

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННЫХ КОНКУРСОВ

Атхит Майтараттанакон

Аннотация

В статье описывается модель сюжетных задач, которые использовались для компьютерной поддержки продолжительной экспериментально-исследовательской работе с задачами по математике и информатике в рамках конкурса «Конструируй, исследуй, оптимизируй». Приводится качественный и количественный анализ результатов эксперимента.

Ключевые слова: автоматизация конкурсов, информатизация образования, информационные технологии, обучение математике и информатике.

1. ВВЕДЕНИЕ

Важным направлением в привлечении молодёжи к научной проблематике таких предметов как математика и информатика является привлечение учеников к активной деятельности в самостоятельном получении знаний. Различные аспекты организации деятельности ученика рассматривались в работах по структуре и организации эвристической деятельности [1–3]. Важность обнаружения противоречия с существующей системой представлений изучалась в теории проблемного обучения [4]. Методика организации исследовательской и поисковой деятельности хорошо представлена в работах Пойа, например [5].

Большое значение в поддержке эвристической деятельности оказало появление компьютерных инструментов, которое позволило ввести эксперимент и поиск в решение математических задач [6–9]. На основе этих фундаментальных результатов была построена теория информационной среды обучения [10, 11], которая образует теоретическую основу нашей работы.

В статье описываются модели сюжетных задач, которые использовались для компьютерной поддержки экспериментально-исследовательской работы по математике и информатике в рамках конкурса «Конструируй, исследуй, оптимизируй». Приводится качественный и количественный анализ результатов эксперимента.

Задания конкурса представлены в форме компьютерных моделей-лабораторий с игровыми элементами. В процессе работы с заданием участник конструирует частичные решения задачи, которые оцениваются по установленным в задании критериям. Таким способом формируется «рекорд» — число или набор чисел, характеризующие степень достижения поставленных в задании целей. Механизм рекорда позволяет участникам

оценивать собственное продвижение в решении задач, а для жюри конкурса рекорды являются основой для составления рейтинга.

Конкурс проводится дистанционно, в течение 7–10 дней. В течение этого времени участник может многократно улучшать свои решения. По истечении срока конкурса все результаты загружаются на сайт, где происходит анализ решений и составление рейтинга результатов участников [12].

Каждый год в Конкурсе участвуют около 5000 человек из разных уголков России (с 2014 года конкурс также проводится и в Таиланде) [13].

2. МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЗАДАЧИ, ДОПУСКАЮЩЕЙ АВТОМАТИЗАЦИЮ ПОДДЕРЖКИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧЕНИКА

Главными составляющими модели является набор инструментов для построения некоторой конструкции и иерархический набор критериев для оценки выполненных построений. Критерии устроены так, чтобы направлять деятельность участников конкурса на создание «хороших» конструкций (можно называть их частичными решениями поставленной конструктивной задачи), используя первоначально слабые критерии, которые позволяют упорядочить эксперименты участников и направить их деятельность на решение посильных задач. Однако после оптимизации по главному критерию, решение можно совершенствовать далее, используя следующий критерий, суживающий множество решений и требующий более глубокого проникновения в сущность задачи.

Таким образом, основой сюжета можно считать набор параметров, часть из которых задана явно, и решение задачи предполагает поиск сочетания параметров, при которых достигаются лучшие результаты по заданным критериям. Эти параметры можно назвать управляемыми. Другая часть параметров подбирается составителями сюжетов так, чтобы их значения позволяли работать с объектами на экране в реальном времени (параметры масштаба, скорости протекания процессов, границы изменения параметров, шаги их изменения и пр.). Эти параметры мы будем называть неявными, так как они не влияют на решение, даже если ими участник может управлять (например, поворачивать объект на экране, запускать с различной скоростью анимации и пр.). Наконец, часть параметров является функцией исходных и определяет построенную конструкцию. Так, в работе [14] описывалась задача на построение часов, в которой управляемыми параметрами были число шестерен, координаты их центров, число зубьев. Вычисляемыми параметрами был размер шестерен, который определялся числом зубьев, и параметры получившегося механизма: передаточный коэффициент цепочки шестерен, направление вращения стрелки, размер корпуса построенных часов. Неявными предикатами были ограничения на число зубьев, степень сближения, при которой механизм «ломался». Явными предикатами были условие на сближение, при котором происходит передача вращения между шестеренками, условие, при котором одна шестерня влияла на вращение другой, замкнутость или разомкнутость контура из них и пр.

Главный критерий — степень близости передаточного коэффициента к тому, который имеют часы. Следующий критерий — правильность направления движения стрелок, далее — «сведённость» стрелок к одной оси и, наконец, последний — размер корпуса часов.

