УДК 378.147:001.76:53

Л.А. Васильева

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО КОМПЬЮТЕРНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСКОРЕНИЙ БЛОКИРОВКИ КОЛЕС

Приведено описание выполняемой на компьютере лабораторной работы по физике для изучения закономерностей торможения автомобиля и расчета ускорений, при которых блокируются колеса автомобиля.

This article shows new designed laboratory work for execution with computer. This laboratory work helps to study regularity of car braking and calculating value of acceleration at the beginning of wheel blocking.

Современное физическое образование в вузе должно не только обеспечивать студентов знаниями фундаментальных основ физики, но и умением активно применять информацию физического характера в своей будущей профессиональной деятельности. Изучение физики должно сказываться на общей компетентности студента в качестве будущего специалиста. Физическое образование в инженерном вузе сочетает общие и специфические задачи курса физики, связанные с профилем и спецификой инженерной профессии, создает базу знаний, необходимых для успешного освоения студентами специальных дисциплин. Поэтому со стороны преподавателя физики необходимо знакомство с приоритетными потребностями студентов с точки зрения будущей профессии. В основе построения курса физики лежит изложение, с одной стороны, базового физического ядра, с другой — профессионально ориентированной части, содержащей наиболее важные применения физических теорий. Важным этапом в профессионально ориентированной подготовке студентов являются спецкурсы по физике.

Для будущих специалистов по безопасности дорожного движения в нашем вузе читается небольшой спецкурс по прикладной физике. Здесь рассматриваются вопросы применения законов механики, гидро- и аэродинамики, принципы работы двигателей внутреннего сгорания, отдельные вопросы фотометрии, геометрической оптики и др. Вопросы, рассматриваемые в курсе, представляют несомненный интерес для будущих специалистов по организации безопасности дорожного движения (ОБД). Наиболее полно профессиональная направленность курса раскрывается на лабораторных и практических занятиях. Одним из принципов отбора заданий для лабораторных и практических занятий с этой точки зрения является возможность иллюстрировать роль физических знаний в профессиональной деятельности.

Использование при обучении компьютерных классов расширяет возможности преподавателя с точки зрения применения профессионально ориентированных заданий для студентов. Применение имитационных и моделирующих информационных технологий в преподавании физики позволяет перевести содержательные представления об объекте и явлении на язык формализованных описаний, имитировать деятельность объектов с возможностью задания и изменения параметров объекта, в случаях, когда по каким-

либо причинам невозможно провести опыты. В то же время возникает необходимость обеспечения компьютерных классов соответствующими программами. Наряду с использованием готовых электронных образовательных программ по физике, таких как «Виртуальная физика», «Открытая физика», на кафедре физики ВолгГАСУ разрабатываются компьютерные программы, в том числе и с профессионально ориентированным содержанием. Одна из таких программ представлена в данной статье.

Разработанная компьютерная лабораторная работа по физике моделирует процессы, которые происходят при торможении автомобиля. Эта работа демонстрирует студентам, специализирующимся на вопросах безопасности дорожного движения, влияние сил инерции, возникающих при ускоренном торможении автомобиля, на перераспределение нагрузки на колесные оси автомобиля и возникающие в связи с этим ограничения, накладываемые на тормозное ускорение. Выполнение студентами данной лабораторной работы позволяет понять процессы, происходящие при аварийном торможении автомобиля, когда превышение допустимого значения тормозного ускорения может привести не только к заносу задней части автомобиля, но и к потере автомобилем управляемости. Программа позволяет строить графики зависимостей тормозных сил и касательной реакции дороги от ускорения автомобиля при торможении, а также определять ускорения, при которых блокируются задние и передние колеса автомобиля. В процессе выполнения лабораторной работы студенты могут вводить с клавиатуры значение массы автомобиля, длину колесной базы, положение центра тяжести и коэффициент сцепления колес с дорогой (рис. 1).

