

УДК 519.87, 537.8, 621.31

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИН ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЦИКЛОВ У ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

**Егорова А.А., Семёнов А.С., Петрова М.Н.**

*Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Мирный, Республика Саха (Якутия), Россия (678170, г. Мирный, ул. Тихонова, д. 5, корп. 1), sash-alex@yandex.ru*

Данная статья раскрывает вопрос применения программ математического моделирования для преподавания дисциплин естественнонаучного и профессионального циклов у технических специальностей. Указаны реализуемые технические специальности в Политехническом институте (филиале) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Мирном. Рассмотрен ряд дисциплин, требующих использования специальных программ имитационного моделирования. Приведено обоснование и плюсы использования именно программы MatLab. Представлено краткое описание возможностей и вид интерфейса программы. Рассмотрена структура пакета программ, описаны входящие туда приложения. Приведены примеры вычисления элементарных математических функций, векторов и матриц. Указаны плюсы программирования программ в MatLab. Подробно описаны приложения Simulink, Simscape, SimDriveline, SimElectronics, SimHydraulics, SimMechanics и SimPowerSystems, позволяющие моделировать процессы физики, механики, электротехники и пр. Приведены их возможности и структура библиотек блоков. Представлены учебно-методические пособия, изданные сотрудниками вуза для облегчения изучения пакета программ MatLab. Описаны примеры, где во время обучения может пригодиться пакет программ MatLab. Приведен список публикаций студентов, основанных на изучении программы MatLab при выполнении лабораторных и практических работ, а также при проведении ими научных исследований.

Ключевые слова: математическое моделирование, технические специальности, пакет программ, MatLab, модель, приложение, Simulink, студент.

## **APPLICATION PROGRAMS MATHEMATICAL MODELING AT STUDYING OF DISCIPLINES NATURAL SCIENCES AND PROFESSIONAL CYCLE IN TECHNICAL SPECIALTIES**

**Egorova A.A., Semenov A.S., Petrova M.N.**

*Polytechnic Institute (branch) «NEFU name after M.K. Ammosov» in Mirny, Mirny, Sakha, Russia (678170, Mirny, Tikhonova street 5/1), sash-alex@yandex.ru*

This article is dedicated the question of the application of mathematical modeling software for teaching natural science and professional cycles in technical professions. Shown implemented technical specialties at the Polytechnic Institute (branch) «NEFU name after M.K. Ammosov» in Mirny. A number of disciplines, requiring the use of special simulation software. The substantiation of the benefits of using it and the program MatLab. A brief description of the features and the type of interface. The structure of the software package, to describe the incoming applications. Examples of calculation of elementary mathematical functions, vectors and matrices. Shown pros programming software in MatLab. Detailed description of the application Simulink, Simscape, SimDriveline, SimElectronics, SimHydraulics, SimMechanics and SimPowerSystems, allowing to simulate the processes of physics, mechanics, electrical engineering and so forth. Bring them opportunities and the structure of block libraries. Presented training manuals issued by the staff of the university to facilitate the study of the software package MatLab. Describe examples where during training can be useful software package MatLab. The list of publications of students, based on a study program MatLab for any laboratory and practical work, as well as during their research.

Keywords: mathematical modeling, technical specialty, a software package, MatLab, model, application, Simulink, a student.

Политехнический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Мирном [3] ведёт подготовку

специалистов (горных инженеров) по специальности 21.05.04 «Горное дело» (специализации «Горные машины и оборудование», «Подземная разработка рудных месторождений», «Обогащение полезных ископаемых», «Электрификация и автоматизация горного производства»).

В курсах дисциплин естественнонаучного и профессионального циклов у вышеуказанных специальностей присутствуют предметы, изучение которых невозможно без использования современных программ математического моделирования [7-8,13], такие как: математика, информатика, физика, теория автоматического управления, физические основы электроники, основы моделирования электромеханических систем, электротехника, автоматизированный электропривод и др.

Для преподавания таких дисциплин требуется универсальная программа моделирования всевозможных процессов физики, механики, электроники и имеющая большую элементную базу и простоту построения моделей. Программа моделирования должна обеспечивать проведение лабораторных и практических работ по вышеуказанным дисциплинам с возможностью отображения результатов моделирования тех или иных процессов в реальном времени.

