

## Опыт создания и использования виртуальных моделей механизмов в курсе теоретической механики

© В.В. Дубинин, А.В. Пашков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*В статье представлены некоторые результаты одного из направлений работы кафедры теоретической механики имени профессора Н.Е. Жуковского МГТУ им. Н.Э. Баумана в области применения информационных технологий в образовании — создание виртуальной коллекции механизмов, наиболее часто встречающихся при изучении курса теоретической механики. Разрабатываемые на кафедре модели призваны помочь увидеть за плоской кинематической схемой реально движущийся механизм в объемном представлении. Описаны модели кривошипно-ползунного механизма, шарнирного четырехзвенника, двух типов кулисного механизма, эллипсографа, обращенного эллипсографа, нескольких типов планетарных и дифференциальных механизмов, мальтийского механизма и некоторых других. Многие из представленных моделей позволяют не только продемонстрировать движение, но и допускают возможность изменения параметров — числа степеней свободы, направления движения отдельных элементов, их скоростей. В некоторых моделях процесс демонстрации движения сопровождается подробными методическими комментариями.*

*Рассматриваются некоторые аспекты использования виртуальной коллекции на занятиях различных видов — лекциях, семинарах и при самостоятельной работе студентов.*

**Ключевые слова:** информационные технологии в образовании, модели механизмов, теоретическая механика.

**Введение.** Стремление к наглядности и максимальному раскрытию физической стороны изучаемых явлений вошло в традиции кафедры теоретической механики МГТУ им. Н.Э. Баумана еще со времен ее основания Н.Е. Жуковским. Его ученики и последователи создавали модели и приборы, демонстрация которых существенно обогащала изложение материала. Созданный в 60-х годах прошлого века и постоянно модернизирующийся комплект приборов по курсу теоретической механики стал неотъемлемой частью учебного процесса не только в МГТУ им. Н. Э. Баумана, но и в ряде других отечественных вузов. В 90-х годах XX в. была создана автоматизированная лаборатория по курсам теоретической механики и теории колебаний, позволяющая не только демонстрировать те или иные механические процессы, но и управлять ими, а также фиксировать их характерные параметры [1, 2]. Лаборатория также постоянно совершенствуется и модернизируется.

Развитие информационных технологий и их широкое распространение не только в научной и образовательной, но и в бытовой сфере, породило еще одно направление работы кафедры, о котором и пойдет речь ниже. Оно заключается в создании анимационной виртуальной коллекции механизмов, которые встречаются при изучении курса теоретической механики на практических занятиях, в вариантах курсовых работ, домашних заданиях. Некоторые результаты этой работы докладывались на IX международной научно-методической конференции «Новые образовательные технологии в вузе» (НОТВ-2012) [3].

Работа ориентирована в основном на студентов младших курсов, начинающих изучать курс теоретической механики с раздела «Кинематика». Именно в задачах кинематики студенты впервые встречаются с кинематическими схемами механизмов, с которыми будут иметь дело и в дальнейшем — как при изучении последующих разделов механики, так и в ряде других технических дисциплин.

Виртуальные модели призваны помочь студенту увидеть за плоским схематичным изображением реально движущийся механизм, что довольно часто вызывает затруднения на первых порах изучения механики, но является чрезвычайно важным моментом для осмысленного изучения курса.

Следует отметить, что разрабатываемые модели не являются точными моделями реальных механизмов со всеми конструктивными особенностями, так как вопросы конструирования выходят за рамки курса теоретической механики. Но вместе с тем механизмы представлены объемно, что позволяет в полной мере раскрыть кинематическую сторону их движения.

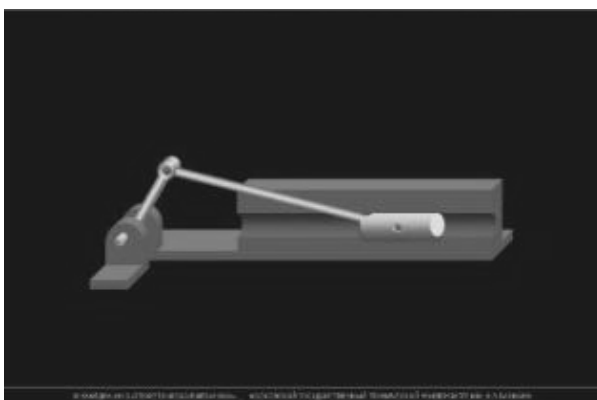
**Описание моделей.** Остановимся подробнее на моделях некоторых механизмов и очертим круг задач, в которых они встречаются, ориентируясь на раздел «Кинематика», где студент впервые знакомится с ними, хотя все эти механизмы неоднократно встречаются и в дальнейшем — при решении самых разнообразных задач динамики.

