

ЧЕБЫШЕВСКИЙ СБОРНИК

Том 23. Выпуск 5.

УДК 378.14

DOI 10.22405/2226-8383-2022-23-5-258-268

**Изучение и использование рекурсивных алгоритмов
в подготовке учителя информатики**

Ю. М. Мартынюк, В. С. Ванькова, С. В. Даниленко

Мартынюк Юлия Михайловна — кандидат педагогических наук, доцент, Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: juliamart@ya.ru

Ванькова Валентина Сергеевна — кандидат физико-математических наук, доцент, Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: vsvankova@gmail.com

Даниленко Софья Валерьевна — кандидат педагогических наук, доцент, Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: sv.danilenko@gmail.com

Аннотация

В статье обосновывается значимость изучения рекурсии студентами направления подготовки 44.03.05 Педагогическое образование профиля Информатика, а также студентами второй и девятой укрупненных групп, связанных с ИТ-направлениями. Анализируются работы Есаяна А. Р., составляющие методологическую и теоретическую базу обучения студентов Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого в области построения и использования рекурсивных алгоритмов. Приводится обзор актуальных исследований в области формирования и развития математической культуры будущих педагогов и специалистов ИТ-направлений посредством изучения рекурсии, методических особенностей изучения рекурсивных алгоритмов как основы развития мировоззрения и научно-исследовательских навыков студентов, примеров эффективности использования рекурсивных построений и функций при решении практико-ориентированных задач.

Авторами описана логика изучения основ рекурсии, принципы отбора содержания, необходимого для изучения данной темы будущими педагогами и специалистами ИТ-направлений. Предлагаемое содержание занятий основывается не только на теоретическом изучении базовых понятия данной предметной области, но и рассмотрении убедительных неопровержимых доказательств существования и красоты рекурсивных объектов различной природы. Изучение практического материала и решение задач предлагается выстраивать в соответствии с дидактическим принципом «от простого к сложному»: от самых простых для восприятия рекурсивных алгоритмов до эффективных алгоритмов сортировки и поиска на динамических структурах данных. Данный подход, по мнению авторов, позволяет студентам оценить значимость и эффективность рекурсивных методов обработки информации и сформировать профессиональные компетенции разработки и применения оптимальных алгоритмов решения практико-ориентированных задач.

Ключевые слова: Рекурсия, рекурсивный алгоритм, рекурсивная функция, оптимальный алгоритм, эффективность, обработка информации, программирование, педагогическое образование, подготовка учителя информатики, математическая культура.

Библиография: 15 названий.

Для цитирования:

Ю. М. Мартынюк, В. С. Ванькова, С. В. Даниленко. Изучение и использование рекурсивных алгоритмов в подготовке учителя информатики // Чебышевский сборник, 2022, т. 23, вып. 5, с. 258–268.

CHEBYSHEVSKII SBORNIK

Vol. 23. No. 5.

UDC 378.14

DOI 10.22405/2226-8383-2022-23-5-258-268

**Study and use of recursive algorithms
in computer science teacher training**

Ju. M. Martynyuk, V. S. Vankova, S. V. Danilenko

Martynyuk Julia Mikhailovna — candidate of pedagogical sciences, associate professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).

e-mail: juliamart@ya.ru

Vankova Valentina Sergeevna — candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).

e-mail: vsvankova@gmail.com

Danilenko Sofya Valerievna — candidate of pedagogical sciences, associate professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).

e-mail: sv.danilenko@gmail.com

Abstract

The article substantiates the importance of studying recursion by students of the 44.03.05 Pedagogical education profile of Informatics, as well as by students of the second and ninth enlarged groups associated with IT areas. The works of Esayan A.R. are analyzed, which form the methodological and theoretical basis for teaching students of the Tula State Pedagogical University in the field of construction and use of recursive algorithms. An overview of current research in the field of the formation and development of the mathematical culture of future teachers and specialists in IT areas through the study of recursion, methodological features of the study of recursive algorithms as the basis for the development of the worldview and research skills of students, examples of the effectiveness of the use of recursive constructions and functions in solving practice-oriented tasks.

