

УДК 004.4'24, 004.94

СРЕДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ОБУЧЕНИЕ, ПРОПАГАНДА

Сениченков Ю.Б. (Санкт-Петербург)

Введение

Использование сред моделирования в различных областях человеческой деятельности – это признак качественного скачка в развитии общества, обусловленного появлением новых орудий производства, иными словами, наступил компьютерный век. Современная среда моделирования – промышленный инструмент массового использования для создания виртуальной реальности, в то время как традиционные абстрактные модели – результат ручной работы выдающихся ученых.

Университеты, реагируя на запросы практиков, готовят специалистов, способных работать с современными средами моделирования, но нужно желание, время и деньги потребителей, чтобы их использование стало повседневной практикой. Ускорить процесс внедрения можно прибегая к пропаганде. Основная задача – донести объективную информацию о возможностях компьютерного моделирования, организовав общедоступные семинары, выставки и конференции, публикуя научно-популярные статьи, демонстрируя впечатляющие результаты. Пропаганда требует денег: их вкладывают разработчики компьютерных сред, рекламируя *свою* продукцию, но нужны и деньги независимых потребителей, в том числе и правительства, чтобы попытаться объективно оценить возможности сред и предлагаемых компьютерных технологий. Предположим, что деньги на пропаганду отечественных сред, а это дополнительное и чрезвычайно важное ограничение для нашей страны, есть. Как практически организовать пропаганду использования компьютерного моделирования?

Запросы практики

Пропагандировать применение компьютерного моделирования целесообразно среди потенциальных потребителей и преподавателей, готовящих кадры для потребителей. В нашей стране, среди потенциальных потребителей, использующих государственные средства, есть крупные игроки, например, Министерство обороны и Министерство образования Российской Федерации.

На сайте министерства представлена статья [1] «Передовой опыт математического моделирования в системе материально-технического обеспечения вооруженных сил Российской Федерации» (16.02.2020), предваряемая словами:

*«Возрастающая динамика и постоянная трансформация форм и способов ведения боевых действий определяют необходимость применения **современных технологий математического моделирования** для планирования и реализации сложных и существенно разнородных процессов материально-технического обеспечения войск (сил).»*

В статье говорится,

- что принято решение «... о создании системы моделирования **ВС РФ**» в рамках «Плана перехода на использование в Минобороны России унифицированных отечественных аппаратно-программных платформ в вооружении, военной и специальной технике»;

- приводятся примеры созданных имитационных моделей: «... успешную апробацию в ходе стратегических учений «Восток-2018» прошла ИМ оперативных

перевозок войск железнодорожным транспортом при перегруппировках в условиях возникновения барьерных рубежей, которая позволяет:

- повысить оперативность принятия решения по организации перевозочного процесса при возникновении барьерного рубежа на маршруте перевозки;
- прогнозировать основные параметры функционирования временного перегрузочного района;
- формировать графический план перевозок в автоматизированном режиме с учетом вновь возникающих обстоятельств.»;

• подчеркивается практическая важность создания виртуальных объектов: «... Накопленный опыт в практике разработки ИМ инициировал существенный прорыв и в развитии общей теории моделирования процессов МТО войск (сил). Разработана технология создания специализированных инструментальных средств ИМ типовых логистических процессов, применение которой позволяет фактически разрабатывать **цифровые двойники процессов МТО войск (сил)** и, значит, исследовать весь жизненный цикл таких процессов.»;

• и делается вывод: «Таким образом, в рамках реализации «Плана перехода на использование в Минобороны России унифицированных отечественных аппаратно-программных платформ в вооружении, военной и специальной техники» одним из перспективных направлений разработки КММ для обеспечения деятельности должностных лиц ОВУ видов и родов войск ВС РФ является создание **отечественной среды ИМ**. После всесторонней апробации моделей в практической деятельности ОВУ и уточнения соответствующих функциональных и технических требований **организации ОПК смогут выполнять опытно-конструкторские работы по созданию и серийному производству КММ в сжатые сроки за минимальную цену и с учетом текущих потребностей войск (сил).**».

