

АЛГОРИТМЫ НА УРОКАХ ФИЗИКИ

В настоящее время в нашей стране начаты обширные работы по научной организации труда в различных сферах трудовой деятельности человека.

Процесс обучения в школе представляет единую систему труда учителя и учащихся, поэтому его рационализация имеет большое значение.

Покажем применение элементов научной организации труда в школе на примерах уроков физики.

Известно, что на каждом уроке физики учащиеся проделывают большое количество всевозможных умственных операций, математических преобразований в тетради и на доске, измерительных и других практических операций (при выполнении эксперимента).

В некоторых случаях успех решения задачи, выполнение лабораторной работы зависит не только от знания теоретического учебного материала, умения учащимся выполнять различные операции (умственные и практические), но и от рационального выбора последовательности этих операций. Иногда последнее обстоятельство во многом определяет успех решения.

Так, умение выбрать рациональную последовательность практических операций (например, последовательность манипуляций с разновесами при взвешивании) или умственных (например, последовательность операций для определения цены деления прибора) освобождает учащегося от совершения множества лишних операций, позволяет четко и быстро выполнять эксперимент и рационально производить обработку его результатов.

Многие выпускники наших школ идут работать на производство. Несомненно, знания, умения, навыки, методы работы, усвоенные на уроках, будут применяться ими на рабо-

чих местах. Трудовой процесс, как и учебный, состоит обычно из последовательности отдельных умственных и практических операций, значит, и здесь выбор наиболее рациональной последовательности во многом определяет производительность труда. Так, при изготовлении сложной детали токарь прежде всего решает вопрос о порядке обработки заготовки и лишь затем приступает к делу. Без такого предварительного планирования работы неизбежны нерациональные операции, потеря рабочего времени.

Исследуя особенности труда наладчиков автоматического оборудования, В. В. Чебышева пишет: «Важное место в труде наладчика занимает определение последовательности предстоящих действий или последовательности решения задач (когда одновременно возникает несколько задач и наладчик может выбрать разную их последовательность). Специфика работы в этих случаях состоит в том, чтобы, учитывая наличные условия и предвидя ход рабочего процесса, выбрать из ряда возможных решений то, которое в данном случае будет наиболее выгодно в экономическом и техническом отношении. Большое значение выбор последовательности действия имеет при установлении причин неполадок»¹.

Мы видим, что современное производство нуждается в рабочих, которые не только умеют выполнять определенные операции, но и могут в зависимости от условий выбирать наиболее рациональную систему операций, обеспечивающую максимальную производительность труда при наименьших затратах физических и умственных усилий.

Не случайно на это обстоятельство обращается серьезное внимание при производственном обучении рабочих. Например, в пособии по обучению токарей сказано: «С первых же работ надо приучать учащихся к уменьшению пробега инструмента, быстрому подводу и отводу резца к заготовке и включению подачи наиболее рациональными способами»². Аналогичные рекомендации встречаются и в других пособиях.

Но рациональные приемы не возникают сами по себе. Им надо обучать. Отсюда ясно, что одной из задач уроков фи-

¹ Чебышева В. В. Психологические особенности труда по обслуживанию автоматического оборудования и вопросы обучения наладочным работам. — В кн.: Вопросы психологии обучения труду. Изд. АПН РСФСР, М., 1962, стр. 183.

² Горяинов М. А. Производственное обучение токарей. Профтехиздат, М., 1963, стр. 72.

зики является обучение рациональным способам умственной и практической деятельности. Это необходимо, с одной стороны, для более эффективного процесса изучения нового материала, а с другой стороны — диктуется потребностями производства.

1. ЧТО ТАКОЕ АЛГОРИТМ

Точное предписание о выполнении в определенном порядке некоторой системы операций, приводящих к решению всех задач некоторого данного типа за конечное число шагов (операций), в математике называют **алгоритмом**³.

Алгоритм должен удовлетворять требованиям определенности (понятность и точность, исключая произвольные действия), массовости (возможность применения к различным вариантам исходных данных); после конечного числа операций выполнение алгоритма должно заканчиваться и давать искомый результат.

