

Учебно-иллюстративные модули на основе многоуровневых компьютерных моделей

М. И. Кочергин*, В. М. Дмитриев, Т. В. Ганджа

ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»,
г. Томск, Российская Федерация

Адрес: 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 40

* maksim.i.kochergin@tusur.ru

Аннотация

В данной статье описываются образовательные возможности учебно-иллюстративных модулей (УИМ), а также принципы их разработки в виде многоуровневых компьютерных моделей. Такие УИМ предполагают разделение модели исследуемого объекта на 3 уровня: объектный, логический, визуальный. На объектном уровне располагается математическая модель объекта (в блочно-компонентном или блочно-аналитическом виде). На логическом уровне — имитационная модель поведения объекта или сценарий вычислительного эксперимента. На визуальном — графический интерфейс модели с измерителями, регуляторами и другими элементами, а также с возможностью построения 2D- и 3D-графиков, 3D-анимации. С помощью УИМ можно осуществлять варьирование параметров модели исследуемого объекта, изменение внешних воздействий, наблюдая при этом реакцию объекта на данные изменения. Выполнение таких экспериментов направлено на улучшение процесса усвоения и понимания предмета, а также на предоставление возможности непосредственного экспериментирования при изучении теоретического материала. УИМ могут применяться как для иллюстрации лекционного материала преподавателем, так и студентами на всех видах занятий. На лабораторных работах по естественно-научным и техническим дисциплинам применение УИМ может быть направлено на проведение виртуальных экспериментов, изучение устройства и принципов работы измерительных приборов и оборудования, установок, на конструирование сценариев вычислительного эксперимента. На практических занятиях для работы с УИМ может быть предложена обработка результатов виртуального эксперимента с возможностью многократного повторения вычислительного эксперимента или с применением методов оптимизации на модели. В качестве самостоятельной работы УИМ можно использовать в качестве тренажера: для проведения вычислительного эксперимента студентом, исследования модели объекта, нахождения закономерностей между данными и выполнения других задач. С целью углубления навыков моделирования студентам можно предложить не просто использовать готовый УИМ, а модернизировать его под имеющуюся ситуацию или создать новый самостоятельно в среде моделирования.

Ключевые слова: учебно-иллюстративный модуль, метод компонентных цепей, многоуровневая компьютерная модель, вычислительный эксперимент, физика

Благодарности: авторы благодарят анонимных рецензентов, ознакомившихся со статьей и сделавших ценные замечания, позволившие улучшить ее качество.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кочергин М. И., Дмитриев В. М., Ганджа Т. В. Учебно-иллюстративные модули на основе многоуровневых компьютерных моделей // Современные информационные технологии и ИТ-образование. Т. 19, № 3. С. 739-751. <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202303.739-751>

© Кочергин М. И., Дмитриев В. М., Ганджа Т. В., 2023



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Educational and Illustrative Modules Based on Multilevel Computer Models

M. I. Kochergin, V. M. Dmitriev, T. V. Gandzha

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation

Address: 40 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russian Federation

* maksim.i.kochergin@tusur.ru

Abstract

This article describes the educational possibilities of educational and illustrative modules (UIM), as well as the principles of their development in the form of multilevel computer models. Such UIMs involve dividing the model of the object under study into 3 levels: object, logical, visual. There is a mathematical model of the object (in a block-component or block-analytical form) at the object level. A simulation model of the behavior of an object or a scenario of a computational experiment is on the logical level of the model. Visual level of the model contains a graphical interface of the model with meters, regulators, and other elements, as well as with the ability to build 2D and 3D graphs, 3D animation. With the help of UIM, it is possible to vary the parameters of the model of the object under study, change external influences, while observing the reaction of the object to these changes. The implementation of such experiments is aimed at improving the process of assimilation and understanding of the subject, as well as providing the opportunity for direct experimentation in the study of theoretical material. UIM can be used both to illustrate lecture material by the teacher and students in all types of classes. In laboratory work in the natural sciences and technical disciplines, the use of UIM can be aimed at conducting virtual experiments, studying the design and principles of operation of measuring instruments, equipment and designing scenarios for a computational experiment. In practical classes for working with UIM, it can be proposed to process the results of a virtual experiment with the possibility of repeated repetition of a computational experiment or using optimization methods on a model. As an independent work of students, UIM can be used as a simulator: for conducting a computational experiment, studying an object model, finding patterns between data, etc. In order to improve modeling skills, students can be offered not only to use a ready-made UIM, but to upgrade it to the existing situation or create a new one on their own in the modeling environment.

Keywords: educational and illustrative module, component circuit method, multilevel computer model, computational experiment, physics

Acknowledgments: The authors would like to thank the reviewers for their valuable comments and suggestions that improved the quality of the article.

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Kochergin M.I., Dmitriev V.M., Gandzha T.V. Educational and Illustrative Modules Based on Multilevel Computer Models. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2023;19(3):739-751. <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202303.739-751>



Введение

Моделирование является основным методом исследования во всех областях научной деятельности и используется на различных этапах работы: как на этапе проектирования, так и на этапе функционирования исследуемого объекта. Важность обучения методам моделирования и их место в инженерном образовании в целом и в отдельных образовательных стандартах обсуждается в ряде работ¹ [1], в которых также отмечается положительный опыт применения специализированных пакетов моделирования. Существуют также межвузовские кооперативные проекты, направленные на внедрение современных подходов к моделированию в образование будущих инженеров [2]. Одной из областей, где моделирование и эксперимент являются основной формой познания, является физика. Вопросы методического обеспечения обучения студентов физике с применением методов моделирования активно обсуждаются в ряде работ, например в работах² [3-5]. Отметим, что важной составляющей физических вычислительных экспериментов (являющихся альтернативой натурным экспериментам) является визуализация результатов моделирования [6]. Исследователи отмечают также положительный опыт использования дополненной виртуальной реальности для визуализации результатов моделирования, в частности при изучении физики твердого тела [7]. Необходимо также упомянуть практики использования виртуальных тренажеров в образовательной деятельности, области применения которой не ограничиваются школьным или вузовским образованием и находят активное применение в отраслевых областях [8, 9]. Такие модели и тренажеры обладают высоким уровнем визуализации и интерактивности, но создаются либо каждый раз с нуля, либо с применением, как правило, зарубежного программного обеспечения для моделирования систем.

При обучении физике в вузах чаще всего применяются следующие инструментальные средства, претендующие на некоторую «универсальность»: Simulink [10], Wolfram Mathematica [11], Maple [12], Simintech [13], Anylogic [14], Rand Model Designer или AnyDynamics [15], LISMA [16], такие простые инструменты широкого назначения, как Insightmaker³ или визуальные языки программирования (например, Scratch [17]), а также узкоспециализированное программное обеспечение закрытого типа, например «Открытая физика» [18]. Выбор инструментальной среды представляется нетривиальной задачей, если разрабатываемые с ее помощью материалы (модели) носят не только иллюстративный характер (демонстрация и визуализация физических явлений — например, в области механики твердого тела [19] или квантовой физики [20]), — но и предполагают практическую работу студента по исследованию модели или ее построению. Особую ценность представляют те инструментальные средства, которые позволяют реализовывать виртуальные или реально-виртуальные лаборатории [21-23]. Именно такие пакеты представляют наи-

больший интерес с учетом их универсальности, с одной стороны, и широкого функционала — с другой. В то же время некоторые математические пакеты могут составить конкуренцию более специализированным пакетам моделирования и также позволяют создавать иллюстративные материалы. Так, в работе [24] предлагается метод проектирования иллюстративного материала на базе систем компьютерной математики для обучения студентов технических специальностей.

