

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)

УДК 37.378

Вклад кафедры математического моделирования в российское олимпиадное движение

А.Е. Вестфальский, Г.В. Крупин

Статья посвящена особому олимпиадному виду деятельности кафедры математического моделирования НИУ «МЭИ» как среди студентов, так и среди потенциальных абитуриентов. Большое внимание уделено работе со школьниками, выполняемой при проведении олимпиады «Надежда энергетики» как по математике, так и по комплексу дисциплин (физика, математика, информатика). Данная олимпиада ежегодно получает высокие экспертные оценки Российского совета олимпиад школьников и включена в перечень Олимпиад школьников Министерства образования и науки РФ, дающих право на льготы при поступлении в вузы.

Ключевые слова: олимпиада «Надежда энергетики», поиск талантливой молодежи, междисциплинарные задачи, популяризация инженерно-технического образования.

Для цитирования: Вестфальский А.Е., Крупин Г.В. Вклад кафедры математического моделирования в российское олимпиадное движение // Вестник МЭИ. 2017. № 5. С. 88—93.

The Contribution the MPEI's Mathematical Modeling Department Makes in the Academic Competition Movement in Russia

A.E. Vestfal'sky, G.V. Krupin

The article describes a specific area of activities the Mathematical Modeling Department of the Moscow Engineering Institute National Research University conducts with the students, including prospective ones, on involving them in academic competitions. Much attention is paid to the work conducted with school pupils in holding the academic competition called "Power Engineering Aspiration" both in mathematics and other disciplines (physics and informatics). These competitions receive every year high assessments of the experts from the Russian Council of Academic Competitions among school pupils and have been included by the Russian Federation Ministry of Education and Science in the List of Academic Competitions among school pupils the participation in which gives advantages in matriculating to higher schools.

Key words: academic competition «Power Engineering Aspiration», search for gifted youth, interdisciplinary problems, popularization of engineering education.

For citation: Vestfal'sky A.E., Krupin G.V. The Contribution the MPEI's Mathematical Modeling Department Makes in the Academic Competition Movement in Russia. MPEI Vestnik. 2017;5: 88—93. (in Russian).

Любая выпускающая кафедра гордится высоким уровнем своих выпускников, подтвержденным качеством их выпускных работ, но остается вопрос: можно ли оценивать студентов на более ранних этапах обучения? Самым наглядным свидетельством оценки в данном случае являются их успехи на межвузовских предметных олимпиадах.

На протяжении более чем десяти лет кафедра математического моделирования (ММ) регулярно формирует сборную команду студентов НИУ «МЭИ» для участия в Московской городской олимпиаде по математике среди студентов технических вузов, а также во

Всероссийской студенческой олимпиаде по математике среди студентов технических, экономических и математических специальностей технических вузов. Команда состоит преимущественно из студентов направления подготовки «Прикладная математика и информатика», иногда в нее вливаются представители других направлений.

Стоит отметить, что результаты выступлений регулярно бывают высокими. Каждый раз команда возвращается с дипломами за призовые места в командном или в личном первенстве, успешно конкурируя с ведущими техническими учебными заведениями г. Моск-

вы. Как минимум десять лет подряд сборная команда НИУ «МЭИ» попадает в тройку призеров на Московской городской олимпиаде. В частности, на последней из проведенных (апрель 2016 г.) она заняла первое командное место, разделив его со сборной МИЭТ, также восемь студентов НИУ «МЭИ» завоевали призовые места в личном зачете (включая два первых места). Столь же высокие результаты характерны для выступлений на всероссийском уровне: первое командное место было взято в 2015 г. на соревнованиях в г. Уфе.

Столь высокие результаты можно, безусловно, считать отражением уровня преподавания математических дисциплин, осуществляемого кафедрой. Важно подчеркнуть, что высокий уровень достигается во время обучения естественным образом: студенты постоянно имеют дело с интересными, новыми для них задачами, требующими творческого осмысления и смекалки. Поначалу они носят учебный характер, а затем в них добавляется все больше исследовательских элементов, и они переходят в научно-исследовательскую работу.

