

DOI: 10.32517/2221-1993-2023-22-1-42-52

**С. А. Смирнова***дипломант конкурса ИНФО-2022 в номинации «Цифровизация образовательной организации и учебного процесса», Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского, г. Ярославль, Россия*

## УЧЕБНАЯ ПРОГРАММНАЯ СРЕДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ И ОБРАБОТКИ АВЛ-ДЕРЕВЬЕВ\*

### *Аннотация*

В статье рассматривается учебная программная среда как эффективный способ изучения алгоритмов построения и обработки АВЛ-деревьев. Методологической основой для создания и применения обучающей программы стали работы П. Я. Гальперина и Н. Ф. Талызиной о поэтапном формировании умственных действий. Представленная в статье учебная программная среда помогает реализовать этапы, направленные на составление схемы ориентировочной основы действия, формирование действия в материализованном виде и перевод внешнего действия во внутреннее. Программная среда состоит из пяти разделов: теоретического, обучающего, контролирующего и двух тренажеров. Теоретический раздел содержит справочную информацию с примерами, схемами и рисунками. Раздел «Обучение» состоит из пяти вкладок, позволяющих выбрать подробное пошаговое построение АВЛ-дерева с графическим представлением и комментариями. Раздел «Тренажеры» включает в себя два тренажера — «Баланс» и «Повороты», работа в них осуществляется со случайно сформированным деревом. Для оценки результатов обучения можно использовать раздел «Тест», в котором случайным образом формируются тестовые вопросы и автоматически проверяются результаты выполнения теста. Использование учебной программной среды «АВЛ-деревья» в процессе обучения позволит организовать самостоятельную познавательную деятельность обучающихся; обеспечить индивидуальный контроль усвоения результатов обучения; реализовать принцип наглядности в обучении через моделирование изучаемых объектов.

**Ключевые слова:** информатика, информатизация образования, учебная программная среда, АВЛ-деревья, сбалансированные бинарные деревья поиска.

### 1. Введение

Происходящая в настоящее время модернизация сферы образования повлекла за собой изменение роли учителя как основного источника информации. Все более актуальным становится самостоятельное получение знаний учащимися, когда преподаватель должен замо-

тивировать, направить и при необходимости скорректировать этот путь. Исходя из этого меняется и подход к уроку [4, 7]. Большое значение здесь имеет правильно организованная познавательная деятельность, основанная на предложении учащимся материала оптимального уровня сложности и на их активном вовлечении в процесс обучения. Однако не все классические формы

\* Материалы к статье можно скачать на сайте ИНФО: [http://infojournal.ru/journals/school/school\\_01-2023/](http://infojournal.ru/journals/school/school_01-2023/)

### **Контактная информация**

**Смирнова Светлана Александровна**, студентка 4-го курса кафедры теории и методики обучения информатике, физико-математический факультет, Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского, г. Ярославль, Россия; адрес: 150000, Россия, г. Ярославль, ул. Республиканская, д. 108/1; e-mail: smirns78@gmail.com

**S. A. Smirnova,**

Yaroslavl State Pedagogical University named after K. D. Ushinsky, Yaroslavl, Russia

### **EDUCATIONAL SOFTWARE ENVIRONMENT FOR STUDYING ALGORITHMS FOR CONSTRUCTING AND PROCESSING OF AVL TREES**

#### **Abstract**

The article describes the educational software environment as an effective way to study the algorithms for constructing and processing AVL trees. The methodological basis for the creation and application of the training program were the works of P. Ya. Galperin and N. F. Talyzina on the phased formation of mental actions. The curriculum presented in the article helps to implement the stages aimed at drawing up the scheme of the indicative basis of the action, forming the action in a materialized form and translating the external action into the internal one. The software environment consists of five sections: theoretical, training, control and two simulators. The theoretical section contains background information with examples, schemes and drawings. The "Training" section consists of five tabs that allow you to choose a detailed step-by-step construction of an AVL tree with a graphical representation and comments. The "Simulators" section includes two simulators — "Balance" and "Turns", work in them is carried out with a randomly generated tree. To assess learning outcomes, you can use the "Test" section, in which test questions are randomly generated and the results of the test are automatically checked. The use of the educational software environment "AVL-trees" in the educational process will allow to organize independent cognitive activity of students; to ensure individual control of learning outcomes mastering; to implement the principle of visibility in teaching through modeling of the objects under study.

**Keywords:** informatics, informatization of education, educational software environment, AVL trees, balanced binary search trees.

и методы работы отвечают данным требованиям, ввиду чего все чаще учителям требуются новые идеи и способы организации уроков [4, 8].

Учебные программные среды составляют широкую группу средств, имеющих отношение к информационным технологиям, используемым в образовании. Такие среды могут содержать:

- необходимый теоретический материал;
- подробное пошаговое объяснение темы;
- тренажеры различного уровня сложности;
- элементы контроля.

Эти составляющие гарантируют поддержку учебного процесса наряду с классическими учебно-методическими средствами, а также открывают перед учителем возможность применения новых форм организации деятельности на уроке. Важным разделом учебных программных сред для изучения различных алгоритмов являются визуализаторы [5, 9, 12].

Применение учебных программных сред на уроках информатики позволяет не только организовать самостоятельную познавательную деятельность обучающихся, но и решить ряд других задач:

- автоматизировать генерацию неограниченного количества примеров;
- вовлечь в учебный процесс каждого обучающегося;
- организовать индивидуальный контроль усвоения результатов обучения;
- реализовать принцип наглядности в обучении через моделирование изучаемых объектов;
- предоставить обучающимся возможность работы в индивидуальном темпе.

## 2. Назначение и целевая аудитория учебной программной среды «АВЛ-деревья»

В Примерной рабочей программе среднего общего образования по информатике 2022 года [10] большое внимание уделяется информации, способам ее представления, хранения и использования.

Представленная в статье учебная программная среда «АВЛ-деревья» помогает модернизировать механизм преподавания отдельных элементов данной темы и повысить эффективность усвоения материала.

Программа может быть использована на уроках информатики в X—XI классах при изучении тем «Деревья», «Бинарные деревья», «АВЛ-деревья» и при подготовке студентов педагогических вузов.