Необходимо отметить эффективность математических пакетов типа Wolfram Mathematica, Matlab, Mathcad в вопросе создания иллюстративных материалов по математическим дисциплинам за счет создания интерактивных документов, однако их эффективность снижается при иллюстрации физических, химических явлений или особенностей функционирования технических систем — здесь большей наглядностью обладают пакеты моделирования с их блочно-компонентным подходом представления моделей и возможностью создания виртуальных измерительных приборов [25], имитирующих внешний вид реальных приборов. Перспективой для развития пакетов моделирования можно считать создание интерактивных документов типа Computable Document Format (Wolfram) или Jupyter Notebook files (IPython), которые позволяют объединить вместе текст учебника, практические расчетные или алгоритмические задачи [26] вместе с блочно-визуальными моделями, что делает возможным выполнение практических заданий, связанных с построением моделей или анализом результатов моделирования, прямо в учебнике. Частично такая функция уже реализуется в Computable Document Format в сочетании кода Wolfram и визуальных моделей Wolfram System Modeler, однако она требует развития и доработки.

Частичным аналогом такого формата документов можно считать учебно-иллюстративные модули (УИМ), которые могут стать важной составляющей материалов дисциплинарного курса в виде интерактивных учебников со встроенными окнами — визуальными интерфейсами [27]. Целью построения иллюстративных модулей является создание интерактивного инструмента для наглядной иллюстрации принципов, законов и методов, лежащих в основе изучаемой дисциплины. Кроме статического способа представления информации (в виде интерактивных учебников) исследователи отмечают положительный опыт применения имитационных моделей, лежащих в их основе, на практических занятиях, например в игровом формате обучения, где могут использоваться в различных вариантах: 1) ситуация-проблема в профессиональной деятельности; 2) ситуация-оценка действия; 3) ситуация-иллюстрация деятельности; 4) ситуация-упражнение [28].

Целью данной работы является представление и обсуждение принципов разработки УИМ на базе многоуровневых компьютерных моделей в среде моделирования MAPS (CM MAPS) [29] — отечественном программном обеспечении для моделирования мультифизических систем.

¹ Компьютерное моделирование и виртуальный эксперимент как средство формирования компетенций в процессе преподавания физики. Образование: теория, методология, опыт / В. Б. Гундырев [и др.]. Чебоксары: ИД «Среда», 2019. С. 30-50. <https://doi.org/10.31483/r-32712>

² Компьютерное моделирование физических задач / В. М. Дмитриев, А. Ю. Филиппов, Т. В. Ганджа, И. В. Дмитриев. Томск: В-Спектр, 2010. 248 с. EDN: QJXIAD

³ Insight Maker : сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://insightmaker.com> (дата обращения: 24.06.2023).



Многоуровневые компьютерные модели

СМ MAPS позволяет автоматически формировать и редактировать различные модели исследуемых объектов, используя метод многоуровневых компонентных цепей (МКЦ) [30] и его различные расширения. Введем основные определения метода МКЦ:

Объекты (компоненты) — сущности, переменные (параметры), выделенные из условий задачи и определяющие ее характер, поведение (параметры) которых требуется оценить в предлагаемых ситуациях.

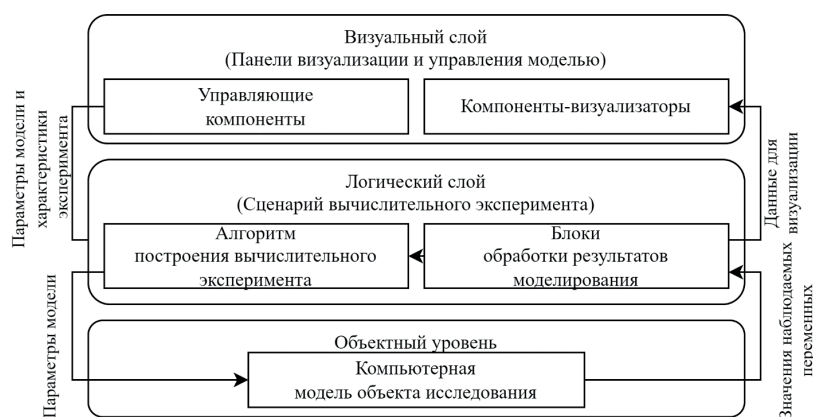
Связи компонента — топологические объекты (графические линии), содержащие переменные (параметры), полностью характеризующие данный объект в конкретной задаче направленного или ненаправленного типа.

Модель компонента — совокупность уравнений, связывающих параметры и переменные объектов. Модель компонента учитывает различные аспекты функционирования: физический, математический (логико-математический), топологический и геометрический. Отношения между моделями компонентов также представляют собой системы уравнений, сформированные автоматически на основе топологической

схемы модели, определяемой структурой связей компонентов.

Из компонентов (объектов), составляющих исследуемую систему, формируется компонентная цепь (КЦ) путем установления связей между ними и ввода параметров. КЦ может включать в себя компоненты различной физической природы: механической, электротехнической, робототехнической и пр. Такие компоненты формируют систему алгебро-дифференциальных уравнений в обыкновенных или частных производных. Также КЦ может включать в себя и другие виды компонентов: математические, алгоритмические — которые формируют логику (модель дискретного поведения) системы. Таким образом, в модели обособленно учитываются и разрешаются модели непрерывного поведения (в виде алгебро-дифференциальных уравнений) и модели дискретных процессов (алгоритмы), которые, в свою очередь, могут выполнять переключательную функцию, изменяя форму уравнений КЦ и ее структуру при срабатывании определенных триггеров.

Новизна данного подхода, базирующегося на МКЦ, заключается в объектном представлении задачи с использованием многоуровневого подхода, которому соответствуют три слоя: объектный, логический и визуальный (Рис. 1).



Р и с. 1. Структура многоуровневой компьютерной модели для реализации учебного эксперимента

Fig. 1. The structure of a multilevel computer model for the implementation of a training experiment

Источник: здесь и далее в статье все рисунки составлены авторами.

Source: Hereinafter in this article all figures were drawn up by the authors.

Объектный слой содержит модель исследуемого объекта (задачи), представленную в блочно-компонентном или блочно-аналитическом виде. Блочнo-компонентный вид предполагает наличие в КЦ компонентов с заранее определенными моделями, а блочно-аналитический вид — наличие в КЦ интерактивных математических панелей, содержащих изменяемые пользователем аналитические модели в виде систем уравнений. На объектном слое могут располагаться, например, такие модели: модель электрической цепи, модель механического движения тела в атмосфере, модель кинематики и динамики робота-манипулятора и пр.

Логический слой содержит КЦ, определяющие дискретное поведение объектов, чьи модели располагаются на объектном слое в виде алгоритмических конструкций или диаграмм со-

стояний, или определяющие сценарий вычислительного эксперимента. На этом слое также могут осуществляться вспомогательные расчеты (поиск экстремумов, расчет среднего значения, максимальной амплитуды и пр.) и вспомогательные операции (2D-, 3D-визуализация результатов моделирования или их экспорт в файл, параметризация модели из базы данных и пр.).

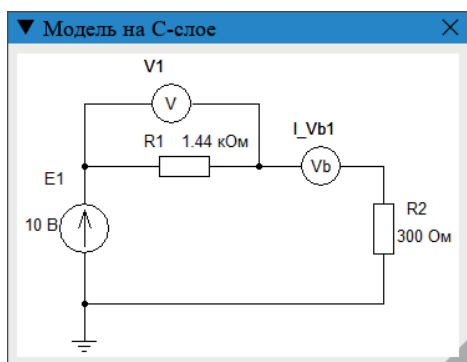
Визуальный слой является графическим интерфейсом модели и служит для отображения результатов моделирования (на цифровых табло, в таблицах, графиках и пр.) и интерактивного управления моделью (с помощью регуляторов, ключей, переключателей и пр.). Оформление визуального слоя модели может внешне соответствовать панели реального измерительного или управляющего устройства.