Кривошипно-ползунный механизм (рис. 1, а) чрезвычайно широко распространен в технике, а в задачах теоретической механики встречается буквально на первых занятиях — при изучении кинематики точки (определение кинематических характеристик заданной точки шатуна), а затем при изучении кинематики твердого тела [4]–[6].

Шарнирный четырехзвенник (кривошипно-коромысловый механизм) (рис. 1, б) представляет собой механическую систему, состоящую из трех стержней, два из которых (кривошип и коромысло) имеют неподвижные оси вращения, а третий совершает плоское движение.

Частным случаем шарнирного четырехзвенника (при равенстве длин вращающихся звеньев) является шарнирный параллелограмм, или спарник (рис. 1, в). Анимация позволяет наглядно показать поступа-

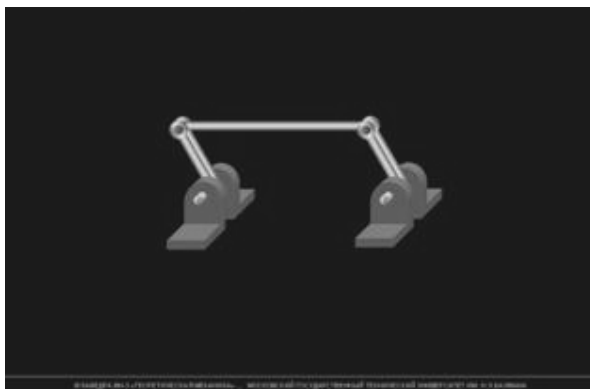
тельный характер движения третьего звена спарника. Механизм встречается в задачах кинематики твердого тела и кинематике сложного движения точки. В последнем случае на третьем стержне помещается точка с заданным уравнением относительного движения [5, 6].



*a*



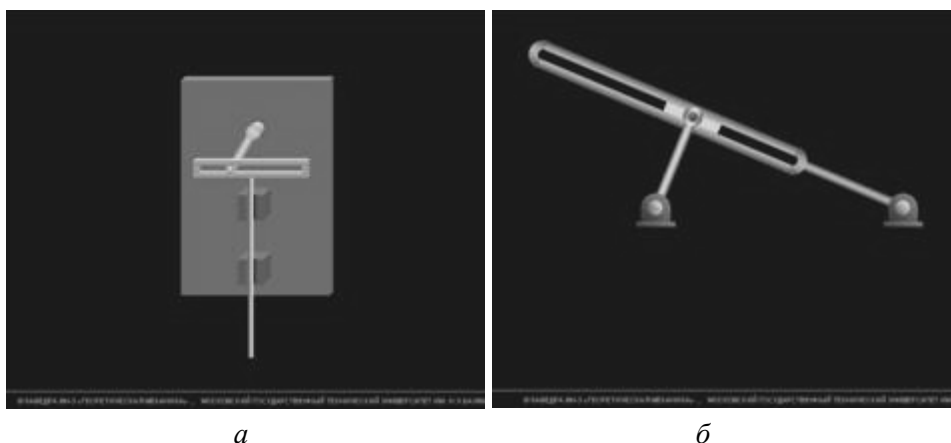
*б*



*в*

**Рис. 1.** Модели кривошипно-ползунного (*a*), кривошипно-коромыслового (*б*) механизмов и шарнирного параллелограмма (*в*)

Кулисные механизмы (рис. 2, а, б) встречаются в кинематике [4–6] главным образом при изучении сложного движения точки, когда абсолютное движение точки (пальца кривошипа или кулисного камня) является заданным, а кинематические характеристики относительного и переносного движения подлежат определению. Модель насоса (рис. 3) представляет собой пример реализации кулисного механизма в технике [6].