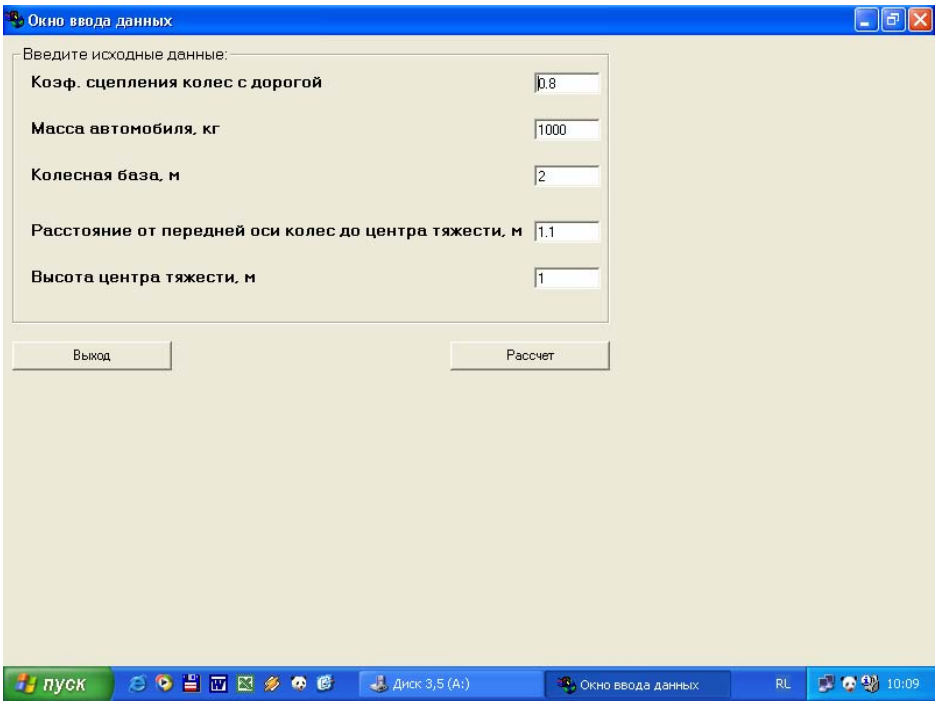

Рис. 1. Экран ввода исходных данных программы на Visual Basic 6.0

В качестве цели работы студентам предлагается исследовать зависимости блокировочных ускорений для передних и задних колес от массы, коэффициента сцепления колес с дорогой и других вводимых параметров, построить графики и сделать выводы. Работа подготовлена для студентов, специализирующихся по ОБД, но может быть рекомендована и для студентов других специальностей транспортного института. В разработке и отладке программы принимали участие студенты первого курса специальности ОБД в рамках учебно-исследовательской работы (УИРС) по физике [1].

Для безопасности движения необходимо, чтобы все автомобили имели высокую и по возможности равную эффективность торможения. В курсе общей физики при упрощенном рассмотрении торможения автомобиля считается, что эффективность торможения зависит только от коэффициента трения и начальной скорости автомобиля. При торможении касательная реакции дороги, которая является внешней силой, направлена против скорости и ограничена силой сцепления колеса с дорогой:

$$F_{\tau\max} = \mu N ,$$

где N — нормальная реакция дороги; μ — коэффициент сцепления колес с дорогой.

Применив второй закон Ньютона, получаем

$$a = \mu g ,$$

т.е. ускорение при торможении зависит только от коэффициента трения и не зависит от массы автомобиля, а тормозной путь прямо пропорционален квадрату скорости, обратно пропорционален коэффициенту трения и также не зависит от массы автомобиля:

$$S = \frac{v^2}{2\mu g} .$$

Таким расчетом пользуются и работники ГИБДД, когда решают вопрос о превышении скорости, измерив тормозной путь.

Практически же при увеличении массы автомобиля его тормозные показатели ухудшаются: ускорение по модулю уменьшается, а тормозной путь увеличивается. Для компьютерного моделирования торможения автомобиля можно воспользоваться теоретическим рассмотрением, приведенным, например в [2].

