

# И Эдисон похвалил бы вас ...

Р. ВИНОКУР

**Г**РАЖДАНСКАЯ война между демократическим Севером и рабовладельческим Югом была довольно кровопролитной: погибли три четверти миллиона человек, совсем немало для того времени. После Гражданской войны начался стремительный промышленный подъем страны, прежде в основном аграрной, и талантливый самоучка-изобретатель Томас Альва Эдисон оказался, в соответствии с американской поговоркой, нужным человеком в нужном месте и в нужное время. Он работал много и упорно и стал автором 1093(!) изобретений, среди которых наиболее известны фонограф (первое устройство, записывающее и воспроизводящее звук) и электрическая лампочка. Однажды в Америку приехал талантливый сербский инженер Никола Тесла и был принят на работу в лабораторию Эдисона... Впрочем, основная цель нашего рассказа не вспомнить биографию «Великого Американца» (как часто называют Эдисона), а показать практическую эффективность даже совсем простых физико-математических моделей.

Инженерные науки считались важными еще в библейские времена (вспомните египетские пирамиды и финикийские корабли дальнего плавания), но получили основное развитие в последние полтора столетия. Что же касается инженерных инструментов, то здесь наблюдается еще более быстрый прогресс. Так, в начале своей карьеры (в 70-х годах) автор активно использовал для расчетов традиционную логарифмическую линейку и громоздкую (в целую комнату) вычислительную машину с ее бумажными перфолентами и перфокартами. Теперь инженеры применяют карманные калькуляторы и настольные компьютеры. Тем не менее, роль простых физико-математических моделей в инженерной практике столь же велика, как и во времена Эйлера и Ньютона. Такие модели помогают быстро получить необходимые для инженерного анализа результаты с достаточной для начального приближения точностью. Далее можно использовать компьютеры —

для детальных численных расчетов и приборы — для уточняющих измерений.

Рассмотрим в качестве примера тепловое равновесие электрической цепи. Практическая важность этой проблемы не вызывает сомнений: для прибора или устройства опасен даже перегрев, а ведь может возникнуть и пожар. Как известно, равновесие бывает устойчивым, неустойчивым и безразличным (нейтральным). Так, в механике устойчивое равновесие существует, если после прекращения действия внешних сил система неизменно возвращается в исходное положение равновесия (рис.1,а). Без-

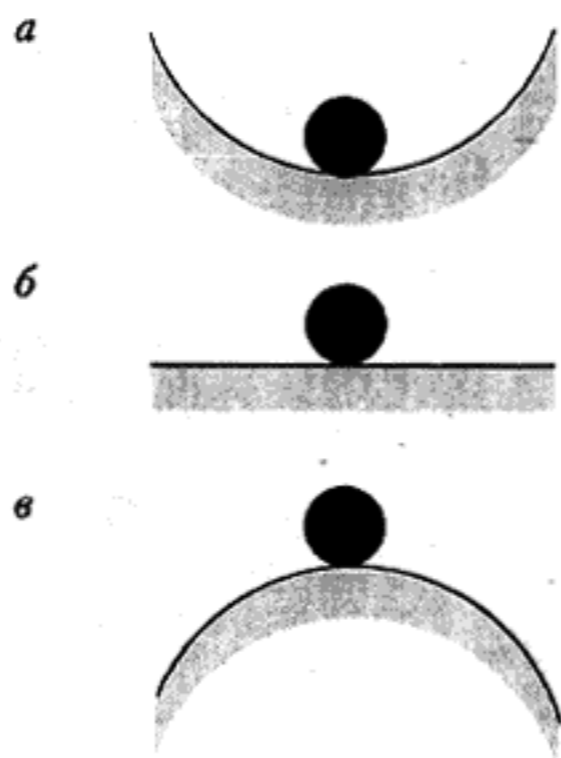


Рис.1

различное равновесие имеет место, если система, будучи выведенной из равновесия, остается в новом состоянии (рис.1,б). Наконец, даже слабый и короткий толчок уводит систему из неустойчивого положения равновесия (рис.1,в).

Возьмем простейшую электрическую цепь постоянного тока (рис.2): источник напряжением  $U$  и резис-

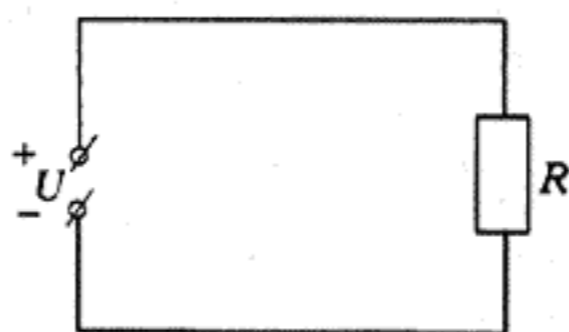


Рис.2

тор сопротивлением

$$R = R_0(1 + \alpha t), \quad (1)$$

где  $R_0$  — электрическое сопротивление при температуре  $0^\circ\text{C}$ ,  $t$  — температура по шкале Цельсия и, наконец,  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления. Для большинства проводников электрическое сопротивление растет с температурой ( $\alpha > 0$ ). Например, температурные коэффициенты сопротивления чистых металлов (алюминия, меди, свинца, вольфрама и т.п.) положительны и равны примерно  $0,004\ 1/^\circ\text{C}$ . В случае таких сплавов, как манганин или константан, температурный коэффициент почти равен нулю. Для углерода и полупроводниковых материалов электрическое сопротивление уменьшается с ростом температуры ( $\alpha < 0$ ). (Как химический элемент, углерод встречается в природе в виде кристаллических веществ: графита и алмаза. Аморфный углерод (разновидность графита, состоящего из микроскопических кристаллов) получается путем нагревания дерева, угля и других содержащих углерод материалов при ограниченном доступе кислорода, так что полного сгорания не происходит. Первые нити накала в электрических лампочках были целиком углеродными или с большим содержанием углерода.)

Линейное уравнение (1) не является фундаментальным физическим законом. Это лишь удобная приближенная зависимость, работающая в диапазоне практически важных температур. Например, если  $\alpha > 0$  и  $t < t_{\min} = -1/\alpha$ , то, в соответствии с уравнением (1), электрическое сопротивление вообще является математически отрицательной величиной. Следовательно, при положительном коэффициенте сопротивления уравнение (1) не отражает реальных физических процессов, если температура меньше или близка к  $t_{\min}$ . Однако для металлов эта «пограничная» температура равна примерно  $-1/0,004^\circ\text{C} = -250^\circ\text{C}$ , т.е. почти совпадает с абсолютным нулем