

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ. ОЦЕНКА ПОТРЕБНОСТИ В СПЕЦИАЛИСТАХ

Рыжов В.А.¹, Сениченков Ю.Б.², Шорников Ю.В.³, Достовалов Д.Н.³

¹СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия

²СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

³НГТУ, Новосибирск, Россия

Аннотация

Проведен анализ рынка труда с точки зрения востребованности выпускников университетов с инженерной подготовкой в сфере информационных технологий. Выполнен обзор образовательных программ всех уровней высшего образования, направленных на подготовку специалистов в области компьютерного моделирования систем. Выполнена оценка удовлетворенности работодателей качеством подготовки выпускников. Обоснована необходимость корректировки образовательных программ.

Ключевые слова: инженерное образование, информационные технологии, инструментальные среды моделирования, образовательные программы, рынок труда.

Цитирование: Рыжов В.А., Сениченков Ю.Б., Шорников Ю.В., Достовалов Д.Н. Компьютерное моделирование сложных динамических систем. Оценка потребности в специалистах // Компьютерные инструменты в образовании. 2017. № 3. С. 51–60.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-07-01513 и гранта по программе ERASMUS +, Capacity building in higher education, № 573751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP, Новые стратегии обучения инженеров с использованием сред визуального моделирования и открытых учебных платформ.

1. ВВЕДЕНИЕ

В рамках проекта Erasmus+ «Innovative teaching and learning strategies in open modeling and simulation environment for student-centered engineering education» (Новые стратегии обучения инженеров с использованием сред визуального моделирования и открытых учебных платформ) [1] предполагается разработать новые учебные программы и технологии обучения в области моделирования сложных динамических систем для российских и европейских университетов. Обязательным условием разработки новых материалов является одобрение их представителями промышленности, заинтересованными в подготовке соответствующих специалистов, и преподавателями университетов, обеспечивающими образовательный процесс.

Авторами проведен анализ информации о промышленных предприятиях, в которых востребованы специалисты в области моделирования, и о подготовке специалистов в области моделирования в университетах. Кроме того, проведено анкетирование работодателей. В анкету включены три группы вопросов:

- 1) об использовании сред визуального моделирования в промышленности;
- 2) о потребности в подготовке специалистов в области компьютерного моделирования сложных динамических систем в российских университетах;
- 3) о качестве учебной подготовки будущих специалистов.

В настоящей работе сделаны выводы об использовании и востребованности моделирования и программного обеспечения для моделирования в промышленности, об уровне преподавания моделирования в российских университетах, о содержании и качестве учебных программ, о требуемых компетенциях и квалификациях студентов.

2. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЙ ПРАКТИКЕ

Под компьютерным моделированием будем понимать математическое моделирование, реализованное с помощью различных программных средств, которые позволяют создавать и использовать модели для изучения явлений и проектирования новых устройств. Из всех видов математических моделей мы рассматриваем только модели сложных динамических систем, имитационные модели и соответствующие программные средства.

В начале XXI века произошли качественные изменения в области математического моделирования. Благодаря появлению инструментов моделирования, реализованных в виде сред моделирования с графическими языками высокого уровня, моделирование из узкоспециальной деятельности, доступной математикам и программистам высочайшей квалификации, превратилось в промышленную технологию, доступную инженерам-практикам. Произошло это постепенно: сначала моделированием овладели выпускники физико-математических факультетов университетов (теория), а сейчас это делают выпускники инженерных специальностей (практика). Ярчайшим примером является пример пакета Matlab [2]. Созданный профессиональными математиками, он сначала стал инструментом ученых, а после появления пакета Simulink превратился в инструмент инженера.

С инженерной точки зрения, компьютерное моделирование — это один из этапов производства, связанный с исследованиями, расчетами вариантов реализации процессов при решении задач оптимизации, созданием компьютерных прототипов разрабатываемых устройств и обучением персонала (тренажеры). Поддержка жизненного цикла производства продукции включает моделирование в число технологических операций [3]. На разных этапах проектирования и производства используются соответствующие компьютерные системы: CAD, CAE, CAM, PDM, PLM, SCADA, MES. Современный уровень развития инструментальных средств компьютерного моделирования позволяет сделать численное моделирование основой проектирования. В своей работе [4] Ян Ларсон, представитель Siemens PLM Software, делает вывод, что «проектноконструкторские организации, которые не перешли на основанное на численном моделировании проектирование, с каждым днем всё больше отстают. Лидерство в разработках достигается путем внедрения проверенных на практике и достоверных методик проектирования на основе численного моделирования».

