

DOI: 10.32517/2221-1993-2023-22-6-31-40

А. М. Кочигина, П. А. Корнилов

Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского, г. Ярославль, Россия

# УЧЕБНАЯ ПРОГРАММНАЯ СРЕДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АБСТРАКТНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН ТЬЮРИНГА И ПОСТА\*

## Аннотация

Федеральная рабочая программа среднего общего образования по информатике на углубленном уровне предполагает знакомство школьников с машинами Тьюринга и Поста как универсальными моделями вычислений. Использование в учебном процессе интерпретаторов машин Тьюринга и Поста позволяет преодолеть затруднения, связанные с обучением, опирающимся на абстрактно-логическое мышление. В статье описаны возможности разработанной авторами учебной программной среды, в которой для каждой вычислительной машины содержится три раздела. В разделе «Теория» учащиеся могут познакомиться с особенностями работы машин Поста и Тьюринга. Раздел «Тренажер» позволяет пользователю составить собственные примеры программ или проанализировать готовые, в данном разделе есть возможность выполнить программу по шагам, при этом каждый шаг будет сопровождаться комментариями. Кроме того, в этом разделе можно выполнить лабораторную работу, задания которой генерируются случайным образом согласно шаблону. С помощью раздела «Контроль» учитель может проверить знания школьников по данной теме с помощью серии задач — каждое задание выбирается случайным образом из заготовленной базы задач. Описанная в статье учебная программная среда позволяет организовать как фронтальную, так и индивидуальную работу учащихся.

**Ключевые слова:** абстрактные вычислительные машины, машина Тьюринга, машина Поста, учебная программная среда.

## 1. Введение

Федеральная рабочая программа среднего общего образования по информатике на углубленном уровне предполагает изучение школьниками формализации понятия алгоритма, их знакомство с машинами Тьюринга и Поста как универсальными моделями вычислений [10].

Первые попытки предложить школьникам рассмотрение абстрактных вычислительных моделей были

предприняты в середине 80-х годов прошлого века [8]. В своей статье [9] И. Н. Фалина и Е. Л. Радченко отмечают, что начальным этапом изучения теории алгоритмов и программирования является изучение машины Поста. Несмотря на свою простоту, машина Поста является универсальным исполнителем, поскольку на ней можно записать любой алгоритм.

Выполнение отмеченной в федеральной рабочей программе практической работы на составление простой про-

\* Материалы к статье можно скачать на сайте ИНФО: [http://infojournal.ru/journals/school/school\\_06-2023/](http://infojournal.ru/journals/school/school_06-2023/)

## Контактная информация

**Кочигина Анна Михайловна**, студентка 5-го курса кафедры теории и методики обучения информатике физико-математического факультета, Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского, г. Ярославль, Россия; *адрес:* 150000, Россия, г. Ярославль, ул. Республиканская, д. 108; *e-mail:* kociginaanna@gmail.com

**Корнилов Петр Анатольевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой теории и методики обучения информатике, Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского, г. Ярославль, Россия; *адрес:* 150000, Россия, г. Ярославль, ул. Республиканская, д. 108; *e-mail:* kornilovpa@yandex.ru

**A. M. Kochigina, P. A. Kornilov**

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

## EDUCATIONAL SOFTWARE ENVIRONMENT FOR THE STUDY OF ABSTRACT TURING AND POST COMPUTING MACHINES

### Abstract

The Federal Work Program of Secondary General Education in Informatics at an in-depth level involves familiarization of schoolchildren with Turing and Post machines as universal models of computing. The use of Turing and Post machines interpreters in the educational process makes it possible to overcome the difficulties associated with learning based on abstract logical thinking. The article describes the possibilities of the educational software environment developed by the authors, which contains three sections for each computer. In the "Theory" section, students can get acquainted with the features of the Post and Turing machines. The "Simulator" section allows the user to create their own examples or analyze ready-made ones, in this section it is possible to run the program step by step, with each step accompanied by comments. In addition, in this section, you can perform laboratory work, the tasks of which are randomly generated according to a template. With the help of the "Control" section, the teacher can test students' knowledge on this theme by solving a series of tasks. Each task is randomly selected from the prepared database of tasks. The principle of gradualness and sequence of tasks is observed. The educational software environment described in the article allows you to organize both front-end and individual work of students.

**Keywords:** abstract computing machines, Turing machine, Post machine, educational software environment.



Рис. 1. Главное меню учебной программной среды «Основы теории алгоритмов»

граммы для машины Тьюринга может быть осуществлено без использования компьютера, однако в работе А. С. Чухнова, С. Н. Позднякова [11] отмечено, что построение машины Тьюринга с помощью некоторого интерпретатора дает лучшие результаты, чем ее построение на бумаге; кроме того, успешное выполнение конструктивных задач с помощью интерпретатора влечет более успешное выполнение теоретических задач по этой же тематике.

И. Д. Колдунова отмечает, что использование интерпретаторов машин Тьюринга и Поста позволяет преодолеть затруднения, связанные с обучением, опирающимся на абстрактно-логическое мышление. Визуализация учебной информации позволяет обеспечить интенсификацию процесса обучения, активизировать познавательную деятельность школьников, способствует формированию и развитию образного представления знаний и учебных действий [2].

В настоящее время можно найти большое количество интерпретаторов машин Тьюринга и Поста [3–5, 12]. Однако в них заложена лишь возможность выпол-

нять программы и получать результат. Для эффективной организации изучения темы целесообразно использовать обучающую учебную среду, в которой школьники могли бы познакомиться с описанием исполнителей, проанализировать работу готовых алгоритмов, самостоятельно создавать программы и осуществлять самоконтроль изученного материала.

**Учебная программная среда «Основы теории алгоритмов»** позволяет решить все эти педагогические задачи, дает возможность организовать изучение темы как комплексно, так и с использованием лишь отдельных ее элементов.

