

НИУ ВШЭ – Пермь
Факультет бизнес-информатики
Кафедра информационных технологий в бизнесе

Организация и поиск данных во внешней памяти

**Материалы курса
«Теоретические основы
информатики»**

Лекция 17

Лядова Л.Н.

Пермь 2013

Организация файлов

Основные способы организации файлов:

- файлы с последовательной организацией;
- файлы с прямым доступом;
- индексированные файлы (индексно-последовательные, файлы с индексной организацией);
- библиотеки.

Использование индексов ускоряет поиск данных, но усложняет выполнение операций над ними.

Индексированные файлы

Если система сама берет на себя задачу организации вспомогательных файлов (таблиц), используемых для ускорения доступа, то говорят об *индексной организации файлов*.

Файлы с индексной организацией (или **индексированные файлы**) имеют более сложную организацию: кроме *основного файла*, представляющего собой массив записей, строится вспомогательная таблица (индекс), содержащая *ключевую информацию для поиска*, а также *данные о местоположении записи в основном файле* (смещение соответствующей записи относительно начала файла); кроме того, если записи могут иметь переменную длину, в каждой строке (элементе, записи) индекса содержится и размер записи.

Если поиск выполняется по различным ключам, то для каждого из них строится отдельный индекс. В современных базах данных объем индексов превышает объем собственно данных.

Индексированные файлы: простейший пример индексации

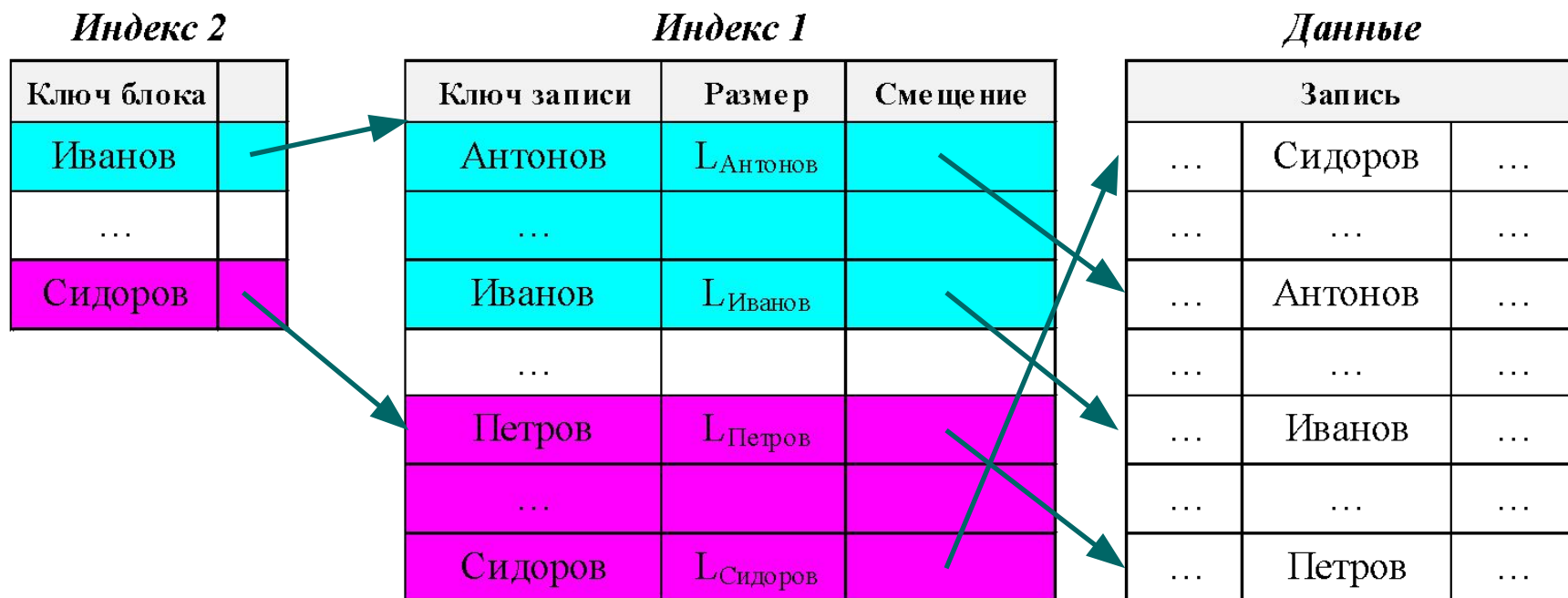
Индекс

| Ключ | Размер | Смещение |
|---------|----------------------|----------|
| АНТОНОВ | $L_{\text{АНТОНОВ}}$ | |
| ... | | |
| ИВАНОВ | $L_{\text{ИВАНОВ}}$ | |
| ... | | |
| ПЕТРОВ | $L_{\text{ПЕТРОВ}}$ | |
| ... | | |
| СИДОРОВ | $L_{\text{СИДОРОВ}}$ | |

Данные

| Запись | | |
|--------|---------|-----|
| ... | СИДОРОВ | ... |
| ... | ... | ... |
| ... | АНТОНОВ | ... |
| ... | ... | ... |
| ... | ИВАНОВ | ... |
| ... | ... | ... |
| ... | ПЕТРОВ | ... |

Индексированные файлы: многоуровневые индексы



Индексированные файлы: поиск и обработка данных

Индексы позволяют ускорить поиск данных на внешних запоминающих устройствах: *индексы отсортированы по ключам* (по возрастанию или убыванию), что позволяет организовать поиск, например, методом «деления пополам» (бинарный поиск).

Однако поддерживать нужный порядок записей в индексе при выполнении операций над данными в файле – трудоёмкая задача:

- при добавлении новых записей в файл (данные добавляются в конец файла) необходимо в индекс внести соответствующие изменения – тоже добавить запись, содержащую ключ и информацию о местоположении новой записи в файле, не нарушая порядок сортировки индекса;
- при удалении записи из файла необходимо удалить и соответствующую запись из индекса;
- при изменении ключевых полей в записи необходимо изменить и соответствующую запись в индексе, при этом может потребоваться изменить порядок записей в нём для сохранения установленного порядка сортировки.

Индексированные файлы: динамические индексы

Динамический индекс строится в оперативной памяти по специальной команде индексации файла и существует, пока в нём есть необходимость (он используется для ускорения поиска данных в открытом для работы файле). После завершения работы с файлом или программы индекс уничтожается.

Индекс должен включать всю необходимую для поиска данных информацию: значение ключа и информацию о местоположении соответствующей записи.

Для создания такого индекса обычно используются динамические структуры данных.

Простейшая – *бинарное дерево*, которое позволяет выполнять бинарный поиск, сокращая количество операций просмотра записей (сравнения ключей).

Это ещё одна область применения деревьев в программировании.

Бинарные деревья: использование для индексации

Оперативная память

8

Ссылка на корень индекса

Структура вершины дерева

Ключ

Левый
потомок

Правый
потомок

Положение
записи в
файле

Номер
записи

Данные в
файле

0

Петров ...

1

Сидоров ...

2

Иванкина ...

3

Сидоров ...

4

Иванкина ...

5

Рогова ...

6

Носкова ...

7

Тырцев ...

8

Яшкин ...

9

Аспидова ...

Бинарные деревья: использование для индексации

Оперативная память

9

Ссылка на корень индекса

Петров

*

*

0

Номер
записи

Данные в
файле

0

Петров ...

1

Сидоров ...

2

Кукушкина ...

3

Павлов ...

4

Репин ...

5

Рогова ...

6

Носкова ...

7

Тырцев ...

8

Яшкин ...

9

Аспидова ...

Бинарные деревья: использование для индексации

Оперативная память

10

Ссылка на корень индекса

Петров

*

0

Сидоров

*

*

1

Номер
записи

Данные в
файле

0

Петров ...

1

Сидоров ...

2

Кукушкина ...

3

Павлов ...

4

Репин ...

5

Рогова ...

6

Носкова ...

7

Тырцев ...

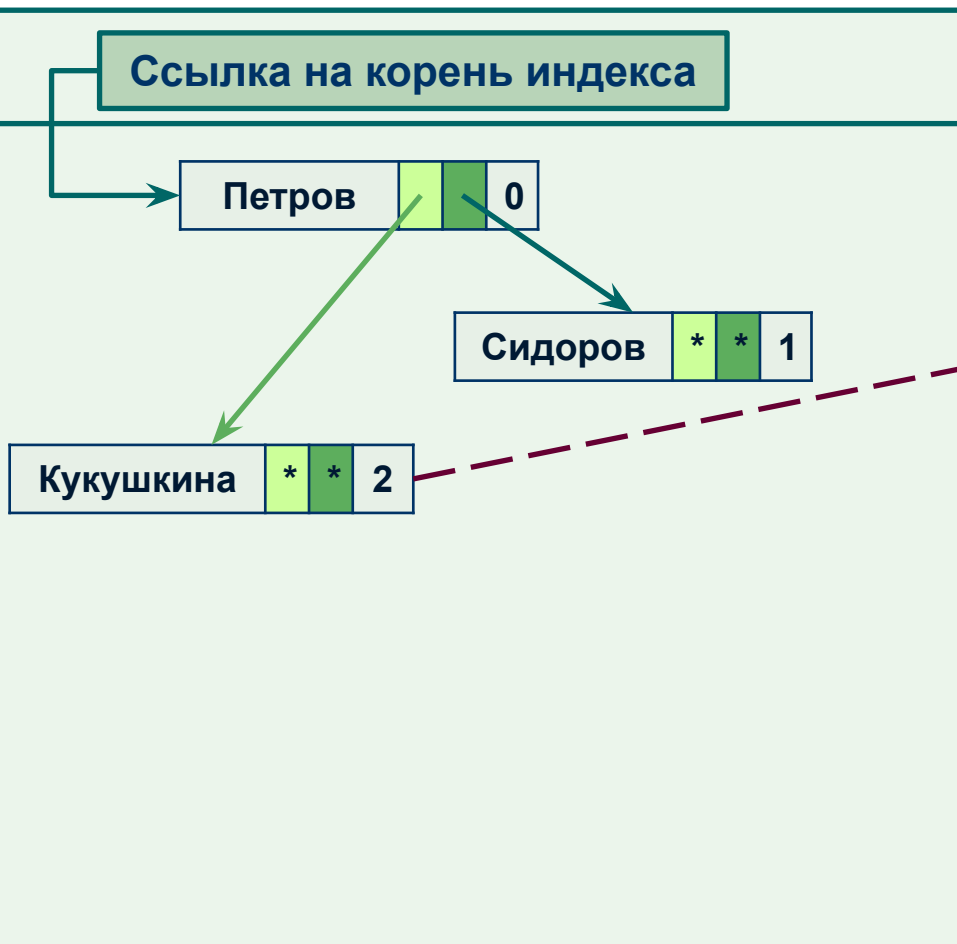
8

Яшкин ...