Учебно-иллюстративные модули

Рассмотрим схему построения УИМ в СИМ МАРС на примере иллюстрации закона Ома. Алгоритм формирования и функционирования УИМ в рамках многоуровневой компьютерной модели состоит из следующих этапов:

1) *формирование модели исследуемого объекта на объектном слое редактора*. Производится формирование КЦ исследуемого объекта (Рис. 2), в которой всем выходным переменным, подлежащим визуализации или участвующим в расчете результатов косвенных измерений, ставится в соответствие определенный измерительный компонент, осуществляющий передачу результатов моделирования с объектного слоя редактора на его логический слой;

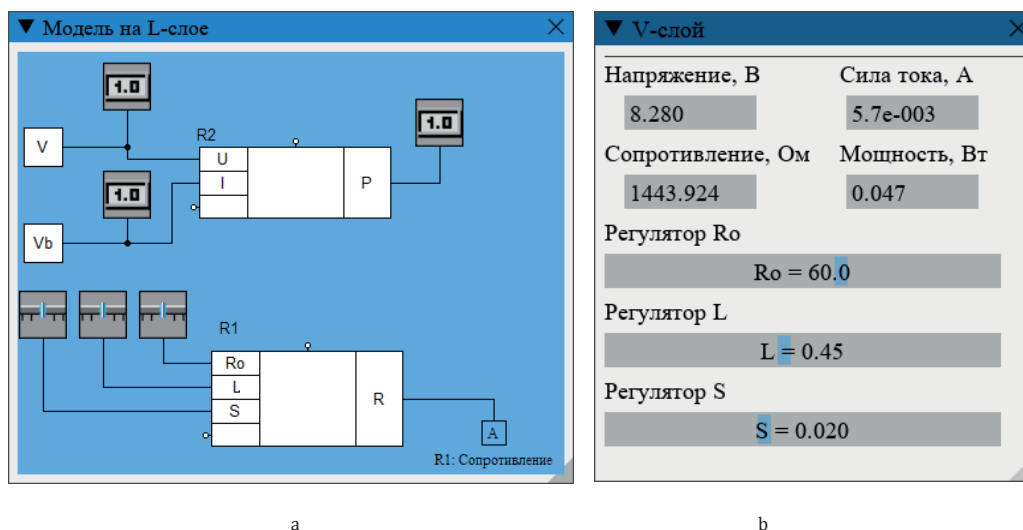


Р и с. 2. Объектный уровень учебно-иллюстративного модуля «Закон Ома»
F i g. 2. Object level of the educational and illustrative module "Ohm's Law"

2) *ввод параметров компонентов объектного уровня*, который осуществляется с помощью компонентов-источников, которые ставятся в соответствие каждому параметру компонентов объектного уровня и располагаются на логическом слое редактора, а в дальнейшем присоединяются к выбранному регулятору на визуальном слое. С помощью регулятора осуществляется изменение значения соответствующего параметра. Передача данных между слоями осуществляется через компоненты, имеющие одновременно отображение на нескольких слоях, так, например, вольтметр и амперметр на рисунке 2 на объектном слое являются измерителями, а на логическом (Рис. 3) будут источниками данных;

3) *формирование алгоритма работы УИМ*. На логическом уровне модели (Рис. 3) из алгоритмических компонентов и интерактивных математических панелей (макрокомпонент с панелью из математических выражений) логического уровня формируется алгоритм работы УИМ. В данном случае его работа заключается в расчете параметров. В примере на рисунке 3а используются две интерактивные математические панели: 1) для расчета на основе значений с регуляторов визуального слоя (длина проводника L , его удельное сопротивление R_0 и площадь поперечного сечения S), передаваемого на объектный слой значения сопротивления резистора $R1$; 2) для обработки результатов эксперимента (вычисление мощности P на основе полученных экспериментально напряжения на проводнике U и протекающего через него тока I);

4) *создание панели визуализации и управления параметрами эксперимента* осуществляется на визуальном слое редактора из визуальных компонентов (Рис. 3б).



Р и с. 3. Многоуровневая модель маятника: а — логический слой, б — панель управления на визуальном слое
F i g. 3. Multilevel pendulum model: a — logical layer, b — control panel on the visual layer

После выполнения данных шагов осуществляется настройка режимов анализа моделирования (например, для динамических задач — выбор метода интегрирования, шага интегрирования, временных границ вычислительного эксперимента и

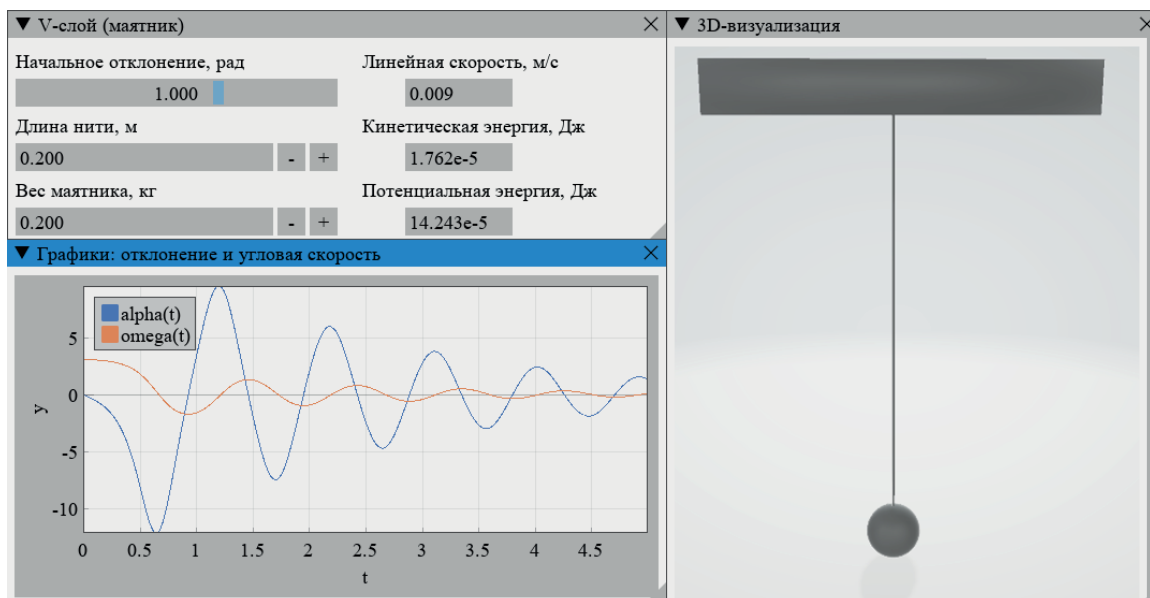
пр.). Затем модель готова к запуску и дальнейшей работе с ней. Модель по желанию может быть сохранена в виде отдельного приложения, запускаемого без наличия установленной среды моделирования.