Главное меню программной среды предлагает выбор одного из двух исполнителей — «Машина Тьюринга» или «Машина Поста» (рис. 1). Для каждого из исполнителей пользователю предлагается последовательно пройти три учебных блока (рис. 2):

- 1) «Теория»;
- 2) «Тренажер»;
- 3) «Контроль».



Рис. 2. Изучение универсального исполнителя «Машина Тьюринга»

## 2. Блоки учебной программной среды для работы с исполнителем «Машина Тьюринга»

**Блок «Теория»** (рис. 3) знакомит учащегося с процессом составления алгоритма для машины Тьюринга. В этом разделе учащиеся узнают, что такое бесконечная лента, какие у нее составляющие, как выглядит таблица правил [7, 8].

**Блок «Тренажер»** (рис. 4) позволяет пользователю приобрести опыт разработки собственных программ для машины Тьюринга.

Интерфейс этой части программы содержит несколько кнопок, бесконечную ленту, таблицу правил и поля с комментариями. Ленту можно двигать в двух направлениях, а также выбирать для каждого ее элемента свой символ из представленного алфавита. По умолчанию алфавит состоит из трех символов: ноль,

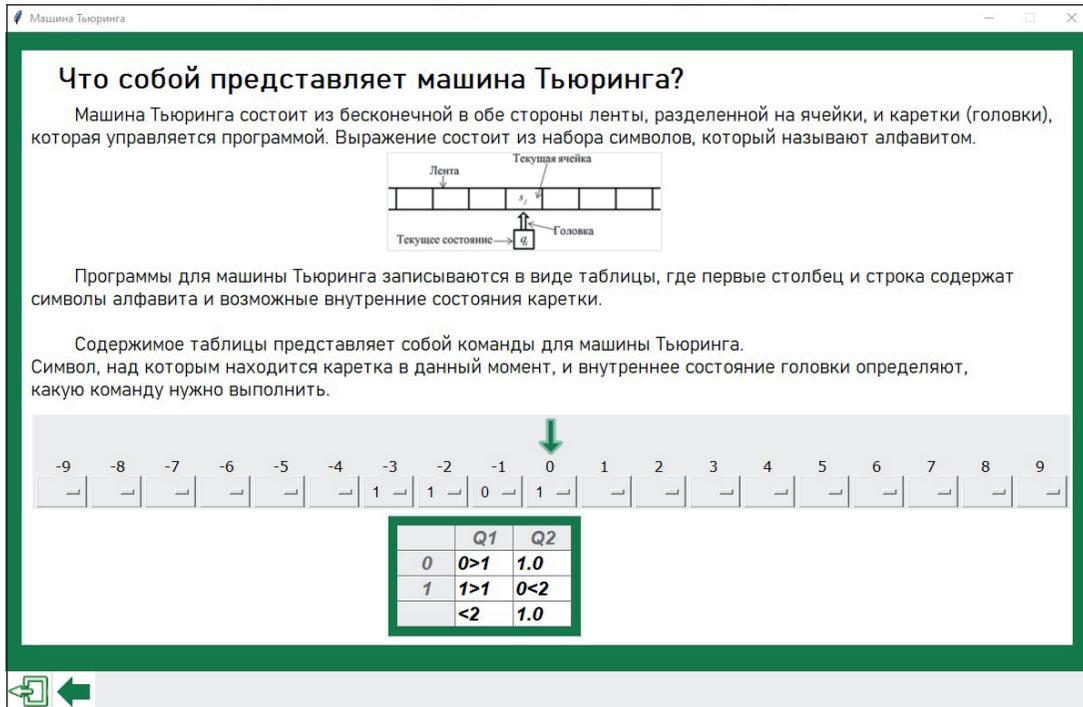


Рис. 3. Блок «Теория» для исполнителя «Машина Тьюринга»

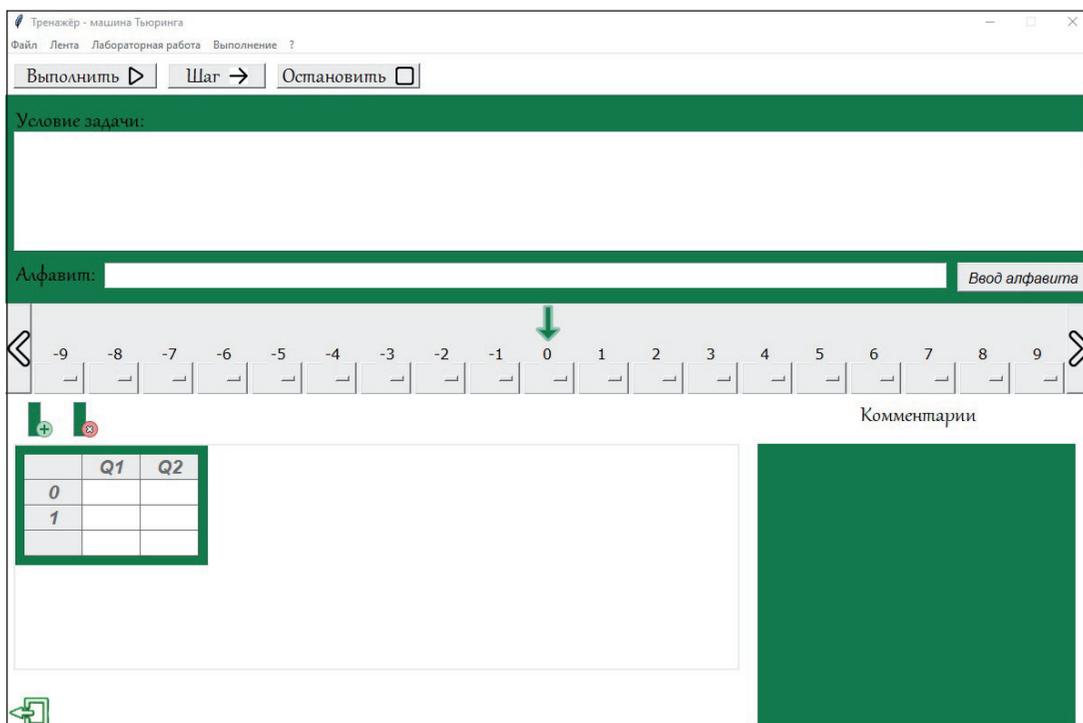


Рис. 4. Блок «Тренажер» для исполнителя «Машина Тьюринга»