Методологической основой для разработки и использования программы являются работы П. Я. Гальперина и Н. Ф. Талызиной о поэтапном формировании умственных действий [2, 3, 11]. Учебная программная среда помогает реализовать этапы, направленные на составление схемы ориентировочной основы действия и формирование действия в материализованном виде, перевод внешнего действия во внутреннее. Использование метода поэтапного формирования умственных действий позволяет повысить эффективность усвоения материала, структурировать этапы работы и сократить время формирования навыков при повышении их качества.

Учебную программную среду «АВЛ-деревья» можно скачать на сайте ИНФО:

[http://infojournal.ru/journals/school/school\\_01-2023/](http://infojournal.ru/journals/school/school_01-2023/)

## 3. Интерфейс учебной программной среды «АВЛ-деревья»

В главном меню среды «АВЛ-деревья» находится пять разделов:

- теоретический материал;
- подробный пошаговый разбор основных разделов темы (четыре вида поворотов + поэтапное создание дерева);
- два тренажера для отработки на практике полученных знаний;
- раздел контроля знаний в виде теста с индивидуальным вариантом для каждого ученика.

Все разделы расположены в порядке логики изучения материала: теория, пошаговое обучение, практика, тест. В программе присутствует возможность перейти в любой раздел с сохранением выполненной части задания. В разделах «Обучение», «Тренажер» и «Тест» деревья генерируются случайно.

В главном меню (рис. 1) программы содержится краткое описание каждого раздела, а также почтовый адрес технической поддержки приложения.

## 4. Разделы учебной программной среды «АВЛ-деревья»

### 4.1. Теоретический раздел

Теоретический раздел содержит справочную информацию с примерами, схемами и рисунками.

На рисунке 2 изображен слайд для формирования представления о назначении АВЛ-деревьев и их отличии от бинарных деревьев поиска.

Следующая страница теоретического раздела (рис. 3) содержит информацию о понятии сбалансированности.

На рисунках 4 и 5 представлены алгоритмы вращения и иллюстрации к ним.

Последняя страница теоретического раздела (рис. 6) содержит информацию о сферах применения АВЛ-деревьев.

Для перемещения между слайдами используются кнопки *НАЗАД* и *ВПЕРЕД*. Кнопка *МЕНЮ* закрывает теоретический раздел и открывает главное окно программы.

Подобранный теоретический материал открывает новую область знаний для обучающихся, а также проводит логическую цепочку от бинарных деревьев поиска до сложно структурированных АВЛ-деревьев [1, 6].

### 4.2. Раздел «Обучение»

Раздел «Обучение» содержит меню из пяти вкладок, позволяющих выбрать подробное пошаговое построение АВЛ-дерева с графическим представлением и комментариями. В любой момент можно перейти в другую вкладку программы, а также создать новый более сложный или простой пример. На рисунках 7—9 можно увидеть пошаговое построение АВЛ-дерева, осуществляемое в разделе «Обучение».

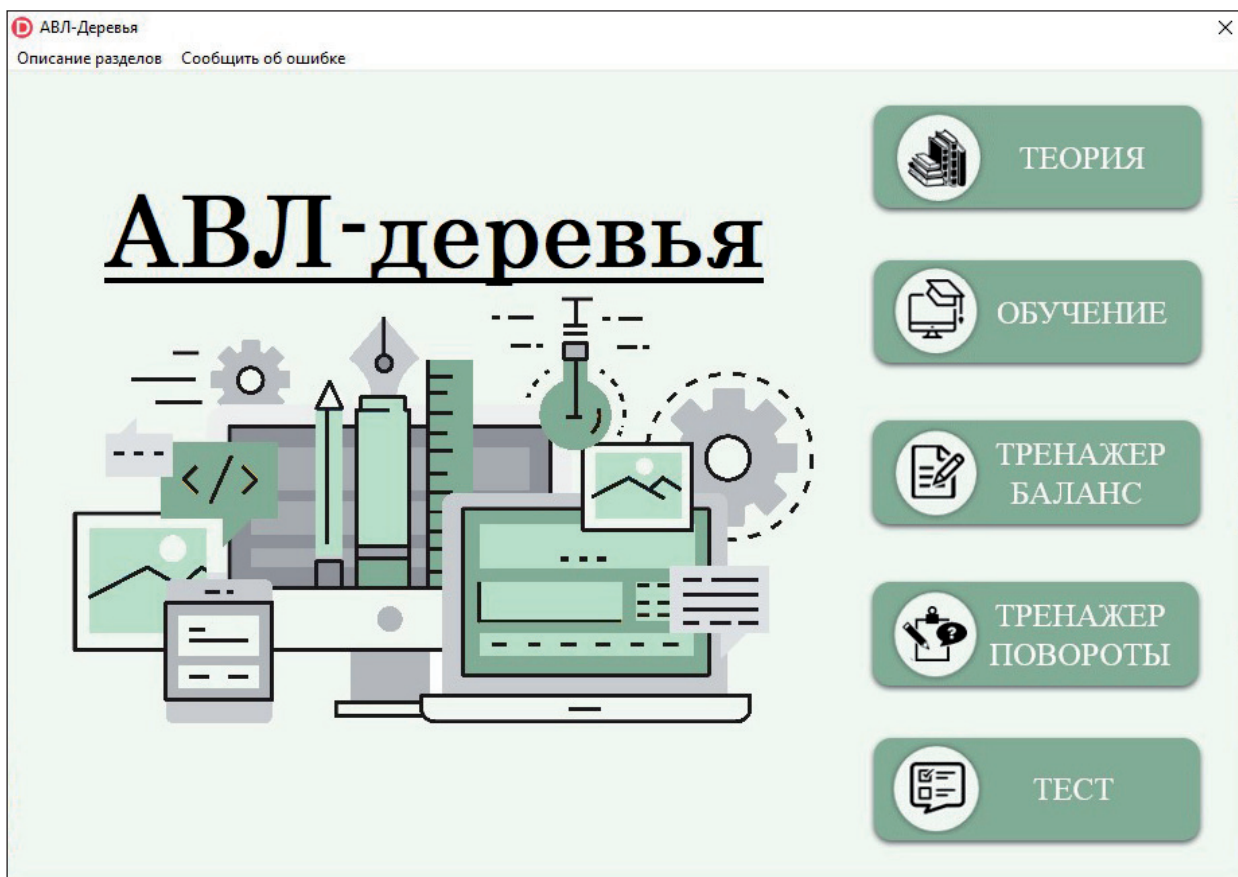


Рис. 1. Главное меню учебной программной среды «AVL-деревья»

Теоретический материал

### AVL-дерево и бинарное дерево поиска

*AVL-дерево* (англ. AVL-Tree) — сбалансированное двоичное дерево поиска, в котором поддерживается следующее свойство: для каждой его вершины высота её двух поддеревьев различается не более чем на 1.