На саммите по инженерному анализу, динамическому моделированию и системам инженерного программного обеспечения [5], который прошел в Санте Фе (США)

9 января 2016 г., были представлены ведущие CAD/CAE компании (Autodesk, Bentley Systems, Dassault Systemes, Siemens PLM Software), CAE разработчики в области конечно-элементного анализа и вычислительной гидродинамики (ANSYS, CD-Adapco Group, Flow Science, MSC Software), компании MathWorks и Modelon, IBM Software Group и Nokia Networks. Наша страна полностью следует мировым тенденциям, используя практически все перечисленное ниже программное обеспечение. Кроме того, в России существует много организаций, которые специализируются на разработке САПР [6]: ADEM, Csoft Development, SDI Solution, АСКОН, КванторФорм, Нанософт, НТЦ АПМ, НТЦ ГеММа, СИГМА Технология, ТЕСИС, Фидесис, Эремекс.

Применение передовых систем автоматизации проектирования и производства требуют наличия высококвалифицированных инженеров-проектировщиков, IT-специалистов, программистов. Поэтому специалисты в области информационных технологий традиционно являются самыми востребованными [7, 8]. В объявлениях о вакансиях в области моделирования [9], как правило, указываются требования к наличию компетенций и в инженерных областях, и в программировании. При этом владение пакетами программ для компьютерного моделирования является обязательным требованием.

По данным Академии Айти [10], с университетами, готовящими специалистов информационных технологий, взаимодействуют представители таких отраслей как: ИТ, связь и телекоммуникации (30 %), финансы, кредит, страхование и пенсионное обеспечение (22 %), нефтегазовая отрасль (21 %), торговля (7 %), строительство (6 %), промышленность (6 %), транспорт (5 %), машиностроение (2 %), металлургия (1 %). Среди машиностроительных предприятий, по данным Е. Василенко, представителя ассоциации разработчиков программных продуктов «Отечественный софт» [6], можно выделить три группы организаций:

1. К малым предприятиям относится 71 % от всех машиностроительных предприятий. Им принадлежит 21 % от общего числа инженерных рабочих мест. Они не могут приобретать комплексные дорогие решения, и используют доступные продукты.
2. Средний бизнес составляет 26 % от всех предприятий и 37 % от общего числа инженерных рабочих мест. Здесь используются типовые преднастроенные решения.
3. Крупный бизнес составляет 3,6 % от всех предприятий. Здесь высока доля ОПК и госсектора. Они могут себе позволить сквозную автоматизацию всех бизнес-процессов и внедряют уникальные решения. Им принадлежит 42 % от общего числа инженерных рабочих мест. Если рассматривать предприятия по численности персонала, то, по данным Академии Айти [10], доля специалистов в области информационных технологий составляет 28–35 % для малых организаций со штатом до 100 человек, 37–42 % в организациях со штатом от 100 до 500 человек и 20–32 % в крупных компаниях, в которых более 500 сотрудников.

Данные проведенного нами опроса показывают, что среди малых организаций более 75 % компаний со штатом до 20 человек. Таким образом, доля малых предприятий достаточно велика, и они не могут самостоятельно готовить и обучать своих специалистов новым промышленным технологиям. При этом именно малые предприятия нуждаются в повышении эффективности своей работы за счет внедрения современных информационных технологий.