**Выбор программы математического моделирования.** Как оказалось, со столь сложной поставленной задачей смогло справиться одно из немногих приложений, адаптированных под операционную систему Windows – это пакет программ MatLab [7,12,24]. Хотя лицензионная версия MatLab имеет только английский язык интерфейса, это не оказалось проблемой для восприятия студентов вуза, которые ежедневно сталкиваются с другими англоязычными приложениями в своих персональных компьютерах и с первого курса изучают иностранный язык (как правило – английский).

Пакет программ MatLab предназначен для аналитического и численного решения различных математических задач, а также для моделирования сложных физических, электротехнических и электромеханических систем. MatLab получил наиболее распространенное применение в инженерной практике в отличие от других подобных программ (Mathematica, Maple, Mathcad) [2,9].

Система инженерных и научных расчётов MatLab (MatrixLaboratory – матричная лаборатория) способна решать задачи линейной алгебры, интегральные и дифференциальные уравнения, выполнять преобразования Лапласа и Фурье, Z-преобразования и т.д. Графические возможности пакета позволяют строить двух и трёхмерные графики в различных координатах. Предусмотрено решение статистических и оптимизационных задач. Благодаря библиотеке блоков Simulink имеется возможность анализа и синтеза современных систем управления во временной и частотной областях, а также в пространстве состояний.

Множество пакетов расширений (Toolbox), в том числе по нейронным сетям, нечёткой логике и генетическим алгоритмам, делают этот пакет незаменимым при автоматизированном проектировании систем управления промышленными объектами [10-11,18].

Среди большого числа пакетов прикладных программ MatLab занимает особое место. Первоначально ориентированная на исследовательские проекты, система в последние годы стала рабочим инструментом не только ученых и инженеров-разработчиков, но и студентов. В сообществе радиоинженеров, физиков и связистов пакет программ MatLab получил необычайное распространение и, по сути, стал средством междисциплинарного и международного общения. Особенно широко, эффективно и эффективно система MatLab применяется в области обработки сигналов, которая по необходимости затрагивает информатику и связь, управление, радиолокацию и радионавигацию, радиовещание и телевидение, медицинское приборостроение и измерительную технику, автомобильную и бытовую электронику и многое другое [19-22].

При изучении физических процессов основную роль в понимании результатов играет визуализация, причем от ее качества зависит эффективность работы студента, исследователя. Особенно важную роль визуализация должна играть в тех разделах современной физики, где поведение объекта исследования и его характеристик не всегда очевидно из описывающих какой-либо процесс формул. Эту проблему помогает решить система MatLab, содержащая инструмент визуального моделирования Simulink [6,13].

**Применение в математике и информатике.** Поскольку расчеты в программе MatLab производятся матричным методом, она идеально подходит для проведения практических занятий по математике на 1 курсе, когда студенты изучают векторы и матрицы. Следует отметить, что в MatLab установлен общепринятый порядок выполнения арифметических операций: возведение в степень, умножение и деление, сложение и вычитание. Для изменения порядка приоритета следует использовать круглые скобки. При работе в режиме калькулятора необходимо в командном окне ввести подлежащее вычислению выражение, нажать клавишу Enter, после чего программа MatLab вычислит введённое выражение, результату присвоит специальную переменную ans и выведет его в отдельной строке [4-5,21].

Для вычислений с числами предусмотрены все элементарные функции: логарифмические, тригонометрические, гиперболические. Аргументы задаются в круглых скобках через запятую. Аргументы и результат тригонометрических функций в радианах. Краткое описание элементарных функций вызывается с помощью команды `>>helpelfun` (Elementarymathfunctions). Также предусмотрены и специальные функции (бета- и гамма-

функции, и др.), список которых можно вывести с помощью оператора `>>helpspecfun` (`Specializedmathfunctions`). Для того чтобы задать вектор, необходимо в командной строке ввести имя вектора, оператор присваивания `=`, открывающую квадратную скобку `[`, после чего указать значения элементов вектора через пробел, ввести закрывающуюся квадратную скобку `]` и нажать клавишу `Enter`. После этого программа выведет вектор на экран. Для задания матрицы требуется указать несколько строк, для разграничения которых используется знак `;` (точка с запятой). Элементами векторов и матриц могут служить арифметические выражения, содержащие любые доступные системе функции.