Ввиду того, что решение многих задач, выполнение эксперимента часто связано с совершением последовательности операций (умственных и практических), удовлетворяющих перечисленным требованиям, то последовательности таких операций можно называть алгоритмами.

Таким образом, пользуясь введенной терминологией, можно сказать, что усвоение рациональных алгоритмов и использование их в процессе приобретения новых знаний, умений, навыков, а также в трудовой деятельности может значительно рационализировать работу учащихся.

Но важность нахождения рациональных алгоритмов не исчерпывается только этим. Дело в том, что если процесс обучения учащихся идет в соответствии с заранее разработанным рациональным обучающим алгоритмом, то и усвоение знаний, умений, навыков происходит наиболее оптимально. Не случайно поэтому понятие алгоритма является одним из основных в теории программированного обучения.

«С помощью алгоритмов осуществляется подбор рациональных команд, предписывающих ученику состав и последовательность операций познавательной в практической деятельности, чтобы получить оптимальный результат в усвоении знаний и навыков... Алгоритм определяет, как и посред-

³ «Алгоритм, алгоритм — всякая система вычислений, выполняемых по строго определенным правилам, которая после какого-либо числа шагов заведомо приводит к решению поставленной задачи». (Б. С. Э., т. 2).

ством каких действий приобрести знание, навык, решить задачу данного типа и т. д.»⁴.

Отсюда следует, что полноценная обучающая программа может быть разработана лишь на базе рационального алгоритма; поэтому программирование должно начинаться с нахождения такой последовательности сообщаемых учащимся порций информации, которая позволяет наиболее эффективно вести обучение.

Люди очень часто в практике своей работы используют некоторые алгоритмы, найденные в результате многолетнего опыта. Отдельным из этих алгоритмов обучают учащихся на уроках. Так, правила взвешивания, правила сборки электрических цепей — не что иное, как примеры подобных алгоритмов. Всевозможные памятки и инструкции по нахождению и устранению неисправностей в приборах и механизмах также представляют грубые схемы алгоритмов.

Так как выполнение многих практических работ по физике связано с совершением последовательности операций, то знание рациональной последовательности (рационального алгоритма) обеспечивает успех экспериментирования.

2. ПРИМЕРЫ НАХОЖДЕНИЯ АЛГОРИТМОВ

В некоторых случаях алгоритм является единственным, поэтому задача учителя состоит в нахождении этого алгоритма и обучении ему учащихся.

Примером такого алгоритма является алгоритм определения цены деления измерительного прибора, который может быть сформулирован следующим образом:

1. Назвать численное значение одной из оцифрованных отметок шкалы.

2. Назвать численное значение соседней оцифрованной отметки шкалы.

3. Из большего числа вычесть меньшее.

4. Подсчитать число делений, заключенных между названными оцифрованными отметками.

5. Разделить результат операции 3 на результат операции 4. Полученное значение и даст величину цены деления данного интервала шкалы.

Точное знание данной последовательности умственных

⁴ Шаповаленко С. Г. Методика обучения химии в восьмилетней школе. М., Учпедгиз, 1963, стр. 616.

операций всегда позволяет учащемуся безошибочно определять цену деления прибора.

Интересно отметить такой факт, встретившийся в практике работы. Некоторые учащиеся при усвоении данного алгоритма все же допускали регулярные ошибки в вычислениях. Выясняя причины неверных ответов, мы провели анкету, в которой задали вопрос учащимся 7-го, 8-го и 10-го классов (всего опрошено 79 учащихся): «Сколько делений на данной шкале?» (Рис. 1). Двадцать девять учащихся (т. е. 37%)

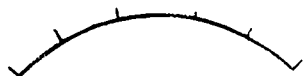


Рис. 1

ответили: «6». Мы видим, что неправильное усвоение понятий (за деление эти учащиеся считают штрих) приводят к ошибкам в расчетах⁵.

Таким образом, перед тем как сформулировать учащимся порядок вычисления цены деления прибора, надо четко определить понятия, которыми придется пользоваться при работе.

Часто при выполнении эксперимента учащийся сталкивается не с единственно возможной последовательностью операций (умственных или практических), а с последовательностью коммутативных⁶ операций.

