В. С. Бабаев

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ УРОВНЕЙ СЛОЖНОСТИ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Показана возможность априорного определения уровня сложности физических задач только по их условиям и решениям. Методики распределения задач по уровням сложности основаны на подсчете рангов факторов, влияющих на уровень сложности физических задач, и применении метода множественного регрессионного анализа с использованием уравнения регрессии.

V. Babaev

ON IDENTIFYING THE COMPLEXITY LEVEL OF PHYSICAL PROBLEMS

A possibility of a priori identifying complexity level of physical problems only by their conditions and solutions is explained. The methods of distribution of physical problems by levels of complexity are based on the calculation of ranks of factors influencing the level of complexity of physical problems and on the application of the method of multiple regression analysis using regression equation.

В работе рассмотрена возможность априорного определения уровня сложности физических задач, заключающаяся в анализе их условий и решений. Предложены методики распределения задач по уровням сложности, основанные на подсчете рангов факторов, влияющих на уровень сложности физических задач. Для проверки эффективности результатов такого распределения проводится сравнение разбиения рассмотренных задач по уровням сложности и трудности.

Под трудностью задачи мы понимаем субъективную оценку задачи субъектом, ее решающим. Трудность задачи определяется экспериментально с помощью коэффициента решаемости задачи $k = N_1/N$, где N_1 — количество правильных решений данной задачи, N — число ее предъявлений. В данном исследовании проанализированы результаты одного из вступительных экзаменов по физике в СПбГМТУ. Проведен сравнительный анализ трудности и сложности 35 задач по механике, которые предъявлялись абитуриентам от 20 до 32 раз. При разделении задач на три уровня трудности оказалось, что 9 задач (26%) относятся к простым задачам или к задачам базового уровня трудности *(уровня A)*, для которых $k \geq 2/3$; 17 задач (48%) являются задачами повышенного уровня трудности *(уровня B)*, для которых $1/3 < k < 2/3$, и 9 задач (26%) — задачи высокого уровня трудности *(уровня C)*, для которых $k \leq 1/3$.

Определение уровня сложности физической задачи состоит в определении наличия факторов, влияющих на сложность физической задачи [1, 2], в подсчете ранга каждого из факторов и суммы рангов факторов на отдельных этапах решения физической задачи и суммарного ранга всех факторов, который и является количественной характеристикой уровня сложности рассматриваемой

задачи. Для всех 35 задач были подсчитаны ранги факторов, а также их суммы на отдельных этапах решения задачи и сумма рангов всех факторов.

В таблице приведены значения коэффициентов корреляции *r* между рангами факторов, а также суммой рангов факторов, определяющих сложность физической задачи на каждом из этапов ее решения (1–5), и суммой всех рангов факторов (S) и коэффициентом решаемости k для 35 задач по механике.

Коэффициенты корреляции

Фактор	1*a*	1*b*	1*c*	2*a*	2*b*	2*c*	2*d*	2*e*	2*f*
k	–0,52 **	–0,42 *	0,46 **	0,22 –	0,01 –	0,31 –	0,08 –	–0,25 –	–0,39 *
Фактор	3*a*	3*b*	3*c*	3*d*	3*e*	3*f*	4*a*	4*b*	5*a*
k	–0,46 **	–0,60 ***	–0,45 **	–0,37 *	–0,17 –	–0,38 *	–0,23	–0,55 ***	–0,41 *
Фактор	5*b*	5*c*	5*d*	1	2	3	4	5	S
k	–0,66 ***	–0,70 ***	–0,65 ***	–0,62 ***	–0,47 **	–0,62 ***	–0,50 **	–0,68 ***	–0,76 ***

– — корреляция не значима;

* — уровень значимости 0,05;

** — уровень значимости 0,01;

*** — уровень значимости 0,001.

В таблице приняты следующие обозначения:

1 — этап анализа условий задачи, на котором рассмотрены факторы: 1*a* — неявное задание физических величин; 1*b* — наличие векторных физических величин; 1*c* — необходимость построения рисунка.

2 — физический этап решения задачи и факторы этого этапа: 2*a* — необходимость определения границ применимости физических законов; 2*b* — наличие физических величин, изменяющихся (или распределенных) по линейному закону, или величин с экстремальными значениями; 2*c* — необходимость применения физических принципов для решения задачи; 2*d* — наличие избыточных данных; 2*e* — применение законов из других разделов физики; 2*f* — применение физических формул, редко используемых при решении задач.

3 — математический этап решения задачи и факторы этого этапа: 3*a* — использование геометрических соотношений и формул; 3*b* — необходимость действия с векторными физическими величинами; 3*c* — применение тригонометрических формул; 3*d* — необходимость алгебраических преобразований; 3*e* — решение обратной (а не прямой) задачи; 3*f* — необходимость решения системы уравнений, в которой число неизвестных больше числа уравнений.