Формально можно описать модель так:

$X_1; X_2; \dots; X_n$ — явные переменные (базовые объекты предметной среды);

$Y_1; Y_2; \dots; Y_m$ — неявные переменные;

$Z_1 = G_1(X_1; X_2; \dots; X_n; Y_1; Y_2; \dots; Y_m); \dots; Z_p = G_p(X_1; X_2; \dots; X_n; Y_1; Y_2; \dots; Y_m); \dots$ — неявные переменные, которые получаются конструированием на основе явных и неявных (контекстных) переменных;

$P(X_1; X_2; \dots; X_n; Y_1; Y_2; \dots; Y_m; Z_1; Z_2; \dots; Z_p)$ — предикаты, определяющие явные и неявные условия задачи (заметим, что несколько предикатов можно объединить в один с помощью конъюнкции);

$F = (F_1; F_2; \dots; F_k)$ — целевая вектор-функция, оптимизация которой является целью ученика;

$F_1(X_1; X_2; \dots; X_n; Y_1; Y_2; \dots; Y_m; Z_1; Z_2; \dots; Z_p)$ — главный критерий;

...

$F_k(X_1; X_2; \dots; X_n; Y_1; Y_2; \dots; Y_m; Z_1; Z_2; \dots; Z_p)$ — k -й подкритерий.

3. ПРИМЕР СЮЖЕТА: «СОЗВЕЗДИЯ»

В качестве метафоры взята статья журнала «Квант» [15]. Таким образом, в качестве контекста сюжета была взята карта звёздного неба. Как известно, такие карты использовались в мореплавании для ориентации в условиях отсутствия видимого берега. Для того чтобы быстро ориентироваться по карте, нужно было разбить множество светящихся точек-звёзд на небе на группы, каждая из которых воспринималась человеком как единый объект. Для этого человечество придумало идею фигур — созвездий. Каждое созвездие получается соединением нескольких точек отрезками, после чего (по законам человеческого восприятия) человек, глядя на небо, быстро восстанавливает отсутствующие там отрезки и видит небо как граф, состоящий из нескольких компонент. Тем самым, задача введения созвездий на множестве звёзд может быть описано в математических терминах как построение несвязного неориентированного графа, состоящего из нескольких компонент. *Название сюжета «Созвездия» определило контекст задачи по работе с графами*, который позволил быстро вводить новых учеников в суть проблемы.

Вторым этапом было выделение цели, которая может быть эффективно поддержана компьютерными инструментами. Такой целью стало *разбиение звёзд на созвездия*. Эта задача является естественной с точки зрения контекста и не требует объяснения термина «разбиение» (рис. 1).

Для оценки движения ученика к цели нужно было определить критерии, по которым будет оцениваться решение. Эти критерии в дальнейшем играют роль управления деятельностью ученика, поэтому их выбор является главным для формирования информационной среды сюжета. Критерии не должны противоречить контексту задачи — быть естественными в рамках этого контекста, и в то же время они должны вести ученика к овладению новой идеей, понятием, алгоритмом. *Этим требованиям соответствует разбиение звёзд, во-первых, на различные созвездия, во-вторых, на созвездия, состоящие из некоторого фиксированного или ограниченного количества звёзд*. Требование различности созвездий описывается на языке теории графов требованием неизоморфности компонент связности графа. Тем самым важное математическое понятие имеет естественную интерпретацию в рамках выбранной метафоры (контекста). Ограничение на количество звёзд также является естественным, так как для восприятия человека группа из 5–7 объектов может восприниматься как единое целое, а при большем числе объектов