The authors describe the logic of studying the basics of recursion, the principles for selecting the content necessary for the study of this topic by future teachers and specialists in IT areas. The proposed content of the classes is based not only on the theoretical study of the basic concepts of this subject area, but also on the consideration of convincing irrefutable evidence of the existence and beauty of recursive objects of various nature. The study of practical material is proposed to be built in accordance with the didactic principle "from simple to complex": from the simplest recursive algorithms for perception to efficient sorting and search algorithms on dynamic data structures. This approach, according to the authors, allows students to evaluate the significance and effectiveness of recursive methods of information processing and form professional competencies in the development and application of optimal algorithms for solving practice-oriented problems.

Keywords: Recursion, recursive algorithm, recursive function, optimal algorithm, efficiency, information processing, programming, teacher education, computer science teacher training, mathematical culture.

Bibliography: 15 titles.

For citation:

Ju. M. Martynyuk, V. S. Vankova, S. V. Danilenko, 2022, "Study and use of recursive algorithms in computer science teacher training", *Chebyshevskii sbornik*, vol. 23, no. 5, pp. 258–268.

1. Введение

Актуальность.

Классический труд «Искусство программирования» математика и признанного эксперта в области компьютерных наук Дональда Кнута, по задумке автора, должен состоять из семи томов и двенадцати глав, одна из которых, на сегодняшний день еще не опубликованная, носит название «Рекурсия» [1]. Вместе с тем, особое внимание, которое Д. Кнут решил уделить рекурсивным алгоритмам в своей фундаментальной работе, которую в 1999 году признали одной из двенадцати лучших физико-математических монографий двадцатого столетия, доказывает особую значимость рекурсии в математике и программировании, как впрочем и в жизни вообще.

Изученность проблемы.

В 2001 году в свет выходит учебное пособие Альберта Рубеновича Есаяна «Обучение алгоритмизации на основе рекурсии» [2]. Пособие ориентировано на студентов педагогических вузов и имеет рекомендации УМО по направлениям педагогического образования Министерства образования РФ для использования в учебном процессе по специальности 030100 – «Информатика». Чуть позже состоится защита докторской диссертации А. Р. Есаяна по специальности 13.00.02 Теория и методика обучения и воспитания (информатика), в которой во главу угла был поставлен все тот же краеугольный вопрос: Почему учитель информатики должен изучать рекурсию? Элегантное доказательство гипотезы исследования расширило его рамки и позволило стать той базой, на которой основывается вся методологическая и теоретическая база обучения студентов нашего вуза построению рекурсивных алгоритмов [3]. Стоит отметить, что в данном случае речь идет не только о студентах направления подготовки 44.03.05 Педагогическое образование профиль Информатика, но и о студентах второй и девятой укрупненных групп, связанных с ИТ-направлениями.

Будучи основателем кафедры информатики и вычислительной техники в стенах Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого, Альберт Рубенович в каждой своей новой работе обязательно отдавал должное рекурсивным алгоритмам, отмечая их внутреннюю красоту и вычислительную мощь в тех случаях, когда традиционные итерационные механизмы не дают ожидаемого результата [4;5;6]. «Влюбленность» в рекурсию передалась от Альберта Рубеновича его сподвижникам и ученикам. На протяжении многих лет на кафедре под его непосредственным руководством были выполнены диссертационные исследования, защищены дипломные и курсовые работы, в каждой из которых отдавалась дань рекурсии.

Сегодня, вопросам изучения рекурсии при подготовки педагогических кадров, уделяется большое внимание. Так, в работах Добровольской Н. Ю., Гумерова А. Э., Мачковой Н. В., отмечается актуальность, описываются методические особенности изучения рекурсивных алгоритмов как основы развития научно-исследовательских навыков студентов [7;8]. Необходимость формирования и развития математической культуры будущих педагогов и специалистов ИТ-направлений, значимость рекурсии в данном процессе и организационные особенности ее изучения рассматриваются в работах Мирзоева М. С., Мадудина В. Н., Морозовой Е. В., Сафроновой И. В. и др. [9;10;11]. Различные аспекты применения рекурсивных методов при решении практико-ориентированных задач раскрыты в исследованиях Сергеева Р. С., Жукова А. О. и др. [12;13].

Целесообразность разработки темы.

