



## МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН ПО ТЕОРИИ АЛГОРИТМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ *IRUNNER*

**С.А. Соболев, В.М. Котов, Е.П. Соболевская**

*Белорусский государственный университет, Беларусь*

**Аннотация.** Образовательная платформа Insight Runner (iRunner) в настоящее время активно используется в учебном процессе на факультете прикладной математики и информатики (ФПМИ) Белорусского государственного университета (БГУ). Практические занятия по курсам «Теория алгоритмов», «Алгоритмы и структуры данных», «Программирование» и др. проводятся на базе iRunner. Основное назначение платформы – автоматическое тестирование решений задач, связанных с написанием программ; iRunner работает с 2004 года.

В статье рассмотрены вопросы методики преподавания дисциплин по теории алгоритмов с использованием iRunner: как строится учебный курс, как назначаются задачи студентам и устанавливаются крайние сроки, как организуется дистанционная работа студентов с платформой, как проходят очные занятия в университете, как осуществляется контроль знаний и проверка решений на плагиат. Компьютерная система не заменяет преподавателя, а помогает ему: автоматизируется рутинная работа по проверке решений, тем самым у преподавателя появляется возможность уделять больше внимания вопросам алгоритмизации и проводить занятия в виде эвристических диалогов. Представление студентом алгоритма решения индивидуальной задачи проводится в вопросно-ответной форме: студенту предлагаются наводящие, уточняющие вопросы, которые вытекают один из другого и, в совокупности, приводят обучающегося к разработке эффективного алгоритма.

Возможность интерактивной самостоятельной работы студентов на базе образовательной платформы iRunner в удобное время способствует получению высоких результатов на соревнованиях в области алгоритмизации и спортивного программирования. Результатом внедрения платформы в учебный процесс явилась и повышенная заинтересованность в практических занятиях как со стороны учащихся, так и со стороны преподавателей.

**Ключевые слова.** IRUNNER, образовательная платформа, онлайн-тестирование, методы обучения, алгоритмы, задачи, тестовые кейсы, тестирование, соревновательное программирование.

## **METHODS OF TEACHING COURSES ON THEORY OF ALGORITHMS USING IRUNNER EDUCATIONAL PLATFORM**

**S. Sobol, V. Kotov, E. Sobolevskaja**

Belarusian State University, Belarus

**Abstract.** Insight Runner (iRunner) educational platform is currently being used in the teaching process at the Faculty of Applied Mathematics and Computer Science (FAMCS). Practical classes in the courses of “Theory of Algorithms”, “Algorithms and Data Structures”, “Programming”, etc. are based on iRunner. The main purpose of the platform is to automatically evaluate solutions to the problems which require writing programs; iRunner has been running since 2004.

The article describes the methodology of teaching the disciplines related to the theory of algorithms using iRunner: how to make up a course, how to assign problems to students and set deadlines, how to enable students to work with the platform remotely and in class, how to test the students’ knowledge and to check solutions for plagiarism. The computer system does not replace a teacher, but helps him: the routine work of testing solutions is automated, thereby giving a teacher the opportunity to pay more attention to the questions of algorithmization and to conduct the classes in the form of heuristic dialogues. The defense of a student’s algorithm for solving an individual problem is carried out in a question-answer form: the student is offered suggestive, clarifying questions that derive one from the other and finally lead the student to develop an effective algorithm.

The students are able to work with iRunner educational platform independently at any time. This helps them to achieve high results at competitions in algorithms and competitive programming and to improve the position of BSU in world rankings. After the introduction of iRunner into the educational process, both the students and the teachers have become more interested in practical classes.

**Keywords.** iRUNNER, educational platform, online judge, methods of teaching, algorithms, problems, test cases, quizzes, competitive programming.

## Введение

В век всеобщей компьютеризации каждый преподаватель вуза должен овладеть новыми приемами работы, перестроить свой стиль работы, обусловленный подготовкой заданий, методического обеспечения и сопровождения учебных дисциплин. Использование современных компьютерных технологий в учебном процессе сейчас становится жизненно необходимым.