В настоящее время все больше распространяется сотрудничество крупных компаний с университетами. Как правило, такое сотрудничество предполагает прохождение студентом стажировки в компании с дальнейшим трудоустройством. Также создаются ба-

зовые кафедры и лаборатории, проводятся специальные курсы и практики, конференции и конкурсы. Обучающимся может предоставляться программное обеспечение безвозмездно или по льготным ценам. С другой стороны, университеты проводят курсы повышения квалификации для сотрудников организаций, проводят совместные НИОКР. Рассмотрим требования работодателей к квалификации специалистов в области компьютерного моделирования. Согласно данным нашего опроса, в настоящее время потребность имеет следующее распределение: 69 % — выпускники бакалавры, 30 % — выпускники магистры и 1 % — кандидаты наук. В табл. 1 приведены данные прогноза потребности опрошенных организаций в специалистах различной квалификации.

Таблица 1. Прогноз потребности в специалистах

	2019	2020	2021
Бакалавры	75	80	855
Магистры	20	15	10
Кандидаты наук	5	5	5

Исходя из этих данных можно сделать вывод, что в настоящий момент предприятия не предполагают увеличения количества специалистов высшей квалификации. Выпускники бакалавриата достаточно быстро находят работу, учитывая дефицит кадров.

3. ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Образовательные организации занимаются подготовкой специалистов в области моделирования, не только отвечая на запросы предприятий, но и в целях развития собственных научно-педагогических коллективов. Увеличение числа учебных программ и курсов по моделированию говорит о востребованности таких специалистов.

Анализ курсов, представленных на сайтах университетов и посвященных моделированию, показал следующее. У преподавателей-математиков сложились достаточно устойчивые представления о том, чему учить студентов в области моделирования. Можно утверждать, что для математиков моделирование уже стало отдельной, самостоятельной дисциплиной. У преподавателей, занятых в подготовке инженерных кадров, единого мнения о курсах моделирования еще не сложилось. Одной из причин такого положения является отсутствие четко выраженного запроса промышленности и взаимодействия университетов и промышленности.

Рассмотрим направления подготовки, связанные с компьютерным моделированием. На всех уровнях высшего образования (бакалавриат, специалитет, магистратура и аспирантура) имеются укрупненные группы специальностей (УГС) [11]. В их числе можно выделить УГС, связанные с математическими и естественными науками. Например, 01.00.00 — Математика и механика, 02.00.00 — Компьютерные и информационные науки и др. Подготовка специалистов по этим направлениям преимущественно ведется фундаментальными университетами, дающими математическое образование. В учебных планах практически всех перечисленных ниже направлений имеются дисциплины, связанные с моделированием — теорией моделирования, новой практикой применения математических методов, созданием новых программных продуктов.

Гораздо более обширным является класс УГС, связанных с инженерным делом и техническими науками. Здесь в подготовке инженеров участвуют, как правило, технические университеты. Например, УГС 13.00.00 — Электро- и теплотехника, 15.00.00 — Ма-

пиностроение, 27.00.00 — Управление в технических системах и др. В учебных планах данных направлений моделирование, и особенно компьютерное моделирование, редко рассматривается как самостоятельная дисциплина. Обычно компьютерное моделирование — это один из компонентов САПР. В то же время промышленные предприятия все чаще применяют инструменты моделирования различного типа, и все больше заинтересованы в специалистах, умеющих работать с современными средами моделирования, и связанными с ними программными продуктами. Отдельно отметим УГС 09.00.00 — Информатика и вычислительная техника. Выпускники связанных направлений могут обладать не только компетенциями в области моделирования задач своей предметной области, но и в разработке программных комплексов для моделирования систем.

По данным федерального портала «Российское образование» [12], количество университетов, реализующих подготовку по инженерным направлениям, существенно больше числа вузов, занятых фундаментальной подготовкой (табл. 2).