Заметим, что в статье также отмечается важность пропаганды: «Благодаря активной конгрессно-выставочной деятельности достигнутые под руководством Штаба МТО ВС РФ результаты в области ИМ получили высокую оценку со стороны научно-исследовательских организаций Минобороны России (НИО) и ведущих предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) в сфере создания КММ боевых действий. В этих условиях складывается многообещающая перспектива проведения совместных инициативных разработок академии с предприятиями ОПК по созданию КММ для обеспечения деятельности должностных лиц ОВУ МТО.» Примером конгрессно-выставочной деятельности может служить регулярно проводимая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2023) [2].

Ярким примером роста интереса к компьютерному моделированию также служит приемная компания 2023 года. Нас больше всего интересуют направления подготовки и специальности: 01.01. Математика и механика; 01.05. Фундаментальная математика и механика; 10.01. Педагогическое образование; 32.01. Фундаментальная информатика и информационные технологии; 32.02. Математическое обеспечение и администрирование информационных технологий; 32.03. Математическое обеспечение компьютерных наук; 33.02. Информационные системы и технологии; 33.03. Прикладная информатика; 33.04. Программная инженерия. Приведены новые названия специальностей и направлений подготовки [3] бакалавров, магистров и аспирантов, которые будут использоваться с 2024 года.

Существует много навигаторов для поиска вузов, подходящих абитуриенту. Среди них сайты [4,5]. Поисковая машина сайта <https://postupi.online/> на запрос о специальностях, связанных с моделированием, дает следующие результаты (Рис. 1).