9

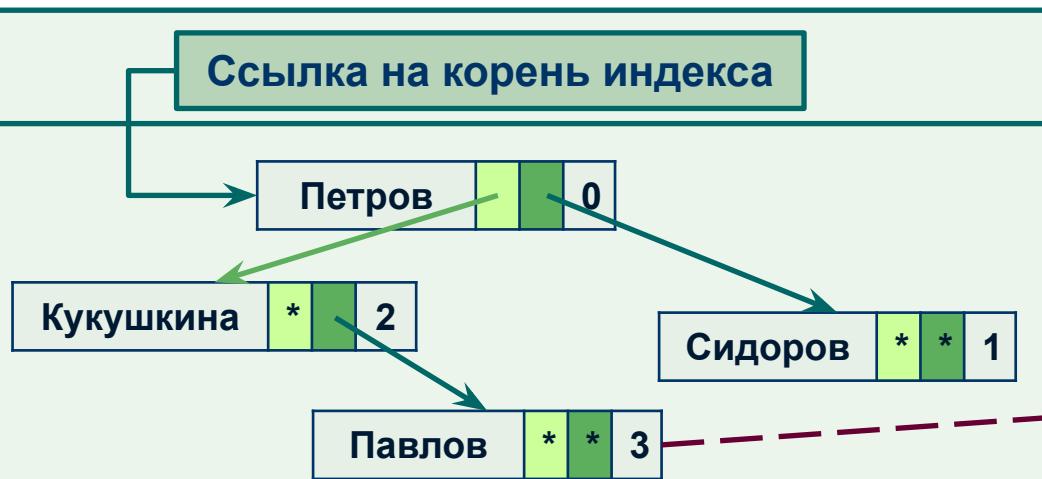
Аспидова ...

Бинарные деревья: использование для индексации



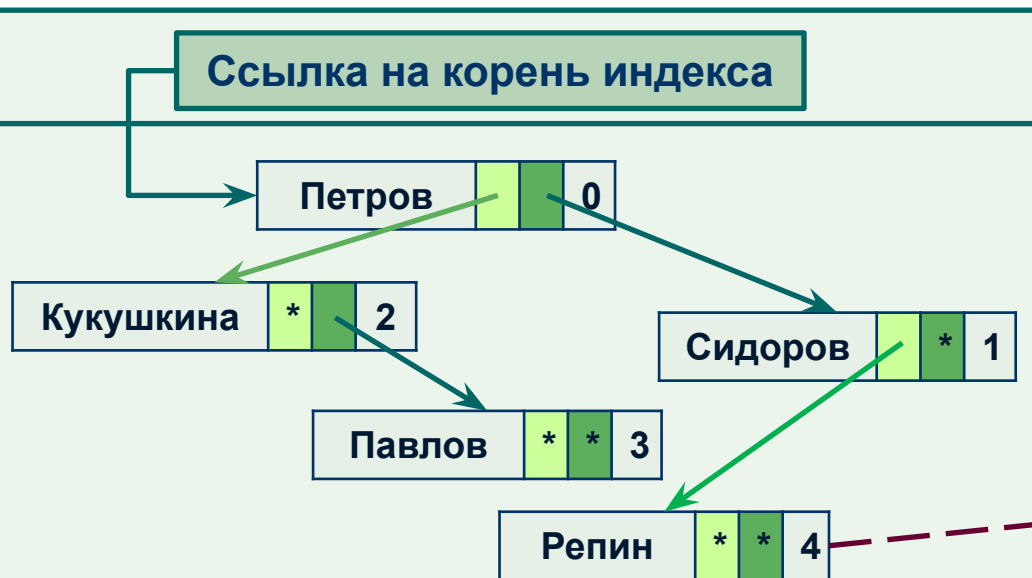
| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации



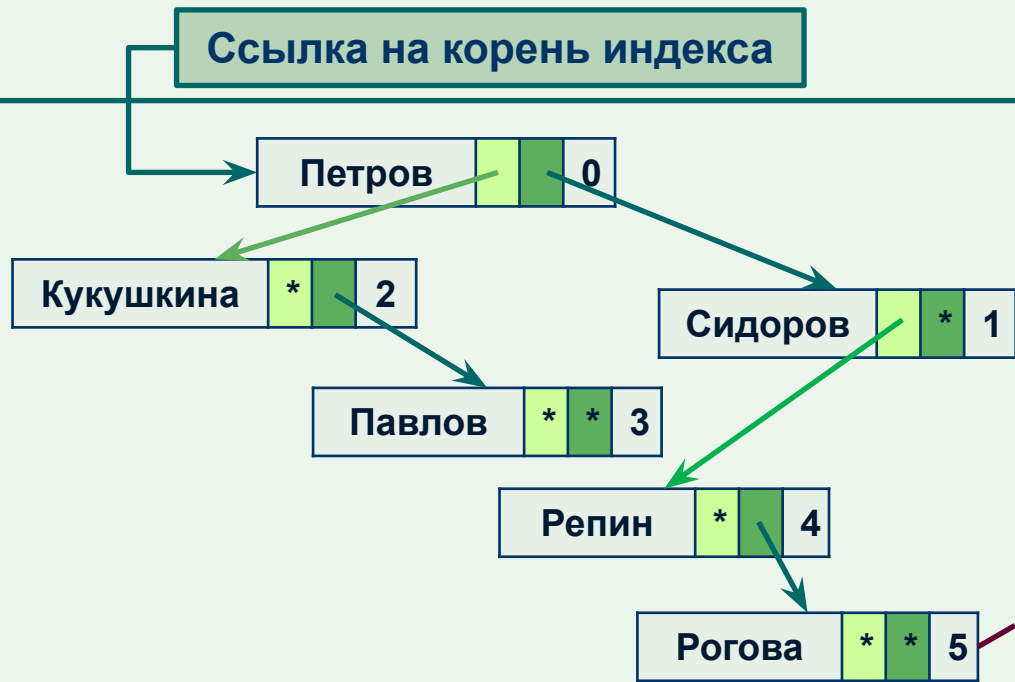
| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации



| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации

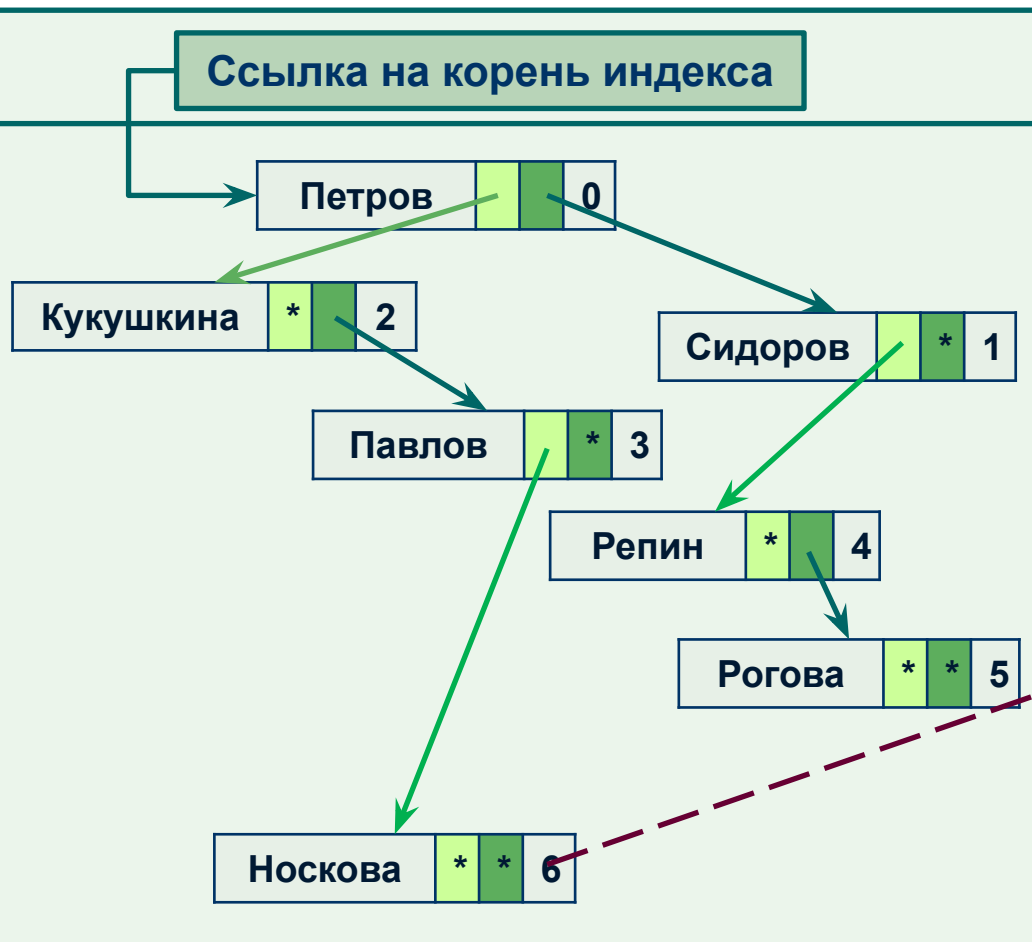


| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации

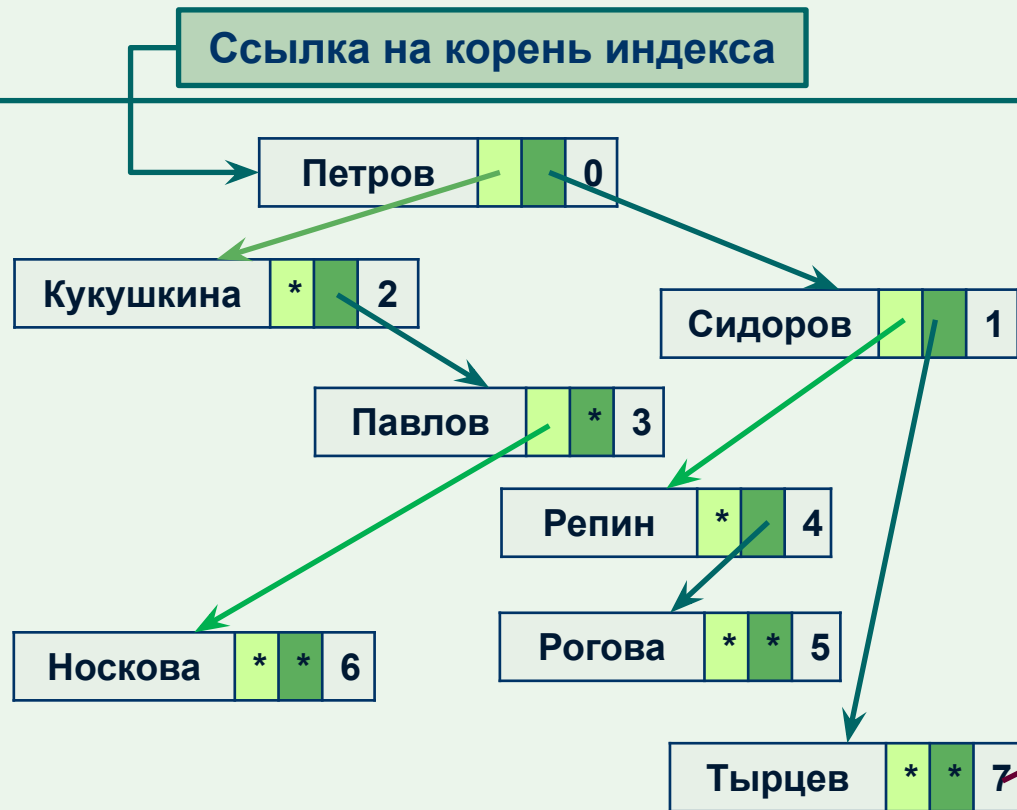
Оперативная память

15



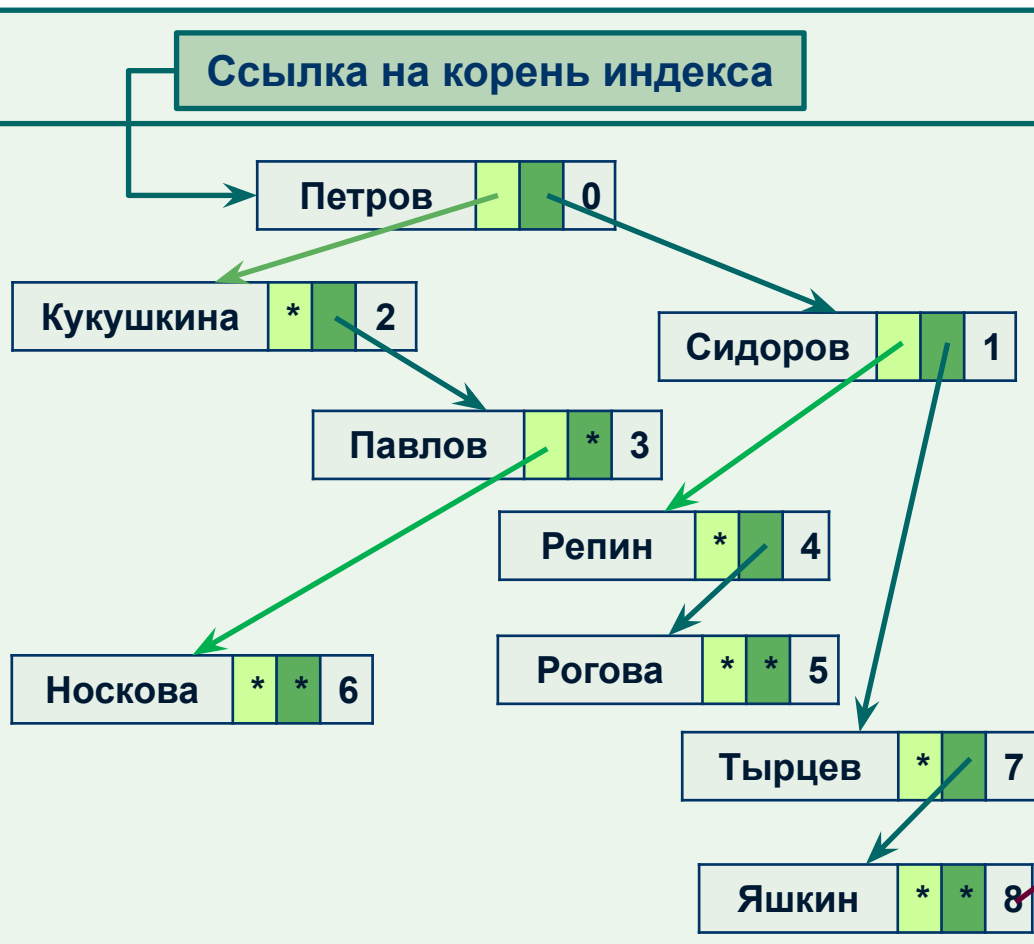
| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации



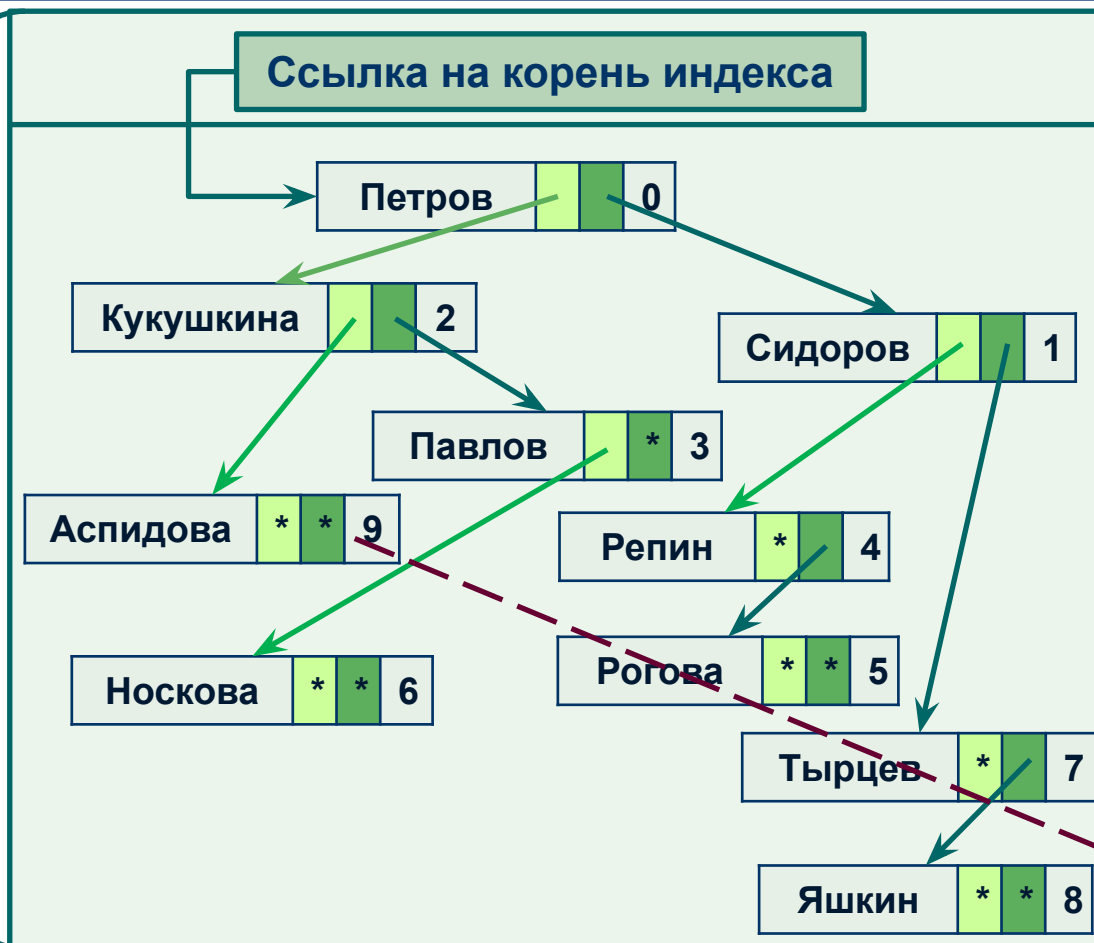
| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации



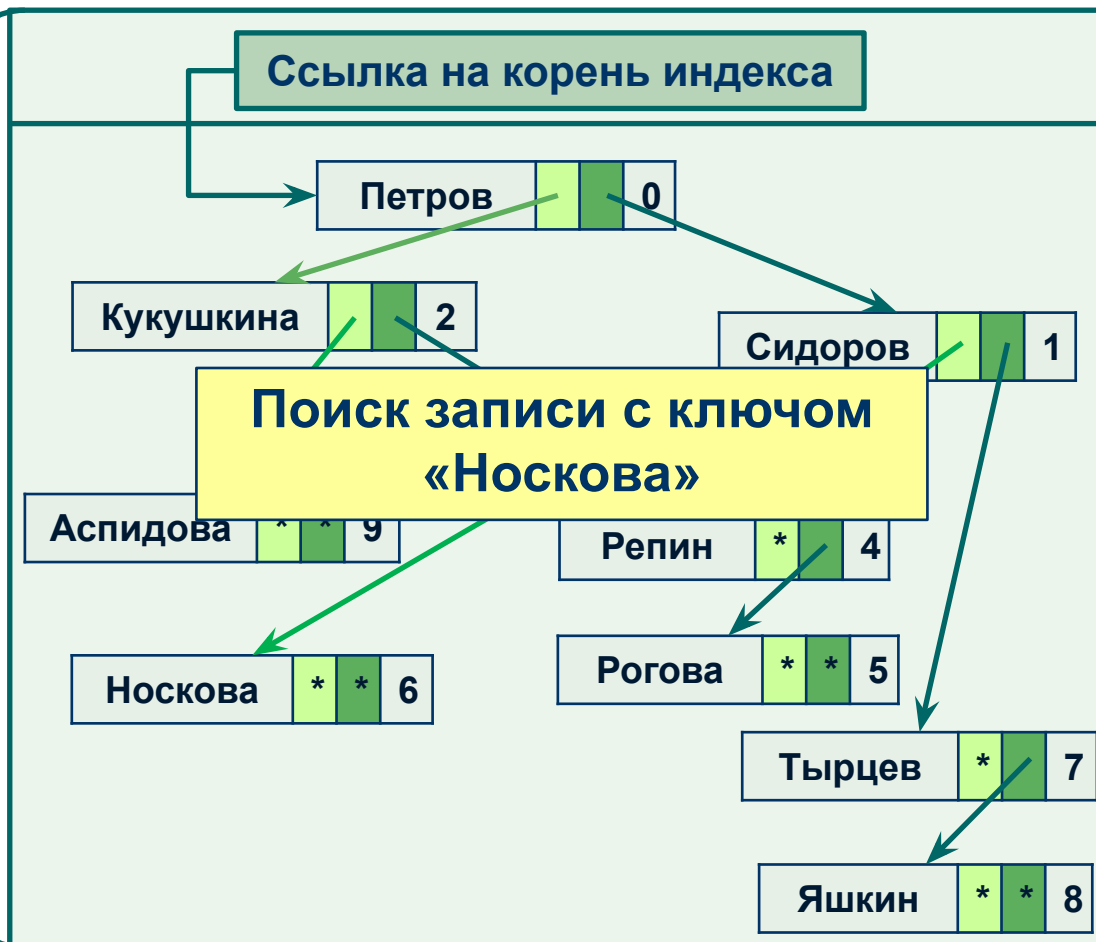
| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации



| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации



| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации



| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации

Ссылка на корень индекса



| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации

Ссылка на корень индекса



| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации

Ссылка на корень индекса



| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации

Ссылка на корень индекса



| Номер записи | Данные в файле |
|--------------|----------------|
| 0 | Петров ... |
| 1 | Сидоров ... |
| 2 | Кукушкина ... |
| 3 | Павлов ... |
| 4 | Репин ... |
| 5 | Рогова ... |
| 6 | Носкова ... |
| 7 | Тырцев ... |
| 8 | Яшкин ... |
| 9 | Аспидова ... |

Бинарные деревья: использование для индексации

Проблемы при работе с внешней памятью:

1. Число уровней в обычном бинарном дереве может быть большим – требуется балансировка.
2. Внешние устройства прямого доступа – блочно-ориентированные. Следовательно, необходимо обрабатывать информацию блоками.

Выход – использование для индексации другого типа деревьев – ***B-деревьев***.

Понятие В-дерева

Базовым «древовидным» аппаратом для поиска данных во внешней памяти являются В-деревья:

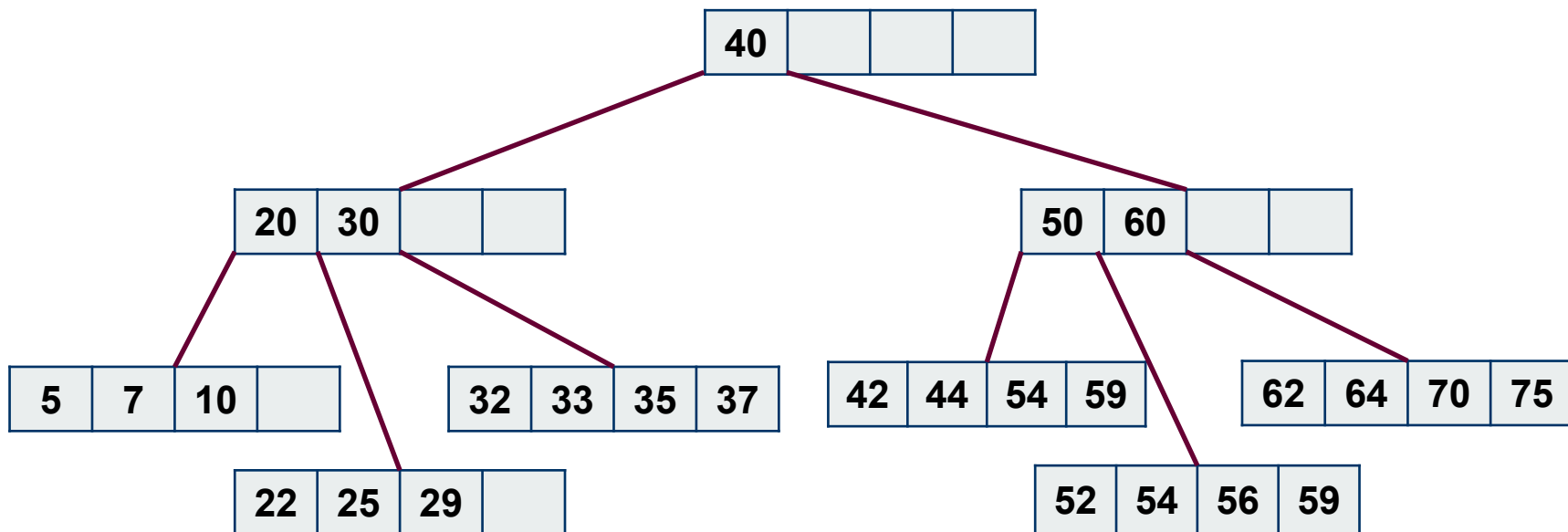
- за одно обращение к внешней памяти необходимо считать как можно больше информации, учитывая при этом необходимость экономного использования основной памяти;
- при организации основной памяти в виде набора страниц равного размера естественно считать именно страницу единицей обмена с внешней памятью;
- желательно обеспечить такую поисковую структуру во внешней памяти, при использовании которой поиск информации по любому ключу требует заранее известного числа обменов с внешней памятью.

Понятие В-дерева: классические В-деревья

В-дерево порядка n представляет собой совокупность иерархически связанных страниц внешней памяти (каждая вершина дерева – страница), обладающая следующими свойствами:

- Каждая страница содержит не более $2 \times n$ элементов (записей с ключом).
- Каждая страница, кроме корневой, содержит не менее n элементов.
- Если внутренняя (не листовая) вершина В-дерева содержит m ключей, то у нее имеется $m+1$ страниц-потомков.
- Все листовые страницы находятся на одном уровне.

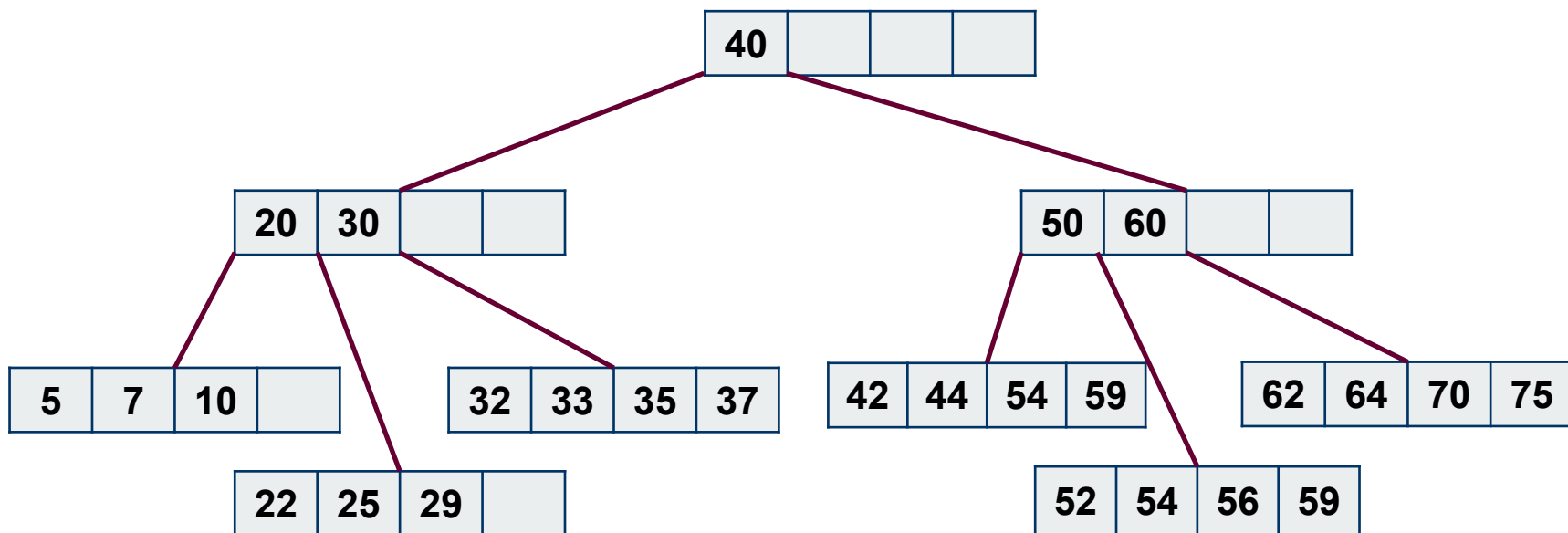
Пример B-дерева степени 2 глубины 3



Пример B-дерева степени 2 глубины 3

Добавляем:

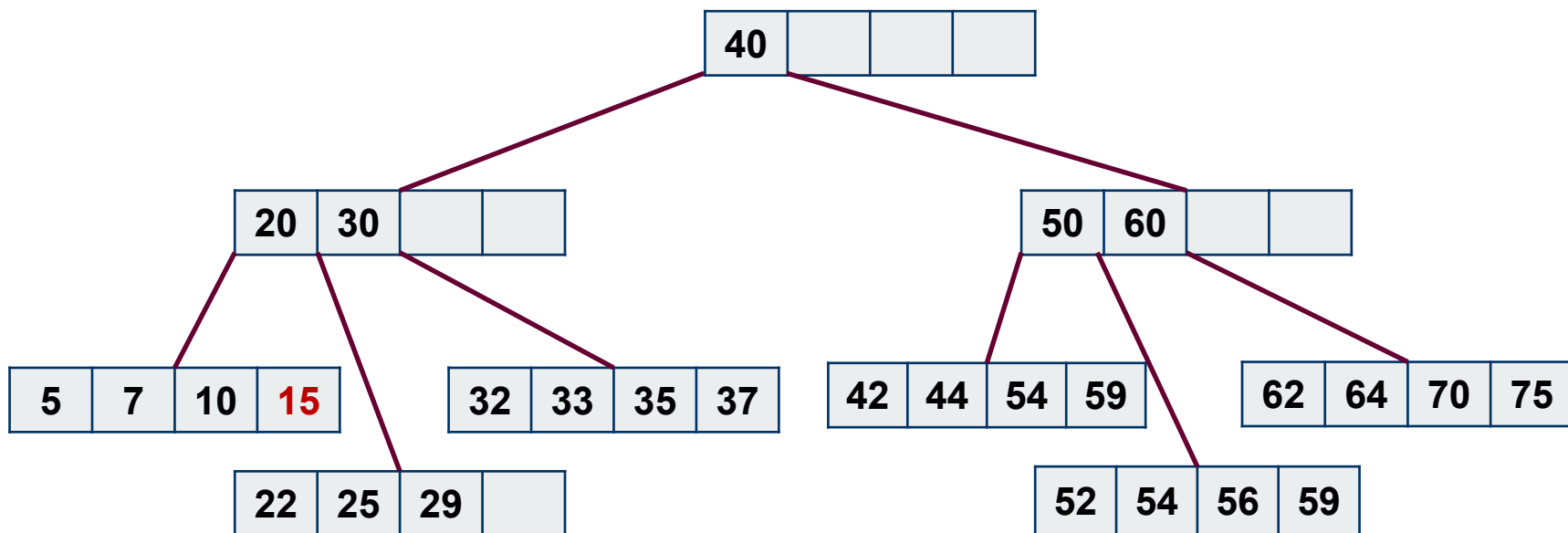
15, 27, 36, 39, ...