Чем же хороша рекурсия? Почему при изучении и построении эффективных алгоритмов она столь важна и необходима? В поисках ответов на эти вопросы обратимся к упомянутому выше учебному пособию, в котором приводятся не только примеры решения классических задач рекурсивным способом, но и рассматривается математическая составляющая рекурсивных рассуждений и алгоритмов, а также дидактическая сторона затрагиваемых вопросов. «Более точно мы хотим показать, что на совокупность правил решения задач рекурсивными методами можно смотреть как на некую конкретную математическую реализацию метода Декарта. Это, на наш взгляд, важно не только в историческом, гуманистическом и философском аспектах, но и имеет несомненный дидактический смысл». [14, с. 67] Кроме того, А. Р. Есаян доказывает методологическую и практическую значимость для рекурсивных вычислений метода математической индукции, как особого вида дедуктивных умозаключений. Не секрет, что метод математической индукции играет важную роль не только в математике, но и в дидактике. Убедительные выкладки по отечественному и зарубежному опыту обучения рекурсии, приведенные в данном пособии и связанные с такими именами, как, уже упомянутый ранее Д. Кнут, а также Ф. Л. Бауэр, Г. Гооз, Д. Баррон, А. П. Ершов, Н. Вирт, Ч. Хоар, Дж. Маккарти, А. Г. Кушниренко, С. А. Абрамов и др., дают основание утверждать, что изучение рекурсии, как мощного инструмента построения более экономных, логически выверенных, прозрачных и естественных алгоритмов дает ощутимый результат при решении задач, в которых взаимодействуют рекурсивные по своей природе объекты (непрерывные дроби, степенные ряды, фракталы, возвратные последовательности, арифметические операции и т.п.). Подобного рода задачи достаточно часто решают представители многих профессий: учитель математики и информатики, программист, инженер, аналитик и др.

Научная новизна исследования

состоит в определении содержания, необходимого для изучения основ рекурсии будущими педагогами и специалистами ИТ-направлений, с целью повышения качества подготовки и формирования навыков применения оптимальных алгоритмов решения практико-ориентированных задач.

Целью исследования

является развитие у студентов способности понимать сущность и значение рекурсивных методов обработки информации, осознания того, что фундаментальное математическое знание является основой компьютерных наук.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: подобрать содержание и выстроить логику изучения теоретических основ рекурсии; разработать содержание практических занятий, позволяющих оценить значимость и эффективность решения задач рекурсивным методом.

Теоретическая и практическая значимость

исследования определяется обоснованием необходимости отбора содержания для обучения будущих педагогов и ИТ-специалистов рекурсивным методам решения задач с целью развития их профессиональных компетенций и навыков исследовательской деятельности.

2. Основная часть

Содержательная сторона изучения основ рекурсии и рекурсивных процессов подробно представлена в трех частях учебного пособия А. Р. Есаяна «Рекурсия в информатике» [15]. Данное содержание представлено девятнадцатью основными разделами, среди которых матрицы, фракталы, сортировки, возвратные последовательности, системы счисления, классические многочлены, перебор с возвратом, финансовые функции и др. В этих разделах не только собраны основные теоретические сведения, но и представлено достаточное количество интересных задач, побуждающих студентов при их рассмотрении находить дополнительные материалы, которые затем, нередко, переходят в курсовые и выпускные квалификационные работы. На лекционных занятиях по изучению рекурсии авторы статьи в обязательном порядке анализируют со студентами базовые понятия данной предметной области, к которым относятся: параметризация исходной задачи, база рекурсии, декомпозиция, рекурсивный процесс, рекурсивный стек, дерево рекурсивных вызовов, глубина рекурсии, динамическая рекурсивная база, отложенные вычисления, рекурсивная триада и т.д. Являясь педагогами и по образованию, и по призванию, следуя основным дидактическим принципам, сформулированным К. Д. Ушинским, в современных условиях цифровизации всех сфер жизни общества авторы организуют учебную деятельность будущих учителей и программистов таким образом, чтобы в сетевом пространстве ими были собраны убедительные неопровержимые доказательства существования и красоты рекурсивных объектов различной природы: от ветки дерева и детской песенки про море до множества Мандельброта и мудрости Конфуция. После такой работы студентов не нужно убеждать в необходимости серьезного внимания к рекурсивным алгоритмам, изучение которых авторы выстраивают в соответствии с дидактическим принципом «от простого к сложному».