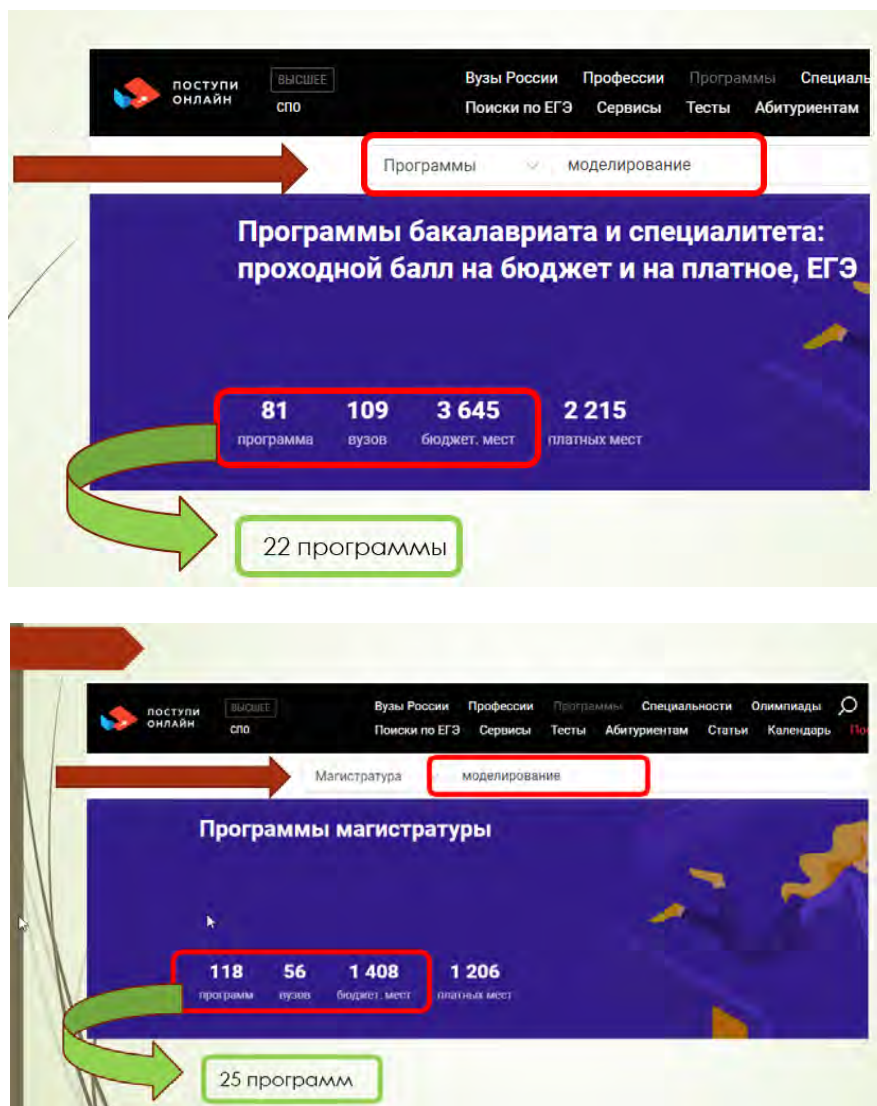


Рис. 1. Программы бакалавриата, специалитета и магистратуры, относящиеся к моделированию

Общая информация о программах подготовки дается в стандартизированной форме (рис. 2).

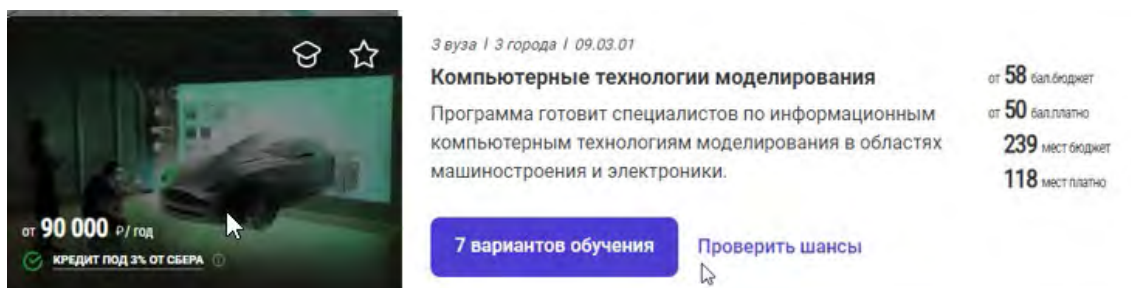
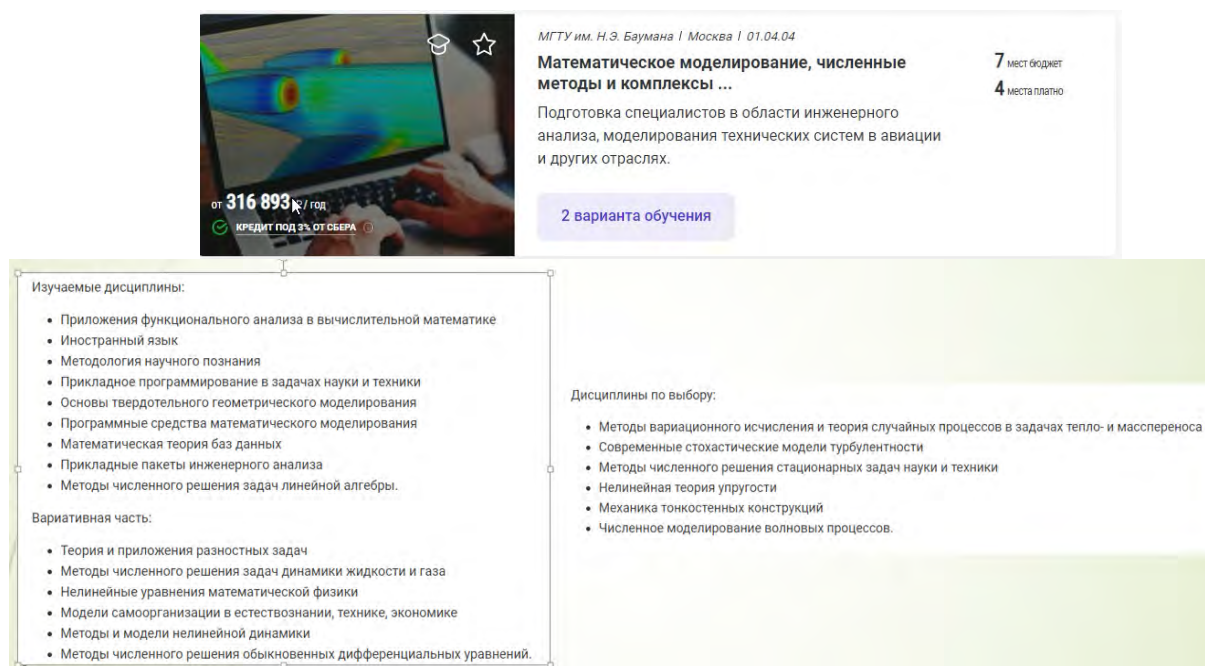