Для обеспечения минимального тормозного пути и наибольшего модуля ускорения необходимо, чтобы касательные реакции дороги на передних и задних колесах были равны максимальным силам сцепления.

$$F_{\tau 1} = \mu N_1 ,$$

$$F_{\tau 2} = \mu N_2 .$$

При полном использовании силы сцепления колесо перестает катиться и начинает полностью скользить, возникает блокировка колеса.

Нормальная реакция на задних и передних колесах зависит от ускорения и положения центра масс.

Из условия равновесия относительно центра масс найдем нагрузку на передние колеса m_1 и на задние колеса m_2 для автомобиля, находящегося в покое или движущегося равномерно, то есть без учета силы инерции:

$$m_1 g \ell_1 = m_2 g \ell_2$$

$$\ell_1 = \ell - \ell_2$$
$$m_2 = m - m_1$$
$$m_1(\ell - \ell_2) = (m - m_1)\ell_2$$
$$m_1\ell - m_1\ell_2 = m\ell_2 - m_1\ell_2$$
$$\left.\begin{aligned} m_1 &= m\frac{\ell_2}{\ell} \\ m_2 &= m\frac{\ell_1}{\ell} \end{aligned}\right\}$$

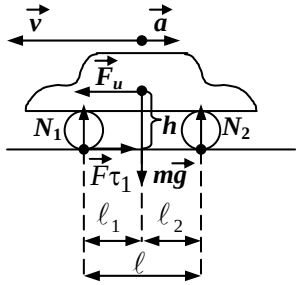

Рис. 2

Здесь m — масса автомобиля; λ — колесная база; λ_1 и λ_2 — отрезки, на которые центр тяжести делит колесную базу; g — ускорение свободного падения.

В настоящее время в курсе общей физики не рассматриваются вопросы, связанные с силами инерции. Однако при движении транспортных средств силы инерции играют важную роль, особенно с точки зрения безопасности дорожного движения. Выполнение студентами данной лабораторной работы в некоторой степени восполняет указанный пробел.

Сила инерции, действующая на автомобиль при торможении, — $F_u = ma$.

Момент силы инерции относительно точки касания колес с дорогой: $M = mah = m'g\ell$, отсюда $m' = \dfrac{mah}{g\ell}$ — дополнительная нагрузка на передние колеса и разгрузка задних колес при торможении. Здесь h — высота положения центра масс.

Таким образом, с учетом сил инерции нагрузка на колеса и соответственно нормальная реакция дороги на передние и задние колеса:

$$m_1 = m\frac{\ell_2}{\ell} + m\frac{ah}{\ell g} = \frac{m}{\ell}(\ell_2 + \frac{ah}{g});\ N_1 = \frac{mg}{\ell}(\ell_2 + \frac{ah}{g});$$
$$m_2 = m\frac{\ell_1}{\ell} - m\frac{ah}{\ell g} = \frac{m}{\ell}(\ell_1 - \frac{ah}{g});\ N_2 = \frac{mg}{\ell}(\ell_1 - \frac{ah}{g}).$$

Здесь студентам демонстрируется, что сила инерции приводит к уменьшению нагрузки на задние и к увеличению нагрузки на передние колеса автомобиля с ростом тормозного ускорения. Изменение нагрузки приводит и к изменению касательной реакции дороги.

Таким образом, касательная реакция дороги на передние колеса $F\tau_1 = \mu\dfrac{mg}{\ell}(\ell_2 + \dfrac{ah}{g})$ увеличивается с ускорением, а на задние колеса $F\tau_2 = \mu\dfrac{mg}{\ell}(\ell_1 - \dfrac{ah}{g})$ уменьшается с ускорением.