Бинарные деревья поиска предназначены для быстрого доступа к данным. В идеале разумно сбалансированное дерево имеет высоту порядка  $O(\log 2n)$ . Однако при некотором стечении обстоятельств дерево может оказаться вырожденным. Тогда высота его будет  $O(n)$  и доступ к данным существенно замедлится.

Рассмотрим модифицированный класс деревьев, обладающих всеми преимуществами бинарных деревьев поиска и никогда не вырождающихся. Они называются сбалансированными или AVL-деревьями.

На рисунках показаны эквивалентные представления массива AVL-деревом и бинарным деревом поиска. Мы видим, что, для того чтобы получить вершину 5, нам необходимо пройти все дерево поиска ( $O(n)$ ), тогда как в AVL-дереве необходимо спуститься на 2 уровня вниз ( $O(\log 2n)$ ).

### Бинарное дерево поиска

```

graph TD
    1((1)) --> 2((2))
    2 --> 3((3))
    3 --> 4((4))
    4 --> 5((5))
  
```

### AVL-дерево

```

graph TD
    2((2)) --> 1((1))
    2 --> 3((3))
    3 --> 4((4))
    3 --> 5((5))
  
```

НАЗАД ВПЕРЕД

МЕНЮ

Рис. 2. Теоретический раздел. Понятие AVL-дерева



Теоретический материал

### Сбалансированность

Под сбалансированностью будем понимать то, что для каждого узла дерева высоты обоих его поддеревьев различаются не более чем на 1.

Если баланс *отрицателен*, то узел «перевешивает влево», так как высота левого поддерева больше, чем высота правого поддерева. При *положительном* балансе узел «перевешивает вправо».

Сбалансированный по высоте узел имеет баланс = 0.

В AVL-дереве показатель сбалансированности должен быть в диапазоне  $[-1, 1]$ .

На рисунке изображены AVL-деревья с пометками -1, 0 и +1 на каждом узле, показывающими относительный размер левого и правого поддеревьев.

В программе баланс будем хранить как разницу между высотой её левого и правого поддеревьев  $BALANCE[i] = h(L) - h(R)$

НАЗАД ВПЕРЕД

МЕНЮ

Рис. 3. Теоретический раздел. Понятие сбалансированности

Теоретический материал

### Сбалансированность

AVL-дерево (англ. AVL-Tree) — *сбалансированное* двоичное дерево поиска, в котором поддерживается следующее свойство: для каждой его вершины высота её двух поддеревьев различается не более чем на 1.

Относительно AVL-дерева *балансировкой* вершины называется операция, которая в случае разницы высот левого и правого поддеревьев = 2 изменяет связи предок-потомок в поддереве данной вершины так, что разница становится  $\leq 1$ . Указанный результат получается «вращениями» поддерева данной вершины.

### Типы вращений

1. Малое левое
2. Большое левое
3. Малое правое
4. Большое правое

### Алгоритм выбора вращения:

Определяем вершину, в которой нарушается сбалансированность.

Определяем, положительный баланс или отрицательный.

Если баланс *отрицательный*, определяем баланс *левого* поддерева.

Если баланс *положительный*, определяем баланс *правого* поддерева.

Если баланс *отрицательный*, выполняем малый правый поворот.

Если баланс *отрицательный*, выполняем большой левый поворот.

Если *положительный*, большой правый поворот.

Если *положительный*, малый левый поворот.

Подробнее в разделе «Обучение»