Рис. 2. Общая информация о специальности для абитуриента

Можно найти и названия изучаемых дисциплин (Рис. 3).



МГТУ им. Н.Э. Баумана | Москва | 01.04.04

Математическое моделирование, численные методы и комплексы ...

7 мест бюджет
4 места платно

Подготовка специалистов в области инженерного анализа, моделирования технических систем в авиации и других отраслях.

от 316 893 руб./год
КРЕДИТ ПОД 3% ОТ СБЕРА

2 варианта обучения

Изучаемые дисциплины:

- Приложения функционального анализа в вычислительной математике
- Иностранный язык
- Методология научного познания
- Прикладное программирование в задачах науки и техники
- Основы твердотельного геометрического моделирования
- Программные средства математического моделирования
- Математическая теория баз данных
- Прикладные пакеты инженерного анализа
- Методы численного решения задач линейной алгебры.

Вариативная часть:

- Теория и приложения разностных задач
- Методы численного решения задач динамики жидкости и газа
- Нелинейные уравнения математической физики
- Модели самоорганизации в естествознании, технике, экономике
- Методы и модели нелинейной динамики
- Методы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений.

Дисциплины по выбору:

- Методы вариационного исчисления и теория случайных процессов в задачах тепло- и масспереноса
- Современные стохастические модели турбулентности
- Методы численного решения стационарных задач науки и техники
- Нелинейная теория упругости
- Механика тонкостенных конструкций
- Численное моделирование волновых процессов.

Рис. 3. Изучаемые дисциплины

Для дальнейшего рассмотрения (см. «Программы подготовки») были выбраны 23 программы для бакалавров и 25 программ для магистров, в которых математическое и компьютерное моделирование играет ключевую роль.

Аспиранты могут защищаться по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» [6].

Среды моделирования сложных динамических систем

Рост интереса к компьютерному моделированию – прямое следствие роста сложности технических систем, проектирование и эксплуатация которых требуют создания их компьютерных моделей и проведения вычислительных экспериментов. Основными разработчиками и пользователями моделей для решения *разнообразных* и *многочисленных* производственных задач становятся *инженеры*. Успехи в решении инженерных задач начинают привлекать пользователей из других областей: военных, медиков, биологов, социологов. Моделирование становится предметом изучения студентов различных специальностей, меняются требования к средам моделирования. На первый план выходят пользовательские аспекты – интуитивно понятный графический язык описания модели, средства отладки, инструменты, необходимые для визуализации и обработки результатов экспериментов. Меняются и требования к создаваемой модели: она должна работать не только под управлением среды, но и быть независимым приложением, желательно с исходным кодом на выбранном пользователем алгоритмическом языке.