В настоящее время на факультете прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета (ФПМИ БГУ) активно используется в учебном процессе образовательная платформа *Insight Runner* (сокращённо *iRunner*). Платформа доступна в сети Интернет по адресу <https://acm.bsu.by>. Сервер расположен в Центре обработки данных БГУ.

История разработки. Первая версия системы под названием *Insight Runner* появилась в 2003 году [2]. Это был, в первую очередь, инструмент для автоматической проверки решений алгоритмических задач. Разработчиком являлся студент 5 курса кафедры дискретной математики и алгоритмики (ДМА) ФПМИ БГУ Вячеслав Петрович Вдовиченко. Работу по внедрению системы в учебный процесс в рамках дисциплин по теории алгоритмов осуществили преподаватели кафедры ДМА: профессор Владимир Михайлович Котов, доцент Елена Павловна Соболевская и старший преподаватель Галина Петровна Волчкова. В течение многих лет в рамках курсового и дипломного проектирования система дорабатывалась студентами кафедры, превращаясь в многофункциональную образовательную платформу.

Оригинальный *iRunner*, к сожалению, имел ряд архитектурных проблем, которые препятствовали его развитию. Поэтому в 2016 году ассистентом кафедры ДМА Сергеем Александровичем Сободем была разработана и внедрена новая версия под названием *iRunner 2*. Фактически весь код был переписан заново, но при этом удалось полностью сохранить архив задач и решений. Интерфейс пользователя стал более понятным и удобным, значительно улучшилась стабильность работы, производительность и безопасность, появилось много новых возможностей [3].

Сфера использования *iRunner* в учебном процессе. *iRunner* активно применяется на ФПМИ в ходе преподавания различных учебных дисциплин. С каждым годом сфера использования платформы увеличивается.

На первой ступени высшего образования студенты ФПМИ БГУ традиционно сдают решения задач в *iRunner* на занятиях по таким дисциплинам государственного компонента, как «Алгоритмы и структуры данных», «Теория алгоритмов», «Программирование». Также, начиная с 2019 года, в *iRunner* студенты выполняют

тестовые задания и оформляют домашние работы по учебной дисциплине государственного компонента «Дискретная математика и математическая логика».

В 2015 году началось использование iRunner и при организации учебного процесса в магистратуре ФПМИ. На второй ступени высшего образования студенты магистратуры проходят в iRunner углубленную алгоритмическую подготовку в рамках таких учебных дисциплин, как «Специальные структуры данных», «Алгоритмы обработки текстов», «Вероятностные алгоритмы и структуры данных». Несколько иначе организована работа с iRunner на занятиях в магистратуре по учебной дисциплине «Операционные системы семейства UNIX»: здесь отрабатываются практические навыки разработки сценариев и программ для операционной системы GNU/Linux [1].

### **Задачи в iRunner**

Так как изначально система автоматического тестирования iRunner разрабатывалась для учебных дисциплин по теории алгоритмов, рассмотрим их более подробно.

При обучении основам алгоритмизации студенты решают соответствующие задачи. Набор разнообразных задач, которые предлагаются для решения, формировался преподавателями в течение многих лет. На данный момент доступно порядка 340 учебных задач, которые разделены на шесть тем: деревья поиска, рекуррентные соотношения, структуры данных, алгоритмы на графах, организация перебора вариантов, приближённые алгоритмы. Решение задач, за исключением самых простых, требует творческого подхода, что является основой развития креативного мышления.

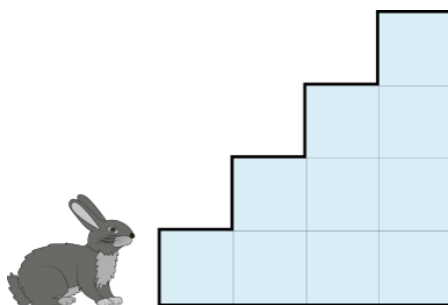
Все задачи хранятся в определенном формате. Каждая задача состоит из двух важнейших частей: из текста условия и набора тестов.

Условие задачи. Условия задач в системе по традиции имеют единую структуру и стиль оформления. В условии обычно входят следующие элементы: легенда (сказка) или формальная постановка; описание формата входных данных; описание формата выходных данных; примеры. Для составления условия используется язык разметки на базе TeX. Условие может содержать рисунки и формулы. Студенты могут читать условия всех задач, находящихся в системе.