Пример B-дерева степени 2 глубины 3

Добавляем:

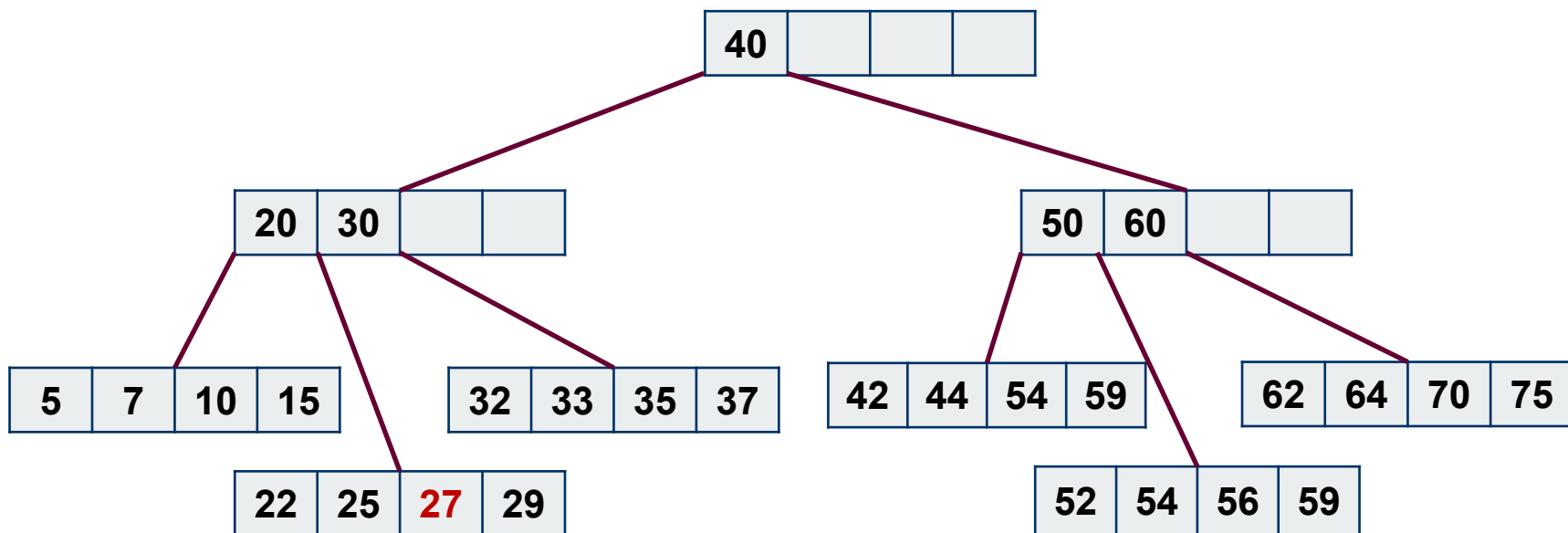
15, 27, 36, 39, ...



Пример B-дерева степени 2 глубины 3

Добавляем:

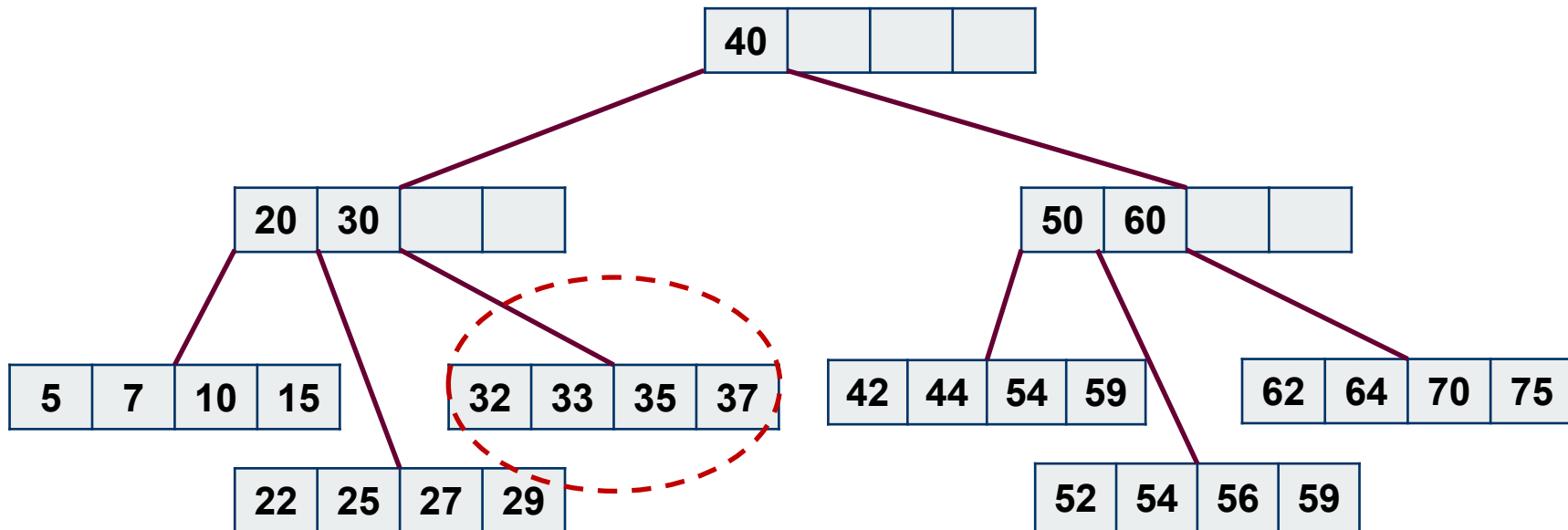
15, 27, 36, 39, ...



Пример B-дерева степени 2 глубины 3

Добавляем:

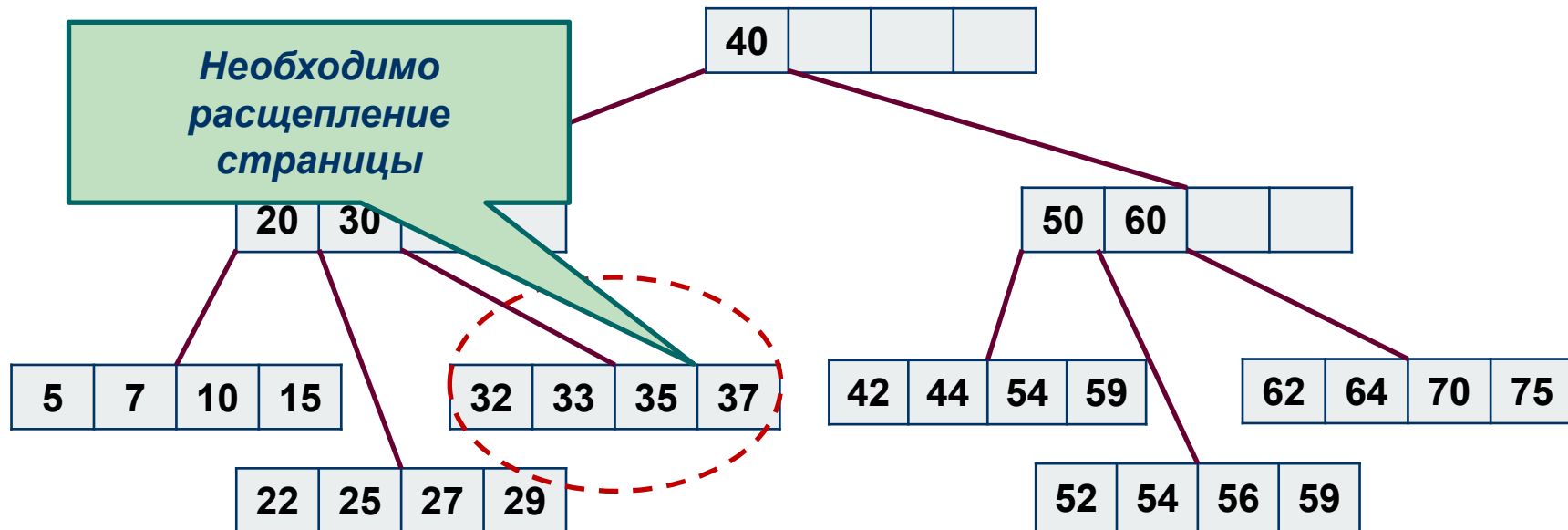
15, 27, 36, 39, ...



Пример B-дерева степени 2 глубины 3

Добавляем:

15, 27, 36, 39, ...