В начальной точке располагаются самые простые для восприятия алгоритмы вычисления факториала натурального числа, наибольшего общего делителя двух целых неотрицательных чисел (алгоритм Евклида), а также алгоритмы, моделирующие основные арифметические операции: сложения, вычитания, умножения и деления. При этом, алгоритмы моделирования арифметических операций иллюстрируют понятия прямой и косвенной рекурсии. Например, рекурсивная функция моделирования операции сложения (синтаксис языка C++):

```
int sum(int a, int b)
{
    if (b==0) return a;

    else return sum(++a,--b);
}
```

представляет собой пример прямой рекурсии и служит основой для формирования функции моделирования операции умножения, иллюстрирующей понятие косвенной рекурсии:

```
int mult(int a, int b)
{
    if (b==0) return 0;

    else return sum(mult(a,--b),a);
}
```

```
}
```

Рекурсивные функции вычисления факториала числа и вычисления наибольшего общего делителя двух целых неотрицательных чисел (алгоритм Евклида) помогают разобраться с отложенными вычислениями и оптимизацией рекурсии. Первая функция (синтаксис языка Паскаль) предполагает отложенные вычисления, тогда как вторая представляет собой пример оптимизации рекурсии:

```
function fact(a:integer):longint;
```

```
begin
```

```
    if a=0 then fact:=1
```

```
    else fact:=fact(a-1)*a;
```

```
end;
```

```
function nod(a,b:integer):integer;
```

```
begin
```

```
    if b=0 then nod:=a
```

```
    else nod:=nod(b,a mod b);
```

```
end;
```

На следующем этапе детально изучается рекурсивный алгоритм вычисления элемента обратной последовательности Фибоначчи по его порядковому номеру (пример функции приведен в синтаксисе языка C++):

```
int fib(int n)
```

```
{
```

```
    if ((n==0)&&(n==1)) return 1;
```

```
    else return fib(n-1)+fib(n-2);
```

```
}
```

Здесь появляется возможность рассмотрения понятия глубины рекурсии, исследования дерева рекурсивных вызовов с его взрывами и каскадной рекурсией, анализа действий по созданию и использованию динамической рекурсивной базы, которая открывает путь к созданию эффективных, с точки зрения быстродействия и использования памяти, программ. Одной из таких программ может быть решена классическая задача о вычислении биномиальных коэффициентов, которые знакомы и школьникам, и студентам по треугольнику Паскаля и биному Ньютона. На этапе построения информационной модели студенты демонстрируют навыки работы с динамическими двумерными массивами, что служит индикатором высокого

уровня развития профессиональных навыков не только будущего учителя информатики, но и будущего программиста.

Еще одна область применения рекурсивных алгоритмов – это задачи сортировки и поиска. Быстрая и бинарная пирамидальная сортировки, сортировки слияниями, перебор с возвратом, бинарный поиск составляют тот необходимый минимум, который требует детального изучения с целью осознания красоты и эффективности данных алгоритмов по сравнению с их итерационными аналогами. Приведем пример функций, реализующих алгоритм бинарной пирамидальной сортировки (синтаксис языка C++):

```
void shift(int l, int r, int *x)
{
    int p1, p2, t;
    p1=2*l+1;
    p2=p1+1;
    if (p1<=r)
    {
        if (p2<=r)
            if (*(x+p2)>*(x+p1)) p1=p2;
        if (*(x+l)<*(x+p1))
        {
            t=*(x+l);
            *(x+l)=*(x+p1);
            *(x+p1)=t;
            shift(p1, r, x);
        }
    }
}

void build(int k, int r, int *x)
{

```

```
shift(k, r, x);  
  
if (k > 0) build(k-1, r, x);  
}
```

```
void sort(int r, int *x)  
{  
  
    int t;  
  
    t = *x;  
  
    *x = *(x+r);  
  
    *(x+r) = t;  
  
    shift(0, r-1, x);  
  
    if (r > 1) sort(r-1, x);  
}
```

Следует отметить, что трудоемкость данного алгоритма сопоставима с величиной $O(n * \log(n))$, что существенно меньше трудоемкости алгоритмов медленных сортировок ($O(n^2)$).

Понятие пирамиды и бинарного дерева поиска требуют хорошего знания динамических иерархических структур данных, использование которых в последнее время постоянно расширяется.