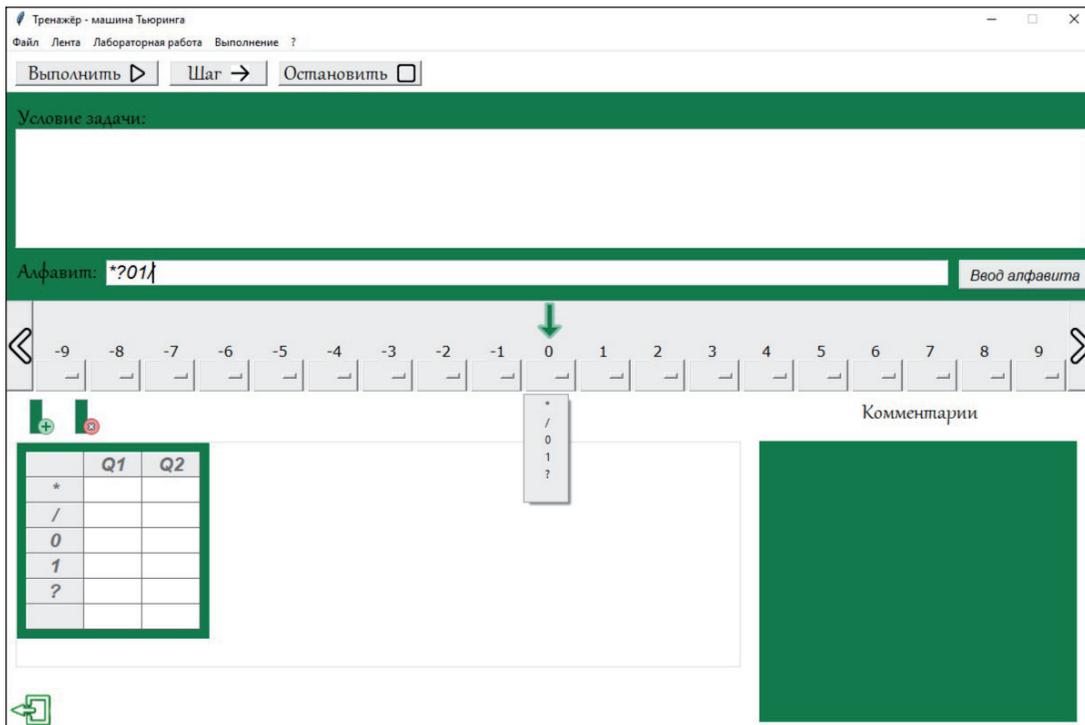


Рис. 5. Ввод алфавита в блоке «Тренажер» для исполнителя «Машина Тьюринга»

единица и пустой. Пользователь может изменить алфавит, воспользовавшись соответствующими полем ввода и кнопкой. В таком случае допустимые символы для элементов ленты изменятся. Также автоматически изменится и таблица правил, расположенная в левом нижнем углу (рис. 5). С помощью кнопок, расположенных над таблицей, можно добавлять и удалять столбцы, которые обозначают состояния.

Пользователь может запустить созданный алгоритм в двух режимах. При нажатии на кнопку *Выполнить* на экране будет видно измененную согласно правилам ленту. С помощью кнопки *Шаг* можно запустить пошаговое выполнение алгоритма, при этом на каждом шаге будут видны текущее правило, текущий элемент и состояние ленты. Стоит отметить, что бесконечная лента двигается самостоятельно, если это подразумевает

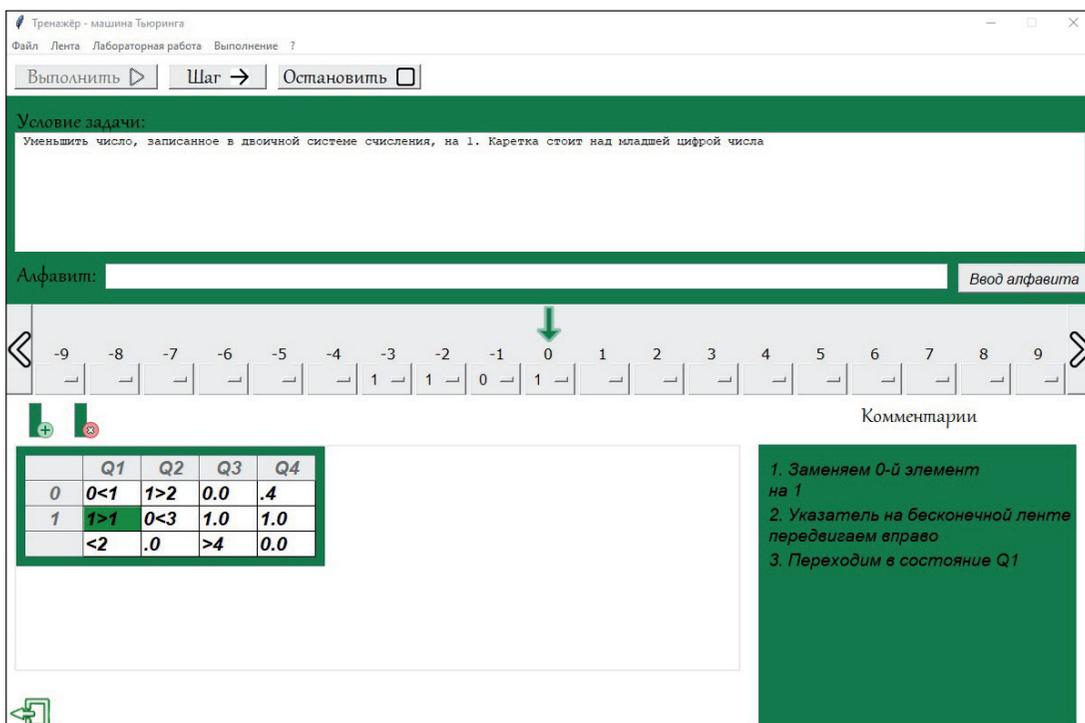


Рис. 6. Пошаговое выполнение алгоритма (блок «Тренажер» для исполнителя «Машина Тьюринга»)