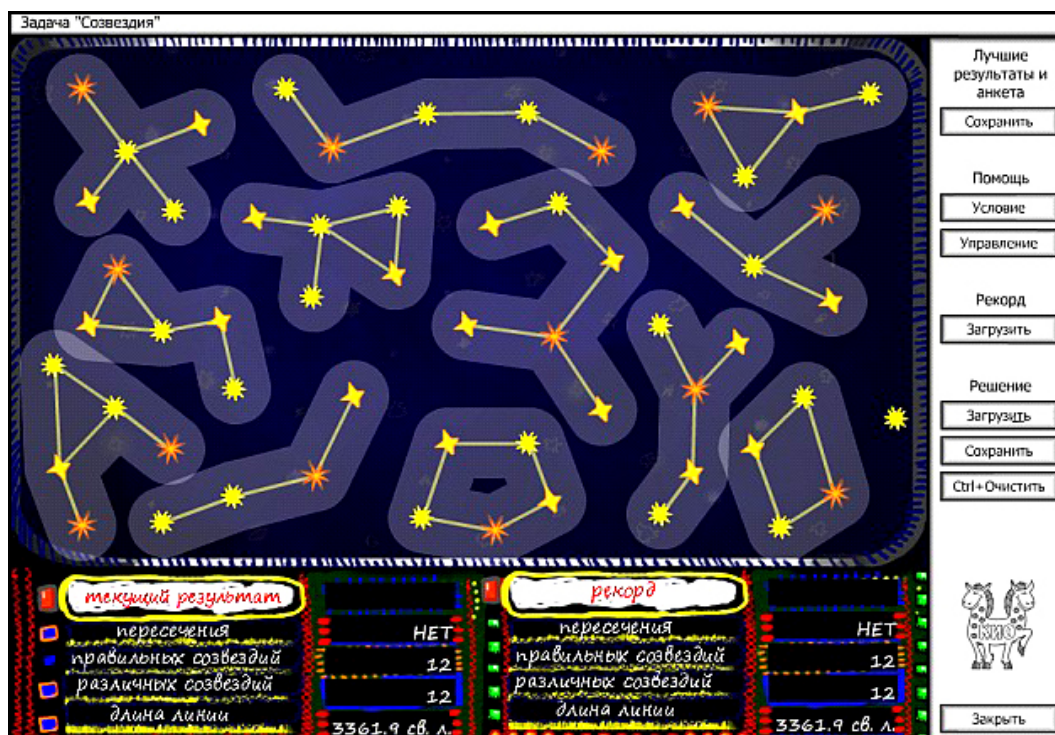


Рис. 1. Интерфейс задачи «Созвездия»

человек подсознательно разбивает группу на подгруппы с меньшим количеством элементов.

4. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ «СОЗВЕЗДИЯ»

Приведём краткое описание сюжетной задачи (полное описание можно найти в приложении). В этой задаче участникам соревнования предлагается самим выделить на «звездном небе» созвездия, соединяя звезды отрезками с помощью мышки. Отрезки не должны пересекаться. Созвездие должно содержать не менее 2 (для начального и 4, 5 — для 1 и 2 уровней) звезд и не более одного цикла (замкнутой ломаной — многоугольника).

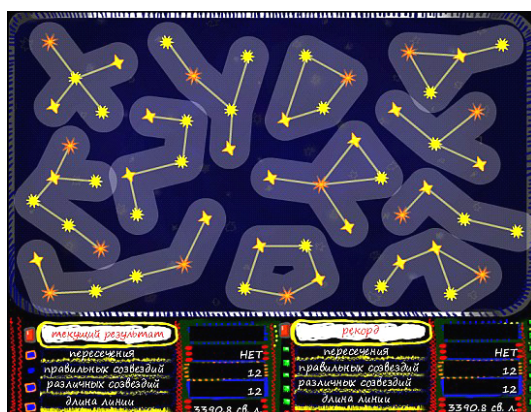
1. Чем больше разных созвездий удастся построить, тем лучше. Как узнать, являются ли два созвездия одинаковыми? Звезды одинаковых созвездий можно занумеровать так, что если две звезды одного созвездия соединены отрезком, то звезды с такими же номерами другого созвездия тоже будут соединены отрезком (см. рис. 2). Если созвездия представить сделанными из проволоки, то одинаковые созвездия получатся друг из друга изгибами проволоки в узлах и растяжением/сжатием отрезков.
2. Если новых форм созвездий построить не удастся, то лучшим считается результат с большим числом всех созвездий (включая одинаковые).
3. Два решения с одинаковыми числами разных созвездий и всех созвездий (включая одинаковые) сравниваются по сумме длин отрезков. Лучшее решение имеет меньшую сумму.



(а) 1 место



(б) 2 место



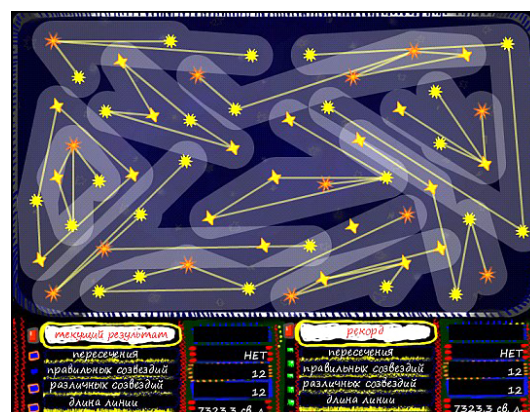
(в) 3 место



(г) 8 место



(д) 100 место



(е) 227 место из 666 (последнее с максимальным количеством неизоморфных графов)

Рис. 2. Лучшие решения 1 уровня по 1 критерию (число различных — неизоморфных планарных связанных графов-созвездий)

Проведём качественный анализ решений задачи «Созвездия» для 1 уровня (5–8 классы).