В качестве примера рассмотрим условие классической задачи «Заяц».

Пример. Заяц любит прыгать по лестнице вверх. Лестница имеет  $n$  ступенек, изначально заяц находится рядом с лестницей. За один прыжок заяц может прыгнуть на следующую ступеньку или перепрыгнуть через одну ступеньку.

Определите, *сколькими способами* заяц может добраться до вершины лестницы. Способы считаются различными, если множества ступенек, на которых побывал заяц, отличаются.



*Формат входных данных.* На входе задано число  $n$  ступенек ( $1 \leq n \leq 10\,000\,000$ ).

*Формат выходных данных.* Выведите число различных способов добраться от основания к вершине лестницы по модулю  $1\,000\,000\,007$ .

<i>input.txt</i>	<i>output.txt</i>
1	1
2	2
4	5

Тесты к задаче. Под тестом для задачи понимается набор входных и выходных данных. Для задачи «Заяц» на вход поступает одно число (размер лестницы) и на выходе получается одно число (правильный ответ – количество способов), поэтому тесты могут выглядеть следующим образом:

Тест №1: вход 1, выход 1

Тест №2: вход 2, выход 2

Тест №3: вход 4, выход 5

...

Тест №16: вход 10000000, выход 640540120

Тесты составляются преподавателями. Студентам содержимое тестов недоступно (кроме примеров из условия). Всего на сегодняшний день по всем задачам в системе хранится более 6,5 тыс. тестов.

Решение задачи. Решением является программа, написанная на некотором языке программирования. Для примера рассмотрим два решения задачи «Заяц» на языке программирования C++.

Пример неправильного решения	Пример правильного решения
<pre>#include &lt;bits/stdc++.h&gt;  using namespace std;  int main() {     ifstream cin("input.txt");     ofstream cout("output.txt");     int n,a=1;     cin &gt;&gt; n;     for(int i = n ; i&gt;0 ; i--)     {         if(i-1&gt;=1) a+=1;         if(i-2&gt;1) a+=1;     }     cout &lt;&lt; a%1000000007; }</pre>	<pre>#include &lt;bits/stdc++.h&gt;  using namespace std;  int main() {     ifstream cin("input.txt");     ofstream cout("output.txt");     int n;     cin &gt;&gt; n;     int a = 0, b = 1;     for (int i = 0; i &lt; n; ++i) {         int c = (a + b) % 1000000007;         a = b;         b = c;     }     cout &lt;&lt; b; }</pre>

Нетрудно понять, что при наличии заготовленных тестов можно автоматически проверить правильность решения. Для этого нужно запускать программу, передавая ей входные данные, и сравнивать тот ответ, который выдаёт программа, с правильным ответом, который хранится в базе. Эту работу и делает iRunner. Чем больше тестов создано для задачи, тем больше неправильных решений этими тестами отсекается.

Взаимодействие студента с системой. Итак, студент пишет программу, которая решает поставленную перед ним задачу. Затем он отправляет текст программы через специальную форму. На сервере решение проверяется на наборе тестов. Через некоторое время (обычно несколько секунд) студенту выдаётся *вердикт*. Например, вердикт «Неправильный ответ (5)» означает, что на первых четырёх тестах программа отработала верно, а на пятом тесте выдала неверный ответ. Вердикт «Принято» означает, что решение прошло все тесты успешно. Студент может ознакомиться с подробными результатами тестирования.

### Организация учебного процесса

В рамках дисциплин по теории алгоритмов студенты в iRunner работают с учебными курсами (курс рассчитан на учебную группу в университете). Образовательная платформа при этом предоставляет дружественный интерфейс преподавателю курса для назначения студентам задач (индивидуальных, общих, дополнительных, штрафных), для отслеживания прогресса, для расчёта итоговых оценок по курсу (журнал, ведомость) и многого другого, что делает работу в системе очень удобной как для преподавателя, так и для студента.