Следует указать и другие причины успехов студентов. Важную роль играет базовый уровень поступающих. За шесть лет обучения многое может измениться, однако если выпускник школы приучен к умственному труду, если он не боится размышлять над задачами и умеет заставлять себя делать это, то он с большей вероятностью проявит интерес к обучению и выполнит выпускную работу, интересную как ему самому, так и его руководителю, а возможно, даже научному сообществу, поэтому работа в системе довузовского образования должна занимать приоритетное место среди разнообразных видов деятельности кафедры.

Наиболее трудоемким и интересным делом подобного характера на текущий момент является олимпиада школьников «Надежда энергетики», в проведении которой активно участвуют некоторые преподаватели кафедры ММ.

Историю олимпиады надо вести с тех времен, когда институты имели возможность сами определять содержание вступительных испытаний. Начиная с 1992 г., в НИУ «МЭИ» проводились олимпиады по физике и математике, позволявшие победителям и призерам еще до начала приема документов иметь некоторые преимущества при зачислении. За прошедшие годы олимпиада из внутреннего мероприятия превратилась во всероссийское, обрела партнеров среди учебных заведений, промышленных и коммерческих компаний и с 2010 г. носит название олимпиады школьников «Надежда энергетики». Ее организаторами являются: НИУ «МЭИ», Ивановский государственный энергетический университет (ИГЭУ), Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ), Сибирский федеральный университет (СФУ). В настоящий момент олимпиада проводится по общеобразовательным предметам: математике, физике, информатике, а также по комплексу дисциплин. Участвовать в ней могут школь-

ники 7—11 классов (по информатике и комплексу предметов — с 9 по 11 классы). Олимпиада проходит в два этапа: по результатам отборочного тура определяются финалисты, соревнующиеся друг с другом на заключительном этапе.

Можно смело утверждать, что она имеет всероссийский масштаб. Территория расположения площадок проведения очных мероприятий отборочного этапа охватывает около десяти регионов в европейской части страны, Урал, Красноярский край и несколько соседних регионов. Кроме того, для желающих имеется возможность принять участие в отборочном этапе заочно. Их работы (рукописи) принимаются по почте России с отслеживанием времени выполнения по штемпелю на почтовом отправлении.

В организации и проведении олимпиады задействованы сотрудники многих кафедр НИУ «МЭИ». Так, работа методических комиссий (подготовка олимпиадных заданий) и жюри (оценивание работ участников) обеспечивается сотрудниками кафедр общей физики и ядерного синтеза (физика), прикладной математики и вычислительных машин, систем и сетей (информатика), математического моделирования и высшей математики (математика), математического моделирования и прикладной математики (комплекс предметов). Среди сотрудников кафедры ММ за организацию олимпиады отвечают: заместитель председателя организационного комитета — доцент Д.А. Титов, ответственный секретарь организационного комитета — старший преподаватель Г.В. Крупин. Большую роль в формировании и поддержании нынешнего математического облика мероприятий сыграл и продолжает играть заместитель председателя методической комиссии по математике доцент Д.Г. Мещанинов. Следует отметить вклад в общее дело председателя жюри по математике доцента А.Е. Вестфальского, который помимо математики активно участвует в разработке заданий по комплексу дисциплин. Наконец, нельзя обойти молчанием участие доцента О.Н. Булычевой, а также коллег из ИГЭУ, КГЭУ, СФУ и некоторых сотрудников кафедры высшей математики в работе методической комиссии по математике и работу доцента О.А. Амосовой над проведением выездных мероприятий.

В текущем учебном году по всем трем общеобразовательным дисциплинам олимпиада входит в перечень олимпиад школьников Минобрнауки России, дающих право на льготы при поступлении в вузы. Конкретный вид льгот определяется вузами самостоятельно, но следует отметить, что в НИУ «МЭИ» преференции весьма существенны (в зависимости от успехов участника), вплоть до зачисления по категории «без вступительных испытаний».

Подобные мероприятия, несомненно, полезны как для привлечения абитуриентов (одинадцатиклассников) высокого уровня, так и внимания к самому учебному заведению среди учащихся средних классов

(будущих абитуриентов). Более того, проведение собственной олимпиады положительно сказывается на имидже учебного заведения в целом как на местном, так и региональном уровнях.