В этом случае очень важно из нескольких вариантов выбрать такую последовательность (такой алгоритм), следуя которой можно было бы выполнить работу за минимальное время при наименьших умственных и физических усилиях.

Задача нахождения общего приема построения таких алгоритмов связана с рядом трудностей, однако, для некоторых случаев алгоритмы можно составить. Интересно отметить, что для нахождения рациональных алгоритмов требуется применение положений и понятий теории информации с применением точных математических расчетов, что позволяет отнести данную методику к точным методам расчета. Рассмотрим простейший прием нахождения алгоритмов распознавания, разработанный Л. Н. Ландой⁷.

⁵ Неправильные ответы учащихся можно объяснить тем, что термин «деление» во многих школьных учебниках трактуется неверно (см., например, учебник физики для VI класса).

⁶ Коммутативными называют операции, не зависящие друг от друга; эти операции могут производиться в любом порядке.

⁷ Ланда Л. Н. Опыт применения математической логики и теории информации к некоторым проблемам обучения. — «Вопросы психологии», 1962, № 9, стр. 75—87.

Суть способа состоит в следующем⁸.

Пусть имеется несколько объектов № 1, № 2, № 3..., обладающих разными свойствами. Среди этих объектов требуется выбрать один (или несколько), отличающийся заданными свойствами (признаками).

В чем состоит оптимальная стратегия поиска?

Оказалось, что если операции проверки признаков одинаковы по сложности, то, выполняя операцию, следует руководствоваться извлечением максимума информации при осуществлении данной операции.

Поясним сказанное примером.

Пусть у нас имеется два совершенно одинаковых по виду куска стали (рис. 2), один из которых намагничен.

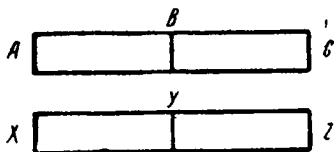


Рис. 2

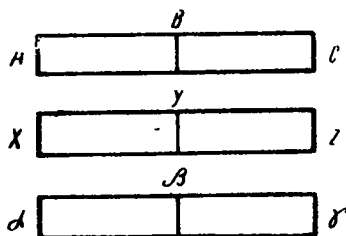


Рис. 3

Как определить, где сталь, где магнит?

Перечислим все операции, которые можно осуществить при решении задачи.

1. Прикоснемся А к Х — операция АХ.
2. Прикоснемся А к У — операция АУ.
3. Прикоснемся А к Z — операция AZ.
4. Прикоснемся В к Х — операция ВХ.
5. Прикоснемся В к У — операция ВУ.
6. Прикоснемся В к Z — операция ВZ.
7. Прикоснемся С к Х — операция СХ.
8. Прикоснемся С к У — операция СУ.
9. Прикоснемся С к Z — операция CZ.

⁸ Здесь мы намеренно рассматриваем простейшие примеры, чтобы не усложнять изложение математическими расчетами. Подробно метод расчета изложен в нашей статье «Способы отыскания рациональных алгоритмов для выполнения практических работ». — «Советская педагогика», 1965, № 3, стр. 72—82

Таблица 1

Составим таблицу				
Операции		Результат испытаний		
№	название	I магнит	II магнит	
1	AX	+	+	
2	AУ	+	-	
3	AZ	+	+	
4	BX	-	+	
5	BУ	-	-	
6	BZ	-	+	
7	CX	+	+	
8	CУ	+	-	
9	CZ	+	+	

Знак «+» означает притяжение образцов, знак «-» — отсутствие притяжения.

Таблица читается следующим образом:

Если I образец является магнитом, то операции 1, 2, 3, 7, 8, 9 дают притяжение, операции 4, 5, 6 показывают отсутствие притяжения.

Если II образец является магнитом, то операции 1, 3, 4, 6, 7, 9 дают притяжение, операции 2, 5, 8 показывают отсутствие притяжения.

Совершенно очевидно, что для решения задачи нет смысла делать операции, против которых в строках стоят одинаковые знаки, так как эти операции не дают никакой информации. Значит, наилучшими операциями являются 2, 4, 6, 8. Прodelав одну из них, сразу получим ответ на поставленный вопрос.

Усложним наш пример, взяв для опыта 3 образца, один из которых является магнитом (рис. 3).