Учебно-иллюстративный модуль «Физический маятник»

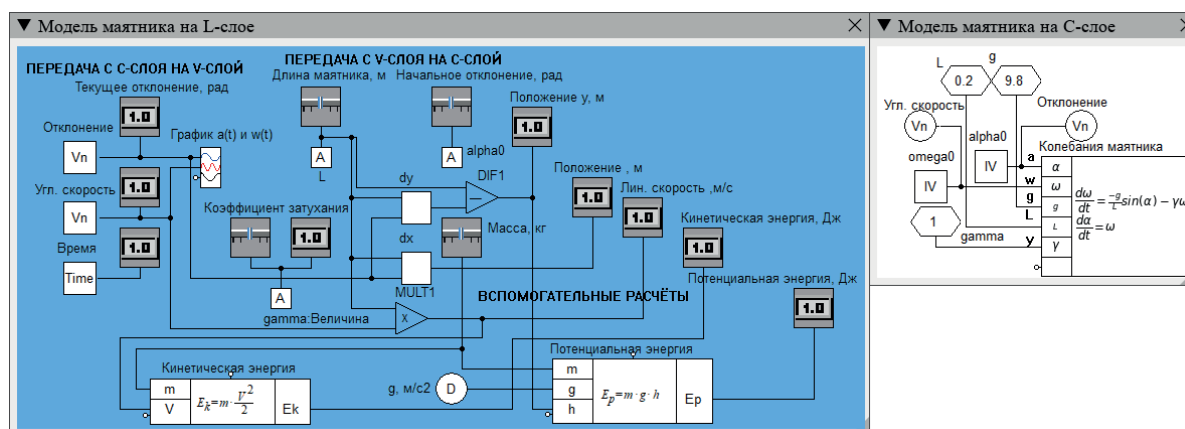
На визуальном слое модели вводятся исходные данные (длина нити, начальный угол отклонения тела и его масса) и выво-

дятся результаты моделирования: графики изменения отклонения тела и его угловой скорости, значения измеренных переменных на цифровых табло (линейная скорость, кинетическая и потенциальная энергия), 3D-анимация движения маятника (Рис. 4).



Р и с. 4. Визуализация результатов моделирования маятника

F i g. 4. Visualization of the results of the pendulum simulation



Р и с. 5. Многоуровневая модель маятника (объектный и логический слой)

F i g. 5. Multilevel pendulum model (object and logical layers)

Математическая модель в виде блочно-аналитической КЦ располагается на объектном слое (С-слое), а логический слой (L-слой) связывает С-слой и визуальный (V-слой), а также на нем проводятся вспомогательные расчеты: кинетическая и потенциальная энергии маятника, его линейная скорость (Рис. 5).

Взаимодействуя с моделью, учащийся может варьировать входные параметры (в рассматриваемой задаче — начальный угол отклонения маятника, длина нити, вес шара) и наблюдать

за изменением выходных переменных: скорости маятника, его амплитуды колебаний, кинетической и потенциальной энергии. Также учащийся может получить задание усложнения или модификации модели: учета новых факторов (большей детализации модели), или изменения учебных (что потребует внесения изменений в модель на объектном слое), или построения сценария проведения эксперимента (что потребует изменения модели на логическом слое), или изменения способа визуализации результатов эксперимента.

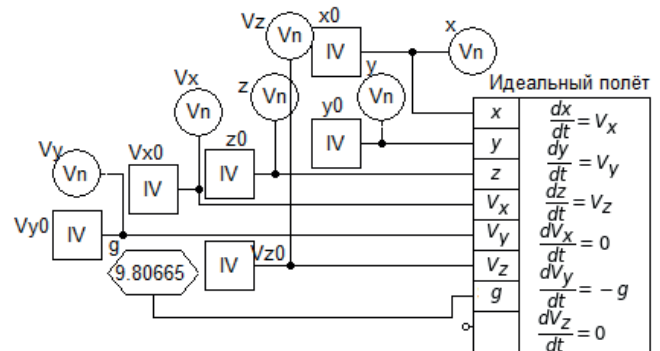


Учебно-иллюстративный модуль «Полет тела в атмосфере»

Особый интерес представляет следующая задача, которая может рассматриваться в качестве задачи как с «непрерывным» поведением объектов (задаваемым системой алгебро-дифференциальных уравнений), так и дискретно-непрерывным, где модель «непрерывного» поведения объекта дополняется дискретной переключательной моделью в виде конечного автомата или диаграммы состояний. Рассмотрим задачу о движении твердого тела, брошенного под углом к горизонту, в атмосфере Земли. Эта задача может иметь различные модификации и уточнения, что представляет методический интерес для ее использования (например, заданием для студента может быть дополнение модели новыми физическими эффектами, объектами, детализация объекта или построение системы управления объектом). Можно рассматривать детализацию модели: 1) идеальный полет тела (без сопротивления атмосферы); 2) полет тела с учетом сопротивления атмосферы как константы; 3) учет сопротивления атмосферы как функции от аэродинамических свойств тела; 4) учет изменения сопротивления атмосферы с изменением плотности воздуха на разной высоте полета; 5) учет изменения силы тяжести, действующей на тело, с изменением высоты полета; 6) учет кривизны Земли при дальних полетах тела и пр. Рассмотрим УИМ для указанной задачи.

На объектном слое (Рис. 6) представлена блочно-аналитическая модель, состоящая из компонентов источников начального значения (с меткой IV), измерителей (с меткой Vn) и инте-

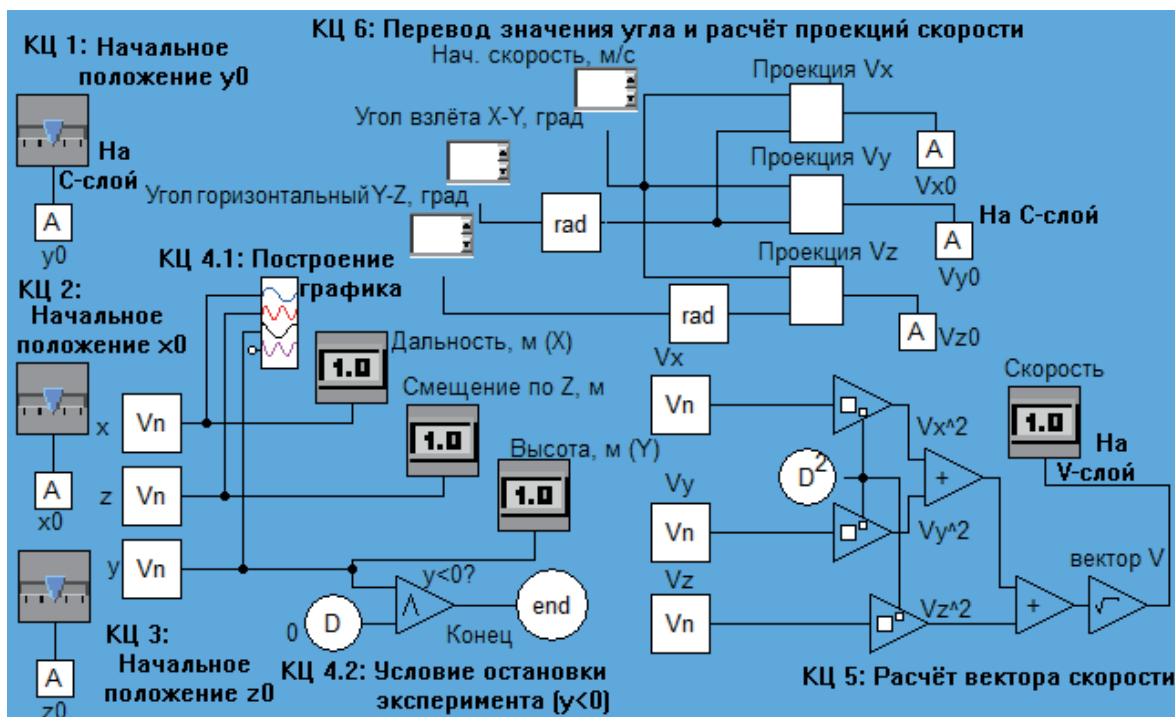
ративной математической модели, в которую была введена система алгебро-дифференциальных уравнений.