В текущем году в олимпиаде по математике приняли участие более 3700, по физике — более 2700, по информатике — более 800 участников. Интересно, что за прошедшие шесть лет наблюдается серьезное увеличение числа участников из невыпускных классов (7—10). В текущем году их количество на олимпиадах по математике и физике составило около 66 %, а на олимпиаде по информатике — около 50 % от общего количества. Для сравнения, в 2010 г. участников из 10-го класса было около 15 %, а из 7—9-го классов не было совсем. Участники олимпиады текущего сезона 2016/2017 учебного года (по всем дисциплинам) представляют 67 регионов России.

Согласно статистике, за последние годы по поступающим в НИУ «МЭИ» участникам олимпиады школьников «Надежда энергетики» их число составляет несколько сотен человек ежегодно.

Кроме непосредственной пользы для отдельного вуза, нельзя забывать также о деле углубления и расширения стандартного школьного образования. Современное олимпиадное движение (по некоторым дисциплинам школьной программы, в том числе по математике) начиналось в СССР еще в довоенные годы. Оно имеет давние традиции, от которых ни в коем случае не следует отказываться. Именно на олимпиаде могут проявиться творческие способности учащихся, их «вольный дух», желание побороться со сложной задачей, осознание связей между отдельными дисциплинами. Все это порой ускользает во время школьных уроков. Даже если участник не достигнет успехов в первый раз, он, скорее всего, соприкоснется с неизведанным, откроет для себя что-то новое, и когда-нибудь это даст свои плоды. По крайней мере, организаторам олимпиады следует в это верить. Фактически основная цель, преследуемая организаторами олимпиады, состоит в том, чтобы те школьники, которые могут больше, чем им предлагает школа, почувствовали и осознали это как можно раньше.

Стоит отметить, что в целях непрерывной работы с талантливой молодежью с 2017 г. стартовала открытая студенческая олимпиада «Надежда энергетики».

Олимпиада по математике в своем нынешнем виде представляет собой нестандартное (по школьным меркам) испытание. Прежде чем переходить непосредственно к заданиям, отметим один важный момент, который при разработке этих заданий всегда следует держать в голове.

Успешное выступление на олимпиаде (особенно, дающей право на льготы при поступлении в вуз) является важным событием для школьника и в некоторых случаях может повлиять на его дальнейший жизненный путь. Это делает процесс проверки решений олим-

пиадных задач очень ответственным и небыстрым делом. Задачи, предлагаемые участникам, как правило, требуют для своего решения «красивых» поворотов мысли, творческого применения школьных знаний. Поэтому важно не просмотреть в записях участников свежие идеи, даже если решение не доведено до конца. Отметим, что проверка олимпиадных работ не идет ни в какое сравнение с проверкой типовых расчетов или контрольных работ студентов. Соответственно сами задачи должны быть такими, чтобы позволять эти идеи в решениях увидеть.

Составление набора вариантов заданий для одного этапа олимпиады — сложный творческий процесс, часто стремящийся поглотить все свободное время составителя. Все предлагаемые задачи носят оригинальный характер и имеют уникальные формулировки, что подтверждено многими экспертными оценками Российского совета олимпиад школьников. Отдельно следует отметить высокую оценку литературной формулировки условий, ни одна задача не повторялась дважды, более того, ни одна задача не являлась простой переформулировкой какой-либо из известных ранее задач. Даже в тех случаях, когда в задаче разрабатывается известная общая идея, для нее всегда должны быть найдены новое оригинальное применение и сюжет. Дополнительную сложность вносит необходимость балансировки между рамками школьных знаний, за которые нельзя выходить, и нестандартность применения этих знаний при решении задачи, которую должен продемонстрировать участник. В итоге составление полного комплекта вариантов заданий (для одного этапа) как по кропотливой напряженной работе, так и по своей сложности и трудоемкости, вполне сопоставимо с написанием научной статьи.