Индивидуальные задачи. Каждый студент получает набор *индивидуальных* задач (как правило, одну или две по каждой теме). Задачи студенту назначаются преподавателем, при этом студент может высказывать свои предпочтения, если ему понравилась та или иная задача. Ко всем задачам указывается уровень сложности по десятибалльной шкале. Поэтому для получения более высокой оценки за семестр студенту необходимо выбирать более сложные задачи.

После выбора задачи студенту необходимо сделать следующее:

- предложить алгоритм решения задачи;
- на практическом занятии в индивидуальной беседе с преподавателем сформулировать идею, доказать корректность и оценить трудоёмкость разработанного им алгоритма;
- *сдать алгоритм* (получить отметку о зачёте);
- реализовать свой алгоритм, то есть написать программу на любимом языке программирования (C, C++, Java, Pascal, Delphi, Python, C#, Shell);
- отправить решение в систему на тестирование;
- *сдать решение* в систему (т. е. пройти *все* тесты).

Следует подчеркнуть, что образовательная платформа iRunner не заменяет очные занятия с преподавателем, а дополняет их. Сейчас преподаватель освобождён от рутинной работы, связанной с проверкой решений, и может внедрять креативные методы обучения в учебный процесс.

Многолетний опыт преподавания дисциплин по теории алгоритмов говорит о том, что не всегда у студента получается предложить алгоритм решения задачи самостоятельно, и тогда очень важно преподавателю правильно выстроить диалог со студентом. Защита студентом алгоритма решения задачи должна проводиться в виде эвристической беседы (вопросно-ответная форма). Студенту преподавателем задаются наводящие, уточняющие вопросы, которые вытекают один из другого (почему, зачем, как, ...) и, в совокупности, они должны привести студента к разработке эффективного алгоритма решения задачи.

Иногда в доказательстве корректности предложенного студентом алгоритма (или его программной реализации) преподаватель находит недочёт и отправляет решение на доработку. Это совершенно нормальный процесс, который способствует развитию алгоритмических и программистских навыков обучающихся.

К сожалению, встречаются случаи, когда в ходе беседы со студентом преподаватель выявляет, что студент не в полной мере понимает то, о чём говорит, т.к.

задачу помог решить товарищ (или решение взято из сети Интернет). Это можно выявить сегодня только в процессе разговора с обучающимся, автоматическая система на это пока не способна.

Таким образом, алгоритм решения задачи сдаётся преподавателю на практическом занятии в личной беседе, а программный код решения отсылается студентом на проверку непосредственно в систему, как правило, из дома (дистанционная форма обучения).

Общие задачи. Индивидуальные задачи у всех студентов одной группы различные (по возможности). Кроме них, существует также набор *общих* задач, которые должны быть решены всеми студентами. Эти задачи нужны для отработки базовых алгоритмических навыков (BFS, DFS, алгоритм Дейкстры и пр.). Считается, что любой выпускник ФПМИ должен уметь реализовывать основные алгоритмы. Обсуждать алгоритм с преподавателем для общих задач не нужно, требуется только сдать код в систему.

Контроль. Чтобы стимулировать плодотворную и управляемую самостоятельную работу студентов, в системе действуют разнообразные ограничения.

Во-первых, даётся не более пяти попыток сдачи решения в сутки. Это сделано для того, чтобы студенты тщательнее тестировали свой код перед отправкой. Умение находить ошибки в своём коде – достаточно полезный навык для программиста.

Во-вторых, устанавливаются дедлайны (крайние сроки) сдачи задач, чтобы студенты не откладывали всё на потом и работали равномерно в течение семестра.

В-третьих, с целью предотвращения заимствований действует система выявления плагиата. Для каждого нового решения, которое прошло тесты, система ищет похожие решения в своей базе. Похожесть оценивается в процентах и показывается преподавателю. Преподаватель затем окончательно решает, плагиат это или нет, и определяет способ наказания для студента (например, назначить штрафную задачу по данной теме).

Статистика. В течение 2018 года в рамках учебных дисциплин более 355 студентов первой ступени высшего образования ФПМИ сдали в систему 26 994 решений, из них только 5 726 решений были признаны верными.

В течение 2019 года в рамках учебных дисциплин студенты и магистранты сдали в систему 46,5 тыс. решений, из них только 11,0 тыс. решений были признаны верными, в остальных случаях решения содержали те или иные ошибки. Осуществить такой объём проверки решений без использования автоматизированной системы было бы просто невозможно.