Р и с. 6. Вид модели на объектном слое

Fig. 6. View of the model on the object layer

На логическом слое (Рис. 7) представлены КЦ, реализующие сценарий работы модели (КЦ 4.2 — условие остановки расчета модели при приземлении тела), средства визуализации результатов моделирования (КЦ 4.1), вспомогательные расчеты (КЦ 3 — расчет проекций вектора скорости и перевод значений из градусов в радианы для передачи на объектный слой, КЦ 5 — расчет вектора скорости по рассчитанным на объектном слое значениям скорости на следующей итерации) и пр. операции (КЦ 1, 2 — обмен данными между слоями).



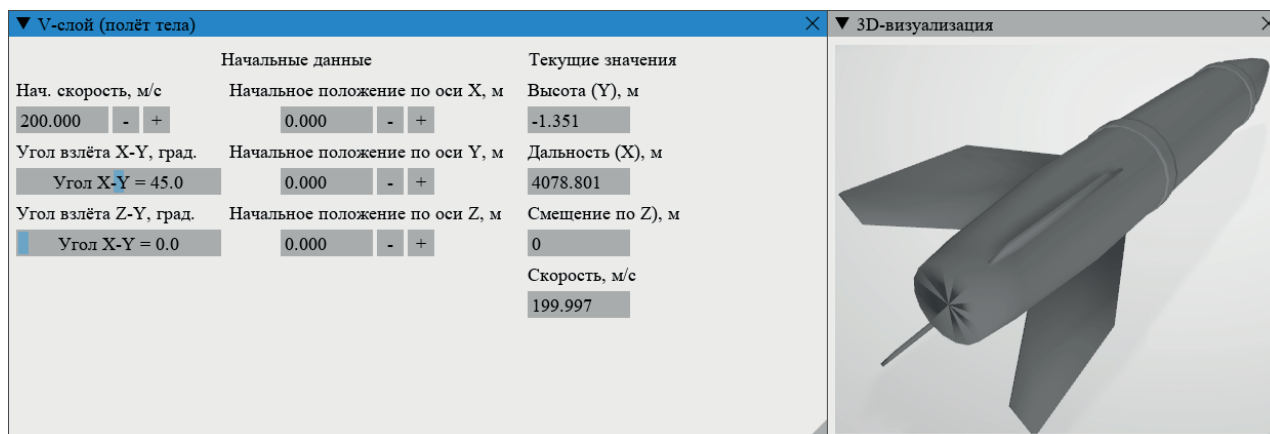
Р и с. 7. Вид модели на объектном слое

Fig. 7. View of the model on the object layer



На визуальном слое модели (Рис. 8) располагается графический интерфейс управления УИМ: цифровые табло с кнопками и регуляторы для ввода начальных значений (начальное поло-

жение, скорость и угол полета) и цифровые табло для отображения значений переменных (координаты и скорость тела).



Р и с. 8. Вид модели на визуальном слое
F i g. 8. View of the model on the visual layer

Приведем некоторые варианты заданий для использования описанного УИМ:

1. Выполните уточнение (детализацию) модели: а) добавьте сопротивление атмосферы в модель; б) добавьте возможность параметрической настройки аэродинамических характеристик тела, и пр.
2. Проведите серию вычислительных экспериментов с целью определения угла полета, обеспечивающего наибольшую дальность полета тела или максимальную высоту полета.
3. Добавьте в модель КЦ, описывающую дискретное поведение, содержащее три состояния: взлет, полет, столкновение.

Применение учебно-иллюстративных модулей в обучении

УИМ могут найти применение в различных видах учебной деятельности: лекционных, лабораторных и практических занятиях, а также во время самостоятельной работы студентов. С помощью УИМ на лекционных занятиях преподаватель может иллюстрировать основные законы, принципы по теме лекции, сопровождая их пояснениями. Для этого необходимо наличие презентационного оборудования (компьютер, проектор или интерактивная доска). Использование УИМ может способствовать адаптации лекционного материала к уровню знаний студентов и их профессиональной ориентации, что достигается методической составляющей УИМ и выбранной методикой преподавания.

На лабораторных занятиях УИМ может использоваться как средство для исследования вложенной в него модели объекта, проведения вычислительного эксперимента с целью опытной проверки теоретических положений. Если вид графического интерфейса модели на визуальном слое имитирует внешний вид оборудования, требуемого для проведения реального (натурного) эксперимента, то УИМ позволит изучать внешний вид и устройство измерительных приборов и установок.

Таким образом, УИМ может выступать в виде виртуального тренажера.

Для формирования более глубоких навыков анализа некоторой проблемной ситуации (кейса) и синтеза модели, решающей проблемную ситуацию, студентам может быть предложено не просто использовать готовый УИМ, а модернизировать его под имеющуюся ситуацию или создать новый самостоятельно в среде моделирования. При работе с исходной моделью в CM MAPS студенты могут выполнять дополнительные задания как с целью углубления навыков в предметной области (физика, электротехника и т. д.), так и непосредственно в области моделирования.

Для целей углубления знаний в предметной области модели студентам может ставиться задача модернизации УИМ (например, добавление блоков обработки результатов вычислительного эксперимента). В таком случае достаточно наличия учебно-методических материалов по предметной области и кратких сведений по работе в среде моделирования (в частности, о наличии и расположении в библиотеке требуемых блоков обработки), т. к. визуальный язык построения модели является интуитивным и используется на сегодняшний день в большинстве пакетов моделирования.

Если целью лабораторной работы является формирование навыков моделирования, то компьютерная модель становится уже не вспомогательным иллюстративным инструментом, а основным объектом исследования студентами, работа с которым уже потребует полноценного учебно-методического пособия по моделированию. Приведем примеры задач для студентов с указанием требуемых действий пользователя:

- 1) формализовать (декомпонировать) условия задачи — студенту необходимо выполнить первичный анализ системы, декомпонировать ее, определив компонентный состав будущей КЦ;
- 2) алгоритмизировать сценарий управления объектом управления, например, при работе с моделью физического маятника, представленной на рисунке 5, составить алгорит-



мическую КЦ для автоматической генерации вынужденных колебаний маятника. Решение подобных задач требует от студента модификации или добавления новой КЦ на логическом слое;

3) усложнить модель, например путем учета трения среды (воздуха или другой смеси газов) при движении маятника. Решение подобных задач влечет за собой изменения КЦ на всех трех слоях.

На *практических занятиях* могут использоваться УИМ, специально раскрывающие ход решения (расчетов) типовой поставленной задачи. В качестве практического задания может быть предложена обработка результатов виртуального эксперимента (статистическая обработка или поиск экстремальных значений) с возможностью многократного повторения вычислительного эксперимента или с применением методов оптимизации на модели для подбора оптимальных значений ее параметров. Например, такой задачей может быть определение диапазона значений угла полета и начальной скорости тела для попадания в определенную область, ограниченную координатами произвольной геометрической фигуры. При этом учащийся может решать эту задачу путем многократного запуска вычислительного эксперимента, варьируя начальные параметры, либо составить компонентную подцепь, реализующую работу алгоритмов оптимизации, где целевой функцией будет являться сама компонентная модель задачи (а точнее система уравнений, полученная в ходе ее автоматического анализа), а ограничениями — границы заданной геометрической фигуры.