Дальнейшее развитие навыков использования рекурсии в прикладных и классических задачах погружает нас в область задач теории чисел. Это алгоритмы распознавания простых, совершенных, автоморфных и дружественных чисел, простых чисел Мерсенна, чисел Армстронга и др. При изучении данных алгоритмов строятся не только красивые рекурсивные функции, но и расширяются рамки общего кругозора, ведь у каждого из выбранных чисел есть своя увлекательная история. Как есть такая же история у задачи о Ханойских башнях и задачи Иосифа Флавия, решение которых неизменно вызывает интерес у будущих учителей и ИТ-специалистов.

3. Заключение

Представленное содержание отнюдь не охватывает всего многообразия рекурсивных объектов и алгоритмов. Достаточно сказать, что фракталы, финансовые функции, алгоритмы сжатия данных изучаются будущими специалистами только в рамках самостоятельной работы. Кроме того, в качестве тем для индивидуальных сообщений реферативного характера выбираются классические функции теории рекурсии: функции Маккарти, Кадью, Аккермана, приближение к основанию натурального логарифма по алгоритму Ламберта и др. Однако,

основы, заложенные при изучении указанного минимума теоретической базы и практических задач, позволяют расширять рамки знания и развивать умения по составлению эффективных рекурсивных функций, что является необходимым условием формирования профессиональных компетенций будущего педагога, инженера, ИТ-специалиста. Изучение рекурсии позволяет не только по-новому взглянуть на основы программирования, но и почувствовать внутреннюю гармонию, красоту и изящество рекурсивных объектов в природе, обществе, жизни вообще.

СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кнут Д. Э. Искусство программирования / Пер с англ.; под общ. ред. Ю. В. Козаченко. М.: Вильямс, 2007. 712 с.
2. Есаян А. Р. Обучение алгоритмизации на основе рекурсии: учеб. пособие для студентов пед. вузов. Тула: Изд-во ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2001. 215 с.
3. Есаян А. Р. Теория и методика обучения алгоритмизации на основе рекурсии в курсе информатики педагогического вуза: дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.02 – теория и методика обучения и воспитания (по областям и уровням образования) Тула, 2001. 363 с.
4. Есаян А. Р. Знания, умения и навыки, связанные с рекурсией. // Педагогика как наука и как учебный предмет: тез. докладов меж-дунар. научн.-практ. конф. – Тула: изд-во ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2000. - С.100-104.
5. Есаян А. Р. Рекурсия как общеобразовательная ценность // Образование как ценность: сб. науч. тр. аспирантов и докторантов. Тула: изд-во ТГПУ им. Л.Н.Толстого, 1998. С. 21-35.
6. Есаян А. Р. Решение задач с помощью рекурсии // Современные проблемы математики, механики, информатики: тезисы докладов Всероссийской научной конференции. – Тула: изд-во ТулГУ, 2000. С. 140-141
7. Добровольская Н. Ю., Гумеров А. Э. Изучение рекурсивных алгоритмов с применением метода исследований // Задачи в обучении математике, физике и информатике: теория, опыт, инновации: материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию П. А. Ларичева. – Вологда: изд-во: ИП Киселев А. В., 2017. С.317-319
8. Мачкова Н. В. Развивающее обучение и рекурсия // II Международная научно-исследовательская конференция по информатике и информационным и коммуникационным технологиям “INFO-эксперт”-2016: сборник научно-исследовательских работ. – Елец: Фонд содействия развитию интернет-медиа, ИТ-образования, человеческого потенциала “Лига интернет-медиа”, 2016. – С. 83-87.
9. Мирзоев М. С. Межпредметные связи математических дисциплин с информатикой как основа формирования математической культуры будущего учителя информатики // Преподаватель XXI век. 2008. № 3. С.7-15.
10. Мирзоев М. С. Рекурсивный метод как основа формирования и развития математической культуры будущих учителей информатики // Наука и школа. 2007. № 1. С.33-35.
11. Мадудин В. Н., Морозова Е. В., Сафронова И. В. Особенности содержания математических дисциплин при подготовке бакалавров прикладной информатики // Бакалавриат прикладной информатики: практика реализации основной образовательной программы:

монография. – Челябинск: Уральский государственный университет физической культуры, 2020. С.109-115.