В частности, на первой ступени высшего образования в 2019 году iRunner использовался в рамках следующих дисциплин:

- «Алгоритмы и структуры данных» и «Теория алгоритмов»: 296 студентов, 26347 решений, из них 6542 признаны верными;
- «Программирование»: 189 студентов, 7743 решения, 948 приняты;
- «Дискретная математика и математическая логика»: 284 студента, 4178 решений, 1299 приняты.

На второй ступени высшего образования (в магистратуре) iRunner применялся в учебном процессе для таких дисциплин:

- «Операционные системы семейства UNIX»: 62 студента, 4034 решения, 1324 приняты;
- «Специальные структуры данных»: 43 студента, 1732 решения, 345 приняты;
- «Алгоритмы обработки текстов»: 27 студентов, 526 решений, 164 приняты;
- «Вероятностные алгоритмы и структуры данных»: 32 студента, 1987 решений, 351 принято.

Всего на данный момент в системе iRunner хранится более 316 тыс. уникальных решений, которые были отправлены на проверку начиная с 2003 года. База данных имеет размер более ста гигабайт.

### **Дополнительные возможности, предоставляемые iRunner**

Кроме базовой функциональности, в iRunner имеется ряд дополнительных полезных возможностей.

В частности, действует система обмена сообщениями между преподавателем и студентом. Есть возможность удалённо задать вопрос (например, непонятно условие задачи) и через систему получить ответ. Преподаватель может написать сообщение всей группе.

В связи с тем, что очные практические занятия ограничены во времени, для упорядочения консультаций разработан механизм под названием «Электронная очередь». Студенты по мере необходимости записываются в очередь для беседы с преподавателем через систему путём нажатия кнопки. Преподаватель на практических занятиях беседует со студентами по записи в порядке очереди.

Тесты. Контроль теоретических знаний. Помимо автоматического тестирования задач, образовательная платформа iRunner предоставляет возможность проверки теоретических знаний студентов посредством выполнения тестовых заданий. Тест может включать задания разных видов: вопросы, в которых нужно выбрать один правильный ответ из предложенных; вопросы, в которых правильных ответов

несколько, и требуется отметить множество вариантов; вопросы, в которых нужно ввести текстовый ответ. Отвечать на вопросы можно в любом порядке, все ответы автоматически сохраняются. Система ведёт учёт времени.

Отличительной особенностью iRunner является использование автоматизированных генераторов. Это позволяет создавать большую базу вопросов для тестов. Каждый студент получает уникальный набор заданий, чем исключается возможность списывания. Например, пусть задача формулируется так: «Граф задан матрицей смежности  $A$ , определите число компонент связности». Система iRunner выдаёт каждому студенту группы свою матрицу  $A$ .

В течение 2018 года в тестировании по дисциплинам «Теория алгоритмов» и «Алгоритмы и структуры данных» приняло участие 295 студентов, было проведено 1292 теста.

Вики-движок. В образовательную платформу iRunner интегрирована свободная система управления содержимым (англ. *CMS*, или *content management system*) под названием MediaWiki. Этот продукт используется в качестве электронного учебника для размещения материалов лекций и практических занятий, в том числе по теории алгоритмов.

Опыт показывает, что создавать материалы в вики-формате удобнее, чем публиковать отдельные *doc*- или *pdf*-файлы. Вики-страницы можно легко редактировать, сохраняется история изменений. Страницы связаны между собой ссылками. Фрагменты кода на языках программирования отображаются с подсветкой синтаксиса. Вики-документы хорошо адаптированы для просмотра на мобильных устройствах, а при необходимости легко получить версию для печати.

Соревнования ICPC. Система iRunner также используется для организации соревнований по программированию и для проведения тренировок. Знания, полученные в рамках учебных дисциплин по теории алгоритмов, играют ключевую роль при решении олимпиадных задач. Соревнуясь, студенты учатся разрабатывать сложные алгоритмы и составлять программы без ошибок в условиях стресса и ограниченного времени.