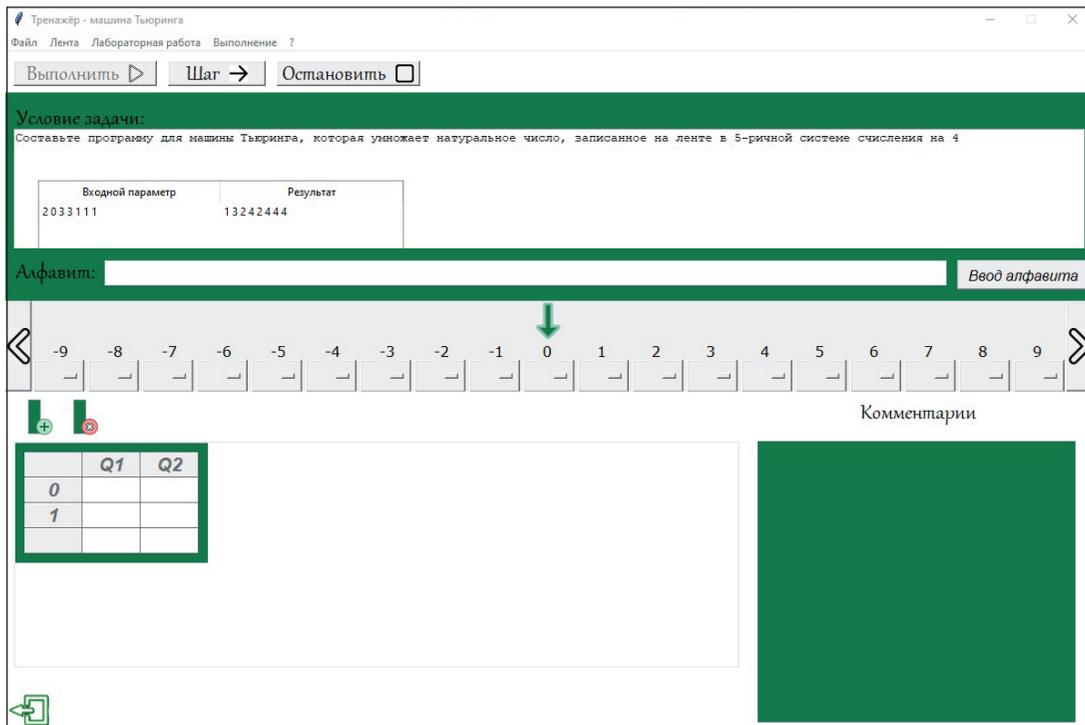


Рис. 7. Раздел «Лабораторная работа» (пример задания 2) для исполнителя «Машина Тьюринга»

правило. Каждый шаг сопровождается комментариями, расположенными в правом нижнем углу (рис. 6).

Пункт верхнего меню *Лента* позволяет сохранять и восстанавливать бесконечную ленту. При восстановлении изменяются все составляющие: выражение, текущий элемент, положение ленты.

В разделе «Лабораторная работа» содержатся пять типов заданий. Задачи генерируются случайным образом

на основе шаблонов. Учащимся необходимо написать программу и проверить ее работу на представленных тестах (рис. 7, 8).

Пункт меню *Файл* позволяет открывать имеющиеся примеры, сохранять собственные в отдельный файл, а также создавать новые. С помощью подпункта *Новый* можно очистить все поля: условие задачи, алфавит, бесконечную ленту и таблицу правил. Подпункт *Открыть* дает воз-