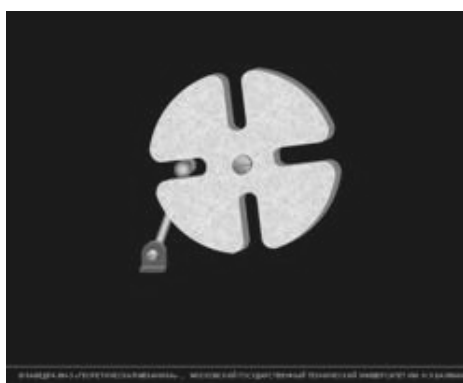


**Рис. 2.** Модели кулисного механизма с поступательно движущейся (а) и с качающейся (б) кулисой

Мальтийский механизм (рис. 4) также довольно часто встречается при решении обратных задач кинематики сложного движения точки [4, 5]. В качестве примера практического использования можно привести кинопроектор, в котором при протягивании пленки требуется на какое-то время фиксировать кадр.

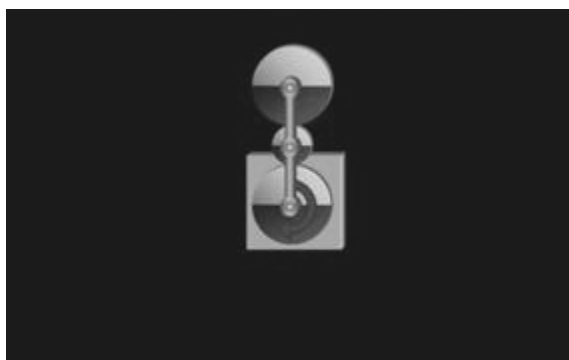


**Рис. 3.** Пример реализации кулисного механизма в конструкции насоса

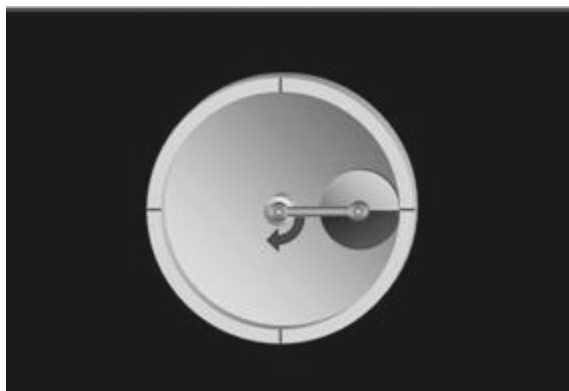


**Рис. 4.** Модель мальтийского механизма

Планетарные и дифференциальные механизмы (рис. 5) широко распространены в технике и весьма многообразны по своей конструкции. В задачах теоретической механики эти механизмы встречаются при изучении кинематики твердого тела, в частности сложного движения твердого тела [4–6]. В представленных моделях предусмотрена возможность выбора числа степеней свободы и направления вращения отдельных шестерен. При закреплённой центральной шестерне механизмы имеют одну степень свободы и называются планетарными. При задании центральной шестерне движения, не зависящего от движения водила, механизмы имеют две степени свободы и называются обычно дифференциальными механизмами.



*a*



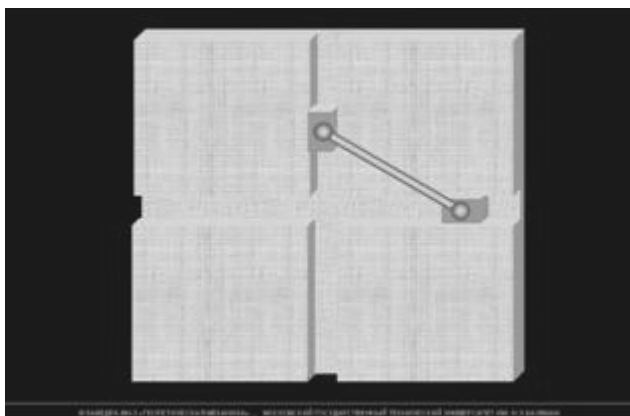
*б*

**Рис. 5.** Модели планетарных (*a*) и дифференциальных (*б*) механизмов

Эллипсограф (рис. 6, *a*) представляет собой классический пример, на котором отрабатываются навыки решения задач кинематики точки и кинематики твердого тела [5, 6].

Обращенный эллипсограф (рис. 6, *б*) — механизм, позволяющий реализовать один из способов передачи вращения на параллельный вал. В курсе теоретической механики его рассматривают главным

образом в задачах на сложное движение точки [6]. Принцип действия этого механизма, часто вызывающий у студентов затруднения, позволяет наглядно продемонстрировать разработанная модель.