В 2018 году было проведено 20 олимпиад (как тренировочных, так и официальных). Среди них важные студенческие соревнования: олимпиада ФПМИ, открытая олимпиада БГУ по программированию, XXI четвертьфинал командного Чемпионата мира по программированию среди студентов (ICPC) – соревнования Западного подрегиона Северной Евразии.

Четвертьфинальные соревнования ежегодно проводятся на ФПМИ БГУ с использованием платформы iRunner. В Минск приезжают студенты из других городов Беларуси, а также из Латвии, Литвы и Калининградской области Российской Федерации. В туре, который прошёл в 2019 году, приняли участие 47 команд, каждая из которых состояла из трёх человек.

По результатам полуфинала командного Чемпионата мира по программированию среди студентов (ICPC) в Санкт-Петербурге в декабре 2019 года все команды БГУ получили дипломы (4 диплома I первой степени и один диплом III степени).

### **Заключение**

Более чем 15-летний опыт использования образовательной платформы iRunner на факультете прикладной математики и информатики БГУ подтверждает её высокую эффективность на практике. С помощью этой платформы организовано дистанционное обучение, самостоятельная и контролируемая работа обучающихся. Поввысилась заинтересованность в практических занятиях как со стороны студентов, так и со стороны преподавателей. Отметим, что iRunner не заменяет преподавателя-человека, а помогает ему.

Возможность интерактивной самостоятельной работы в удобное время (из дома, общежития) способствует получению высоких результатов в будущей профессиональной деятельности, а также на различных интеллектуальных соревнованиях в области алгоритмизации и спортивного программирования. Студенты ФПМИ БГУ ежегодно представляют нашу страну на международных соревнованиях ICPC и завоёвывают дипломы разной степени. Всё это, несомненно, также способствует повышению позиции БГУ в мировых рейтингах.

### **Список библиографических ссылок (на языке оригинала)**

1. Sobol S. A. iRunner: an educational platform of Belarusian State University [Электронный ресурс]. International Collegiate Programming Contest Competitive Learning Institute Symposium (ICPC CLIS 2019), Porto, Portugal, 2<sup>nd</sup> April 2019. Porto, 2019. URL: <https://ciiwiki.ecs.baylor.edu/> (дата обращения: 31.05.2019).

2. Котов, В. М., Соболевская Е. П. Использование современных компьютерных технологий в учебном процессе на примере автоматической тестирующей системы Insight. *Современные информационные компьютерные технологии (mcIT-2008): тезисы докладов Международной научно-практической конференции*, Гродно, Беларусь, 21–24 апреля 2008 года. Гродно: 2008;173–175.

3. Котов В. М., Мощенский В. А., Соболевская Е. П. Обучение дискретной математике, проектированию и анализу алгоритмов на факультете прикладной математики и информатики Белгосуниверситета. *Технологии информатизации и управления (ТИМ-2011)*: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Выпуск 2, Гродно, Беларусь, 26–28 апреля 2011 года. Гродно: 2011;166–170.

#### **References** (на английском языке)

1. Sobol, S. A. iRunner: an educational platform of Belarusian State University [Electronic resource]. International Collegiate Programming Contest Competitive Learning Institute Symposium (ICPC CLIS 2019), Porto, Portugal, 2<sup>nd</sup> April 2019. Porto, 2019. Mode of access: <https://ciiwiki.ecs.baylor.edu/>. (date of access: 2019.05.31).

2. Kotov V. M., Sobolevskaja E. P. The use of modern computer technologies in the teaching process exemplified by Insight Runner automated testing system. *Modern information computer technologies (mcIT-2008)*: abstracts of the International scientific conference, Grodno, Belarus, 21<sup>st</sup>–24<sup>th</sup> April 2008. Grodno: 2008;173–175. (In Russian)

3. Kotov V. M., Moshchenskii V. A., Sobolevskaja E. P. Teaching discrete mathematics, algorithm design and analysis at the Faculty of Applied Mathematics and Computer Science of Belarusian State University. *Technologies of informatization and management (TIM-2011)*: abstracts of the International scientific conference, Release 2, Grodno, Belarus, 26<sup>th</sup>–28<sup>th</sup> April 2011. Grodno: 2011;166–170. (In Russian)