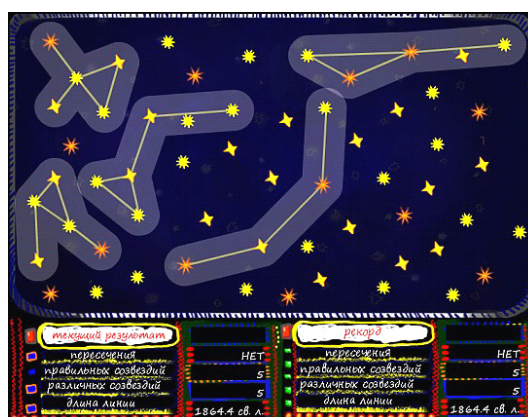
(а) 500 место из 666 (8 различных графов — изоморфных нет)



(б) 575 место из 666 (6 различных графов — изоморфных нет)



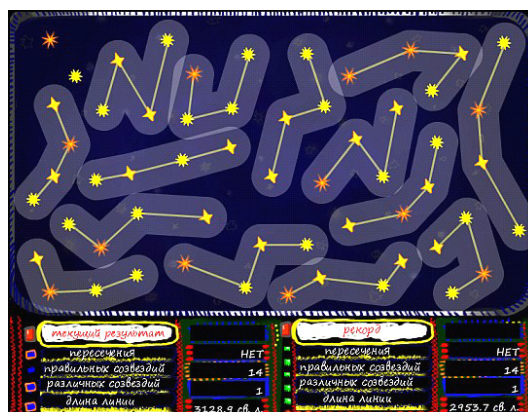
(в) 580 место из 666 (5 различных графов — среди построенных есть изоморфные)



(г) 600 место из 666 (5 различных графов — изоморфных нет)



(д) 650 место из 666 (2 различных графа — среди построенных много изоморфных)



(е) 658 место из 666 (все графы изоморфны)

Рис. 3. Примеры решений 1 уровня, в которых не достигнут максимум по главному критерию

Всего было представлено 666 решений. На рисунках (рис. 2 и 3) представлены примеры решений, которые в совокупности показывают степень глубины проникновения в существо задачи участниками конкурса. Из 666 участников 227 человек (34%) суме-

ли найти оптимальное число «созвездий» — построить граф из неизоморфных планарных компонент, каждая из которых имеет не менее 4 вершин (рис. 2). Чем отличается начало списка решений этих участников от его конца? Ответ после анализа решений: степень учета критерия минимальности построенного графа (минимальность суммы длин рёбер). Особенно хорошо это видно из последнего 227 решения, в котором явно требование минимальности не учтено. Заметим, что известные «жадные» алгоритмы (например, алгоритм Краскала) здесь не применимы явно, так как не учитывают главное требование — учёт различия (неизоморфность) строящихся компонент.

Качественный анализ решений показывает, что в процессе решения практически все участники (более 90%) постепенно овладели представлением изоморфности графов (рис. 2, 3). Только в последних по рейтингу решениях видно, что участники в большей степени ориентировались на второй – подчинённый – критерий – число компонент графа. Заметим, что в лучших решениях использованы не все «звёзды». Требование построения графа на всех вершинах не ставилось, однако только небольшая часть участников искали оптимум на более широком множестве вариантов (и лучшие два решения лежат именно в дополнении до этого множества).

5. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ «СОЗВЕЗДИЯ»

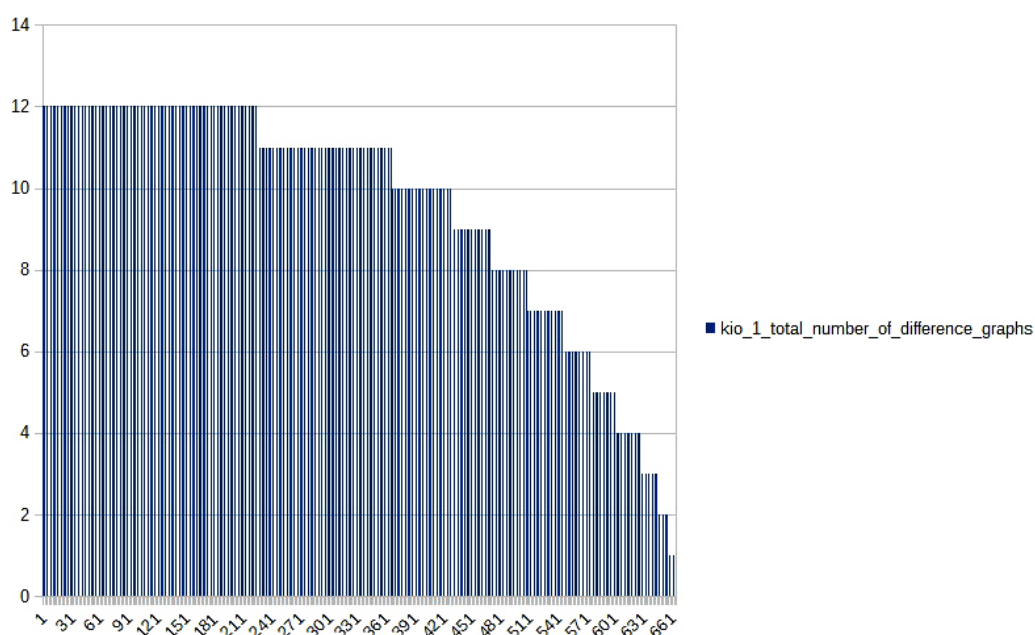


Рис. 4. Число различных (неизоморфных) графов в решениях задачи «Созвездия» 1 уровня