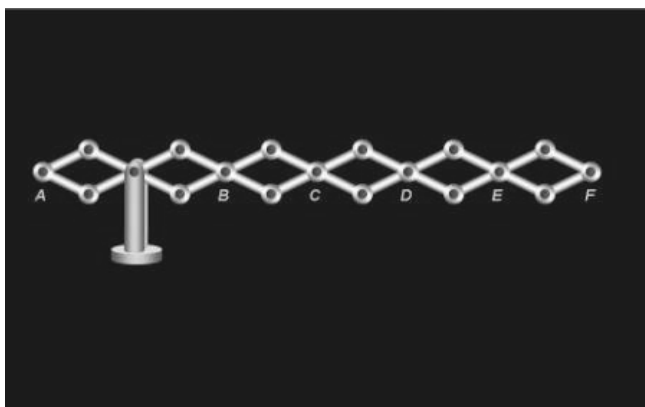
*a*



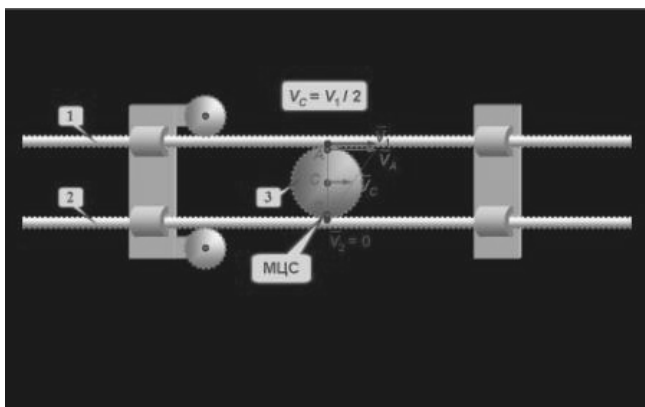
*б*

**Рис. 6.** Модели эллипсографа (*a*) и обращенного эллипсографа (*б*)

Модель пятикратного параллелограмма (рис. 7, *a*) наглядно показывает соотношения между скоростями и перемещениями отдельных их точек, что является полезным не только при изучении кинематики, но и при решении задач статики с использованием принципа возможных перемещений [5, 6]. Модель суммирующего механизма (рис. 7, *б*) демонстрирует различные частные комбинации движения реек и, как следствие, движение диска. Причем зависимости скорости и перемещения центра диска от скоростей и перемещений реек сопровождается подробными и наглядными комментариями.



*a*

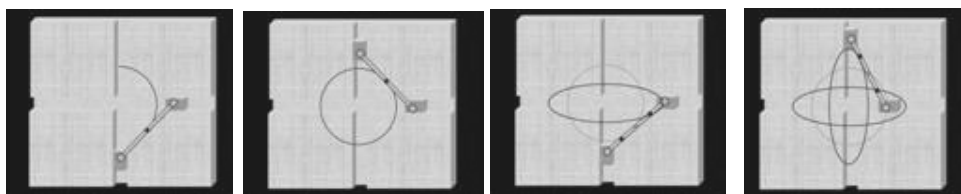


*б*

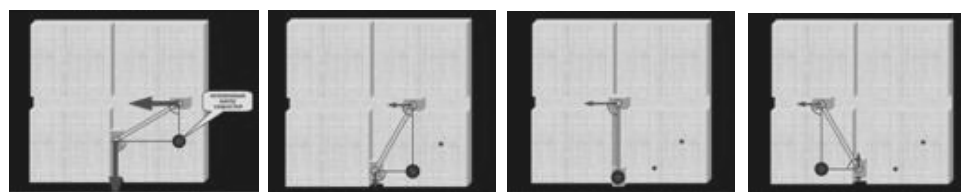
**Рис. 7.** Модели пятикратного параллелограмма (*a*) и суммирующего механизма (*б*)

С кинематической точки зрения виртуальные модели имеют ряд преимуществ перед традиционными моделями механизмов. Одно из преимуществ — возможность не только демонстрировать движение механизмов, но и сопровождать демонстрацию наглядными и подробными комментариями, раскрывающими наиболее характерные кинематические аспекты этого движения.