Таблица 2

Операции		Результат испытаний		
№	название	I магнит	II магнит	III магнит
1	AX	+	+	-
2	AУ	+	-	-
3	AZ	+	+	-
4	Aα	+	-	+
5	Aβ	+	-	-

Операции		Результат испытаний		
№	название	I магнит	II магнит	III магнит
6	A γ	+	-	+
7	BX	-	+	-
8	VY	-	-	-
9	BZ	-	+	-
10	Va	-	-	+
11	V β	-	-	-
12	V γ	-	-	+
13	CX	+	+	-
14	CY	+	-	-
15	CZ	+	+	-
16	Ca	+	-	+
17	C β	+	-	-
18	C γ	+	-	+
19	Xa	-	+	+
20	X β	-	+	-
21	X γ	-	+	+
22	Ya	-	-	+
23	Y β	-	-	-
24	Y γ	-	-	+
25	Za	-	+	+
26	Z β	-	+	-
27	Z γ	-	+	+

Таблица показывает, что в качестве первых операций не могут быть произведены 8, 11, 23, так как они не дают никакой информации, остальные операции могут выполняться.

Как же определить вторую операцию?

Покажем на примере.

Пусть в качестве первой производится операция 3. Если исход «—», то следует вывод: III образец магнит. Если исход «+», то магнитом является или I образец, или II образец.

Очевидно, в качестве второй операции следует выбрать такую, чтобы положительный ее исход соответствовал одному образцу, а отрицательный — другому из оставшихся. Очевидно, это может быть операция 2, 4, 5, 6, 7 и т. д. Но ни в коем случае не 1, 8, 10, 11, 12 и т. д.

Таким образом, для нахождения магнита требуется самое большее две операции. Опыт показывает, что учащиеся, не зная рационального алгоритма, обычно производят больше операций.

Мы здесь рассмотрели один из простейших случаев. Но

в процессе обучения физике аналогичных примеров много: отыскание неисправностей в электрических цепях, распознавание видов механических движений и т. д.

3. О КРИТЕРИИ РАЦИОНАЛЬНОСТИ АЛГОРИТМА

В рассмотренных выше примерах анализировались алгоритмы, представляющие последовательности операций одинаковой сложности. В этом случае критерием рациональности способа деятельности учащегося служило среднее число произведенных операций.

Однако число операций не является единственным критерием рациональности. Поясним наше утверждение примером из математики. Пусть требуется вычислить величину:

$$X = \frac{66 \cdot 14}{42 \cdot 11}.$$

Работу можно проделать, пользуясь двумя такими алгоритмами.

1-й алгоритм: а) $66 \cdot 14 = 924$

б) $42 \cdot 11 = 462$

в) $924 : 462 = 2$

2-й алгоритм: а) $66 : 11 = 6$

б) $42 : 14 = 3$

в) $6 : 3 = 2$

Совершенно очевидно, что 2-й алгоритм рациональней первого, хотя оба содержат одинаковое число операций.

Приведенный пример показывает, что рациональность алгоритма характеризуется не только количеством операций, но и сложностью каждой операции. Чем сложнее операции, тем, следовательно, менее рационален выбранный алгоритм решения задачи в целом.

Теоретические исследования показали, что в общем случае сложность алгоритма зависит: а) от количества операций; б) от сложности каждой операции; в) от вероятности встечи с каждой операцией при решении задачи⁹.

Применим это общее положение к ориентировочной оценке рациональности алгоритма выполнения практической работы по физике.

Как правило, этапами всякого эксперимента учащихся являются: а) сборка установки; б) проведение измеритель-

⁹ Ланда Л. Н. К вопросу о математических методах построения и оценки алгоритмов распознавания. — «Известия АПН РСФСР», вып. 129, М., 1963, стр. 117—124.

ных операций; в) обработка результатов (выполнение вычислительных операций).

Видимо, можно говорить об алгоритме выполнения практической работы, понимая под этим совокупность алгоритма трех указанных действий.

Так как сложность алгоритма можно оценить через среднее время решения задачи по данному алгоритму, то можно заключить, что в общем случае рациональность алгоритма зависит от среднего числа операций, времени выполнения каждой операции и времени между двумя следующими друг за другом операциями.