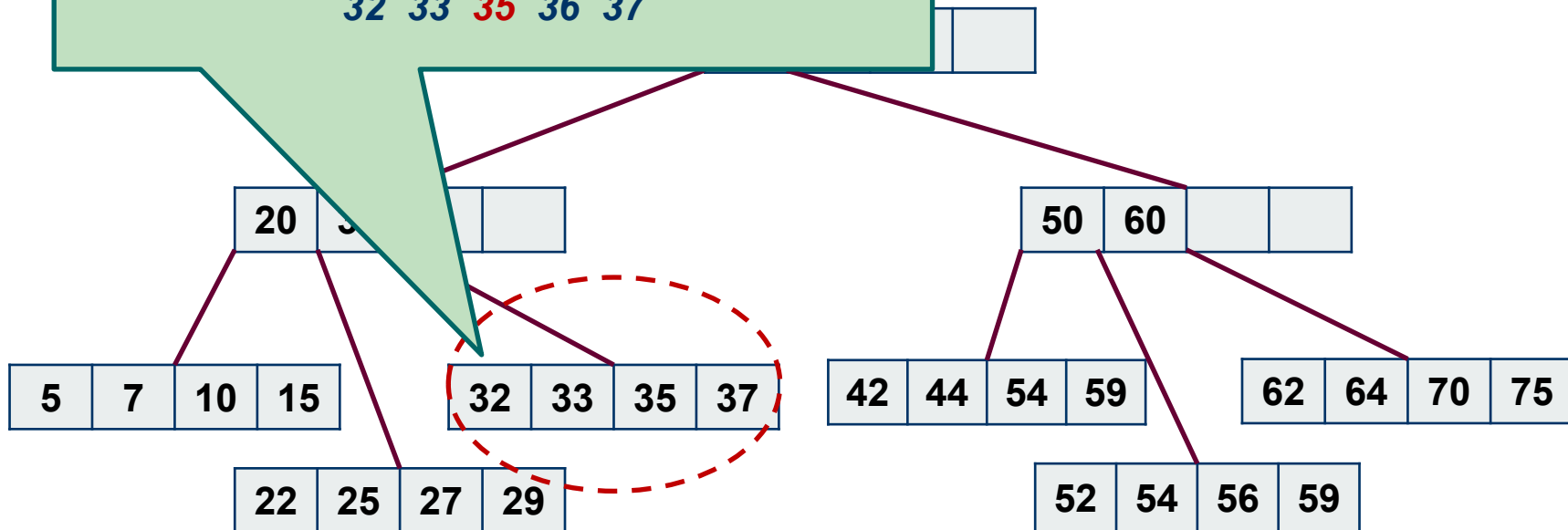
Пример B-дерева степени 2 глубины 3

Добавляем:

15

Необходимо расщепление страницы:

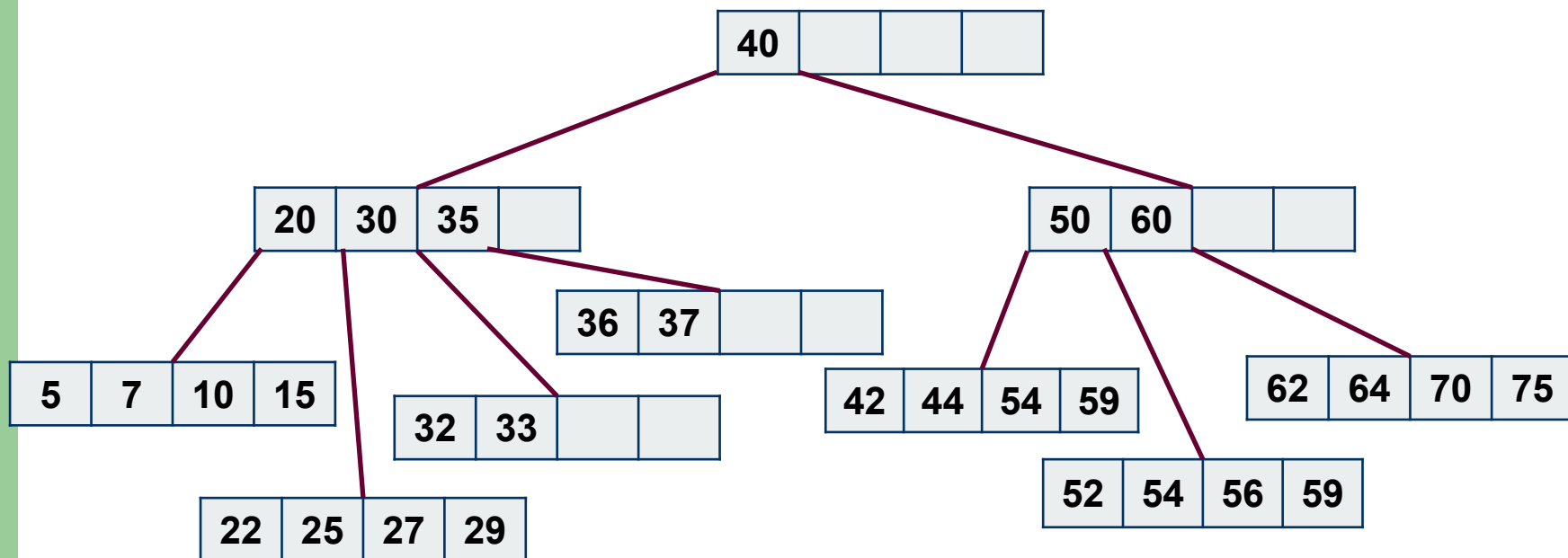
32 33 **35** 36 37



Пример B-дерева степени 2 глубины 3

Добавляем:

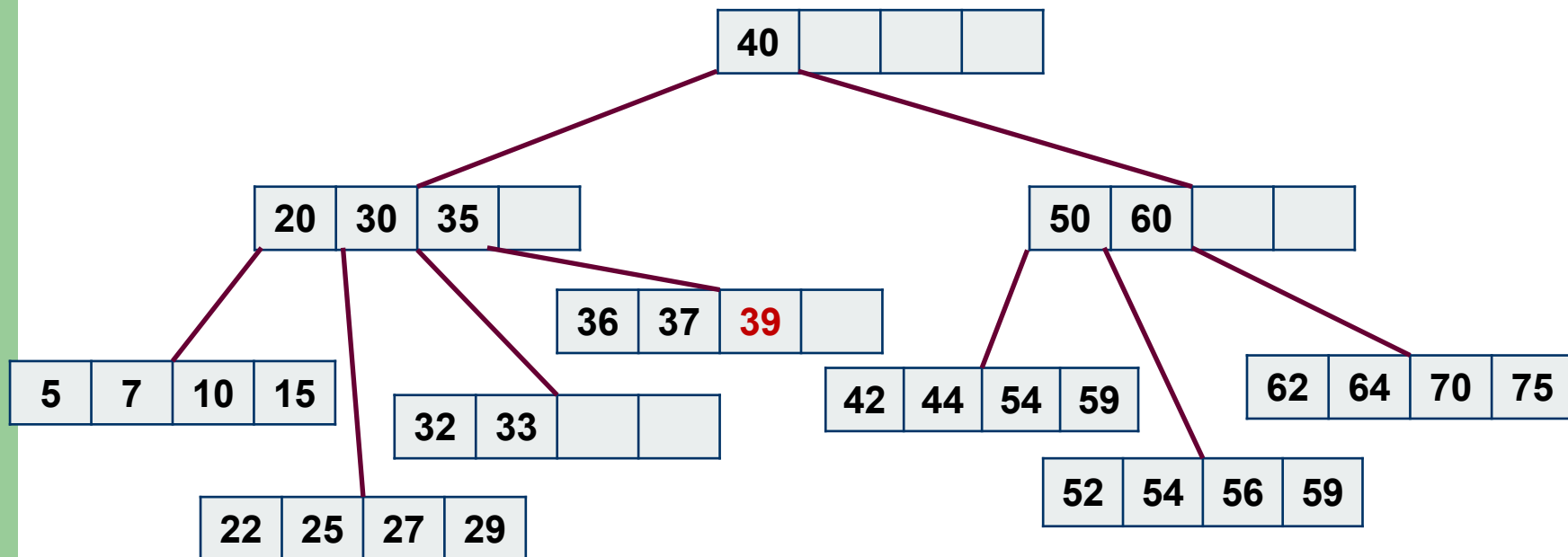
15, 27, 36, 39, ...



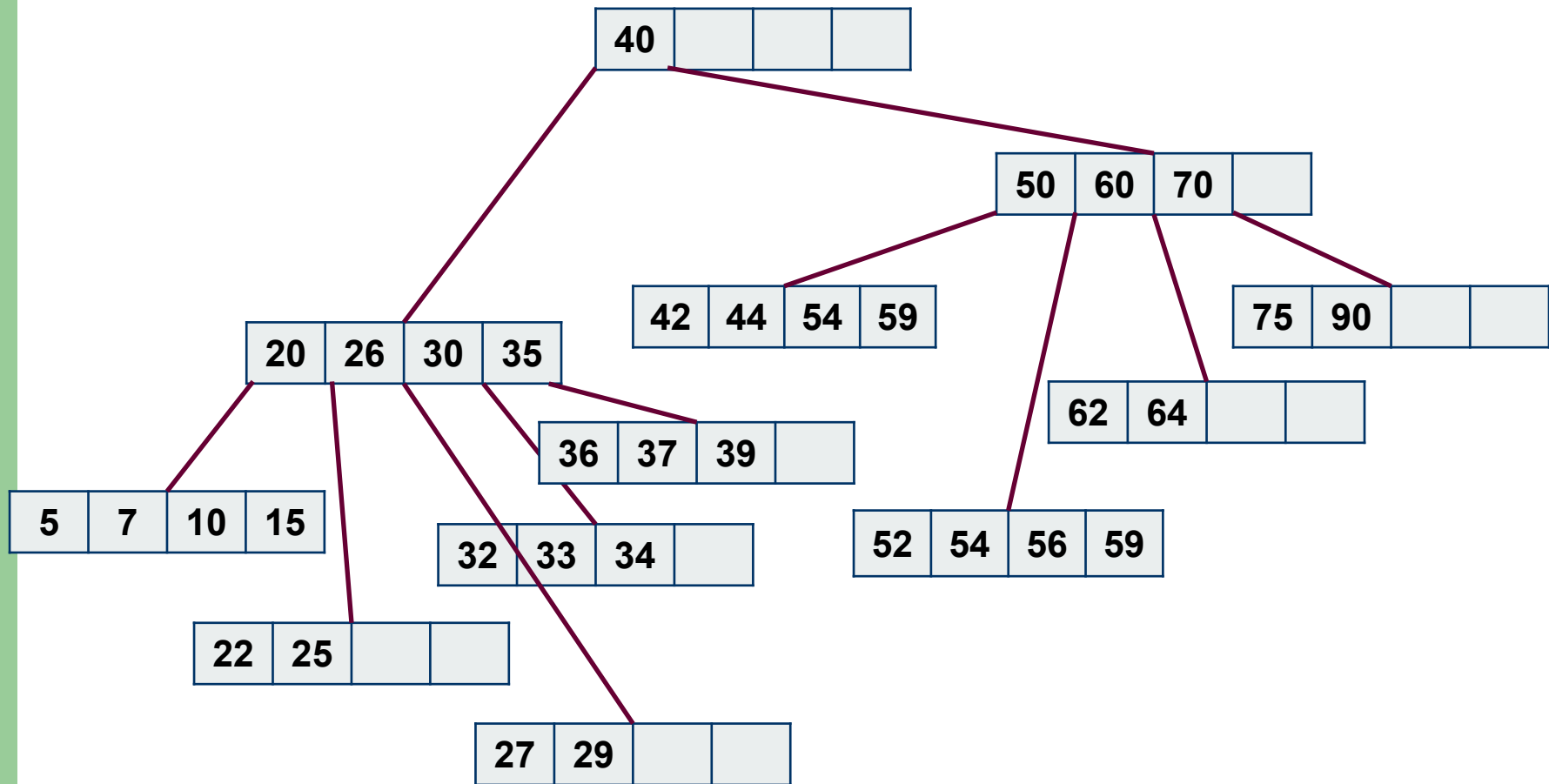
Пример B-дерева степени 2 глубины 3

Добавляем:

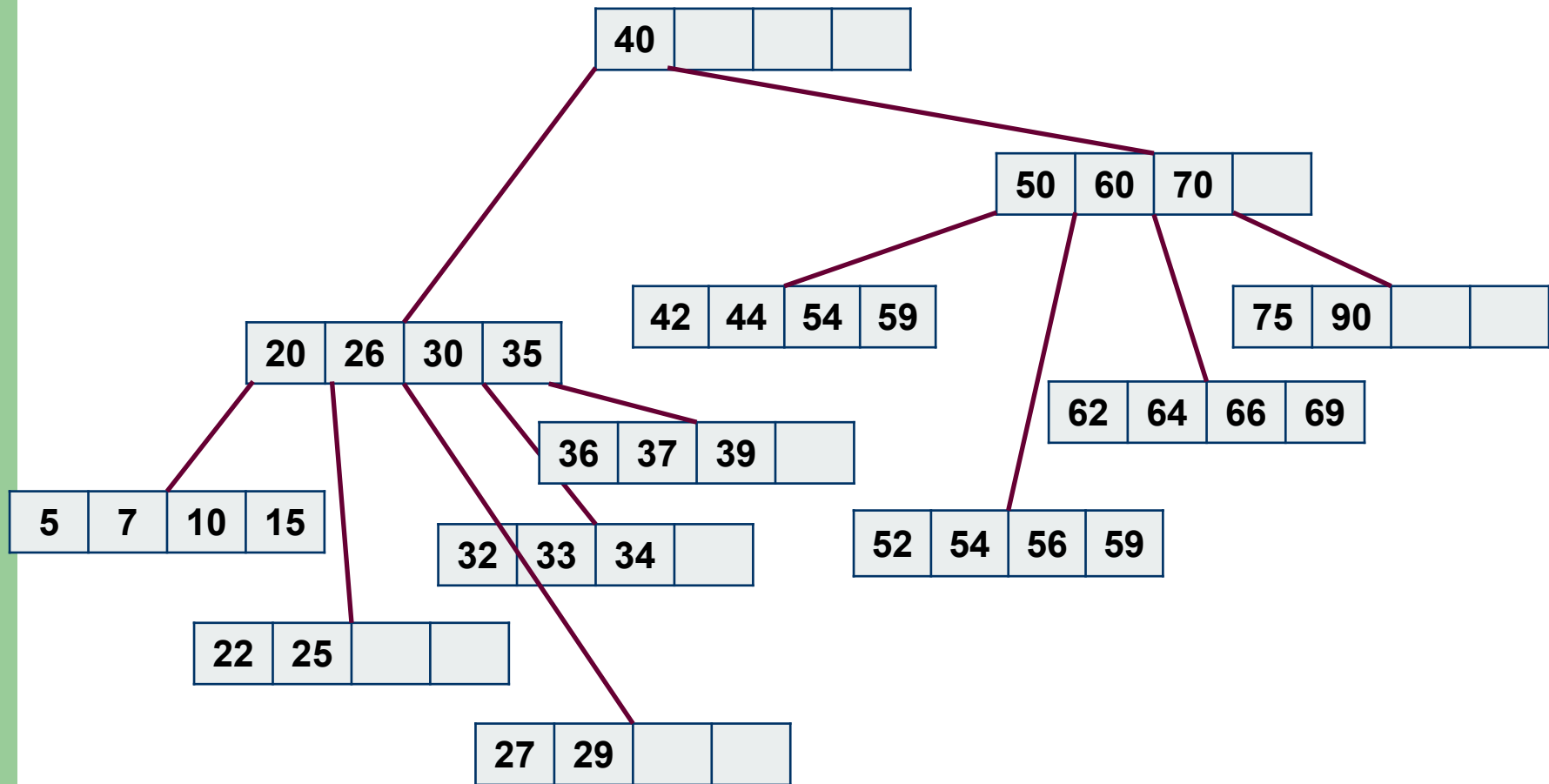
15, 27, 36, 39, ...