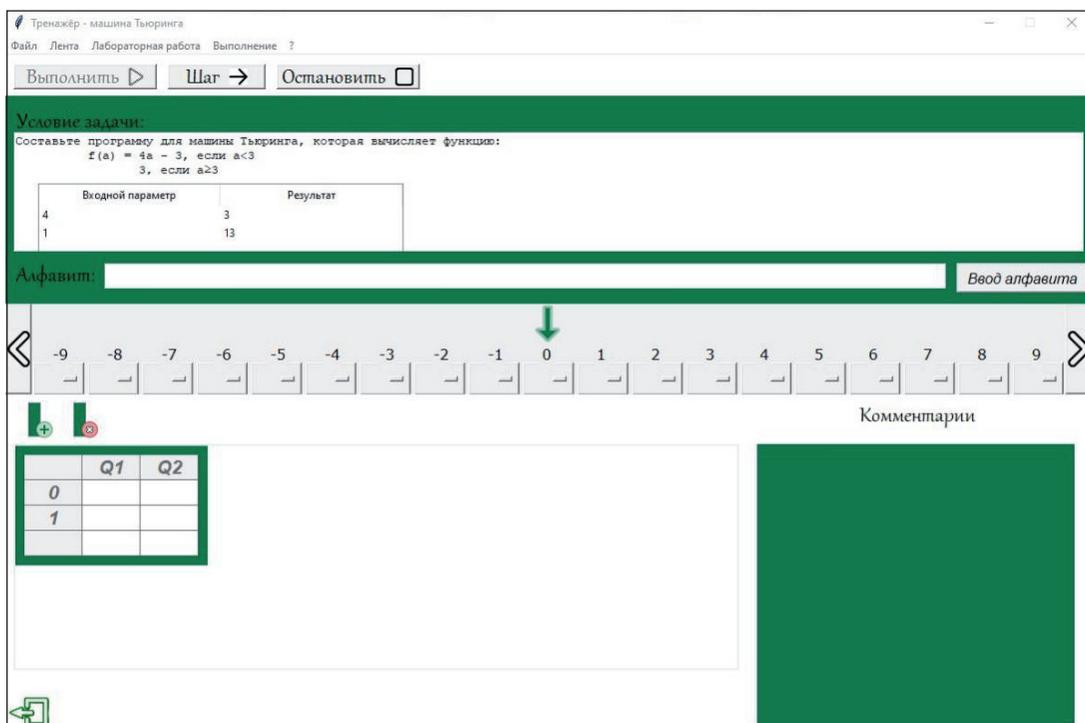


Рис. 8. Раздел «Лабораторная работа» (пример задания 5) для исполнителя «Машина Тьюринга»

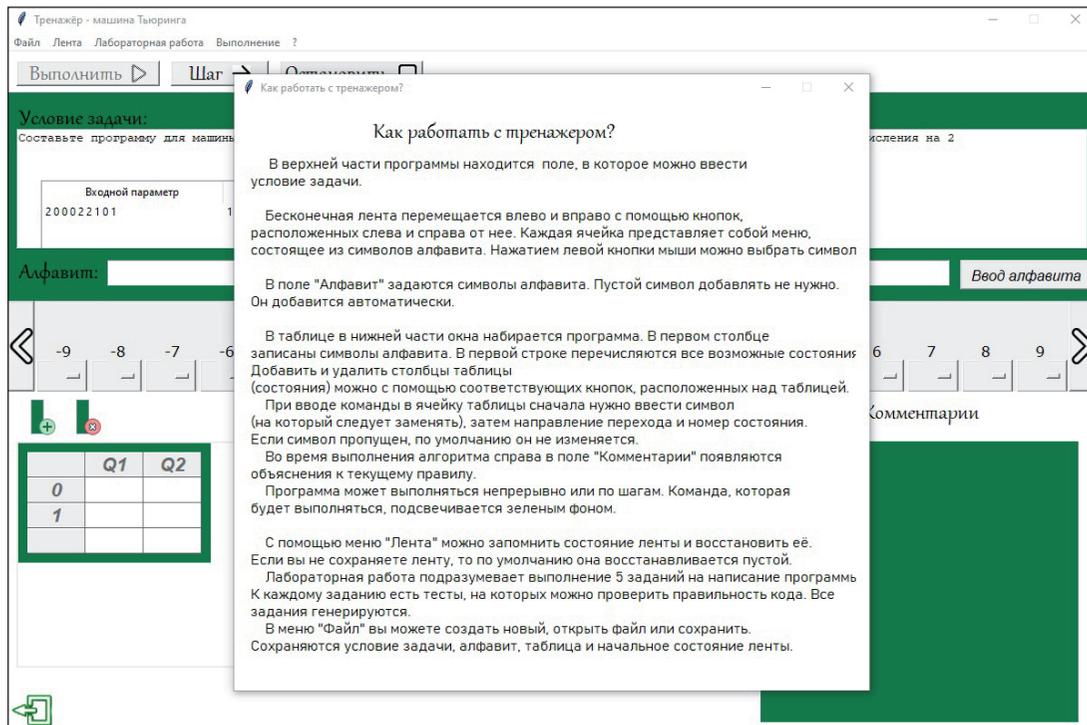


Рис. 9. Справка в блоке «Тренажер» для исполнителя «Машина Тьюринга»

возможность загрузить в тренажер готовые примеры, взятые из [1, 5, 6, 11]. Программа позволяет открыть файлы только определенного формата, для данного раздела программы был создан формат Turing Examples (\*.tur). Сохранять примеры в отдельный файл можно, используя подпункт *Сохранить как*. Файлы также сохраняются в формате Turing Examples (\*.tur). Следует отметить, что все файлы записываются с помощью текстового формата JSON.

С помощью пункта меню *Справка* можно узнать особенности работы с тренажером (рис. 9).

**Блок «Контроль»** содержит тест из пяти заданий разного вида и уровня сложности. Первое и второе задания предполагают ввод ответа в отдельном поле (рис. 10). Третье задание проверяет правильность составления правила в таблице. В четвертом задании обучающимся следует выбрать один правильный ответ