В задаче «Созвездия» при лучшем значении главного критерия (количество неизоморфных графов) автоматически достигалось и лучшее значение по второму (общее число построенных графов) (рис. 4 – 6). В этом случае хороший разброс результатов давал третий критерий — суммарная длина рёбер построенного плоского графа (рис. 8, 9). В то же время видно, что второй критерий играл всё большую роль при уменьшении числа построенных неизоморфных графов (рис. 6, 7). Нужен ли был в такой ситуации критерий

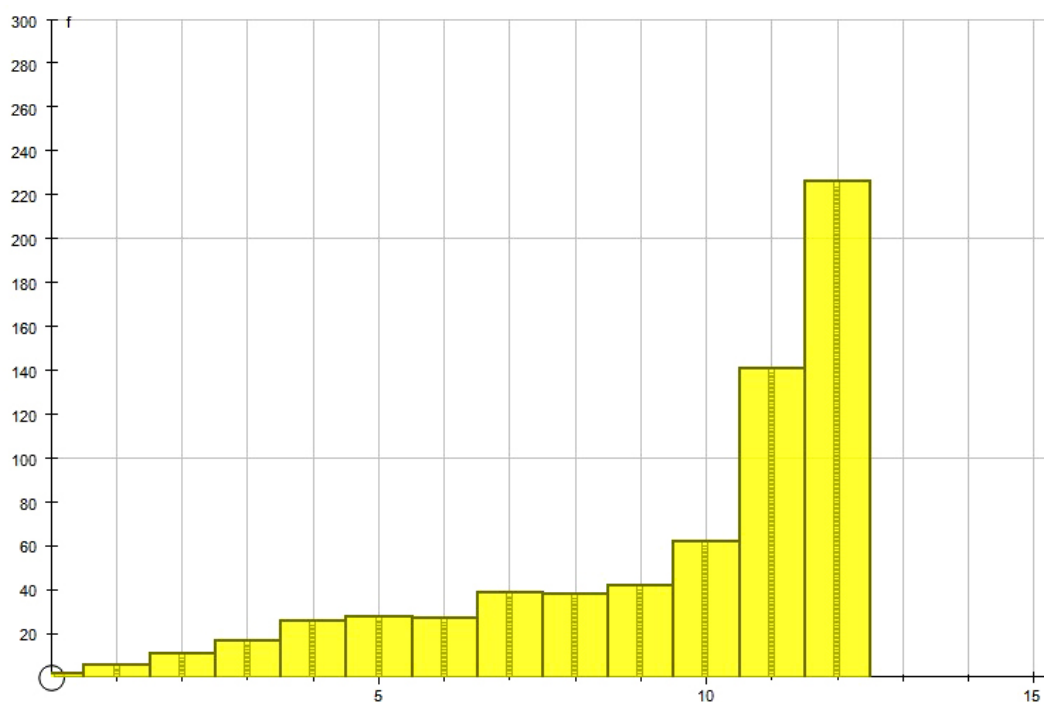


Рис. 5. Распределение частот построенных различных (неизоморфных) графов в решениях задачи «Созвездия» 1 уровня