На экране монитора студенты наглядно наблюдают соответствующие графики зависимостей касательных реакций дороги (сил сцепления колес с дорогой) от величины тормозного ускорения для передних и задних колес автомобиля. Здесь же студенты видят и графики зависимостей тормозных

усилий на передние и задние колеса от ускорения (рис. 3). На экране графики этих зависимостей показаны различными цветами.

Рис. 3. Вид окна программы на языке Visual Basic 6.0 при выводе графиков

Сила, действующая со стороны тормозного механизма на колеса $P = P_{T1} + P_{T2} = ma$ линейно растет с ускорением.

Когда тормозящая сила P_{T2}, действующая на задние колеса, становится равной силе сцепления задних колес с дорогой, начинается скольжение задних колес:

$P_{T2} = F\tau_2$.

На экране этот момент студенты наблюдают как точку пересечения соответствующих графиков. В реальности блокировка задних колес означает, что колеса уже не катятся, а скользят. Скольжение задних колес опасно заносом задней части автомобиля, особенно для автомобилей с прицепами. Подставив в это равенство соответствующие выражения для сил, определяем ускорение, при котором блокируются задние колеса. На экране монитора ускорение блокировки задних колес отмечено вертикальной пунктирной линией, а также представлено соответствующее значение величины ускорения, которое студенты должны записать в таблицу измерений. Изменяя один из вводимых параметров, например коэффициент сцепления колес с дорогой при прочих равных условиях, и заполнив таблицу измерений, студенты самостоятельно строят график зависимости ускорения блокировки задних колес от коэффициента сцепления. Далее студенты должны сделать вывод о том, как влияет состояние дорожного покрытия на опасность заноса автомобиля.

С дальнейшим ростом тормозного ускорения (по модулю) P_{T2} уменьшается, т.к. уменьшается тангенциальная реакция дороги (сила сцепления колес с дорогой) $F\tau_2$ на задние колеса. С этого момента для увеличения модуля

ускорения быстрее растет P_{T1} — тормозная сила, действующая на передние колеса, компенсирующая уменьшение P_{T2}.

Когда $P_{T1} = F\tau_1$, то есть тормозящая сила, действующая на передние колеса, становится равной тангенциальной реакции дороги на передние колеса (максимальной силе сцепления колес с дорогой), начинается скольжение передних колес. При этом ускорение достигает значения $a = \mu g$, блокируются передние колеса. Блокировка передних колес означает, что передние колеса начинают скользить и автомобиль теряет управление. Студенты наблюдают этот момент как точку пересечения соответствующих графиков на экране, значение ускорения блокировки передних колес отмечается на экране вертикальной пунктирной линией.

Цель выполнения данной лабораторной работы — показать студентам, что в условиях реального торможения автомобиль не достигает тех значений тормозных ускорений, которые определяются из общепринятого упрощенного теоретического рассмотрения торможения. Более того, студенты убеждаются, что достижение максимального тормозного ускорения может привести к аварийной ситуации на дороге. Построив модели торможения для различных автомобилей, студенты должны самостоятельно подобрать оптимальные тормозные ускорения для этих автомобилей и рассчитать тормозные пути, а также сравнить тормозные пути для легких и тяжелых автомобилей при одинаковых дорожных условиях. В результате выполнения этого задания студенты должны убедиться, что чем тяжелее автомобиль, тем менее эффективно используется сила сцепления колес с дорогой и хуже его тормозные качества.

Выполнение лабораторной работы позволяет студентам-дорожникам лучше понять процессы, приводящие к аварийной ситуации на дороге.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шильников А.В.* Возможности профилизации курса физики при подготовке инженеров-строителей / А.В. Шильников, Л.И. Черкасова, Л.А. Васильева // Профессиональная ориентация преподавания физики на нефизических специальностях университетов : тезисы докладов Всероссийского совещания-семинара, Волгоград, 4—7 сентября 2002 г. Волгоград : Перемена, 2002. С. 11—12.

2. *Долматовский Ю.А.* Автомобиль в движении. М. : Транспорт, 1987.

© Васильева Л.А., 2006