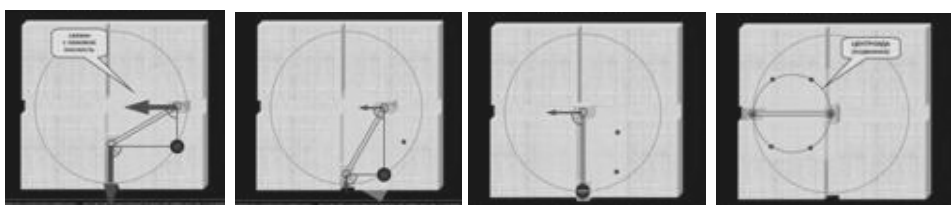
Так, модель эллипсографа (см. рис. 6, *a*) дает возможность наблюдать построение траекторий точек линейки эллипсографа (рис. 8, *a*), что является хорошим наглядным пособием при изучении кинематики точки. При изучении плоского движения тела в модели предусмотрена возможность построения мгновенного центра скоростей и изменения его положения в процессе движения как в неподвижной, так и в подвижной (связанной с линейкой) плоскостях. Иными словами, строятся неподвижная (рис. 8, *б*) и подвижная (рис. 8, *в*) центроиды.



а



б



в

**Рис. 8.** Выборочные кадры построения траекторий точек эллипсографа (а) неподвижной (б) и подвижной (в) центроид

Модели пятикратного параллелограмма (см. рис. 7, а), полиспаста и суммирующего механизма (см. рис. 7, б), как уже отмечалось выше, наглядно и аргументировано отражают ход рассуждений, необходимый для установления кинематических зависимостей между отдельными звеньями и их точками.

К преимуществам виртуальных моделей также следует отнести более широкие и гибкие по сравнению с реальными моделями возможности их применения как при проведении аудиторных занятий, так и в рамках самостоятельной работы студентов. На аудиторных занятиях для демонстрации виртуальных моделей не требуется отводить отдельные часы в семестре на посещение специализированной аудитории, оснащенной традиционными моделями (кабинета приборов). Ее можно проводить непосредственно на лекциях или практических занятиях в контексте излагаемого материала по мере того, как тот или иной механизм встречается в примерах и задачах.

При самостоятельной работе к несомненным преимуществам виртуальных моделей относится доступность их воспроизведения в любой необходимый момент и на любом компьютере. Для удобства автономного использования моделей их объединяют в «виртуальные альбомы» [7, 8]. Каждый из таких альбомов — законченный ком-



плекс, главное меню которого (рис. 9) содержит изображения кинематических схем, в виде которых традиционно представляется тот или иной механизм в учебниках и задачниках. При выборе нужной схемы пользователь вначале видит объемное изображение механизма с указанием названий его характерных элементов, а затем его движение. В этом режиме пользователю доступны дополнительные функции — примеры практической реализации, изменение числа степеней свободы, построение траекторий точек, а также в ряде случаев наглядные и обоснованные комментарии к тем или иным кинематическим аспектам движения.