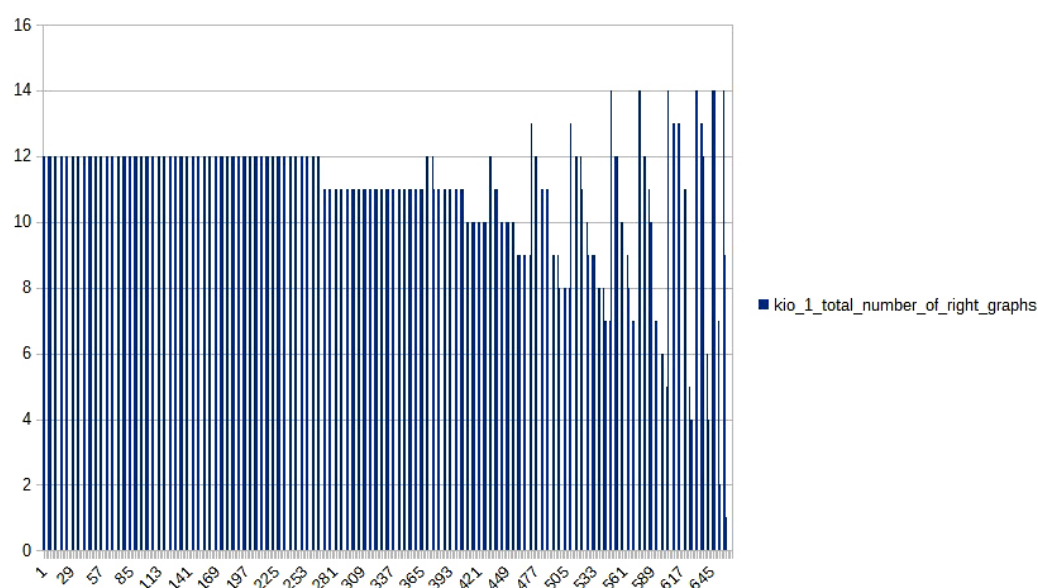


Рис. 6. Число всех построенных графов в решениях задачи «Созвездия» 1 уровня, результаты упорядочены по убыванию количества неизоморфных графов (главный критерий)

«общее число построенных графов»? С точки зрения получения разброса результатов в широком диапазоне, достаточны 1 и 3 критерии, однако, с точки зрения поддержки самостоятельной работы, второй критерий важен, так как он гораздо нагляднее третьего

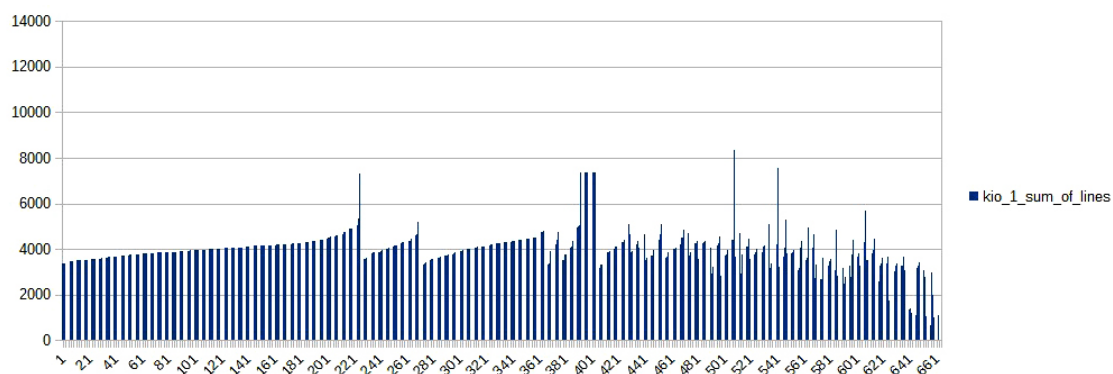


Рис. 7. Длины построенных графов в решениях задачи «Созвездия» 1 уровня, результаты упорядочены по убыванию количества неизоморфных графов и количества всех графов (более важным критериям)

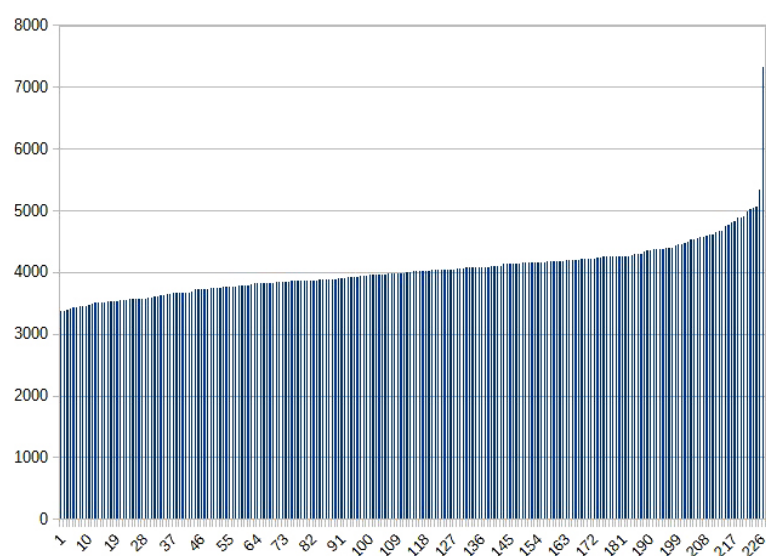


Рис. 8. Длины построенных графов в решениях задачи «Созвездия» 1 уровня для максимально возможного количества неизоморфных графов (12)