С помощью языка `MatLab` можно писать программы и алгоритмы быстрее, чем на традиционных языках программирования [2,4,8-9], потому что нет необходимости таких низкоуровневых организационных операций, как объявление переменных, определение типов и выделение памяти. Во многих случаях переход на векторные и матричные операции избавляет от необходимости использования циклов `for`. В результате одна строка `MatLab` кода часто может заменить несколько строк `C/C++` кода. `MatLab` обладает свойствами традиционных языков программирования, включая управление потоками данных, обработку ошибок и объектно-ориентированное программирование (ООП). Можно использовать основные типы данных, сложные структуры данных или определять пользовательские типы. Можно получать результаты немедленно, выполняя команды интерактивно по одной за раз. Такой подход позволяет быстро исследовать различные варианты для получения лучшего решения. Объединив эти интерактивные команды в скрипт или функцию, можно автоматизировать их выполнение. Расширения `MatLab` имеют встроенные алгоритмы для обработки сигналов и связи, обработки изображений и видеоданных, систем управления и многих других областей. Комбинируя эти алгоритмы, можно реализовать сложные программы и приложения [4].

**Применение в физике и механике.** Для выполнения задач по моделированию в механике и физических процессах [1,6–7,12] в `MatLab` предусмотрено приложение `Simscape`, а именно `SimDriveline`, `SimElectronics`, `SimHydraulics` и `SimMechanics`.

К вычислениям определенных интегралов сводятся многие практические задачи физики, химии, экологии, механики и других естественных наук. На практике взять интеграл аналитически не всегда удается. В этом случае используются методы численного интегрирования, такие как Ньютона – Котеса, в частности методы прямоугольников, трапеций, Симпсона и метод Гаусса. Но нет ничего проще, чем аналитическое и численное отыскания интегралов в программе `MatLab`.

`Simscape` позволяет создавать модели из настраиваемых компонентов, используя базовые элементы, содержащиеся в фундаментальных библиотеках. `Simscape` предоставляет

блоки для построения механических систем для представления одномерных поступательных или вращательных движений. В дополнение к базовым элементам – таким, как масса, пружина и упор – доступны нелинейные эффекты, такие, как мертвый ход и трение. Интерфейсные блоки, предоставляемые вместе с SimMechanics и SimDriveline, позволяют подсоединять модели Simscape к моделям, созданным с использованием следующих инструментов: моделирование электрических компонентов; моделирование гидравлических компонентов; моделирование термальных эффектов; работа с физическими сигналами.

При помощи Simscape можно создать модель системы так же, как если бы мы собирали физическую систему. Simscape использует подход, называемый «физическая сеть», также известный как каузальное моделирование, для построения модели: блоки, относящиеся к физическим элементам, таким, как насосы, двигатели и операционные усилители, соединяются линиями, представляющими физические соединения, по которым передается энергия. Этот подход позволяет описывать физическую структуру системы, более чем математические выражения, лежащие в основе этой системы. Для модели, которая близка по виду к чертежу, Simscape автоматически выводит дифференциальные уравнения, характеризующие поведение системы. Эти уравнения совмещаются с остальной моделью Simulink и решаются напрямую. Компоненты из различных физических доменов решаются совместно, относительно своих переменных, таким образом, позволяя избегать алгебраических зацикливаний.

В SimMechanics тела определяются с точки зрения их массы, инерции и точек соединения. Сложные формы можно собрать из набора простых форм, таких как сферы, цилиндры и экструзии. Масса и инерция форм вычисляется автоматически. На определяющей тело блок-схеме отображаются все связи с телом, что упрощает вид топологии системы. При помощи скриптов можно вычислять параметры, такие как длина и масса, можно назначать параметры при помощи переменных.