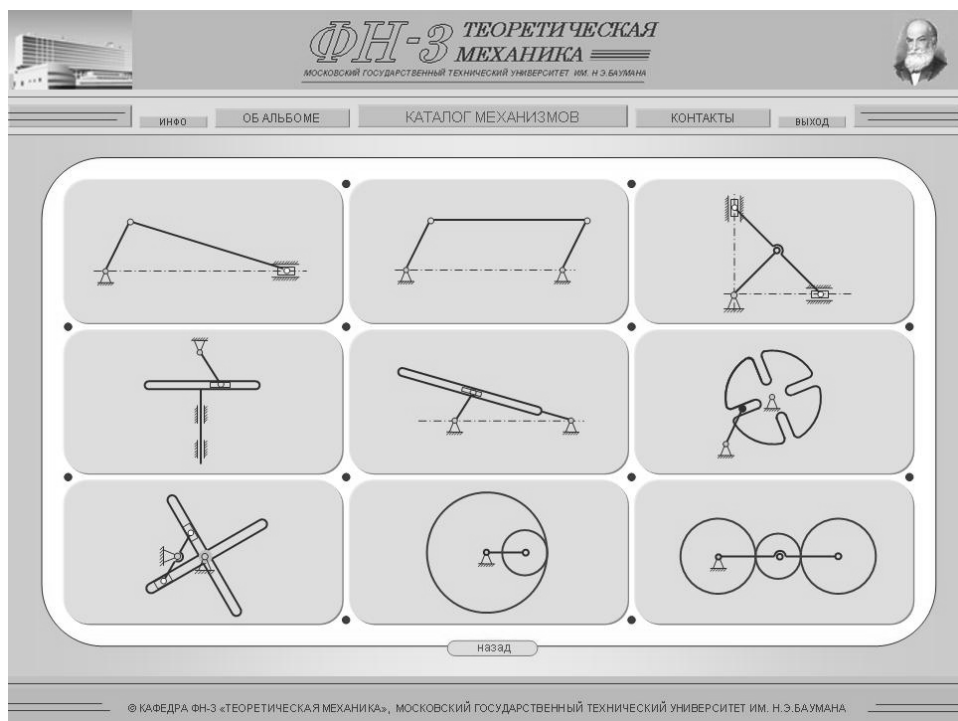


Рис. 9. Главное меню одного из виртуальных альбомов механизмов

Отметим, что модели разрабатываются средствами PowerPoint — компонента популярного и широко распространенного пакета Microsoft Office, что делает доступным их просмотр конечным пользователем без установки какого-либо дополнительного программного обеспечения, а также позволяет легко включать их в презентации лекций.

**Заключение.** Таким образом, работа по созданию и использованию виртуальной коллекции механизмов сочетает в себе следование классическим традициям инженерного образования и современных информационных технологий, что способствует повышению наглядности, информативности и доступности изучаемого материала.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дубинин В.В., Витушкин В.В., Дубровина Г.И. Автоматизация эксперимента в лабораторном комплексе по механике. *Сб. научно-методических статей «Теоретическая механика»*. Изд-во Московского университета, 2009, вып. 27, с. 117–136.
- [2] Дубинин В.В., Витушкин В.В., Пашков А.В. Информационные технологии и физический эксперимент в исследовательской лаборатории по механике. *Наука и образование*, 2010, № 11. URL: <http://technomag.edu.ru> (дата обращения 15.03.2013)
- [3] Дубинин В.В., Пашков А.В. Виртуальная коллекция механизмов для курса «Теоретическая механика». *Сб. материалов IX Международной научно-методической конференции «Новые образовательные технологии в вузе (НОТВ-2012)»*. Екатеринбург, УрФУ, 2012, с. 183–189.
- [4] *Курс теоретической механики*. Колесников К.С., Дубинин В.В., ред. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, 758 с.
- [5] *Сборник задач по теоретической механике*. Колесников К.С., ред. Москва, Наука, 1989, 446 с.
- [6] Мещерский И.В. *Сборник задач по теоретической механике*. Москва, Наука, 1986, 448 с.
- [7] Дубинин В.В., Пашков А.В. Плоские механизмы. Часть 1. Мультимедийный альбом иллюстративно-обучающего материала по курсу «Теоретическая механика». Электронное учебное издание. Зарегистрировано в ФГУП НТЦ. Информрегистр № 0321103255. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
- [8] Дубинин В.В., Пашков А.В. Плоские механизмы. Часть 2. Мультимедийный альбом иллюстративно-обучающего материала по курсу «Теоретическая механика». Электронное учебное издание. Зарегистрировано в ФГУП НТЦ. Информрегистр № 0321303768. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013.

Статья поступила в редакцию 26.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Дубинин В.В., Пашков А.В. Опыт создания и использования виртуальных моделей механизмов в курсе теоретической механики. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pedagogika/hidden/1132.html>

**Дубинин Владимир Валентинович** родился в 1937 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1961 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической механики имени профессора Н.Е. Жуковского МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор около 250 работ в области динамики и теории удара. e-mail: [sovettm@bmsu.ru](mailto:sovettm@bmsu.ru)

**Пашков Алексей Владимирович** родился в 1972 г., окончил Московский государственный строительный университет в 1989 г., канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической механики имени профессора Н.Е. Жуковского МГТУ им. Н.Э. Баумана, профессор кафедры теоретической механики и аэродинамики МГСУ. Автор более 40 научных и учебно-методических работ по волновым задачам механики деформируемого твердого тела, динамике строительных конструкций и теоретической механике. e-mail: [dlvp2010@mail.ru](mailto:dlvp2010@mail.ru)