УИМ могут найти применение также и в *самостоятельной работе* студента. Например, УИМ может являться элементом курса Moodle или любой другой образовательной платформы. При этом преподавателю необходимо составить домашнее задание для учащегося, при выполнении которого он будет использовать УИМ. Это может быть задание на проведение вычислительного эксперимента, исследование модели объекта, нахождения некоторой закономерности между данными проводимого эксперимента и пр. Также использование УИМ может быть обусловлено заданиями, проверяемыми автоматически в электронном курсе (например, элементом типа «Тест» в Moodle), которые требуют воспроизведения виртуального эксперимента с помощью УИМ и ответа на вопрос открытого или закрытого типа.

Отметим, что использование УИМ в различных видах образовательной деятельности обуславливается различной методической составляющей в виде формулировок заданий, кейсов и способов презентации результатов.

Список использованных источников

- [1] Вдовин Р. А., Трафимова Г. А. Опыт использования специализированного программного обеспечения в образовательном процессе и науке // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 4. С. 992-1002. <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201904.992-1002>
- [2] Сениченков Ю. Б. Проект InMotion. Впечатления по горячим следам // Компьютерные инструменты в образовании. 2020. № 1. С. 87-98. <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2020-1-87-98>
- [3] Дмитриев В. М., Филиппов А. Ю., Шарова О. Н. Формализованное представление задач для компьютерного моделирования // Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования. 2004. № 3. С. 53-59. EDN: KFPXXD
- [4] Шабунина Н. В. Обучение студентов технических вузов моделированию при решении систем физических задач // Педагогическое образование в России. 2014. № 7. С. 49-55. EDN: SXYCDJ

Заключение

УИМ представляют собой отдельные исполняемые приложения, содержащие в себе многоуровневую компьютерную модель объекта. «Многоуровневость» такой модели позволяет разделить работу студента с УИМ. На объектном слое модели располагается непосредственно модель исследуемого объекта, что позволяет студенту соотнести блочно-компонентное представление модели с реальным объектом. На логическом слое содержится имитационная модель поведения объекта или сценарий исследования модели. Учащийся может модифицировать КЦ этого слоя для автоматизации расчетов или управления работы моделью. На визуальном слое располагается графический интерфейс модели, который может имитировать внешний вид какого-либо прибора и позволяет учащемуся варьировать параметры модели с помощью бегунков или кнопок и отслеживать реакцию модели на цифровых табло, в таблицах, графиках или в окне 3D-анимации. Основное назначение УИМ — наглядная и интерактивная демонстрация основных положений, законов и принципов технических или естественно-научных дисциплин. Наглядность достигается за счет непосредственного анализа модели исследуемого прибора с выдачей результатов анализа на средства визуализации. Представленные в данной работе УИМ позволяют на математических моделях исследуемых объектов визуализировать основные положения, принципы и законы изучаемой дисциплины. С их помощью повышается наглядность и информативность материала интерактивного учебника, открываются возможности для проведения экспериментов в различных режимах работы объекта. УИМ могут применяться в режиме интерактивной демонстрации на лекциях (в очном и дистанционном форматах), на лабораторных работах в качестве объекта исследования, на практических занятиях в качестве инструмента для расчетов и во время самостоятельной работы студентов в различных комбинациях. Работа с УИМ за счет большой вариативности заданий к нему способствует индивидуализации обучения, стимулирует развитие компетенций, связанных с самостоятельной деятельности по получению знаний. Особенно актуальным представляется использование УИМ в областях, требующих большой наглядности, например в физике, электротехнике. Также у учащихся появляется возможность проведения вычислительного эксперимента: запуска модели в различных режимах работы, при различных исходных данных. Такая самостоятельная работа студента с УИМ активизирует его познавательную деятельность и позволяет ему открывать некоторые новые для него закономерности, не являющиеся очевидными на первый взгляд.



- [5] Масленникова Л. В., Арюкова О. А., Родиошкина Ю. Г. Алгоритмический метод решения физических задач как метод математического моделирования в техническом вузе // *Учебный эксперимент в образовании*. 2019. № 1(89). С. 45-50. EDN: ZDIJYD
- [6] Червонный М. А. Визуализация в обучении школьников физике и математике и подготовке будущих учителей // *Практика. Проблемы визуальной семиотики*. 2018. № 4(18). С. 235-250. <https://doi.org/10.23951/2312-7899-2018-4-235-250>
- [7] Дудышева Е. В., Захаров П. В. Использование сред виртуальной и смешанной реальности при изучении студентами моделей кристаллов в физике твердого тела // *Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования*. 2020. № 2(52). С. 67-74. <https://doi.org/10.25688/2072-9014.2020.52.2.08>
- [8] Репях Л. П., Белоновская И. Д. Технологии визуализации и моделирования в подготовке персонала к производственным рискам в дополнительном профессиональном образовании // *Современная высшая школа: инновационный аспект*. 2018. Т. 10, № 4(42). С. 46-60. <https://doi.org/10.7442/2071-9620-2018-10-4-46-60>
- [9] Климов А. А., Заречкин Е. Ю., Куприяновский В. П. Об особенностях использования тренажеров при реализации образовательных программ (на примере подготовки специалистов для транспорта) // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2019. Т. 15, № 2. С. 477-487. <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201902.477-487>
- [10] Применение современных информационных технологий при подготовке авиационных специалистов / С. В. Николаев [и др.] // *Авиакосмическое приборостроение*. 2020. № 8. С. 3-14. <https://doi.org/10.25791/aviakosmos.08.2020.1170>
- [11] Кристаллинский В. Р., Кристаллинский Р. Е. О решении задач математической физики в системе Wolfram Mathematica // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2019. Т. 15, № 4. С. 981-991. <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201904.981-991>
- [12] Алтунин К. К. Компьютерные технологии в физике: обобщение и систематизация опыта преподавания учебной дисциплины // *Поволжский педагогический поиск*. 2018. № 3(25). С. 96-107. EDN: YNJMJV
- [13] Разработка виртуального стенда для моделирования и исследования мобильного робота в программе SimInTech / Ю. Р. Никитин [и др.] // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2022. Т. 20, № 2. С. 78-85. <https://doi.org/10.22213/2410-9304-2022-2-78-85>
- [14] Skafa E. I., Evseeva E. G., Korolev M. E. Integration of mathematical and computer simulation modeling in engineering education // *Journal of Siberian Federal University. Mathematics and Physics*. 2022. Т. 15, № 4. С. 413-430. <https://doi.org/10.17516/1997-1397-2022-15-4-413-430>
- [15] Сениченков Ю. Б., Невзорова А. И., Семенцов А. Е. Моделирование для начинающих в среде AnyDynamics // *Компьютерные инструменты в образовании*. 2022. № 2. С. 74-75. <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2022-2-74-75>
- [16] Попов Е. А., Шорников Ю. В. Язык моделирования гетерогенных динамических систем LISMA_HDS // *Системы анализа и обработки данных*. 2021. № 1(81). С. 103-122. <http://dx.doi.org/10.17212/2782-2001-2021-1-103-122>
- [17] Вайгенд М. Математическое моделирование и программирование в естественнонаучном образовании // *Компьютерные инструменты в образовании*. 2019. № 2. С. 55-64. <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2019-2-55-64>
- [18] Интерактивные цифровые модели в лабораторных работах по физике как фактор повышения качества образовательного процесса / С. В. Ревунов [и др.] // *Глобальный научный потенциал*. 2020. № 11(116). С. 118-122. EDN: GRISUJ
- [19] Иллюстрации движения твердого тела по сепаратрисе в случае Эйлера Пуансо / С. Ф. Адалай [и др.] // *Компьютерные инструменты в образовании*. 2018. № 2. С. 5-13. EDN: YOVPZ
- [20] Румановский И. Г., Алешин М. С. Анализ технологий создания виртуальной лабораторной работы по физике // *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. 2021. № 4(63). С. 45-54. EDN: JIEEQV
- [21] Сениченков Ю. Б. Виртуальные лаборатории: использование, разработка, стандартизация // *Компьютерные инструменты в образовании*. 2022. № 3. С. 108-132. <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2022-3-108-132>
- [22] Шорников Ю. В., Сениченков Ю. Б., Рыжов В. А. Сравнительный обзор сред компьютерного моделирования в рамках проекта InMotion // *Университетский научный журнал*. 2017. № 30. С. 58-65. EDN: OUCQTD
- [23] Мартин-Вильяльба М., Манзур М. Е., Уркиа А. Виртуальная лаборатория для контроля за загрязнением воздуха в Modelica // *Компьютерные инструменты в образовании*. 2018. № 1. С. 5-15. <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2018-1-5-15>
- [24] Власова Е. А., Меженная Н. М., Попов В. С. Проектирование учебных материалов с использованием систем компьютерной математики // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2019. Т. 15, № 2. С. 386-394. <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201902.386-394>
- [25] Дмитриев В. М., Ганджа Т. В., Панов С. А. Система виртуальных инструментов и приборов для автоматизации учебных и научных экспериментов // *Программные продукты и системы*. 2016. № 3. С. 154-162. <https://doi.org/10.15827/0236-235X.115.154-162>
- [26] Стратегия подготовки ИТ-специалистов с применением инновационного учебного дата-центра «Виртуальная компьютерная лаборатория» для эффективного решения задач цифровой трансформации и акселерации цифровой экономики / М. А. Белов [и др.] // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2021. Т. 17, № 1. С. 134-144. <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202101.703>
- [27] Компьютерное моделирование визуальных интерфейсов виртуальных инструментов и приборов / В. М. Дмитриев [и др.] // *Научная визуализация*. 2016. Т. 8, № 3. С. 111-131. EDN: WHBCQV
- [28] Хмызова А. А. Игровое моделирование как средство повышения мотивации обучения у бакалавров профессионального образования // *Ученые записки Орловского государственного университета*. 2021. № 4(93). С. 289-292. EDN: KWFFKL