Рассмотрим этот вопрос несколько подробнее. Прежде всего условимся, что все измерительные и вычислительные операции коммутативны (операции не зависят одна от другой; они могут производиться в любом порядке).

Введем обозначения:

n — количество однородных¹⁰ измерительных операций данного типа;

t — время выполнения однородной операции данного типа;

n_0 — число промежутков между измерительными операциями;

t_0 — время, затрачиваемое на переход от одной измерительной операции к другой;

n' — число вычислительных операций;

t' — время, за которое выполняется данная вычислительная операция.

Если среди множества измерительных операций встречается n_1 однородных операций одного типа, n_2 — другого и т. д., то выражение $n_1 t_1 + n_2 t_2 + \dots = \sum_i n_i t_i$ можно принять за меру рациональности процесса измерения.

Рациональность порядка выполнения операций определяется величиной $n_{01} t_{01} + n_{02} t_{02} + \dots = \sum_k n_{0k} t_{0k}$, рациональность

процесса вычисления — величиной $n'_1 t'_1 + n'_2 t'_2 + \dots = \sum_s n'_s t'_s$

За меру рациональности алгоритма выполнения всей практической работы в таком случае может быть принято выражение:

¹⁰ Однородными измерительными операциями мы назовем операции, которые выполняются одним и тем же способом (или одним и тем же прибором).

$F(n,t) = \sum_i n_i t_i + \sum_k n_{ок} t_{ок} + \sum_s n'_s t'_s$, причем, чем меньше значение оно имеет, тем более рациональным следует считать алгоритм.

Рассмотрим несколько частных случаев.

I. Пусть в эксперименте встречаются однородные измерительные операции одного типа и отсутствуют вычислительные операции.

Тогда $n' = 0$; $t = \text{const}$; $t_0 = \text{const}$ $F(n,t) = nt + n_0 t_0$

Так как n_0 зависит от n , то $F(n, t)$ будет зависеть только от n — числа возможных операций.

Таким образом, мера рациональности $F(n)$ является частным случаем $F(n, t)$ при $t = \text{const}$.

II. Пусть выполняется лабораторная работа, в которой необходимо произвести измерение конечного числа величин

$$\left(\sum_i n_i t_i = M = \text{const.} \right)$$

Тогда $F(n,t) = M + \sum_k n_{ок} t_{ок} + \sum_s n'_s t'_s$.

Если допустить, что $\sum_s n'_s t'_s = \text{const} = M_1$; $M + M_1 = M_0$,

$$\text{то } F(n,t) = \sum_k n_{ок} t_{ок} + M_0.$$

Рациональность алгоритма здесь определяется только членом $\sum_k n_{ок} t_{ок}$, который может принимать различные значения в за-

висимости от порядка измерений. $\sum_k n_{ок} t_{ок}$ принимает минимальное значение, если однородные операции следуют друг за другом и максимальное — при чередовании неоднородных операций. Отсюда приходим к выводу: в тех случаях, где это возможно, однородные операции следует производить одну за другой.

Так, например, при выполнении лабораторной работы «Определение к. п. д. наклонной плоскости» (к. п. д. = $\frac{p \cdot h}{F \cdot S}$) с этой точки зрения последовательность операций p, F, h, S представляет лучший алгоритм, чем p, h, F, S . Экономия времени при работе по первому алгоритму достигается за счет того, что здесь учащийся пользуется каждым прибором толь-

ко однажды, производя последовательно по два измерения.

Конечно, не всегда обучение учащихся должно следовать рациональному алгоритму, так как многое зависит от места лабораторной работы в учебном процессе, от состава класса, от знания учащимися данных понятий и т. д. Но несомненно, что знание оптимальных способов проведения работы позволяет учителю, сравнивая различные варианты, выбирать наиболее приемлемый для данного конкретного урока, для данного класса, а возможно и для отдельных учащихся.

Применительно к рассмотренному примеру, видимо, можно сказать, что если лабораторная проводится с целью закрепления таких понятий, как полезная работа, затраченная работа, коэффициент полезного действия, то для уяснения их физического смысла лучше пользоваться последовательностью ρ h F S . Если же лабораторная работа выполняется в порядке повторения материала после усвоения теоретического материала, то здесь предпочтительно пользоваться рациональным алгоритмом.