В SimHydraulics можно строить модели системы, основанные на стандарте ISO 1219 для гидравлических приводов. Из модели, которая очень напоминает гидравлическую схему, автоматически строятся уравнения, которые характеризуют поведение системы. Эти уравнения интегрируются в остальную часть Simulink модели. Библиотеки SimHydraulics предоставляют более чем 45 моделей гидравлических и механических компонентов, включая модели для насосов, цилиндров и аккумуляторов. Можно использовать блоки-датчики в Simscape для измерения гидромеханических параметров, таких как давление, поток, положение, скорость и сила, и затем передать эти сигналы в стандартные блоки Simulink.

В SimDriveline представляются библиотеки одномерных механических компонентов. Можно подключать компоненты друг к другу, такие как планетарные механизмы, муфты и

устройства тормоза для моделирования механической системы. Создаваемые модели можно группировать в подсистемы, делая их удобными для чтения и повторного использования. В дополнение к традиционному сигнальному или типа вход-выход соединению блоков между собой, в SimDriveline используются физические связи, при которых осуществляется передача мощности в любом направлении. Модели, построенные при помощи физических связей, очень напоминают физическую систему, которую они представляют, такие модели просты для понимания. Во многих моделях из библиотеки SimDriveline есть возможность регулирования уровня достоверности модели. Можно выбирать учитывать ли или пренебрегать определенными эффектами в модели, такими как зацепление, вязкие потери и таким образом находить компромисс между достоверностью модели и скоростью симуляции.

В SimElectronics возможно добавлять внутрь моделей аналоговые электронные и электромеханические компоненты, создавать новые подсистемы с помощью структурных блоков полупроводниковых компонент, приводов, движителей, двигателей и датчиков. SimElectronics может использоваться в автомобильной и аэрокосмической областях, промышленной автоматизации, связи и обработки сигналов.

**Применение в электротехнике и электроприводе.** Для выполнения задач по моделированию сложных электротехнических и электромеханических систем предназначено приложение SimPowerSystems [23,25-27]. Это приложение представляет собой библиотеку блоков, позволяющую собирать в единое целое имитационные модели. Библиотека блоков SimPowerSystems является одной из множества дополнительных библиотек Simulink, ориентированных на моделирование электромеханических и электроэнергетических систем и устройств. SimPowerSystems содержит набор блоков для имитационного моделирования электротехнических устройств. В состав библиотеки входят модели пассивных и активных электротехнических элементов, источников энергии, электродвигателей, трансформаторов, линий электропередачи и прочего оборудования. Имеется также раздел, содержащий блоки для моделирования устройств силовой электроники, включая системы управления для них. Используя специальные возможности Simulink и SimPowerSystems, пользователь может не только имитировать работу устройств во временной области, но и выполнять различные виды анализа таких устройств. В частности, пользователь имеет возможность рассчитать установившийся режим работы системы на переменном токе, выполнить расчет импеданса участка цепи, получить частотные характеристики, проанализировать устойчивость, а также выполнить гармонический анализ токов и напряжений.

Несомненным достоинством SimPowerSystems является то, что сложные электротехнические системы можно моделировать, сочетая методы имитационного и

структурного моделирования. Например, силовую часть полупроводникового преобразователя электрической энергии можно выполнить с использованием имитационных блоков SimPowerSystems, а систему управления с помощью обычных блоков Simulink, отражающих лишь алгоритм ее работы, а не ее электрическую схему. Такой подход, в отличие от пакетов схемотехнического моделирования, позволяет значительно упростить всю модель, а значит повысить ее работоспособность и скорость работы. Кроме того, в модели с использованием блоков SimPowerSystems можно использовать блоки и остальных библиотек Simulink, а также функции самого MatLab, что дает практически не ограниченные возможности для моделирования электротехнических систем [28-29,36,38].

Библиотека SimPowerSystems достаточно обширна. В том случае, если все же нужного блока в библиотеке нет, пользователь имеет возможность создать свой собственный блок как с помощью уже имеющихся в библиотеке блоков, реализуя возможности Simulink по созданию подсистем, так и на основе блоков основной библиотеки Simulink и управляемых источников тока или напряжения. Таким образом, SimPowerSystems в составе Simulink на настоящее время может считаться одним из лучших пакетов для моделирования электротехнических устройств и систем.