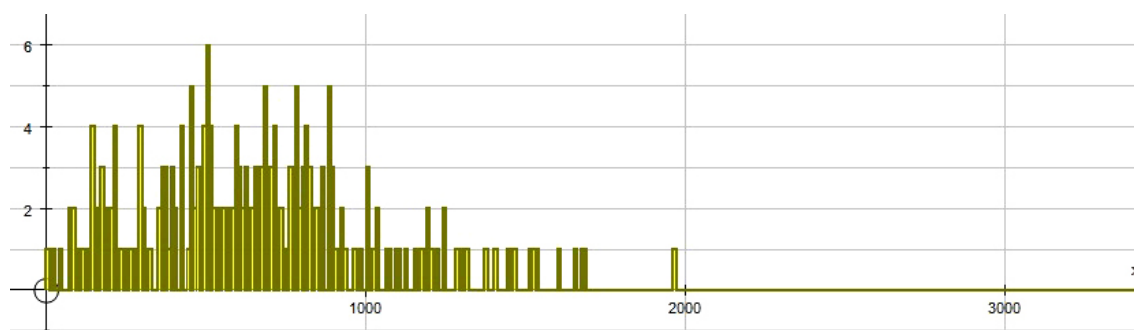


Рис. 9. Диаграмма частот отклонений длин построенных графов от наилучшего в решениях задачи «Созвездия» 1 уровня для максимального возможного количества неизоморфных графов (гистограмма сгруппированных по 10 данным)

критерия (количество построенных графов — первое, что видно решающему, суммарная длина рёбер — параметр, который трудно оценить визуально, и он играет меньшую роль в обратной связи).

Перечислим кратко результаты, полученные после анализа решений:

1. Практически все участники (99%) получили частичные решения поставленной задачи, что говорит о доступности сюжета для учеников.
2. Решения участников показывают, что более 90% участников не только освоили понятие графа (вершины, рёбра) и научились строить графы с разными свойствами (плоские, со связными компонентами), но и правильно сформировали представление об изоморфности графов.
3. Более 30% участников сумели оптимизировать решение по главному критерию (построили граф с максимально возможным числом неизоморфных компонент), и большинство из них сформировали представления о построении минимальных стягивающих графов.
4. Поставленная задача содержала элементы нерешённой исследовательской задачи. Два найденных лучших решения (разных) лежат в неочевидной области множества решений — используют не все точки («звёзды») в качестве вершин графа.

6. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ДИСТАНЦИОННОГО КОНКУРСА «КОНСТРУИРУЙ, ИССЛЕДУЙ, ОПТИМИЗИРУЙ» С АНАЛОГАМИ

Будем использовать параметры, выделенные в процессе анализа различных дистанционных конкурсов по математике, информатике и физике («Бобёр» — Международный конкурс по теоретической информатике, который проводится более чем в 30 странах, Инфознайка — российский конкурс по информатике, экспериментальная олимпиада по физике ИТМО, Интернет-конкурсы на сайте МетаШкола, Олимпиады по занимательной математике «Сократ» на сайте Математика он-лайн, IQ-Champion — Всероссийская он-лайн площадка для школьников и педагогов). Для простоты оценим наличие или отсутствие важных для нашего исследования признаков:

- 1) тип ответа: задача на выбор ответа или задача на ввод ответа в контексте задачи («–» задачи на выбор ответа; «+» — задачи с вводом ответа-решения в контексте задачи);
- 2) интерактивная или не интерактивные («–» задачи не интерактивная; «+» — задачи интерактивные);
- 3) процент типовых задач в противоположность оригинальным, нестандартным — «олимпиадным» задачам («–» — нестандартных задач меньше половины, «+» — больше половины);
- 4) являются ли задачи головоломками или иллюстрируют важные математические идеи (процент не головоломок) («–» — нестандартные задачи в основном являются головоломками; «+» — нестандартные задачи отражают фундаментальные предметные идеи);
- 5) наличие явных критериев, по которым оценивается задача или, иначе, возможность многократного улучшения решения («–» — решение можно улучшать за счёт обратной связи с системой);
- 6) сколько имеется различных решений, которые оцениваются системой как частичные решения («–» — система не оценивает частичные решения, и спектр возмож-

- ных вариантов ответа-решения невелик, «+» — система оценивает частичные решения, и свобода ввода ответа-решения велика);
- 7) служит ли конкурс популяризации новых идей, которые не входят в школьную программу, служит ли конкурс введению учеников в область нерешенных математических задач («–» — конкурс не вводит ученика в область новых идей и нерешенных идей, «+» — конкурс является инструментом популяризации новых предметных идей);
 - 8) допускают ли материалы использование офф-лайн («–» — не допускают, «+» — допускают);
 - 9) являются ли материалы свободными после проведения конкурса, чтобы учитель мог использовать их на уроке («–» — не являются свободными, «+» — учитель может использовать материалы на уроках);
 - 10) вводит ли ученик объяснение найденного решения («–» — нет; «+» — да);
 - 11) возможность командного решения задач (обсуждения с товарищами, родителями, учителями) («–» — нет; «+» — да);
 - 12) ограничения на время выполнения заданий («–» — задача рассчитана на быстрое решение; «+»«–» — задача исследовательская и может обдумываться в течение продолжительного времени).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Бобёр	–	–	+	+	–	–	+	–	+	–	+	–
Инфознайка	–	–	–	–	–	–	–	+	+	–	–	–
Эксп. олимп. по физике	+	+	+	+	+	–	–	–	+	–	+	–
МетаШкола	+	+	+	–	+	–	–	–	+	–	–	–
Сократ	–	–	+	+	–	–	+	–	–	–	–	+
IQ-Champion	–	–	+	–	–	–	+	–	+	–	–	–
КИО	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+