Пользуясь полученным выше критерием рациональности алгоритма, можно оценивать рациональность выполнения и некоторых других лабораторных работ.

Рассмотрим лабораторную работу, в ходе которой учащемуся предлагается определить плотности веществ нескольких брусочков правильной формы. Воспользовавшись формулами, видим: $D_1 = \frac{m_1}{V_1}$; $D_2 = \frac{m_2}{V_2}$; $D_3 = \frac{m_3}{V_3}$. (Здесь $V = a \cdot b \cdot c$, где a, b, c — размеры ребер брусочков).

Часто эксперимент и вычисления выполняются согласно такому алгоритму:

1. Определить m_1 (взвесить тело на весах).
2. Измерить a_1 b_1 c_1 линейкой, вычислить V_1 .
3. Вычислить D_1 .
4. Определить m_2 (взвесить тело на весах).
5. Измерить a_2 b_2 c_2 , вычислить V_2 .
6. Вычислить D_2 .
7. Определить m_3 (взвесить тело на весах).
8. Измерить a_3 b_3 c_3 , вычислить V_3 .
9. Вычислить D_3 .

Если порядок выполнения работы изменить (например, операции производить в порядке: 1, 4, 7, 2, 5, 8, 3, 6, 9), то получим более рациональный алгоритм за счет уменьшения

времени между двумя следующими друг за другом операциями.

Итак, при выполнении экспериментальных работ выбор минимального значения $F(n, t)$ позволяет, как видно из примеров, рационализировать процесс выполнения работы, сократить время ее выполнения.

При выработке у учащихся различных умений и навыков очень важно добиться сознательного выполнения операций. Поэтому усвоение учащимися того или иного алгоритма зависит от понимания полезности и необходимости применения именно данного алгоритма.

Как показывает опыт, желательнее не сообщать учащимся алгоритм в готовом виде, а получать его в результате анализа различных вариантов выполнения одной и той же работы.

Для этой цели полезно практиковать совместное построение рациональных алгоритмов со всем классом.

Приведем такой пример. Наш опрос показал, что более половины учащихся одного из восьмых классов не могли составить цепь с параллельным соединением нескольких укрепленных на панели лампочек, хотя теоретический материал по данному вопросу абсолютное большинство учащихся знало достаточно полно. Выясняя причины ошибок, удалось установить, что учащиеся не знают отличительного признака параллельного включения приемников: соединение проводов, идущих от разных зажимов лампочек, в два пучка и подключение этих пучков к полюсам источника тока.

После анализа ошибок с учащимися был составлен следующий алгоритм параллельного соединения приемников тока:

1. Соединить провода, идущие от одних зажимов всех приемников тока, в пучок.
2. Соединить провода, идущие от других зажимов всех приемников тока, в другой пучок.
3. Соединить первый пучок с одним полюсом источника тока.
4. Соединить второй пучок с оставшимся полюсом источника тока (через выключатель).

Пользуясь этим алгоритмом, ученики в дальнейшем все задания по вычерчиванию схем и сборки их выполняли правильно и быстро.

Мы считаем, что в процессе выполнения эксперимента на уроках физики учащиеся должны постепенно подводиться

к пониманию меры рациональности алгоритма $F(p, t)$, что позволит им самостоятельно строить рациональные алгоритмы при осуществлении различных работ.

Желательно, чтобы учащиеся усвоили следующее:

а) в случае, когда операции одинаковы по сложности, рациональность алгоритма определяется числом операций; осуществление каждой операции должно давать максимум информации;

б) если в процессе решения задачи нельзя уменьшить число операций, надо выбрать систему наиболее простых операций;

в) однородные операции целесообразно группировать.

В заключение отметим, что, анализируя приведенные выше примеры, мы не стремились давать рецепты, применяя которые можно сразу ликвидировать все трудности, встречающиеся в процессе преподавания. Мы лишь хотели подчеркнуть важность и настоятельную необходимость нахождения алгоритмов и обучения школьников рациональным способам умственной и практической деятельности.