**Учебно-методическое обеспечение.** Для облегчения знакомства студентов с пакетом программ MatLab преподавателями Политехнического института (филиала) ФГАОУ ВПО «СВФУ имени М.К. Аммосова» в г. Мирном были разработаны следующие научные и учебно-методические материалы:

- Семёнов А.С. Программа MatLab. Методические указания к лабораторным работам / Москва, 2012. – 40 с.;
- Семёнов А.С. Моделирование автоматизированного электропривода. Методические указания по выполнению лабораторных работ / Москва, 2012. – 60 с.;
- Моделирование режимов работы электроприводов горного оборудования: монография / А.С. Семёнов, Н.Н. Кугушева, В.М. Хубиева. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 112 с.;
- Моделирование режимов работы систем электроснабжения горных предприятий: монография / А.С. Семёнов, В.М. Хубиева, Н.Н. Кугушева. – М.: Изд-во «Перо», 2015. – 100 с.

Вышеуказанные учебно-методические [21,24] и научные [10-11] пособия содержат разделы и лабораторные работы, в которых отображено знакомство с программой, рассмотрение всевозможных функций и операций в MatLab, создание моделей в Simulink, применение параметров моделирования для каждой отдельной модели, знакомство с элементной базой библиотек Simulink и SimPowerSystems, создание сложных технических

моделей и систем и т.п. Студенты старших курсов намного теснее сталкиваются с пакетом программ MatLab. В рамках специализации «Электрификация и автоматизация горного производства» при изучении большинства предметов профессионального цикла студенты производят моделирование систем электроснабжения горных предприятий или моделирование режимов работы электропривода производственных механизмов [14-15,30-31]. Особенно в дипломных работах в «Специальном вопросе» очень тщательно рассматривается та или иная модель, приводятся необходимые расчеты и отображаются полученные результаты моделирования в режиме реального времени [16-17,39].

В рамках научной работы студенты имеют возможность по результатам проделанных лабораторных работ в случае получения интересных результатов моделирования представить свои статьи на проходящую ежегодно в институте Всероссийскую научно-практическую конференцию студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно технический прогресс в современном мире». Самые интересные работы, занявшие призовые места, публикуются в ведущих научных журналах, входящих в перечень РИНЦ и даже ВАК. Примеры таких публикаций приведены в списке литературы [31-35,37].

**Вывод.** В заключении хотелось бы отметить, что пакет программ MatLab идеально подходит для проведения практических и лабораторных занятий курсов дисциплин естественнонаучного и профессионального циклов у студентов технических специальностей, для изучения и осознания которых требуется произвести моделирование или имитацию работы оборудования или сложной технической системы. Хотя и пакет программ MatLab является очень требовательным в аппаратной части (требует установку на мощные компьютеры), но в настоящее время это не является минусом, так как компьютерные классы большинства вузов оснащены по последнему слову техники.

### Список литературы

1. Вольников М.И., Волкова Е.М., Алырев С.А. // Современные информационные технологии. – 2011. – № 13. – С. 139-141.
2. Воскобойников Ю.Е., Гадоев М.Г., Егорова А.А. Математические пакеты MathCad и Maple. Учебное пособие. – Якутск: Якутский гос. ун-т, 2008. – 80 с.
3. Гольдман А.А. // Горный журнал. – 2014. – № 1. – С. 6-9.
4. Егорова А.А. Информатика. Учебно-методическое пособие. – Мирный: МПТИ (ф) СВФУ, 2014. – 126 с.
5. Ефремов Ю.С., Петропавловский М.Д. // Вестник Алтайской государственной педагогической академии. – 2002. – № 2-3. – С. 96-99.