В основе компьютерных моделей могут лежать математические модели различного типа. Широкое распространение получили модели в виде обыкновенных дифференциальных уравнений (модели со сосредоточенными параметрами) и модели в виде уравнений в частных производных (модели с распределенными параметрами). Среды для построения моделей с распределенными параметрами в данной статье не рассматриваются, однако все, что касается пропаганды современных технологий моделирования, относится и к ним. Помимо моделей в виде уравнений, широко используются имитационные модели, в которых система рассматривается как

совокупность объектов, функционирующих и взаимодействующих между собой по определенным правилам, заданным алгоритмически. Например, системы массового обслуживания – очереди заявок, ожидающих обслуживания различного типа, изучаются с помощью математических моделей, характеристики которых, например, математическое ожидание времени обслуживания, и других, оцениваются по результатам проведенных вычислительных экспериментов.

Современные среды для создания моделей со сосредоточенными параметрами строят иерархические компонентные модели, используя различные типы компонентов и связей между ними: компоненты с входами-выходами (направленные связи), компоненты с контактами-потоками (ненаправленные связи), агенты (каналы, по которым передаются сообщения). Среда, использующие все перечисленные типы компонентов, называются универсальными.

Важной характеристикой моделей является время жизни компонентов. Для агентных систем характерно создание новых и уничтожение существующих компонентов во время работы модели, что позволяет называть их моделями с переменным числом компонентов. Можно строить модели, в которых можно динамически менять не только число компонентов, но и их структурные схемы. Такие модели можно назвать моделями с переменной структурой компонентов.

При создании моделей следует учитывать, как они будут использоваться в дальнейшем, например, в виде кода для встроенных систем управления или как компоненты других программных комплексов, и предоставлять их пользователю готовыми, не требующими доработок (модельно-ориентированные технологии создания моделей, проблемно-ориентированные технологии и другие, учитывающие назначение моделей).

В Таблице 1 приведены интересующие нас характеристики моделей.

Таблица 1. Характеристики модели и ее компонентов

Среда моделирования				
Объект среды	Характеристики			
Связи	Направленные == входы/выходы	Ненаправленные == контакты/потоки	сигналы	
Структура модели	Постоянная структура и фиксированное число компонентов	Постоянное число компонентов переменной структуры	Переменное число компонентов неизменной структуры	Переменное число компонентов переменной структуры
Исполняемая модель	Работает под управлением среды	Независимое приложение	Независимое приложение с исходным кодом	

В сложившейся политической ситуации (корпорация Mathwork [7] и другие разработчики ограничили доступ к своим продуктам российским пользователям), пропагандировать нужно *отечественные* среды и помогать пользователям перейти на *отечественное* программное обеспечение в ближайшем будущем, а разработчикам занять лидирующее положение в мире, благо опыт создания широко востребованных сред у нас есть (AnyLogic). Следует ориентироваться на две различные группы пользователей: «новичков», не имеющих опыта компьютерного моделирования и впервые выбирающих подходящую среду моделирования, и «старичков», вынужденных менять по различным причинам используемую среду моделирования на

новую. И в том, и другом случае на выбор среды влияет наличие общедоступных библиотек компонентов и средств конвертации «старых» моделей в «новые».

Исторически, среды моделирования разделились на среды, ориентированные на использование компонентов с входами/выходами («блочное моделирование» – «ранний» Simulink (версии 1-3)), контактами/потоками («физическое моделирование» – Dymola) и среды имитационного моделирования («агентное моделирование» – GPSS World, AnyLogic). Увеличивающаяся сложность моделируемых систем усиливает интерес к универсальным средам, использующим блоки всех перечисленных типов (OpenModelica, «поздний» Simulink (версии начиная с 4-той)).

Примерами отечественных сред перечисленных типов являются:

- «блочного моделирования» – среда SimInTech [8], позволяющая автоматически генерировать код на языке C для микропроцессоров семейства «Миландр» [9];
- «физического моделирования» – среда AnyDynamics [10], обладающая возможностью создания исполняемого кода модели для встраивания в независимые внешние приложения с использованием API [11];
- имитационного моделирования, поддерживаемая международной компанией [12], – среда AnyLogic [13];
- универсальная среда AnyDynamics [14].