Поскольку олимпиада проводится на нескольких площадках и работы проверяются в нескольких местах разными коллективами сотрудников, необходимо обеспечить их удобочитаемостью, ясностью по содержанию описаниями решений. Так возникает еще один вид деятельности — компьютерная верстка решений. Для каждого этапа необходимо набрать и сверстать тексты решений наборов из пяти задач отдельно для каждого из пяти классов (с 7-го по 11-й), при этом каждая задача дается в четырех вариантах. Как показывает опыт, для одного потока (а в общей сложности ежегодно проводится 4 — 5 потоков отборочного и один поток заключительного этапа) получается от 30 до 40 страниц машинописного математического текста, насыщенного формулами и геометрическими чертежами. Трудоемкость подготовки одного такого комплекта можно сопоставить с трудоемкостью написания учебно-методического пособия.

Очень важную роль в формулировке задачи играет ее сюжет. Как правило, любую задачу можно представить как описание некоторой жизненной ситуации

и предложить участникам проанализировать не абстрактную функцию или геометрическую фигуру, но математическую модель с ответом, имеющим прикладной смысл. Интересный, захватывающий литературный сюжет задачи придает дополнительный стимул, подстегивает участника олимпиады быстрее узнать, что же будет в ответе. Давно известно, что гораздо интереснее искать не то, чему равен x , а сколько пирожков с русским духом успеет съесть первоклассник Горыныч. Яркая литературная обработка задач олимпиады отмечается во многих экспертных оценках. Она стала своеобразной визитной карточкой, и эту традицию следует сохранять.

Работа по описанным направлениям почти полностью лежит на перечисленных выше сотрудниках кафедры ММ.

В качестве изюминки приведем несколько задач разного уровня. В них сознательно не указаны классы, для которых задачи предназначены. Часто задачи бывают таковы, что их можно предлагать школьникам любого возраста (например, задачи из области комбинаторики или теории чисел). Опыт показывает, что далеко не всегда старшие классы справляются с такими задачами лучше средних.

Трудности, которые приходится преодолевать участникам олимпиады по математике, носят различный характер. В одних случаях могут требоваться знания или вывод некоторых новых не совсем очевидных свойств (задача 7). В других нельзя обойтись без умения внимательно читать и осознать прочитанное (задача 3). А иногда трудности могут оказаться психологического характера (задача 1 — решая эту технически несложную задачу, некоторые участники отвергали правильный ответ).

Задача 1. Совет директоров одной компании решил организовать дело так, чтобы прибыль ежемесячно менялась как арифметическая прогрессия. Господин Боссов пожелал, чтобы прибыль за n -й месяц составила m миллионов рублей (n, m — различные натуральные числа). Господин Ржевский спешил в театр и не хотел углубляться в расчеты. Он высказался коротко: пусть тогда прибыль за m -й месяц будет n миллионов рублей. На том директора и разошлись. Какую прибыль следует ожидать компании за $(m + n)$ -й месяц?

Задача 2. У людоедки Эллочка 11 шубок и 19 шляпок. Пользуясь связями со своими товарками, она может совершать в любом количестве следующие операции:

- увеличить на 2 число шубок и одновременно уменьшить на 1 число шляпок;
- увеличить на 1 число шубок и одновременно увеличить на 2 число шляпок;
- уменьшить на 2 число шубок и одновременно увеличить на 1 число шляпок;
- уменьшить на 1 число шубок и одновременно уменьшить на 2 число шляпок.

Может ли Эллочка, совершая такие операции, добиться, чтобы у нее оказалось 37 шубок и 43 шляпки?

Задача 3. Усеченной разностью чисел x и y называется операция $x \dot{-} y$, результат которой равен обычной разности $x - y$, если $x \geq y$, и нулю, если $x < y$. Решите

$$\text{систему уравнений } \begin{cases} 2x \dot{-} y = 0; \\ x + 2y = 1. \end{cases}$$

Задача 4. Распределительная подстанция связана линиями электропередач с несколькими предприятиями. Известно, что среди любых трех линий обязательно есть одна, идущая на некоторое предприятие города M . А среди любых четырех обязательно есть линия, ведущая на какое-либо предприятие поселка P . Если же выбрать наугад пять линий, то какое максимальное количество среди них могут идти и не в город M , и не в поселок P ?