4 — вычислительный этап решения задачи и факторы этого этапа: 4*a* — перевод физических величин и их округление; 4*b* — математические действия при расчете по формуле для задачи, решенной «в общем виде».

5 — количественные параметры задачи: 5*a* — число известных физических величин, используемых при решении задачи; 5*b* — число неизвестных физических величин; 5*c* — общее число физических величин; 5*d* — число уравнений в системе.

Большинство значений коэффициентов корреляции отрицательно, так как наличие каждого из факторов усложняет задачу, что приводит к уменьшению коэффициента ее решаемости. 14 из рассмотренного 21 фактора и все 5 сумм рангов факторов на выделенных этапах решения задач являются значимыми. Подсчитанный коэффициент множественной корреляции *R* между коэффициен-

том решаемости и суммой рангов факторов на отдельных этапах ее решения оказался равным 0,78.

По уровню сложности все задачи были разделены на *три уровня сложности*: простые задачи (первого уровня сложности), задачи среднего (второго) уровня сложности, сложные задачи (третьего уровня сложности). Методики распределения задач по уровням сложности предложены в работе [3]. В основе этих методик лежит гипотеза о равенстве задач, распределенных по уровням трудности и по уровням сложности. Проведенный в работе [3] анализ решаемости 464 задач по механике, а также подсчет рангов факторов решаемости этих задач и их суммы позволил определить границы разбиения задач по уровням сложности. В данной работе эти методики, а также определенные в работе [3] границы уровней сложности были применены для распределения 35 задач по механике к вступительному экзамену по физике по уровням сложности.

Первая методика распределения задач по уровням сложности состоит в подсчете арифметической суммы рангов факторов, влияющих на решаемость физических задач. Предсказуемость по этой методике для задач уровня *A* оказалась равной 44% (4 из 9 задач), для задач уровня *B* оказалась равной 59% (10 из 17), для тестовых заданий уровня *C* — 100% (9 из 9), по всем заданиям — на уровне 66% (23 из 35 задач).

Вторая методика распределения задач по уровням сложности состоит в подсчете суммы рангов факторов, влияющих на решаемость физических задач, с учетом их статистических весов. При этом считается, что статистический вес суммы рангов факторов на каждом из этапов решения физической задачи обратно пропорционален частоте их проявления (чем реже встречается фактор, тем сильнее его влияние на сложность задачи). Предсказуемость по этой методике для задач уровня *A* оказалась равной 67% (6 из 9 задач), для задач уровня *B* оказалась равной 53% (9 из 17), для тестовых заданий уровня *C* — 89% (8 из 9), по всем заданиям — на уровне 66% (23 из 35 задач).

Третья методика распределения задач по уровням сложности состояла в применении метода множественного регрессионного анализа [4]. В работе [3] получено *уравнение регрессии*, которое для рассмотренных 464 задач по трем темам механики приняло вид

$$K = 0{,}836 - 0{,}033\, M_1 - 0{,}038\, M_2 - 0{,}040\, M_3 - 0{,}013\, M_4 - 0{,}015\, M_5,$$

где K — ожидаемое значение коэффициента решаемости физической задачи, рассчитанное по сумме факторов M_i, определяющих решаемость физической задачи на i-м этапе решения. Наибольший вклад в расчет ожидаемого коэффициента решаемости физической задачи, как видно из уравнения регрессии, вносят факторы *на физическом и математическом этапах решения задачи.*

Уравнение регрессии для расчета ожидаемого коэффициента решаемости было применено к рассматриваемым 35 задачам по механике из вступительного экзамена по физике. При использовании этой методики предсказуемость в определении уровней сложности для задач уровня *A* оказалась равной 56% (5 из 9 задач), для задач уровня *B* — оказалась равной 90% (14 из 17), для задач уровня *C* — 89% (8 из 9), по всем задачам — на уровне 77% (27 из 35 задач).

Таким образом, предложенные методики распределения задач по уровням сложности, основанные на подсчете рангов факторов, позволяют определять уровень сложности физических задач только по их условиям и решениям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. *Бабаев В. С., Шкитина Ю. Ю.* Влияние физических и математических факторов на уровень решаемости задач по динамике // Проблемы преподавания физики в школе и вузе: Всероссийский межвузовский сборник научных статей. СПб., 2003. С. 63–68.
2. *Бабаев В. С., Кулагина М. В*. Влияние физических и математических факторов на уровень решаемости задач по кинематике // Материалы Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности подготовки учителей физики и информатики в современных условиях». Екатеринбург, 2005.
3. *Бабаев В. С., Кулагина М. В., Шкитина Ю. Ю.* Определение трудности и сложности физических задач // Физическое образование в вузах. 2005. Т. 11. № 4. С. 93.
4. *Наследов А. Д.* Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных: Учебное пособие. СПб., 2004.