НАЗАД ВПЕРЕД

МЕНЮ

Рис. 4. Теоретический раздел. Алгоритмы вращения

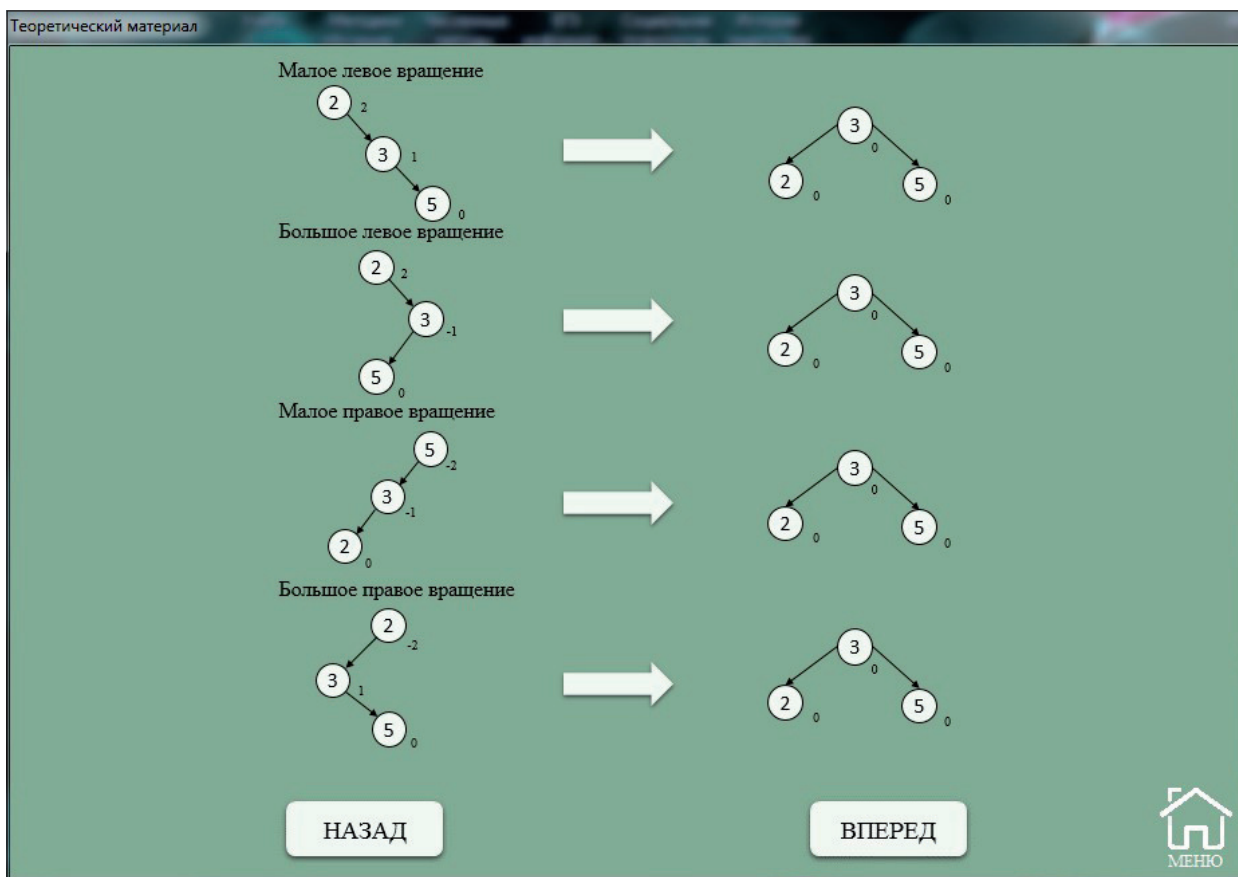


Рис. 5. Теоретический раздел. Иллюстрация алгоритмов вращения

Теоретический материал

### Пример

#### Где используются АВЛ-деревья?

1. Быстрый поиск, вставка и удаление (логарифмическая сложность)
2. Сортировка
3. Они эффективно поддерживают запросы диапазона («Какие значения находятся в диапазоне  $[x, y]$ »)
4. Эффективно для пространства  
(Например, у вас есть 10 целых чисел для хранения, и у вас есть  $x^2$  - функция, которая отображает от 0 до 99, тогда вам нужен массив из 100 целых чисел. Если вы использовали АВЛ дерево, то вы выделили бы только столько памяти, сколько требуется 10 элементам, а не 100.)

Есть 1024 новобранца, которые встали по росту. Рост от 202 до 160 см. Вам надо найти человека с ростом 183 см.

*Последовательный поиск:*

Вы идете от первого и спрашиваете рост каждого. Может так получиться, что вообще нет человека с таким ростом. Вам придется спросить максимум 1024 раза.

*Бинарный поиск:*

Вы спрашиваете среднего, и в зависимости от его роста вы выбираете, идти в меньшую или большую сторону. В таком случае придется спросить максимум 10 раз.

