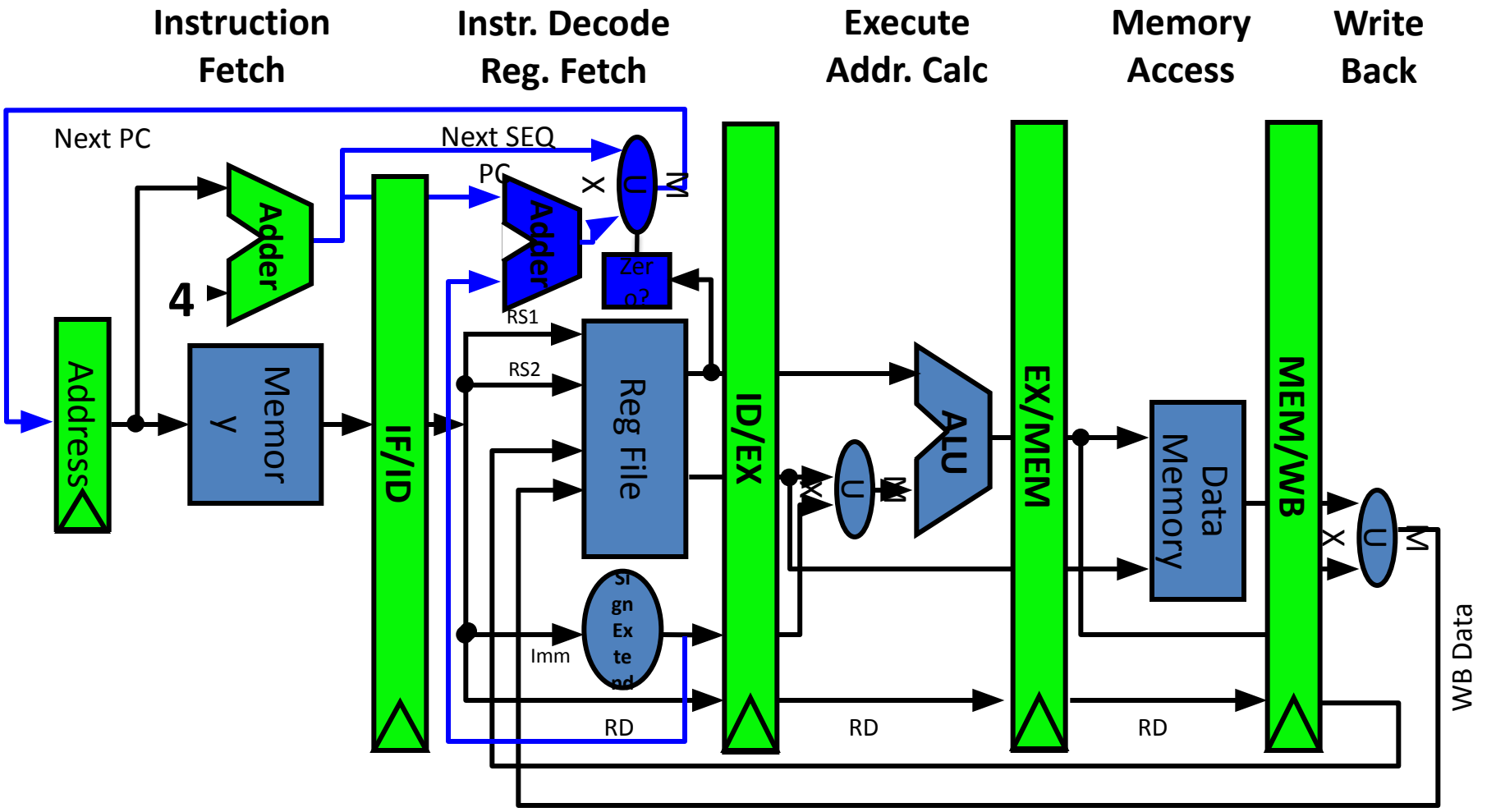
Тактов: 10

Тактов: 8

Конфликт управления



Как уменьшить количество тактов простоя



Динамическое планирование исполнения инструкций

- Идея динамического планирования в том, что инструкции запускаются не по порядку их следования в программе, а по мере готовности их операндов и освобождения требуемых ресурсов процессора.
- Пример:

```
DIV.D F0,F2,F4
ADD.D F10,F0,F8
SUB.D F12,F8,F14
```

Конфликты связанные с внеочередным исполнением

Пример:

- Несмотря на то, что 3,4 инструкции не зависят по данным от 1,2 они не могут быть запущенны из-за возникновения WAR и WAW конфликтов.

Неточное исключения

- Это исключение – которое сгенерировано не в своем регистровом контексте.
- Возникает при внеочередном исполнении инструкций.
- Причины:
  - На конвейере уже выполнилась инструкция, которая следует за инструкцией, сгенерировавшей исключение.
  - На конвейере еще выполняется инструкция, которая предшествует инструкции, сгенерировавшей исключение.