Задача 5. Решите уравнение $2^{\lceil \sin x \rceil} = 3^{1 - \cos x}$, в котором $\lceil a \rceil$ означает целую часть числа a .

Задача 6. В Цветочном городе цены на все товары выражаются целым числом фантиков. Незнайка решил провести денежную реформу: все прежние деньги отменить, а ввести лишь две новые монеты достоинством 5 и 6 фантиков. Можно ли, пользуясь этими монетами, набрать сумму для покупки без сдачи такой же, как у Незнайки, шляпы ценой 31 фантик и воздушного шара ценой 654 321 фантик? Ознакомившись с предложением Незнайки, Знайка, немного подумав, понял, что придется изменить некоторые цены. Какие?

Задача 7. У ученика Пети Безручкина на калькуляторе работают кнопки сложения и вычитания, кнопки остальных арифметических операций неисправны. Можно ли, пользуясь таким калькулятором, выяснить, является ли произвольное натуральное число N точным квадратом и, если это так, вычислить квадратный корень из N ? Сколько раз при этом придется нажимать клавиши сложения и вычитания? Дайте как можно более точную оценку минимально необходимого суммарного количества нажатий обеих клавиш.

Особое внимание заслуживает олимпиада по комплексу дисциплин. Задания этого типа формулируются так, что для их решения необходимо использовать междисциплинарные подходы, и этим они существенно отличаются от стандартных задач олимпиад по общеобразовательным предметам. В понимании авторов этот вид состязаний не должен состоять из механической смеси задач по разным предметам, но являться единым испытанием, которое невозможно пройти без знания физики, без хорошего владения математическим аппаратом, а также без умения применять компьютер для проведения расчетов.

Олимпиада по комплексу дисциплин — это попытка привить школьникам инженерную культуру мышления, показать, что на реальность можно и нужно смотреть с более широкого ракурса, чем тот, что предлагает конкретная общеобразовательная дисциплина. На взгляд организационного комитета, именно за таки-

ми олимпиадами будущее с точки зрения популяризации инженерно-технического образования.

Нашим участникам предлагается одна задача, в процессе решения которой они должны построить математическую модель явления, пользуясь известными из школьной программы законами физики. Затем необходимо разработать вычислительный процесс и выполнить его на ЭВМ. Для реализации большинство участников могут выбрать, например изучаемый в школе язык программирования. При составлении задач числовые данные и используемые закономерности подбираются таким образом, чтобы получался объем вычислений, который невозможно выполнить вручную за время, отводимое на решение.

В качестве классического примера подобной задачи можно привести расчет траектории движения тела переменной массы (например, реактивного движения ракеты, масса которой уменьшается по мере сгорания топлива). По большому счету, для описания этого процесса нужен только второй закон Ньютона. Однако тот факт, что масса (и, следовательно, ускорение) меняется со временем, может оказаться для школьника большой неожиданностью. Если же участник олимпиады догадается разбить все движение на множество небольших по продолжительности интервалов, в течение которых масса и ускорение будут считаться неизменными (некоторые подсказки об этом могут быть даны в условии), то он сможет произвести приближенный расчет и получить требуемые результаты. По сути дела, потенциальный победитель применит простейший численный метод интегрирования дифференциального уравнения, ничего не подозревая об этом.

Однако большой объем вычислительной работы может потребоваться и в задачах, не выходящих вовсе за рамки школьных знаний. Ниже приводится пример задачи, выданной не так давно на олимпиаде по комплексу предметов.

Задание. Одна из легенд Северомуйского тоннеля рассказывает о бригадире-оптимизаторе Вениамине, у которого «кабель сам разматывался, а рельсы сами прокладывались». «С какой хотите силой толкните бобину, — говорил он, — и если кабель будет разматываться, то она разгонится до безобразия».

Попробуем смоделировать такой процесс.