НАЗАД

ВПЕРЕД

МЕНЮ

Рис. 6. Теоретический раздел. Сферы применения АВЛ-деревьев

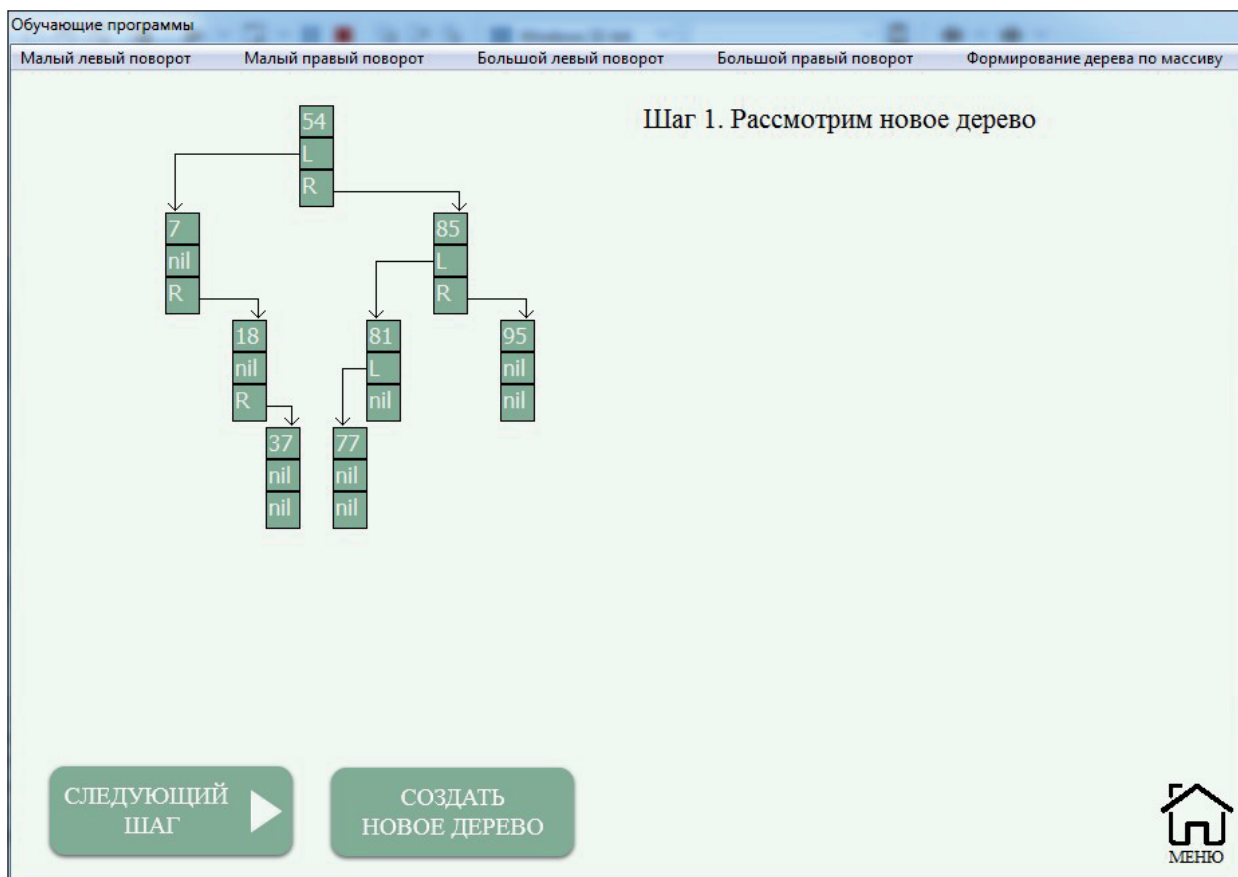


Рис. 7. Раздел «Обучение». Пошаговое объяснение. Шаг 1

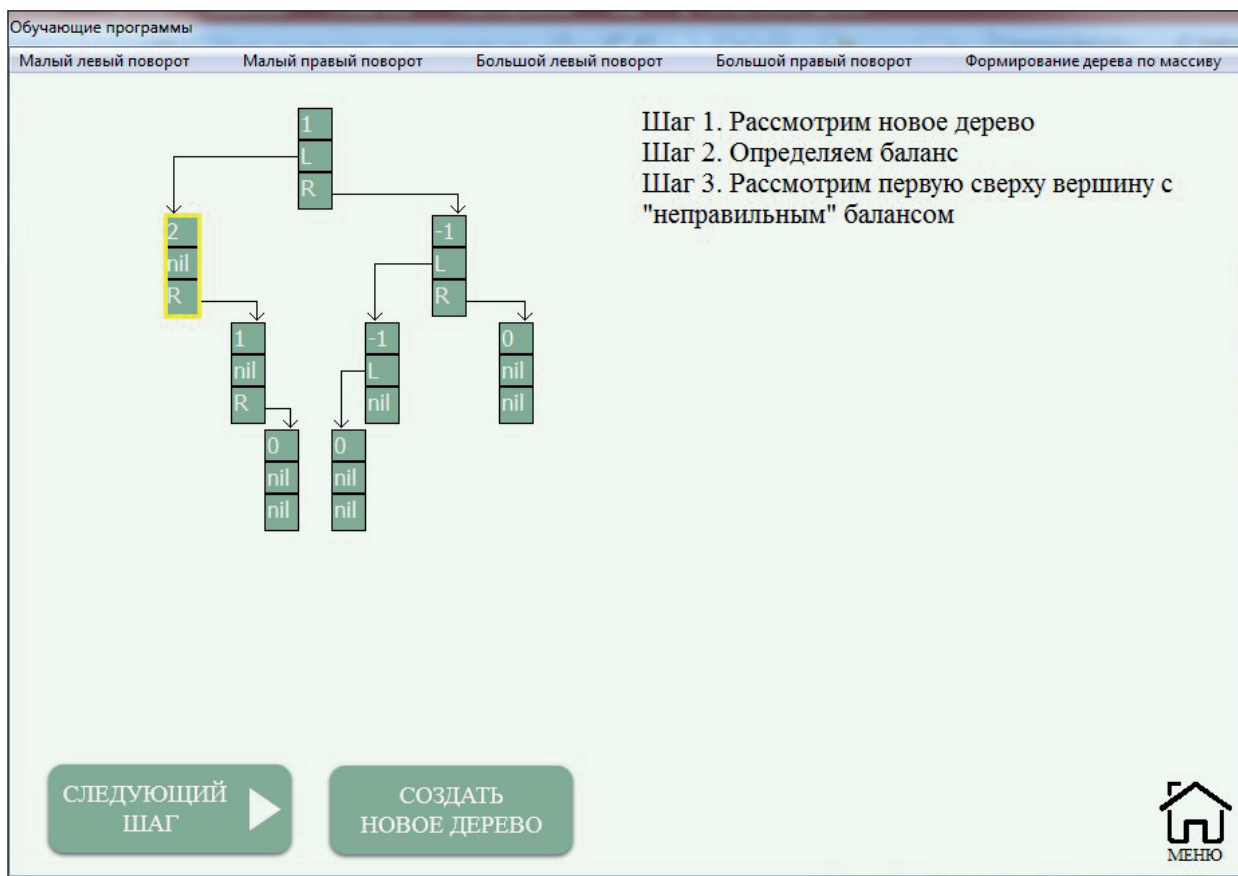


Рис. 8. Раздел «Обучение». Пошаговое объяснение. Шаги 1–3



Обучающие программы

Малый левый поворот    Малый правый поворот    Большой левый поворот    Большой правый поворот    Формирование дерева по массиву

Шаг 1. Рассмотрим новое дерево  
 Шаг 2. Определяем баланс  
 Шаг 3. Рассмотрим первую сверху вершину с "неправильным" балансом  
 Шаг 4. Определяем знак баланса в вершине  
 Знак: +2  
 Шаг 5. Определяем знак баланса в поддереве  
 Знак: +1  
 Шаг 6. По алгоритму используем Малый левый поворот  
 Шаг 7. Перенесем правое поддерево нашей вершины в отдельную переменную

Дополнительная переменная:

СЛЕДУЮЩИЙ ШАГ    СОЗДАТЬ НОВОЕ ДЕРЕВО

МЕНЮ

Рис. 9. Раздел «Обучение». Пошаговое объяснение. Шаги 1–7

После перехода в главное меню выбранное дерево и проделанные шаги сохраняются, что дает учащимся возможность обратиться к теоретическому материалу в случае затруднений.

#### 4.3. Раздел «Тренажеры»

Данный раздел включает в себя два тренажера — «Баланс» и «Повороты».

Тренажер «Баланс» содержит инструкцию по работе (рис. 10) и случайно сформированное дерево (рис. 11), которое обучающийся может выбрать сам, используя кнопку *Создать новое дерево*. При выходе в меню проделанные шаги также сохраняются.

При нажатии на кнопку *Проверить* возникает диалоговое окно с информацией о правильном или не-

правильном ответе. В случае правильного ответа предлагается выбрать новый пример, а в случае неправильного предлагается решить еще раз данный пример.

Тренажер «Повороты» (рис. 12–14) является усложнением и логическим продолжением предыдущего раздела.

В обоих тренажерах исключены возможные ошибки и некорректный ввод.

В данном тренажере необходимо самостоятельно проанализировать дерево и определить, в каких вершинах и какой поворот необходимо совершить.

При правильном или неправильном ответе также возникает диалоговое окно.

При нажатии на кнопку *Создать новое дерево* можно в любой момент изменить пример.