6. Калеева Ж.Г. // В мире научных открытий. – 2014. – № 1.1 (49). – С. 591-605.
7. Коткин Г.Л., Черкасский В.С. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB : учеб. пособие / Новосиб. ун-т. Новосибирск, 2001. – 173 с.
8. Лазарев Ю.Ф. Начала программирования в среде MATLAB : учебное пособие. – К.: НТУУ «КПИ», 2003. – 424 с.
9. Мещеряков В.А., Денисов В.П., Денисова Л.А. Введение в методы математического программирования. Компьютерный практикум в среде MATLAB. – Омск, 2013. – 142 с.
10. Моделирование режимов работы систем электроснабжения горных предприятий: монография / А.С. Семёнов, В.М. Хубиева, Н.Н. Кугушева. – М.: Изд-во «Перо», 2015. – 100 с.
11. Моделирование режимов работы электроприводов горного оборудования: монография / А.С. Семёнов, Н.Н. Кугушева, В.М. Хубиева. – Saarbrücken: LAP LAMBERT AcademicPublishing, 2013. – 112 с.
12. Мусалимов В.М., Заморуев Г.Б., Калапышина И.И., Перечесова А.Д., Нуждин К.А. Моделирование мехатронных систем в среде MatLab (Simulink / SimMechanics) : учеб. пособие для высших учебных заведений. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 114 с.
13. Ойматова Х. // Вестник Таджикского национального университета. – 2014. – № 3-7 (148). – С. 283-286.
14. Рушкин Е.И., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-2. – С. 341-342.
15. Рушкин Е.И., Семёнов А.С. // Технические науки - от теории к практике. – 2013. – № 20. – С. 34-41.
16. Рушкин Е.И., Семёнов А.С., Саввинов П.В. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-12. – С. 2615-2619.
17. Саввинов П.В., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 232.
18. Семёнов А.С. // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2014. – Т. 11, № 1. – С. 51-59.
19. Семёнов А.С. // Естественные и технические науки. – 2013. – № 4. – С. 296-298.
20. Семёнов А.С. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 9-2. – С. 29-34.
21. Семёнов А.С. Моделирование автоматизированного электропривода: методические указания по выполнению лабораторных работ. – М.: Изд-во «Спутник +», 2012. – 60 с.
22. Семёнов А.С. // Наука в центральной России. – 2012. – № 2S. – С. 23-27.

23. Семёнов А.С. // Научная дискуссия: вопросы технических наук: материалы II Международной заочной научно-практической конференции. Международный центр науки и образования. – 2012. – С. 52-56.
24. Семёнов А.С. Программа MATLAB: методические указания к лабораторным работам. – М.: Изд-во «Спутник +», 2012. – 40 с.
25. Семёнов А.С. // Современная наука: тенденции развития : сборник научных статей: в 3 томах / редактор: Бисалиев Р. В. – Краснодар, 2012. – С. 112-116.
26. Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 232-236.
27. Семёнов А.С. // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 18. – С. 71-77.
28. Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М. // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8-5. – С. 1066-1070.
29. Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М., Матул Г.А. // Естественные и технические науки. – 2014. – № 3 (71). – С. 165-171.
30. Семёнов А.С., Пак А.Л., Шипулин В.С. // Приволжский научный вестник. – 2012. – № 11 (15). – С. 17-23.
31. Семёнов А.С., Рушкин Е.И. // Наука и инновационные разработки – Северу 2014. – С. 195-199.
32. Семёнов А.С., Саввинов П.В., Рушкин Е.И. // Достижения и перспективы естественных и технических наук: сборник материалов II Международной научно-практической конференции. Центр научного знания Логос. – 2012. – С. 60-63.
33. Семёнов А.С., Хазиев Р.Р. // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 5-5. – С. 694-698.
34. Семёнов А.С., Шипулин В.С. // Наука XXI века: новый подход : материалы II молодежной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Науч.-изд. центр «Открытие». – Петрозаводск, 2012. – С. 63-65.
35. Семёнов А.С., Шипулин В.С., Рушкин Е.И. // Современные исследования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности : сборник научных статей по материалам I Международной научно-практической конференции. – 2012. – С. 102-107.
36. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.
37. Шипулин В.С., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-2. – С. 344-347.
38. Semenov A.S. // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 12. – С. 65-66.
39. Semenov A.S., Shipulin V.S. // Europäische Fachhochschule. – 2013. – № 1. – С. 228.

**Рецензенты:**

Медведев Н.Н., д.ф.-м.н., доцент кафедры физики Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «АлтГТУ имени И.И. Ползунова», г. Бийск;

Старостенков М.Д., д.ф.-м.н., проф., заведующий кафедрой физики ФГБОУ ВПО «АлтГТУ имени И.И. Ползунова», г. Барнаул.