Пример B-дерева степени 2 глубины 3

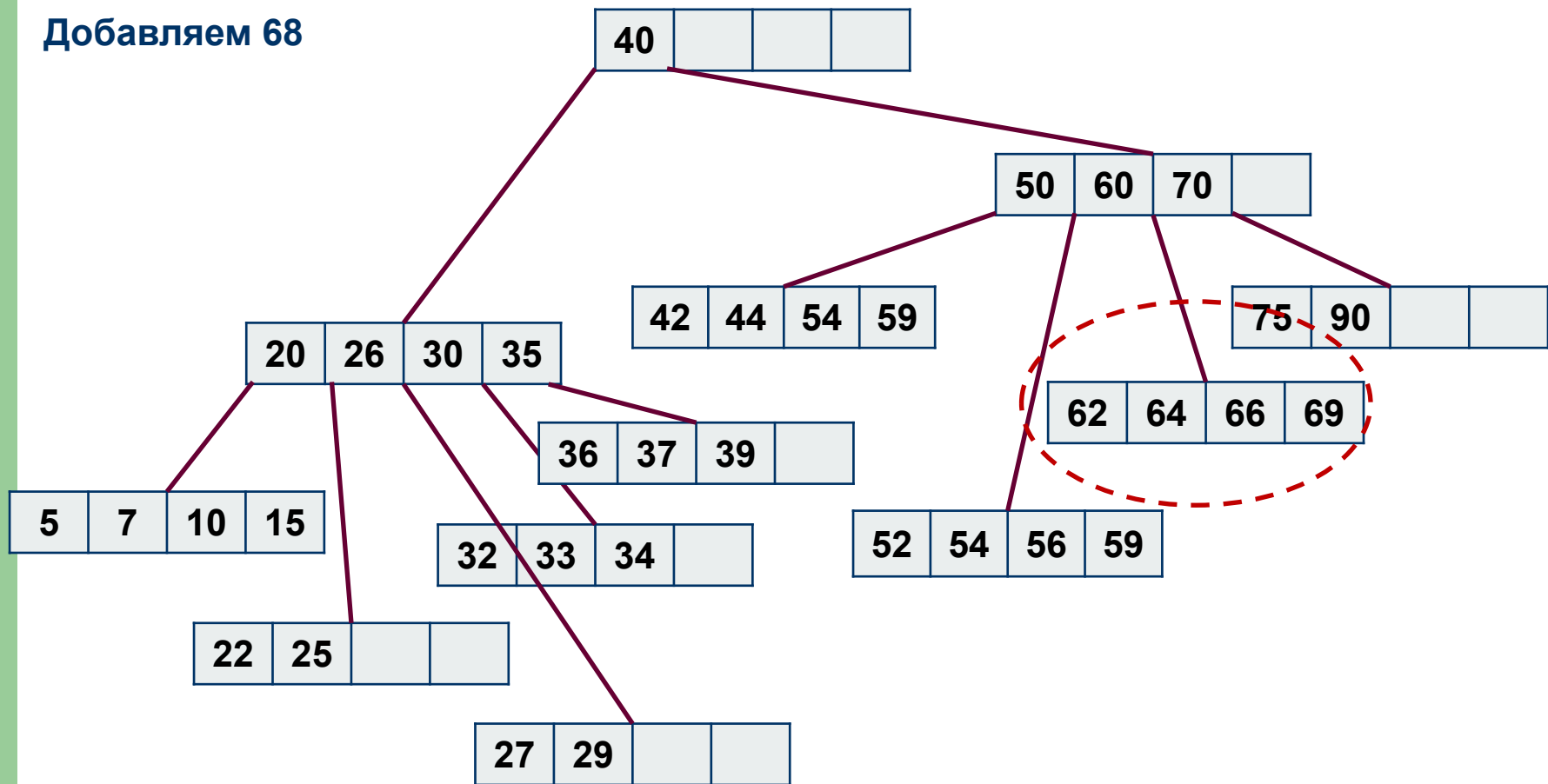


Пример B-дерева степени 2 глубины 3



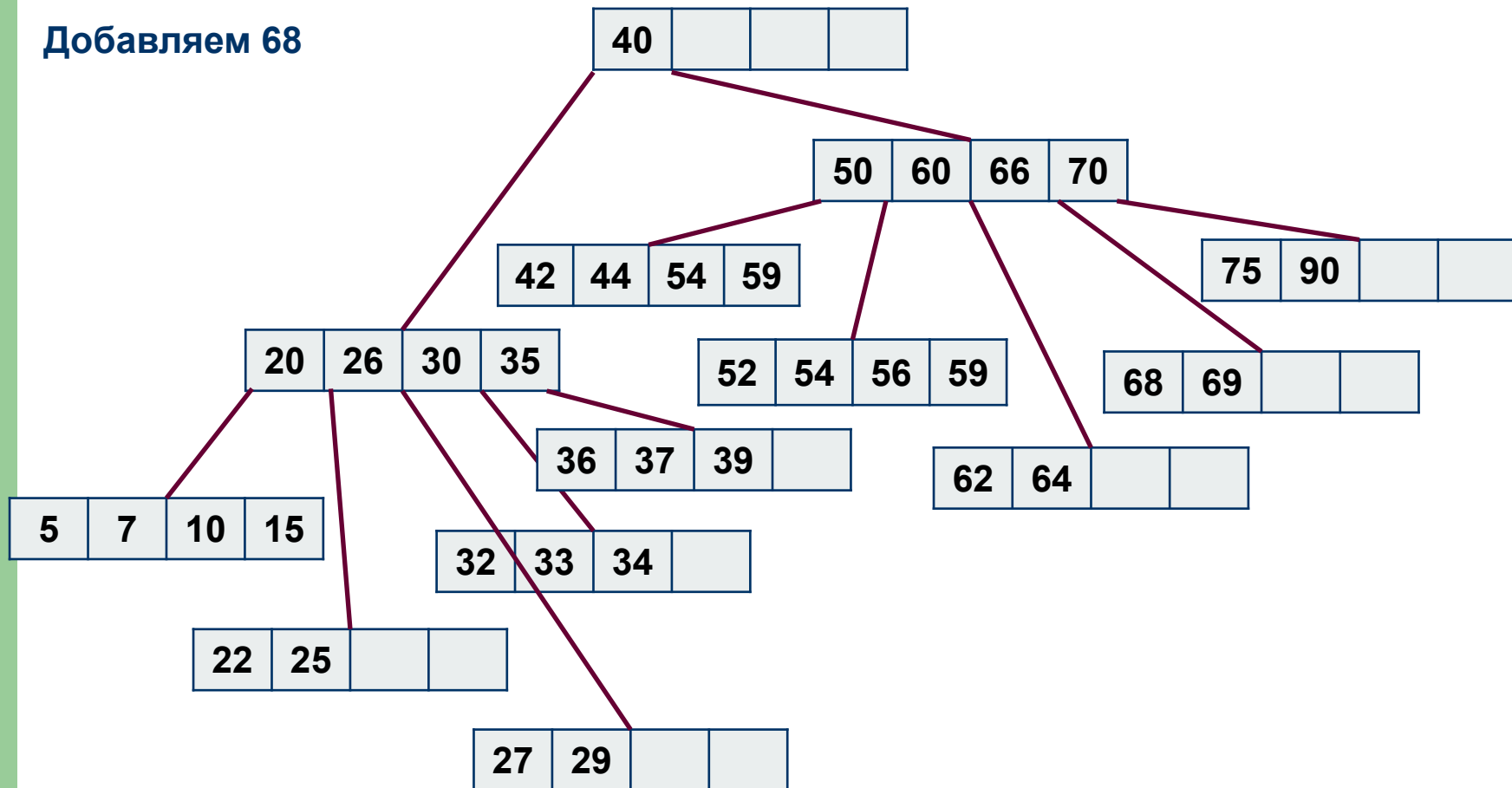
Пример B-дерева степени 2 глубины 3

Добавляем 68



Пример B-дерева степени 2 глубины 3

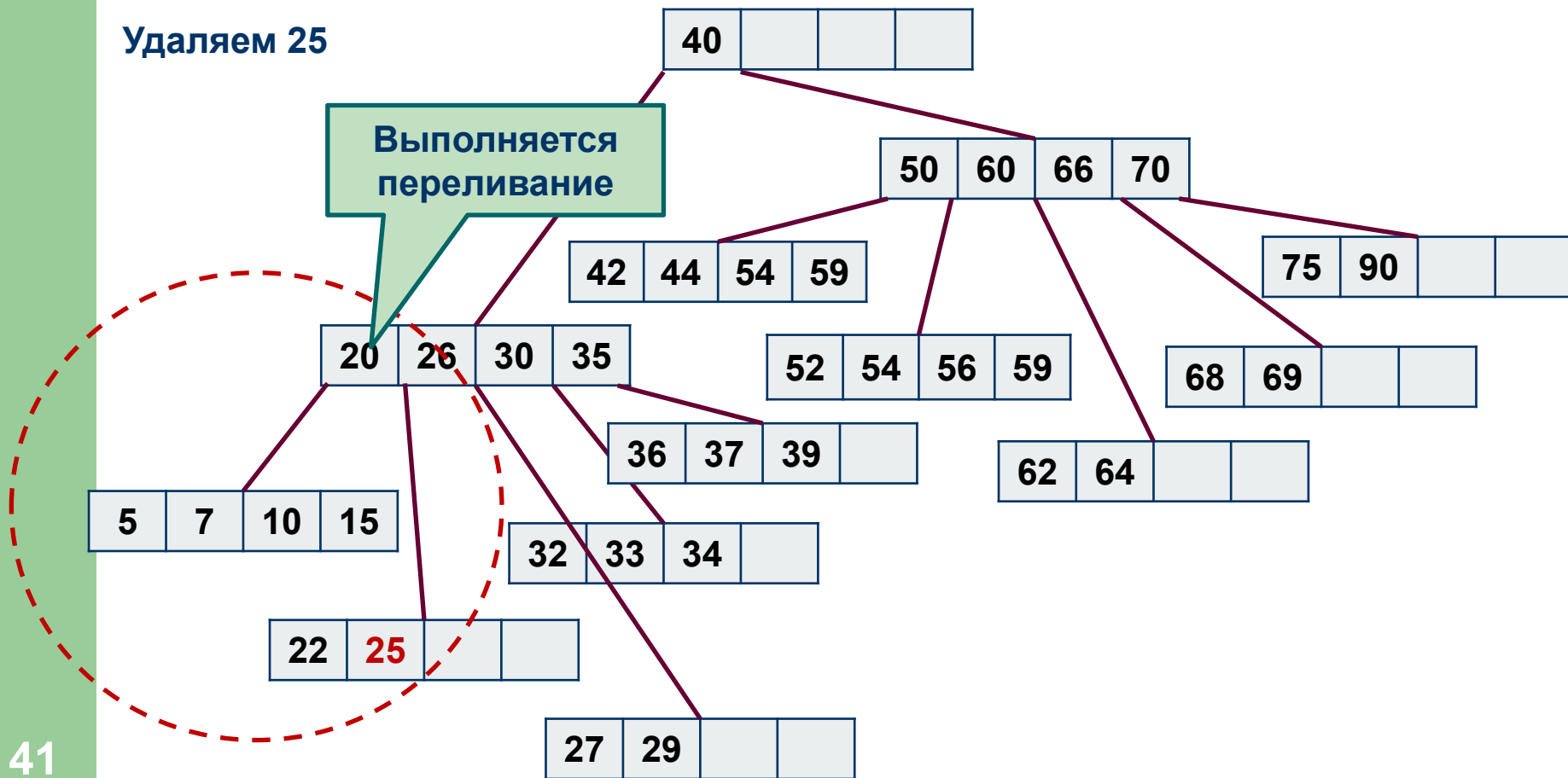
Добавляем 68



Пример B-дерева степени 2 глубины 3

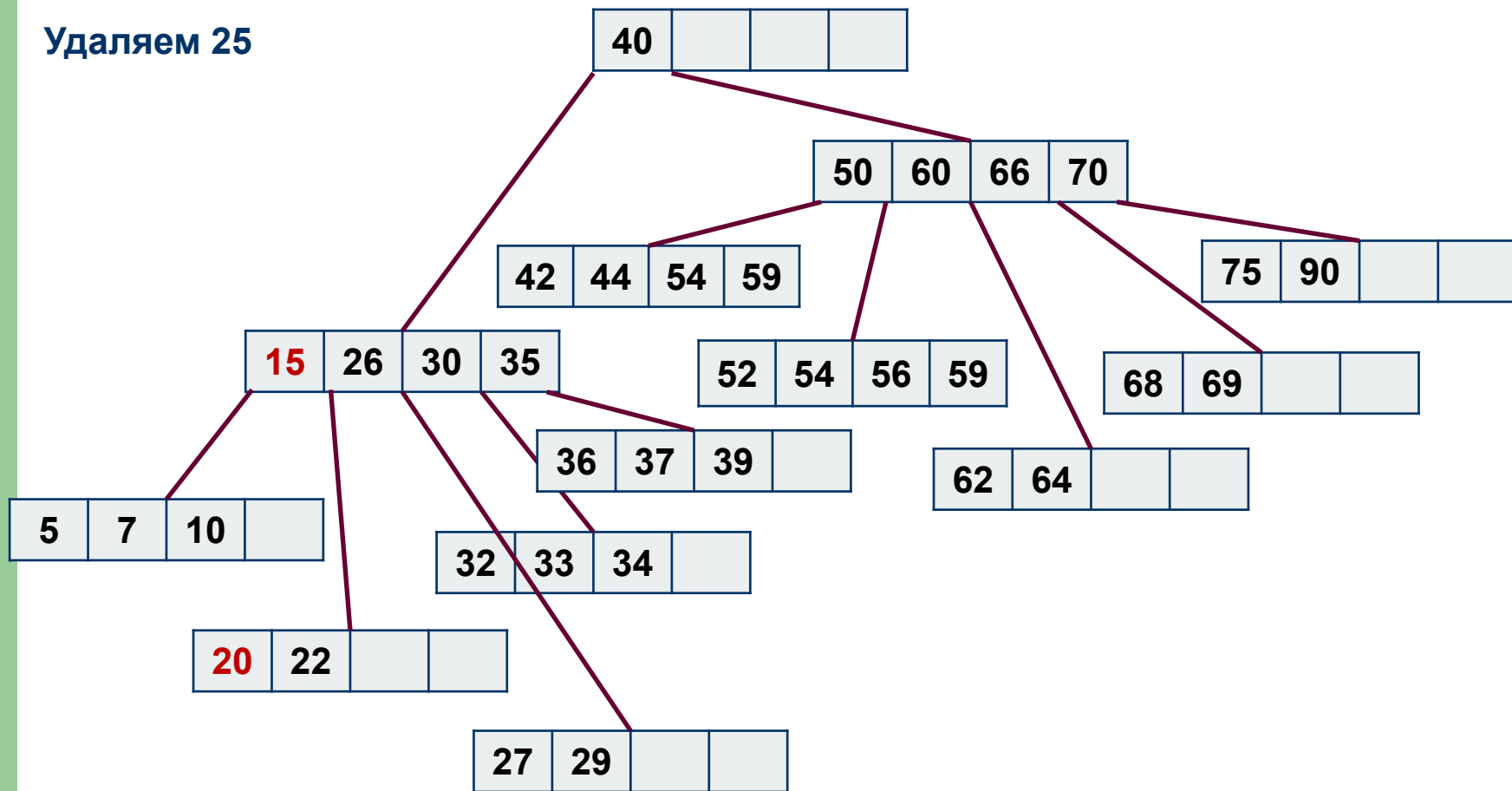
Удаляем 25

Выполняется
переливание



Пример B-дерева степени 2 глубины 3

Удаляем 25



«Комбинированные» методы

Для ускорения поиска используются

- «усовершенствованные» деревья (B+-деревья, R-деревья, имеющие различную структуру листовых вершин и внутренних узлов,...);
- сочетание хэширования и деревьев: в памяти строится дерево, в которое записываются не ключи, а результаты хэширования;
- ...

Использованные источники:

1. *Кузнецов С.Д.* Методы сортировки и поиска. М.: ИСП РАН.
2. *Королёв Л.Н., Миков А.И.* Информатика. Введение в компьютерные науки. М.: Высшая школа.