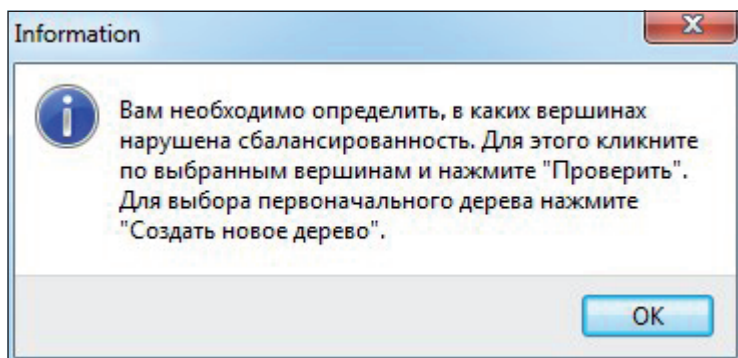


Рис. 10. Инструкция по работе в тренажере «Баланс»

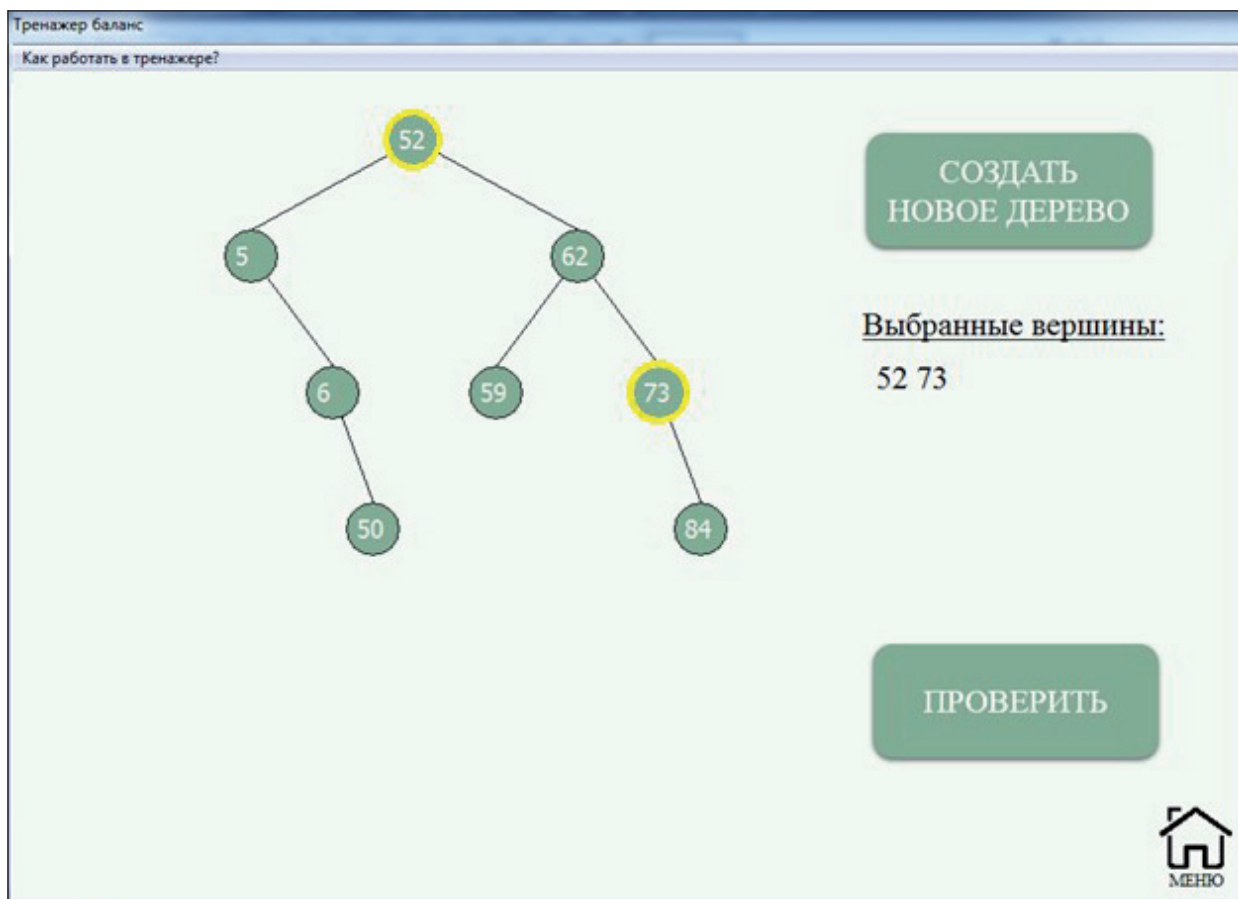


Рис. 11. Раздел «Тренажеры». Тренажер «Баланс»