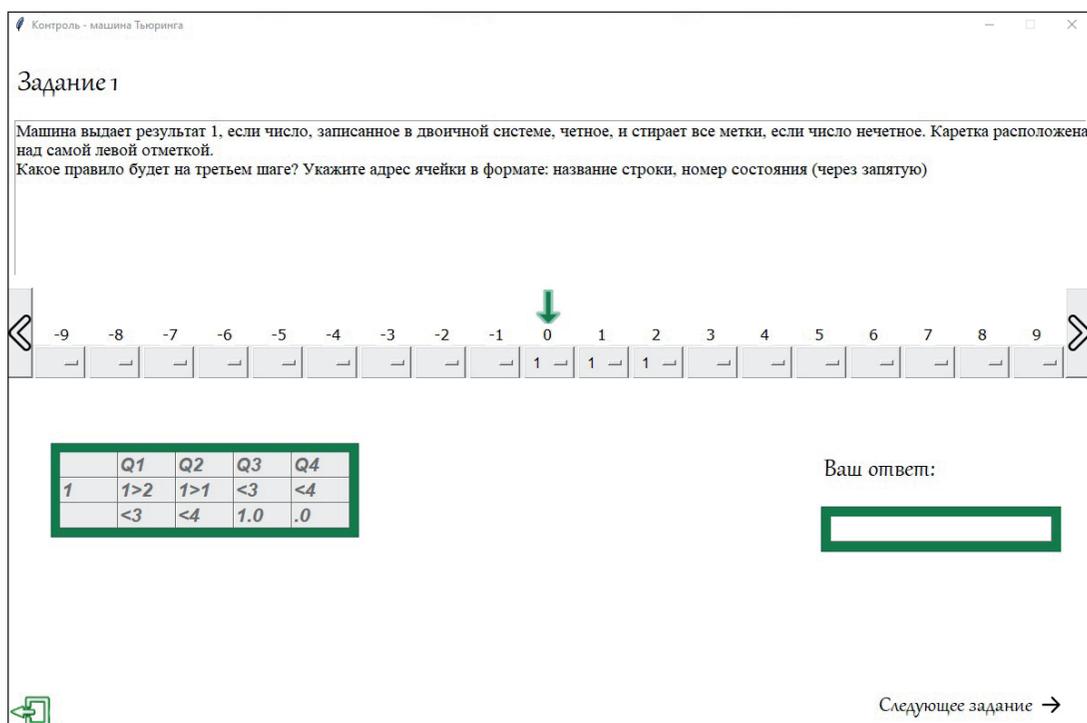


Рис. 10. Пример задания 1 блока «Контроль» для исполнителя «Машина Тьюринга»

Контроль - машина Тьюринга

### Задание 4

Дана строка, состоящая только из символов а и b. Машина удаляет все символы а. Что выведет программа?

↓

-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
←	←	←	←	←	←	←	←	←	a	a	b	a	b	a	←	←	←	←

	Q1	Q2	Q3
a	>2	>2	>3
b	>3	b<2	b<3
	.0	a.0	c.0

Ваш ответ:

ababa

Ошибка: Нет команды в ячейке

aaaaa

Ошибка: Такого символа нет в алфавите

Следующее задание →

Рис. 11. Пример задания 4 блока «Контроль» для исполнителя «Машина Тьюринга»

из предложенных (рис. 11). Последнее задание является самым сложным, в нем необходимо самостоятельно выполнить алгоритм и написать результат его выполнения (рис. 12).

В конце теста пользователь может узнать свою оценку. Программа позволяет проходить тест несколько раз, однако задания каждый раз будут отличаться. Все задания выбираются случайным образом из базы. База содержит пять задач для каждого задания.

### 3. Блоки учебной программной среды для изучения универсального исполнителя «Машина Поста»

Раздел «Машина Поста» также содержит три блока.

**В блоке «Теория»** пользователь знакомится с описанием машины Поста (рис. 13).

Интерфейс **блока «Тренажер»** включает несколько управляющих кнопок, бесконечную ленту и таблицу пра-

Контроль - машина Тьюринга

### Задание 5

Каким станет выражение после выполнения программы?

↓

-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
←	←	←	←	←	←	←	←	1	1	0	1	1	1	0	←	←	←	←

	Q1	Q2
0	0>2	0<2
1	1>2	1>2
	.2	0>0

Ваш ответ:

Завершить тест

Рис. 12. Пример задания 5 блока «Контроль» для исполнителя «Машина Тьюринга»

вил. Стрелка над лентой указывает на текущий элемент (рис. 14). Работа с бесконечной лентой не отличается от работы с бесконечной лентой в машине Тьюринга, однако есть различия в алфавите. В классической (двухзначной) машине Поста ячейка имеет два состояния:

отмечена и не отмечена. В трехзначной машине Поста всего три символа: ноль, единица и пустой.

Пользователь может изменить алфавит, воспользовавшись соответствующими пунктами верхнего меню (рис. 15).

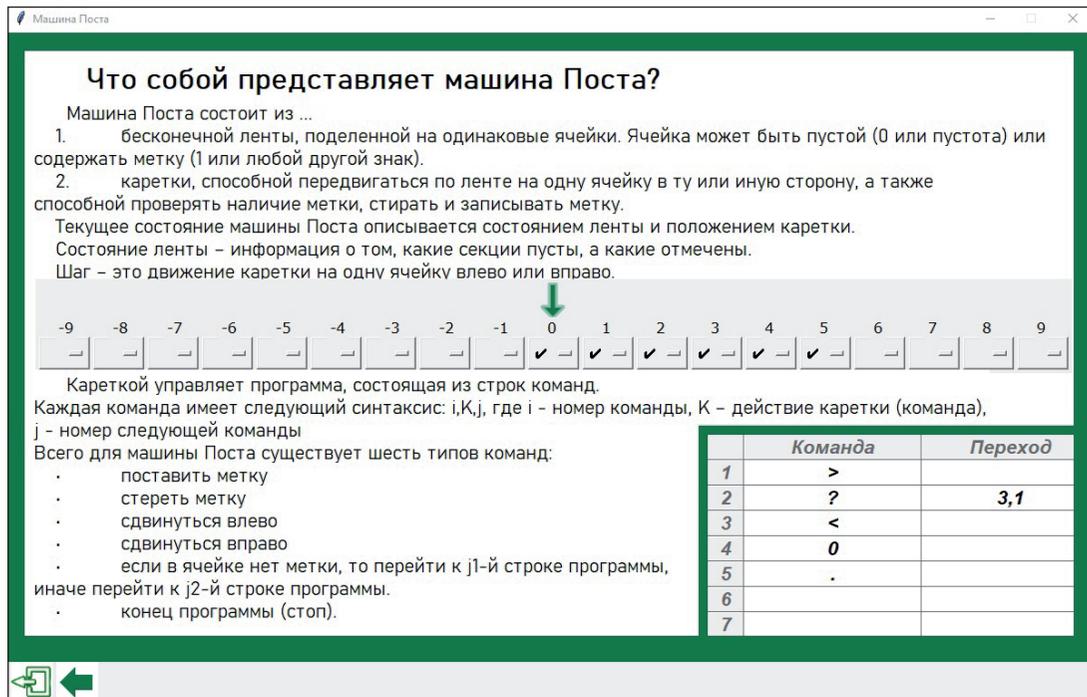


Рис. 13. Блок «Теория» для исполнителя «Машина Поста»