Сравнивая разработанные задачи и их использование для проведения дистанционных конкурсов, можно отметить, что предложенный подход позволил в конкурсах по математике и информатике реализовать те положительные стороны, которые имелись у экспериментальных конкурсов по физике: ввести в рассмотрение нестандартные задачи, требующие поисковой активности и исследований, не являющихся головоломками. Более того, по нескольким параметрам предложенные задачи дают новые возможности, не реализованные в других предметных конкурсах — оценка частичных решений в процессе решения обеспечила возможность автоматизация обратной связи с участником конкурса и поддержка его поисковой работы в течение продолжительного времени.

7. ВЫВОДЫ

Предложенный подход к построению заданий конкурса позволяет:

- 1) участвовать в нём практически всем ученикам и получать положительные результаты, сделав продвижение в понимании условия задачи и построении частичного решения;
- 2) обеспечить поддержку самостоятельной работы и индивидуальных маршрутов в экспериментальной работе с сюжетом;

- 3) обеспечить формирование представлений о математических теориях, лежащих в основе сюжетов;
- 4) поддерживать исследовательскую деятельность в нахождении новых (и заранее неизвестных авторам) решений поставленных задач.

Список литературы

1. Кулюткин Ю.К. Эвристические методы в структуре решений. М.: Педагогика, 1970.
2. Фридман Л.М. Эвристика и педагогика // Сов. Педагогика. 1971. № 9. С. ???
3. Хуторской А.В. Эвристические методы как инструмент инновационного обучения // Инновации в общеобразовательной школе. Методы обучения. Сборник научных трудов / Под ред. А.В.Хуторского. М.: ГНУ ИСМО РАО, 2006. С. 108–118.
4. Махмутов М.И. Организация проблемного обучения в школе. Книга для учителей. М.: Просвещение, 1977.
5. Пойа Д. Математическое открытие. М.: Наука, 1970.
6. Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. М: Наука, 1979.
7. Назаров М.М., Поздняков С.Н. Компьютерное моделирование физических явлений на уроках физики и информатики. Метод. рек. Ош. 1991. (???)
8. Пейперт С. Переворот в сознании. Дети, компьютеры и плодотворные идеи: Пер. с англ. М.: Педагогика, 1989.
9. Сгибнев А.И. «Экспериментальная математика» / «Математика». 2007. № 3. С. 2–8. (<http://www.mcsme.ru/nir/uir/exp.pdf>).
10. Башмаков М.И., Поздняков С.Н., Резник Н.А. Информационная среда обучения. Монография. СПб: СВЕТ, 1997.
11. Поздняков С.Н. Моделирование информационной среды как технологическая основа обучения математике / Дисс. на соискание ученой степени доктора педагогических наук по специальности 13.00.02 — теория и методика обучения математике, Москва, 1998.
12. Майтараттанакон А., Посов И.А. Автоматизация проведения дистанционных соревнований, основанных на исследовательских сюжетах по математике и информатике // Компьютерные инструменты в образовании, 2014. №6. С. 45–51.
13. Майтараттанакон А. Проведение конкурса «Конструируй, исследуй, оптимизируй» в Таиланде // XIX Международная научно-методическая конференция «Современное образование: содержание, технологии, качество»: материалы конференции. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ленина, 2013. Т. 1. С. 239–241.
14. Акимушкин В.А., Майтараттанакон Атхит. Технологии автоматизации работы с исследовательскими задачами на примере задачи «Часы-календарь» // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. №4. С. 34–42.
15. Розенфельд Б. «Откуда произошли названия звёзд и созвездий» // Квант, 1970. № 10. С. 32–36.

TECHNOLOGY OF PROBLEMS MAKING FOR SUPPORTING OF EXPERIMENTAL AND RESEARCH ACTIVITIES IN THE FRAME OF REMOTE COMPETITIONS

Athit Maytarattanakhon

Abstract

The article presents the model of tasks in mathematics and informatics intended for constructing a computer support of experimental and research activities of students. This approach was implemented in "Construct, Test, Explore" distant competition. Qualitative and quantitative analysis of results of experiment is given.

Keywords: *automation of competitions, information technologies in education, learning mathematics and informatics.*



Наши авторы, 2016.
Our authors, 2016.

Атхит Майтараттанакон,
аспирант СПбГЭТУ «ЛЭТИ», учитель в
школе Амнуайсилпа, (Бангкок, Тайланд),
seaay2499@gmail.com