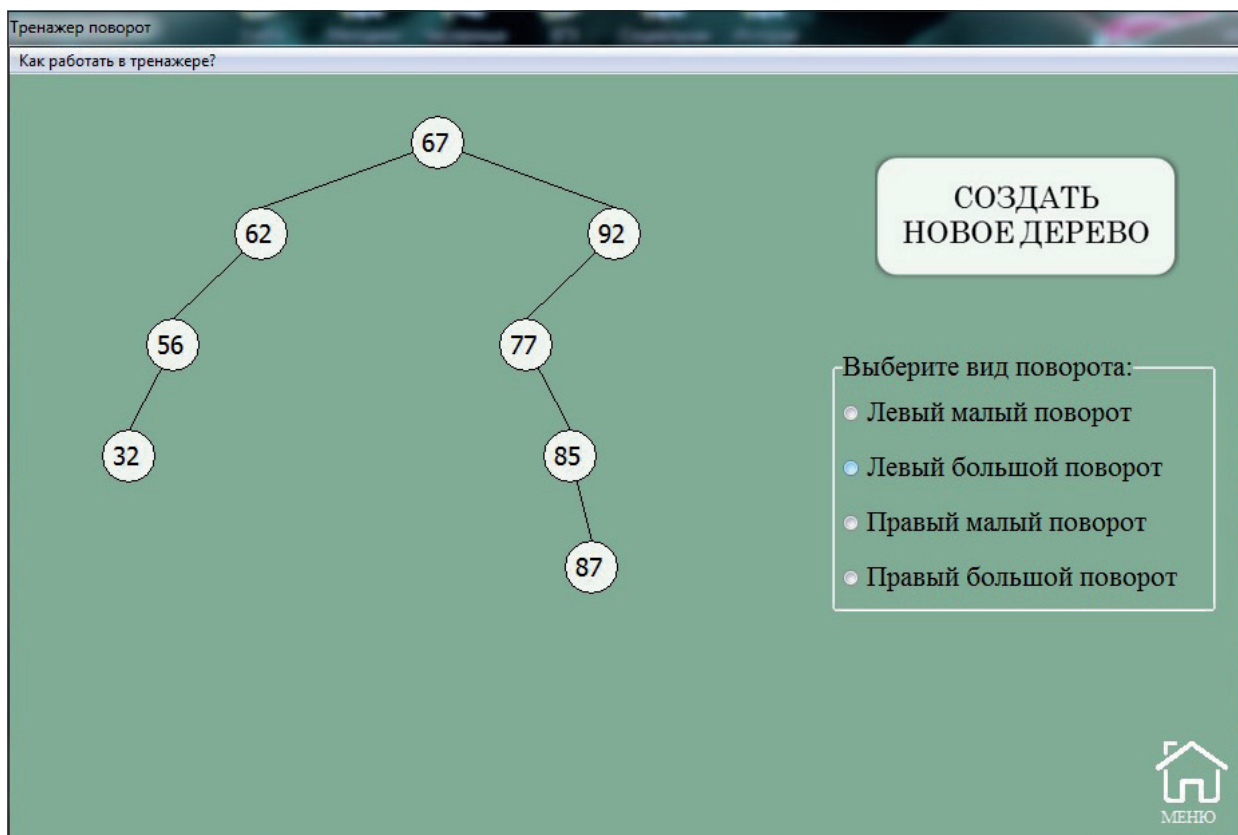


Рис. 12. Раздел «Тренажеры». Тренажер «Повороты». Вариант задания



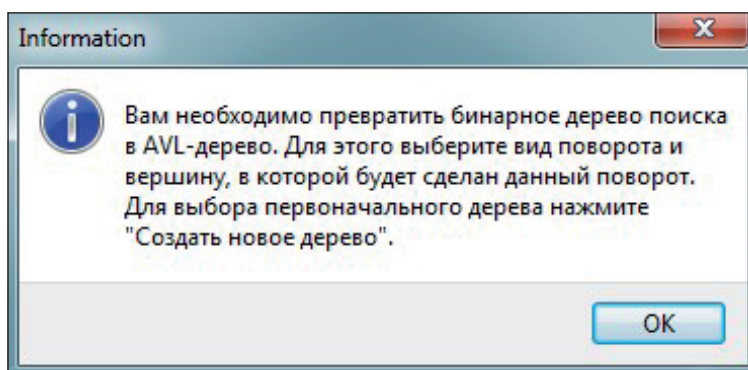


Рис. 13. Инструкция по работе в тренажере «Повороты»

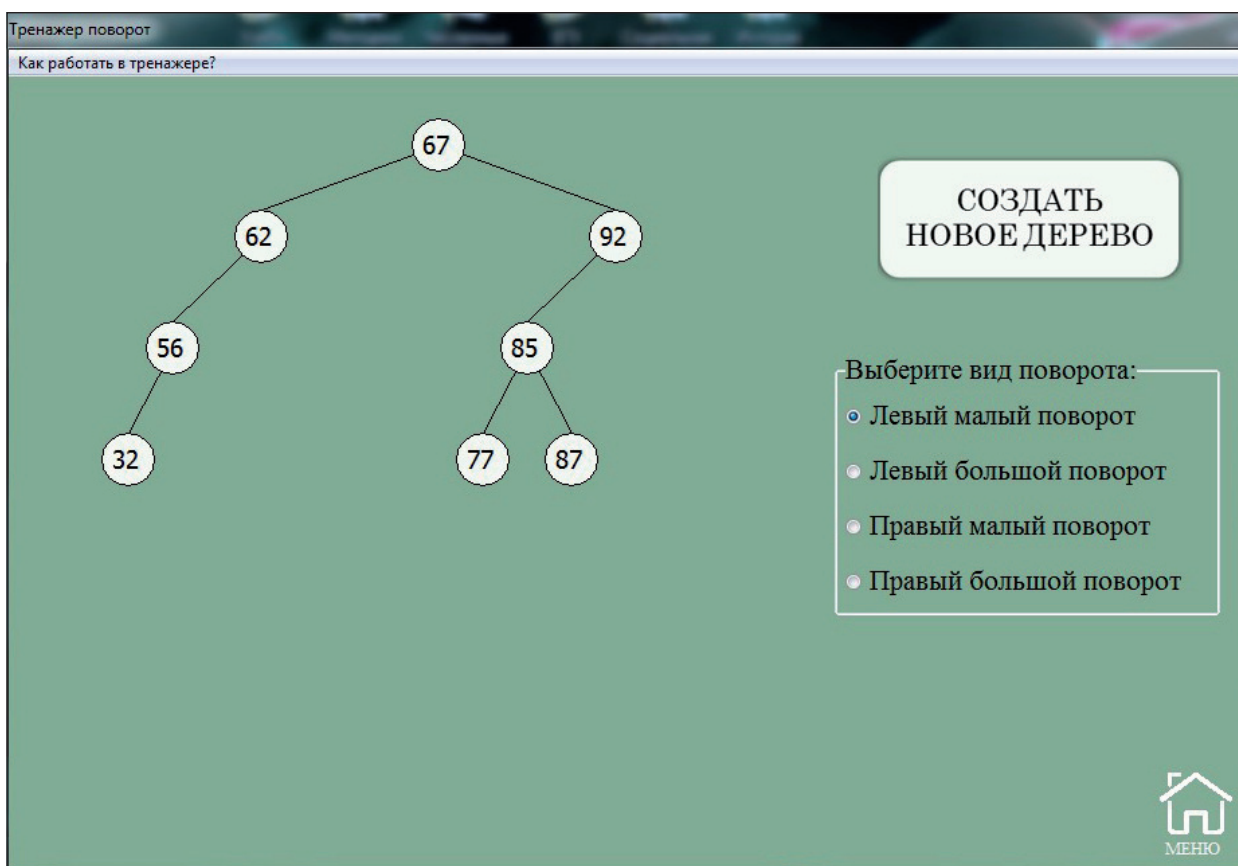


Рис. 14. Раздел «Тренажеры». Тренажер «Повороты». Вариант задания

#### 4.4. Раздел «Тест»

На последнем этапе учащийся переходит в раздел «Тест» для оценки результатов своего обучения. Учебная программная среда формирует случайный вариант теста и автоматически проверяет его.