Перечисленные среды разработаны частными компаниями и пропагандировать свои продукты прежде всего должны они сами, но помогать им грантами, размещать информацию об их достижениях на общедоступных сайтах, стимулировать пользователей переходить на новые отечественные технологии нужно на государственном уровне или с помощью спонсоров.

Конкретные шаги

Первый и очевидный шаг, это организация обучения преподавателей.

Сайт для специалистов в области моделирования существует [15], сайта для преподавателей нет. В 2022 году возникли трудности и с платформой Coursera [16]. Учитывая стратегическую роль моделирования, можно попытаться найти средства для создания и поддержки сайта для преподавателей, где была бы сосредоточена актуальная информация об отечественных средах моделирования, существующих учебных программах, учебниках, лабораторных работах.

Регулярные конференции для специалистов проводятся [17], конференции для преподавателей нет. Формат и цели этой конференции должны определяться задачей помочь преподавателям модифицировать свои учебные материалы так, чтобы в них отражались современные знания и технологии компьютерного моделирования. При росте спроса на моделирование это и так произойдет естественным путем, но естественный путь – это долгий путь, да еще и в условиях усиливающейся изоляции. Как бороться с изоляцией мы помним – переводить и печатать зарубежные книги, учебники, подробно освещать все знаковые события. Ситуация с тех пор конечно же изменилась, есть Интернет, но пропаганда может помочь ориентироваться в этом море информации преподавателю.

Активный обмен информацией о средах и моделях происходит на дистанционных семинарах [18,19], в которых принимают участие преподаватели и разработчики отечественных сред (SimInTech, Anydynamics, Stratum, Isma).

Программы подготовки

Как уже отмечалось, во многих университетах уже организовано обучение моделированию: специальности и отдельные курсы существуют и их достаточно много

(Рис. 1,2). Подготовка новых курсов требует много сил и времени. Ускорить этот процесс можно разработав *рекомендуемые* примеры рабочих программ, *рекомендуемые* конспекты лекций и *рекомендуемые* материалы для лабораторных работ на базе отечественных сред моделирования. Возможно нужно материально стимулировать использование этих рекомендуемых курсов, например, увеличивая стипендию студентам, их изучающих.

Существующие учебные программы курсов по моделированию можно найти в Интернете, но было бы лучше, если бы они были сосредоточены в одном месте, на специальном сайте. Российские аналоги Coursera доступны [20,21], но нужных курсов там пока нет, а тем более методических материалов, отражающих современное положение дел.

Необходимость создания таких курсов становится очевидной даже после поверхностного анализа доступных программ: не обсуждая темы лекций, обратим только внимание на списки используемого программного обеспечения (Табл. 2).

Таблица 2. Цитаты из программ курсов различных университетов, посвященных математическому и компьютерному моделированию

Программа	Необходимое программное обеспечение (цитаты)
1	Пакет Maple (версия 13 и выше).
2	Работа с компонентами и модулями среды Simulink (MatLab), разработка динамических моделей при помощи блок-диаграмм.
3	Системы программирования: Delphi, Visual Basic, математические пакеты Mathematica, Maple, MathCAD .
4	1. Офисный пакет приложений «Apache OpenOffice»; 2. Приложение, позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC»; 3. Программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель) «WindowsMediaPlayer»; 4. Программа просмотра интернет контента (браузер) «Google Chrome»; 5. Офисный пакет приложений «LibreOffice»; 6. Программа файловый архиватор «7-zip»; 7. Двухпанельный файловый менеджер «FreeCommander»; 8. Программа просмотра интернет контента (браузер) «Mozilla Firefox»; 9. Пакет Turbo Delphi Explorer (в свободном доступе).
5	В процессе самостоятельной работы обучающиеся могут использовать программные средства MATLAB, Mathcad, WolframMathematica .
6	– Microsoft Windows – Microsoft Office Professional Plus – Kaspersky Security – Embarcadero Academic Edition Networked Volume Licenses RAD Studio XE6 Enterprise Concurrent ELC – Среда для разработки программ на языках программирования C++, C# («Microsoft Visual Studio»). – Среда для моделирования Matlab, Simulink – Программы для демонстрации и создания презентаций («Microsoft Power Point»).
7	MS Office, MathCAD, Lira САПР, SCAD Office.