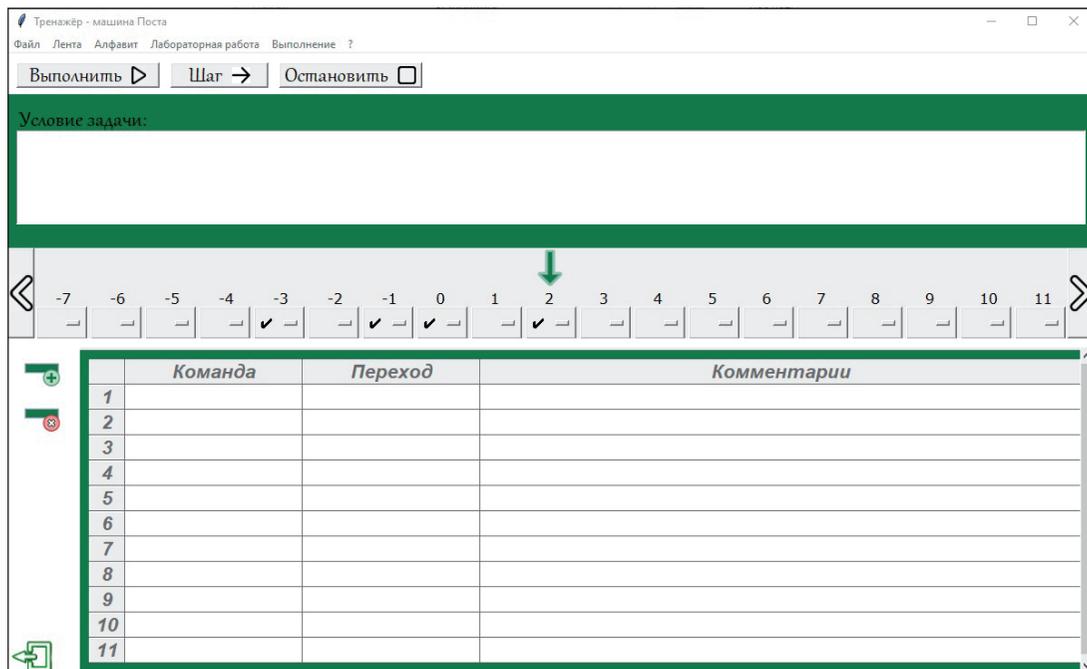


Рис. 14. Работа с бесконечной лентой в блоке «Тренажер» для исполнителя «Машина Поста»

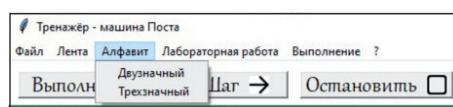


Рис. 15. Изменение алфавита в блоке «Тренажер» для исполнителя «Машина Поста»

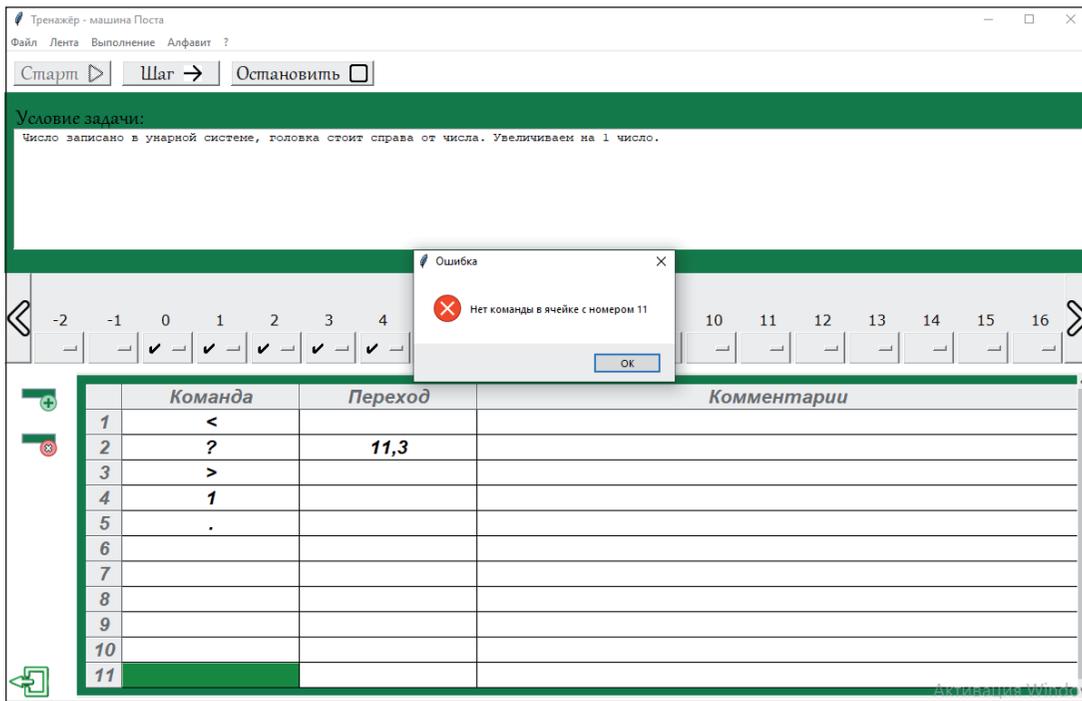


Рис. 16. Пример ошибки в блоке «Тренажер» для исполнителя «Машина Поста»

Когда пользователь выбирает другой алфавит, то бесконечная лента и таблица правил очищаются. Стоит отметить, что для каждого алфавита прописана своя валидация строк таблицы. С помощью кнопок, расположенных слева от таблицы, можно добавлять и удалять строки.

В данном тренажере также есть возможность пошагового выполнения алгоритма. Пользователь имеет возможность сохранять и восстанавливать бесконечную ленту, при этом используется формат Post Examples (\*.post).