Итоговый тест содержит пять заданий:

- 1) Выбрать ответ на вопрос по теоретическому материалу.
- 2) Определить, является ли дерево АВЛ-деревом.
- 3) Выбрать, в каких вершинах нарушается сбалансированность.
- 4) За один поворот сделать АВЛ-дерево из бинарного дерева поиска.
- 5) За один поворот сделать АВЛ-дерево из бинарного дерева поиска.

На рисунках 15 и 16 представлены примеры заданий второго и третьего типа соответственно.

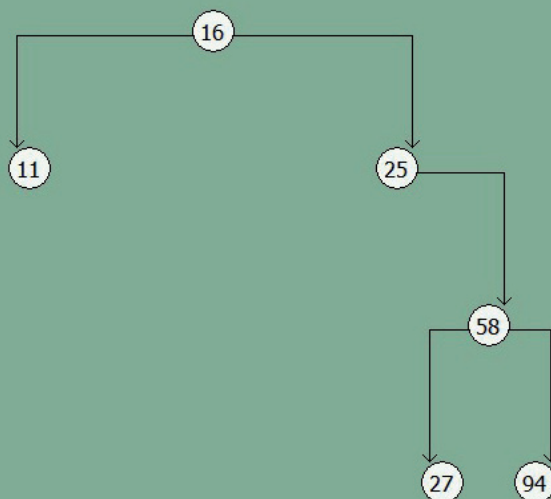
Необходимо отметить, что код программы может храниться в открытом доступе, что дает учащимся возможность не только изучить сам материал, но и посмотреть, как представление этого материала устроено. Код программы структурирован и содержит комментарии.

#### 5. Заключение

Описанная учебная программная среда дает простор для использования различных форм работы и педагогических технологий обучения. Ее можно применять как полноценное средство обучения для самостоятельной работы, например, при дистанционной форме образовательного процесса.

Тест

Задание 2. Является ли дерево AVL-деревом?



☐ Да

☐ Нет

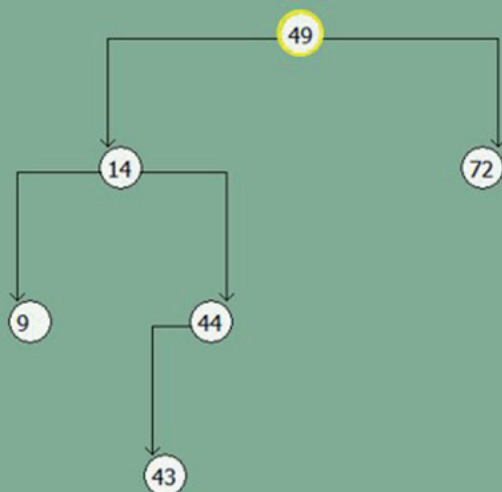
СЛЕДУЮЩЕЕ  
ЗАДАНИЕ



Рис. 15. Раздел «Тест». Вариант задания 2

Тест

Задание 3. Выберите вершины, в которых нарушается сбалансированность



Ваш ответ: 49

СЛЕДУЮЩЕЕ  
ЗАДАНИЕ



Рис. 16. Раздел «Тест». Пример решения варианта задания 3

Описанные материалы были использованы при обучении студентов 2-го курса специальности «44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки: информатика, математика)» ЯГПУ им. К. Д. Ушинского. Опыт показывает, что использование подобных программ позволяет повысить эффективность обучения как отдельного студента, так и всей группы.

Учебные программные среды в целом позволяют наглядно и динамично представлять информацию, выстраивать весь процесс обучения в соответствии с современными требованиями и стандартами.

### Список источников

1. *Вирт Н.* Алгоритмы и структуры данных / пер. с англ. Ф. В. Ткачев. М.: ДМК Пресс, 2010. 272 с.
2. *Гальперин П. Я.* Методы обучения и умственное развитие ребенка. М.: Изд-во Московского университета, 1985. 45 с.
3. *Гальперин П. Я.* Основные результаты исследований по проблеме «Формирование умственных действий и понятий». М.: МГУ имени М. В. Ломоносова, 1965. 51 с.
4. *Захарова И. Г.* Информационные технологии в образовании: учебное пособие для студентов педагогических учебных заведений. М.: Академия, 2003. 192 с.
5. *Касторнова В. А.* Технология использования программных сред информационно-образовательного пространства предметной области «Информатика» в осуществлении контроля знаний // Управление образованием: теория и практика. 2018. № 3(31). С. 33–49. EDN: YROCAP.
6. *Кнут Д.* Искусство программирования. Т. 1. Основные алгоритмы. М.: Диалектика, 2019. 720 с.
7. *Коротков Н.* Информатика в школе: настоящее и будущее // Народное образование. 2008. № 6. С. 176–179. EDN: JTNXXR.
8. *Машбиц Е. И.* Психолого-педагогические основы проблемы компьютеризации обучения. М.: Педагогика, 1988. 192 с.
9. *Моглан Д. В.* Дидактический потенциал использования систем визуализации алгоритмов в процессе обучения программированию // Открытое образование. 2019. Т. 23. № 2. С. 31–41. EDN: JEDGGF. DOI: 10.21686/1818-4243-2019-2-31-41
10. Примерная рабочая программа среднего общего образования учебного предмета «Информатика» (углубленный уровень) для 10–11 классов образовательных организаций. Одобрена решением федерального учебно-методического объединения по общему образованию, протокол от 29 сентября 2022 года № 7/22. <https://fgosreestr.ru/ooop/primernaia-rabochaia-programma-srednego-obshchego-obrazovaniia-uchebnogo-predmeta-informatika-uglublennyi-uroven-dlia-10-11-klassov-obrazovatelnykh-organizatsii>
11. *Талызина Н. Ф.* Управление процессом усвоения знаний (психологические основы). М.: Изд-во Московского университета, 1984. 346 с.
12. *Шаталова Ю. Г.* Разработка системы визуализации для применения в образовательном процессе // Символ науки. 2015. № 7-1. С. 56–59. EDN: UCVXQR.