Пусть на бобину (катушку без бортиков) радиусом $R = 0,75$ м намотан гибкий кабель (дан рисунок). Масса единицы длины кабеля $m = 1$ кг, длина кабеля $L = 100$ м. Бобина катится по инерции без проскальзывания по горизонтальной поверхности. Кабель разматывается и ложится на плоскость. Пусть сначала, когда весь кабель был намотан на бобину, скорость центра бобины была равна $v = 0,1$ м/с. Пренебрегая радиусом поперечного сечения кабеля и массой бобины, определите:

1) во сколько раз изменится линейная скорость бобины, когда будет размотана четверть кабеля;

2) во сколько раз изменится линейная скорость бобины, когда будет размотана ровно половина кабеля;

3) сколько времени займет процесс разматывания половины кабеля.

Далее для участников следовали небольшие комментарии-подсказки о том, как построить вычислительный процесс.

Основную сложность помимо физически правильного описания представляет здесь то, что скорость зависит от положения бобины (пройденного ею расстояния), а время играет роль самостоятельного параметра, в явном виде в формулу для скорости не входящего. Для ответа на первый и второй вопросы достаточно подставить нужную длину размотавшейся части кабеля в выведенную предварительно формулу и получить ответ. Эти вопросы фактически являются подсказками о том, что нужно искать общую закономерность в зависимости скорости от координаты и затем использовать ее для ответа на третий вопрос. Числовой ответ на этот вопрос уже невозможно получить из одной простой формулы. Ее необходимо применять многократно, для чего требуется написать компьютерную программу. С алгоритмической точки зрения программа весьма проста и состоит из единственного цикла с несколькими операторами без ветвлений.

Опыт нескольких лет показал, что подобные задачи являются непростым испытанием для участников, тем не менее, почти всегда находятся такие, которым удастся осознать задачу в целом и пройти весь путь решения от анализа ситуации с помощью математики до получения ответа с помощью ЭВМ. Можно сказать, что им удается проявить синтетические инженерные способности.

Если немного пофантазировать и предположить, что вернувшись домой, участник обсудит задачу с кем-то из более опытных товарищей и увидит более широкую и более глубокую картину тех физических процессов, с которыми ему пришлось в этой задаче разбираться, то можно смело утверждать, что проведение олимпиады по комплексу дисциплин содержит элемент популяризации инженерного образования, в пользу и важности чего вряд ли следует сомневаться. Следует всячески приветствовать расширение как тематики задач, так и круга участников.

Основная цель, преследуемая организаторами олимпиады, состоит в том, чтобы те школьники, которые могут больше, чем им предлагает школа, почувствовали и осознали это как можно раньше, и задания олимпиады по комплексу дисциплин как нельзя лучше могут справиться с решением этой задачи.

Говорить об олимпиаде школьников «Надежда энергетики», как и о любом интересном деле, можно бесконечно. Вся недосказанную информацию и документы можно найти на официальном сайте олимпиады <http://www.energy-hope.ru> или в ее организационном

комитете, работающем на территории и на ресурсной базе центральной приемной комиссии НИУ «МЭИ». Организационный комитет и простые труженики олимпиады будут очень благодарны свежим идеям, новым помощникам и просто добрым словам в свой адрес.

Сведения об авторах

Вестфальский Алексей Евгеньевич — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического моделирования НИУ «МЭИ», председатель жюри олимпиады школьников «Надежда энергетики» по математике, e-mail: VestfalskyAY@mpei.ru

Крупин Григорий Владимирович — старший преподаватель кафедры математического моделирования НИУ «МЭИ», ответственный секретарь организацион-

ного комитета олимпиады школьников «Надежда энергетики», e-mail: KrupinGV@mpei.ru

Information about authors

Vestfal'sky Aleksey E. — Ph.D. (Phys.-Math.), Assistant Professor of Mathematical Modeling Dept., NRU MPEI, the Chairman of the Jury of the Olympiad «Hope energy» on the mathematics, e-mail: VestfalskyAY@mpei.ru

Krupin Grigoriy V. — Senior Lecturer of Mathematical Modeling Dept., NRU MPEI, Responsible Secretary of the Organizing Committee of the Olympiad «Hope energy», e-mail: KrupinGV@mpei.ru

Статья поступила в редакцию 23.03.2017