Необходимо отметить, что учебная программная среда реагирует на ошибки, связанные с неправильным заполнением правил и появлением цикла (рис. 16).

**Блок «Контроль»** состоит из пяти заданий разного вида и уровня сложности. Первое и второе задания предполагают ввод ответа в отдельном поле. Третье задание проверяет правильность составления правила в таблице (рис. 17). В четвертом задании обучающимся следует выбрать один правильный ответ из предложенных. Последнее задание является самым сложным, необходимо

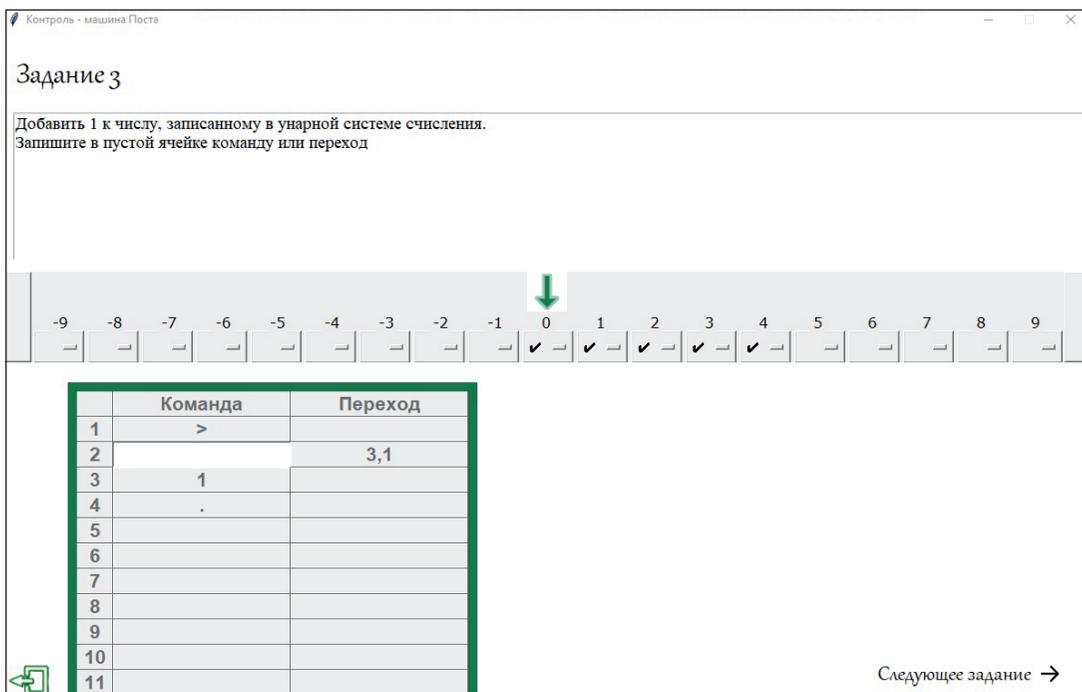


Рис. 17. Пример задания 3 блока «Контроль» для исполнителя «Машина Поста»

самостоятельно выполнить алгоритм и написать результат выполнения.

Контролирующий тест можно пройти несколько раз. Задания каждый раз выбираются случайным образом.

#### 4. Заключение

Представленная учебная программная среда повышает эффективность изучения материала. Обучающиеся в большей степени увлечены изучением, нежели при чтении параграфа учебника или при выполнении заданий в рабочей тетради. Каждый из них может работать в удобном для него темпе. Школьники могут самостоятельно обратиться к теоретическому материалу, пройти обучение заново, потренироваться. Каждый ученик работает индивидуально, что снижает вероятность нежелательной групповой работы. Также упрощается проведение проверки полученных знаний.

#### Список источников

1. *Ефремов Е. Л.* Алгоритмы вычисления частных функций: учебно-методическое пособие. Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2021. 48 с.
2. *Колдунова И. Д.* Визуализация процесса обучения теории алгоритмов // Решетневские чтения. 2014. Т. 3. С. 90–93. EDN: TRPBSJ.
3. Машина Поста // Преподавание, наука и жизнь: сайт Константина Полякова. <https://kpolyakov.spb.ru/prog/post.htm>
4. Машина Поста // Лаборатория Паскаля. <http://pyabc.ru/post.php>
5. Машина Тьюринга // Преподавание, наука и жизнь: сайт Константина Полякова. <https://kpolyakov.spb.ru/prog/turing.htm>
6. *Пильщиков В. Н., Абрамов В. Г., Вылиток А. А., Горячая И. В.* Машина Тьюринга и алгоритмы Маркова. Решение задач. М.: МГУ, 2016. 72 с.
7. *Поляков К. Ю., Еремин Е. А.* Информатика. Углубленный уровень: учебник для 11 класса: в 2 ч. Ч. 2. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 304 с.
8. *Успенский В. А., Семенов А. Л.* Теория алгоритмов: основные открытия и приложения. М.: Наука, 1987. 288 с.
9. *Фалина И. Н., Радченко Е. Л.* Изучение машины Поста в школьном курсе информатики // Информатика. 2007. № 1. С. 31–36.
10. Федеральная рабочая программа среднего общего образования. Информатика (углублённый уровень) (для 10–11 классов образовательных организаций) // Единое содержание общего образования. [https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/22\\_ФРП\\_Информатика-10-11-классы\\_угл.pdf](https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/22_ФРП_Информатика-10-11-классы_угл.pdf)
11. *Чухнов А. С., Поздняков С. Н.* Конструктивные задачи по дискретной математике: сравнительный анализ экзамена с компьютером и без компьютера // Компьютерные инструменты в образовании. 2022. № 1. С. 57–84. EDN: YEKZVK. DOI: 10.32603/2071-2340-2022-1-57-84
12. Эмулятор машины Тьюринга // Сообщество Programforyou. <https://programforyou.ru/calculators/turing-machine-emulator>