12. Сергеев Р. С. Рекурсия как феномен моделирования объектов и явлений реального мира // Инженерная мысль: сборник докладов V Городской научно-практической конференции, посвященной году науки и технологий. – Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2021. С. 83-85.
13. Жуков А. О. Прогнозирование распространения COVID-19 на основе рекурсивных моделей // European Scientific Conference: сборник статей XX Международной научно-практической конференции. – Пенза: Наука и Просвещение, 2020. С.45-48.
14. Есаян А. Р. Обучение алгоритмизации на основе рекурсии: Учеб. пособие для студентов пед. Вузов. – Тула: Изд-во ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2001. 216 с.
15. Есаян А. Р. Рекурсия в информатике: Учебное пособие для студентов педагогических вузов: В 4 частях Тула: изд-во ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2000.

REFERENCES

1. Knut D. E., 2007, The Art of Programming / Translated from English; under total ed. Yu. V. Kozachenko. Moscow: Williams, 712 p.
2. Esayan A. R., 2001, "Teaching algorithmization based on recursion: textbook. allowance for students ped. universities." Tula: Publishing house of TSPU im. L. N. Tolstoy, 215 p.
3. Esayan A. R., 2001, Theory and methods of teaching algorithmization based on recursion in the course of informatics of a pedagogical university: dis. ... Dr. ped. Sciences: 13.00.02 - theory and methodology of training and education (by areas and levels of education) Tula, 363 p.
4. Esayan A. R., 2000, "Knowledge, skills and abilities related to recursion." // Pedagogy as a science and as a subject: abstract. reports of inter-dun. scientific-practical conf. - Tula: publishing house of the TSPU named after. L. N. Tolstoy, - P. 100-104.
5. Esayan A. R., 1998, "Recursion as a general educational value" // Education as a value: Sat. scientific tr. graduate students and doctoral students. Tula: publishing house of TSPU im. L.N. Tolstoy, pp. 21-35.
6. Esayan A. R., 2000, "Solving problems using recursion" // Modern problems of mathematics, mechanics, informatics: abstracts of the All-Russian Scientific Conference. - Tula: publishing house of TulGU, pp. 140-141.
7. Dobrovolskaya N. Yu., Gumerov A. E., 2017, "The study of recursive algorithms using the research method" // Tasks in teaching mathematics, physics and informatics: theory, experience, innovations: materials of the II International scientific and practical conference dedicated to the 125th anniversary of P. A. Larichev. - Vologda: publishing house: IP Kiselev A. V., P.317-319
8. Machkova N. V., 2016, "Developmental learning and recursion" // II International Research Conference on Informatics and Information and Communication Technologies "INFO-expert": collection of research papers. - Yelets: Foundation for the Promotion of the Development of Internet Media, IT Education, Human Potential "Internet Media League". - pp. 83-87.
9. Mirzoev M. S., 2008, "Interdisciplinary connections of mathematical disciplines with informatics as the basis for the formation of the mathematical culture of the future teacher of informatics" // Lecturer XXI century, № . 3. pp. 7-15.

10. Mirzoev M. S., 2007, "Recursive method as a basis for the formation and development of the mathematical culture of future informatics teachers" // Science and School, № 1. pp. 33-35.
11. Madudin V. N., Morozova E. V., Safronova I. V., 2020, "Features of the content of mathematical disciplines in the preparation of bachelors of applied informatics" // Bachelor of applied informatics: the practice of implementing the main educational program: monograph. - Chelyabinsk: Ural State University of Physical Culture, pp.109-115.
12. Sergeev R. S., 2021, "Recursion as a phenomenon of modeling objects and phenomena of the real world" // Engineering thought: collection of reports of the V City scientific and practical conference dedicated to the year of science and technology. - Kazan: Kazan State Technical University. A.N. Tupolev, pp. 83-85.
13. Zhukov A. O., 2020, "Predicting the spread of COVID-19 based on recursive models" // European Scientific Conference: collection of articles of the XX International Scientific and Practical Conference. - Penza: Science and Education, pp.45-48.
14. Esayan A. R., 2001, "Learning algorithmization based on recursion: Proc. allowance for students ped. universities." - Tula: Publishing House of the TSPU named after. L. N. Tolstoy, 216 p.
15. Esayan A. R., 2000, "Recursion in Informatics: A textbook for students of pedagogical universities: In 4 parts", Tula: publishing house of the TSPU. L. N. Tolstoy.

Получено: 01.10.2022

Принято в печать: 22.12.2022