Можно возразить, что выборка учебных программ не представительна, что сами учебные программы не всегда отражают реальное положение дел, но приведенные цитаты настораживают и нет уверенности в том, что студенты знают и умеют пользоваться современными компьютерными инструментами моделирования.

Прежде чем что-либо рекомендовать, хотелось бы собрать вместе существующие программы и проанализировать их. Переход на отечественное программное обеспечение в образовании проще по сравнению с переходом на него в промышленности. Триада «знать-уметь-иметь навыки» при отсутствии лицензий труднее всего реализуется в части «иметь навыки». Как показывает опыт, универсальная среда AnyDynamics позволяет обеспечить полноценный цикл обучения (Рис. 4) моделированию, опираясь только на отечественные разработки.



Рис. 4. Пример набора дисциплин для обучения моделированию

Появление специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» [6] для обучения аспирантов, включающей направления исследований:

1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений (физико-математические науки).
2. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий.
3. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.
4. Разработка новых математических методов и алгоритмов интерпретации натурального эксперимента на основе его математической модели.
5. Разработка новых математических методов и алгоритмов валидации математических моделей объектов на основе данных натурального эксперимента или на основе анализа математических моделей.
6. Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования, алгоритмов и методов имитационного моделирования на основе анализа математических моделей (технические науки).
7. Качественные или аналитические методы исследования математических моделей (технические науки).
8. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента.

9. Постановка и проведение численных экспериментов, статистический анализ их результатов, в том числе с применением современных компьютерных технологий (технические науки)

позволяет надеяться на привлечение к моделированию талантливой молодежи.

Заключение

Моделирование, поддержанное компьютерными инструментами моделирования, стало неотъемлемой частью науки, образования, и производства. Наша страна имеет возможность стать мировым лидером в области компьютерного моделирования, со своей оригинальной линейкой продуктов и технологий, если усилит внимание, прежде всего к организационной стороне, и к пропаганде в частности. Для реализации этой программы нужна помощь специалистов. С предложения обращайтесь по адресу senichenkov_yub@spbstu.ru.

Литература*

1. <https://mto.ric.mil.ru/Stati/item/239403/>
2. <http://simulation.su/static/ru-ikm-mtmts-2023.html>
3. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203030033>
4. <https://postupi.online/>, <https://vuzopedia.ru/>
5. <https://vuzoteka.ru/>
6. http://www.xn--80aaa4a0ajicdpl.xn--p1ai/pasport2021/1_2_2
7. <https://guestbook.spbu.ru/upravleniya/it-spbu/19464-o-litsenzii-matlab.html>
8. <https://simintech.ru/>
9. https://help.simintech.ru/#o_simintech/browsers.html
10. <https://www.mvstudium.com/>
11. <https://www.mvstudium.com/advan.htm>
12. <https://the.anylogic.company/>
13. <https://www.anylogic.ru/>
14. <https://www.mvstudium.com/>
15. <http://simulation.su/ru.html>
16. <https://vc.ru/services/375287-obrazovatel'naya-platforma-coursera-prekrashchaet-dostup-k-kursam-ot-rossiyskih-sozdateley>
17. <http://simulation.su/static/ru-immod-2023.html>
18. <https://www.mvstudium.com/sems.htm>
19. <http://simulation.su/static/nss-seminar.html>
20. <https://tass.ru/obschestvo/18624739>
21. <https://analogues.ru/coursera>

* - дата обращения ко всем перечисленным ресурсам 13.09.2023