- [29] Дмитриев В. М., Ганджа Т. В., Коротина Т. Ю. Система визуализации и управления вычислительным экспериментом в среде многоуровневого моделирования MAPC // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2010. № 1-2(21). С. 149-155. EDN: MTHNSZ
- [30] Дмитриев В. М., Ганджа Т. В., Кочергин М. И. Матрично-топологический анализ компонентных цепей // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 62. С. 25-35. <https://doi.org/10.17223/19988605/62/3>

Поступила 24.06.2023; одобрена после рецензирования 02.08.2023; принята к публикации 19.08.2023.

Об авторах:

Кочергин Максим Игоревич, доцент кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании, ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 40), кандидат технических наук, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7404-8718>**, maksim.i.kochergin@tusur.ru

Дмитриев Вячеслав Михайлович, профессор кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании, ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 40), доктор технических наук, профессор, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1089-6993>**, viacheslav.m.dmitriev@tusur.ru

Ганджа Тарас Викторович, профессор кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании, ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 40), доктор технических наук, доцент, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4996-8114>**, gtv@main.tusur.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Vdovin R.A., Trafimova G.A. *Opyt ispol'zovaniya specializirovannogo programmnoho obespecheniya v obrazovatel'nom processe i nauke* [Experience in using specialized software in the educational process and science]. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2019;15(4):992-1002. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201904.992-1002>
- [2] Senichenkov Yu.B. *Proekt InMotion. Vпечатleniya po goryachim sledam* [InMotion project. Impressions in hot pursuit]. *Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii = Computer Tools in Education*. 2020;(1):87-98. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2020-1-87-98>
- [3] Dmitriev V.M., Filippov A.Yu., Sharova O.N. *Formalizovannoe predstavlenie zadach dlya komp'yuternogo modelirovaniya* [Formalized representation of tasks for computer simulation]. *Vestnik MGPU. Seriya: Informatika i informatizatsiya obrazovaniya = The academic Journal of Moscow City University, series "Informatics and Informatization of Education"*. 2004;(3):53-59. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: KFPXXD
- [4] Shabunina N.V. *Obuchenie studentov tekhnicheskikh vuzov modelirovaniyu pri reshenii sistem fizicheskikh zadach* [Teaching students of technical universities to model in solving systems of physical problems]. *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii = Pedagogical education in Russia*. 2014;(7):49-55. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: SXYCD
- [5] Maslennikova L.V., Aryukova O.A., Rodioshkina Yu.G. *Algoritmicheskij metod resheniya fizicheskikh zadach kak metod matematicheskogo modelirovaniya v tekhnicheskom vuze* [Algorithmic method for solving physical problems as a method of mathematical modeling in a technical university]. *Uchebnyj eksperiment v obrazovanii = Educational experiment in education*. 2019;(1):45-50. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: ZDIJYD
- [6] Chervonnyj M.A. *Vizualizatsiya v obuchenii shkol'nikov fizike i matematike i podgotovke budushchih uchitelej* [Visualization in teaching physics and mathematics to schoolchildren and training future teachers]. *Praksema. Problemy vizual'noj semiotiki = Praxema. Problems of visual semiotics*. 2018;(4):235-250. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.23951/2312-7899-2018-4-235-250>
- [7] Dudysheva E.V., Zaharov P.V. *Ispol'zovanie sred virtual'noj i smeshannoj real'nosti pri izuchenii studentami modelej kristallov v fizike tverdogo tela* [The use of virtual and mixed reality environments in the study of crystal models in solid state physics by students]. *Vestnik MGPU. Seriya: Informatika i informatizatsiya obrazovaniya = The academic Journal of Moscow City University, series "Informatics and Informatization of Education"*. 2020;(2):67-74. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25688/2072-9014.2020.52.2.08>
- [8] Repyah L.P., Belonovskaya I.D. *Tekhnologii vizualizatsii i modelirovaniya v podgotovke personala k proizvodstvennym riskam v dopolnitel'nom professional'nom obrazovanii* [Visualization and modeling technologies in personnel training for production risks in additional professional education]. *Sovremennaya vysshaya shkola: innovatsionnyj aspekt = Modern Higher School: Innovative Aspect*. 2018;10(4):46-60. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.7442/2071-9620-2018-10-4-46-60>
- [9] Klimov A.A., Zarechkin E.Yu., Kupriyanovskij V.P. *Ob osobennostyah ispol'zovaniya trenazherov pri realizatsii obrazovatel'nyh programm (na primere podgotovki specialistov dlya transporta)* [On the peculiarities of using simulators in the implementation of educational programs (on the example of training specialists for transport)]. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2019;15(2):477-487. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201902.477-487>



- [10] Nikolaev S.V., Makarov I.K., Fedorkevich I.A., Tihonov D.V. *Primenenie sovremennykh informacionnykh tekhnologij pri podgotovke aviacionnykh specialistov* [Application of modern information technologies in the training of aviation specialists]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie = Aerospace Instrumentation*. 2020;(8):3-14. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25791/aviakosmos.08.2020.1170>
- [11] Kristalinskij V.R., Kristalinskij R.E. *O reshenii zadach matematicheskoy fiziki v sisteme Wolfram Mathematica* [About solving problems of mathematical physics in the Wolfram Mathematica system]. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2019;15(4):981-991. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201904.981-991>
- [12] Altunin K.K. *Komp'yuternye tekhnologii v fizike: obobshchenie i sistematizaciya opyta prepodavaniya uchebnoj discipliny* [Computer technologies in physics: generalization and systematization of the experience of teaching an academic discipline]. *Povolzhskij pedagogicheskij poisk = Volga Pedagogical Search*. 2018;(3):96-107. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YNJMJV
- [13] Nikitin Yu.R., Zubkova Yu.V., Sosnovich E.V., Masanov P.A. *Razrabotka virtual'nogo stenda dlya modelirovaniya i issledovaniya mobil'nogo robota v programme SimInTech* [Development of a virtual stand for modeling and research of a mobile robot in the SimInTech program]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve = Intelligent systems in production*. 2022;20(2):78-85. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.22213/2410-9304-2022-2-78-85>
- [14] Skafa E.I., Evseeva E.G., Korolev M.E. *Integration of mathematical and computer simulation modeling in engineering education*. *Journal of Siberian Federal University. Mathematics and Physics*. 2022;15(4):413-430. <https://doi.org/10.17516/1997-1397-2022-15-4-413-430>
- [15] Senichenkov Yu.B., Nevzorova A.I., Semencov A.E. *Modelirovanie dlya nachinayushchih v srede AnyDynamics* [Modeling for Beginners in the AnyDynamics Environment]. *Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii = Computer Tools in Education*. 2022;(2):74-75. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2022-2-74-75>
- [16] Popov E.A., Shornikov Yu.V. *Yazyk modelirovaniya geterogennykh dinamicheskikh sistem LISMA_HDS* [LISMA_HDS language for modeling heterogeneous dynamic systems]. *Sistemy analiza i obrabotki dannykh = Analysis and data processing systems*. 2021;(1):103-122. (In Russ., abstract in Eng.) <http://dx.doi.org/10.17212/2782-2001-2021-1-103-122>
- [17] Vajgend M. *Matematicheskoe modelirovanie i programmirovaniye v estestvenno-nauchnom obrazovanii* [Mathematical Modeling and Programming in Science Education]. *Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii = Computer Tools in Education*. 2019;(2):55-64. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2019-2-55-64>
- [18] Revunov S.V., Nesvat M.S., Lubenskaya M.P., Shcherbina M.M. *Interaktivnye cifrovye modeli v laboratornykh rabotah po fizike kak faktor povysheniya kachestva obrazovatel'nogo processa* [Interactive digital models in laboratory work in physics as a factor in improving the quality of the educational process]. *Global'nyj nauchnyj potencial = Global scientific potential*. 2020;(11):118-122. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: GRISUJ
- [19] Adlaj S.F., Berestova S.A., Misyura N.E., Mityushov E.A. *Illyustracii dvizheniya tverdogo tela po separatrise v sluchae Ejlera Puanso* [Illustrations of the motion of a rigid body along the separatrix in the case of Euler Poincot]. *Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii = Computer Tools in Education*. 2018;(2):5-13. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YOVGPZ
- [20] Rumanovskij I.G., Aleshin M.S. *Analiz tekhnologij sozdaniya virtual'noj laboratornoj raboty po fizike* [Analysis of technologies for creating a virtual laboratory work in physics]. *Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta = Pacific State University Bulletin*. 2021;(4):45-54. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: JIEEQV
- [21] Senichenkov Yu.B. *Virtual'nye laboratorii: ispol'zovanie, razrabotka, standartizaciya* [Virtual laboratories: use, development, standardization]. *Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii = Computer Tools in Education*. 2022;(3):108-132. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2022-3-108-132>
- [22] Shornikov Yu.V., Senichenkov Yu.B., Ryzhov V.A. *Comparative analysis of computer modeling and simulation environments under the InMotion project*. *Humanities & Science University Journal*. 2017;(30):58-65. EDN: OUCQTD
- [23] Martin-Villalba C., Manzur M.E., Urquia A. *Virtual lab in Modelica for air pollution control*. *Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii = Computer Tools in Education*. 2018;(1):5-15. <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2018-1-5-15>
- [24] Vlasova E. A., Mezhenayaya N. M., Popov V. S. *Proektirovanie uchebnykh materialov c ispol'zovaniem sistem komp'yuternoy matematiki* [Designing educational materials using computer mathematics systems]. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2019;15(2):386-394. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201902.386-394>
- [25] Dmitriev V.M., Gandzha T.V., Panov S.A. *Sistema virtual'nykh instrumentov i priborov dlya avtomatizacii uchebnykh i nauchnykh eksperimentov* [System of virtual instruments and devices for automation of educational and scientific experiments]. *Programmnye produkty i sistemy = Software Products and Systems*. 2016;(3):154-162. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.15827/0236-235X.115.154-162>
- [26] Belov M.A., Grishko C.I., Lishilin M.V., Osipov P.A., Cheremisina E.N. *Strategiya podgotovki IT-specialistov s primeneniem innovacionnogo uchebnogo data-centra «Virtual'naya komp'yuternaya laboratoriya» dlya effektivnogo resheniya zadach cifrovoj transformacii i akseleracii cifrovoj ekonomiki* [Strategy for training IT specialists using the innovative educational data center "Virtual Computer Laboratory" to effectively solve the problems of digital transformation and acceleration of the digital]. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2021;17(1):134-144. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202101.703>
- [27] Dmitriev V.M., Gandzha T.V., Gandzha V.V., Panov S.A. *Komp'yuternoe modelirovanie vizual'nykh interfejsov virtual'nykh instrumentov i priborov* [Computer modeling of visual interfaces of virtual instruments and devices]. *Nauchnaya vizualizaciya = Scientific Visualization*. 2016;8(3):111-131. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: WHBCQV



- [28] Hmyzova A.A. *Igrovoe modelirovanie kak sredstvo povysheniya motivacii obucheniya u bakalavrov professional'nogo obrazovaniya* [Game modeling as a means of increasing the motivation for learning among bachelors of vocational education]. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta* = Scientific notes of Orel State University. 2021;(4):289-292. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: KWFFKL
- [29] Dmitriev V.M., Gandzha T.V., Korotina T.Yu. *Sistema vizualizacii i upravleniya vychislitel'nykh eksperimentom v srede mnogourovnevnogo modelirovaniya MARS* [System of visualization and control of computational experiment in the environment of multilevel modeling MARS]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* = Proceedings of TUSUR University. 2010;(1-2):149-155. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: MTHNSZ
- [30] Dmitriev V.M., Gandzha T.V., Kochergin M.I. *Matrichno-topologicheskij analiz komponentnykh cepej* [Matrix topological analysis of component circuits]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* = Tomsk State University Journal of Control and Computer Science. 2023;(62):25-35. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.17223/19988605/62/3>

Submitted 24.06.2023; approved after reviewing 02.08.2023; accepted for publication 19.08.2023.

About the authors:

Maksim I. Kochergin, Associate Professor of the Chair of Computer Control and Design Systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (40 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russian Federation), Cand. Sci. (Tech.), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7404-8718>**, maksim.i.kochergin@tusur.ru

Vyacheslav M. Dmitriev, Professor of the Chair of Computer Control and Design Systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (40 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russian Federation), Dr. Sci. (Tech.), Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1089-6993>**, viacheslav.m.dmitriev@tusur.ru

Taras V. Gandzha, Professor of the Chair of Computer Control and Design Systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (40 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russian Federation), Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4996-8114>**, gtv@main.tusur.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