Таблица 2. Количество университетов РФ, реализующих подготовку по направлениям

	Бакалавриат	Магистратура
01.00.00 – Математика и механика		
Математика	41	37
Прикладная математика и информатика	108	77
Механика и математическое моделирование	15	12
Прикладная математика	39	11
02.00.00 – Компьютерные и информационные науки		
Математика и компьютерные науки	41	21
Фундаментальная информатика и информационные технологии	36	21
Математическое обеспечение и администрирование информационных систем	44	13
09.00.00 – Информатика и вычислительная техника		
Информатика и вычислительная техника	153	97
Информационные системы и технологии	149	79
Прикладная информатика	240	95
Программная инженерия	69	46
13.00.00 – Электро- и теплотехника		
Теплоэнергетика и теплотехника	75	48
Электроэнергетика и электротехника	114	71
Энергетическое машиностроение	30	20
15.00.00 – Машиностроение		
Машиностроение	53	34
Технологические машины и оборудование	93	59
Прикладная механика	24	18
Автоматизация технологических процессов и производств	70	50
Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств	71	55
Мехатроника и робототехника	42	23
27.00.00 – Управление в технических системах		
Стандартизация и метрология	73	47
Управление качеством	75	45
Системный анализ и управление	29	19
Управление в технических системах	81	56
Инноватика	55	29

Количество выпускников физико-математических специальностей, владеющих современными технологиями моделирования, и число инженеров в области вычислительной техники и программирования, несопоставимы. Инженеров выпускается много больше, но они практически не готовы работать с современным программным обеспечением в области моделирования [13]. В таблице 3 приведены названия инструментов разработки, использующиеся сегодня на предприятиях, среди которых нет современных языков моделирования и сред визуального моделирования. Это просто означает, что современный инженер знает алгоритмические языки, но не знает языков моделирования.

Таблица 3. Наиболее популярные инструменты разработки

Инструмент разработки	Год проведения опроса								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
MS Visual Studio	46 %	64 %	60 %	62 %	45 %	36 %	53 %	49 %	57 %
Eclipse	19 %	25 %	19 %	6 %	16 %	15 %	34 %	12 %	25 %
IntelliJ IDEA	10 %	5 %	3 %	8 %	9 %	4 %	14 %	9 %	21 %
Xcode	–	–	–	–	–	2 %	14 %	6 %	15 %
NetBeans	–	–	–	–	–	3 %	8 %	0 %	7 %
WebStorm	–	–	–	–	–	–	–	2 %	10 %
Другие	–	–	–	–	–	–	15 %	24 %	20 %

Что касается подготовки кандидатов и докторов наук, наиболее близкой к тематике проекта является научная специальность 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ [14]. Содержанием специальности является разработка фундаментальных основ и применение математического моделирования, численных методов и комплексов программ для решения научных и технических, фундаментальных и прикладных проблем. Обязательным требованием к результатам диссертационных исследований является охват трех областей: математического моделирования, численных методов и комплексов программ. По данным высшей аттестационной комиссии [15], в настоящее время по специальности работает 67 диссертационных советов, а в течение 2016 г. защищено более 200 диссертаций.

4. КАЧЕСТВО ПОДГОТОВКИ В ОБЛАСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) [16] определяют совокупность требований, обязательных при реализации образовательных программ. Такие стандарты имеются для всех направлений и всех уровней высшего образования. Обязательным требованием ФГОС является ориентация на конкретный вид профессиональной деятельности, к которому готовится студент. При этом должны учитываться потребности рынка труда, научно-исследовательские и материально-технические ресурсы организаций.

В результате освоения образовательной программы у выпускника должны быть сформированы различные виды компетенций, например, общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные. Общекультурные компетенции охватывают такие области знаний как философия, история, экономика, правоведение и т. д. Общепрофессиональные компетенции связаны с областью профессиональной деятельности выпуск-

ников. Профессиональные компетенции связаны с конкретным видом деятельности, на который ориентирована образовательная программа. ФГОС определяет различные наборы профессиональных компетенций, например, для проектно-конструкторской, научно-исследовательской, организационно-управленческой и педагогической деятельности. При разработке образовательной программы университет вправе дополнить набор компетенций с учетом направленности программы на конкретные области знания и виды деятельности.

Следует отметить, что ФГОС определяет только компетенции, необходимые для освоения. В образовательных стандартах нет обязательного списка учебных курсов (дисциплин), необходимых для изучения с целью получения определенных компетенций. Кроме того, не указываются знания, умения и навыки, которые должны быть сформированы у выпускников. Таким образом, университет самостоятельно определяет состав дисциплин учебного плана и направленность подготовки. Предполагается, что это способствует своевременному и полноценному ответу на изменяющиеся потребности промышленных и научных организаций-работодателей.

Учитывая ранее обозначенную ситуацию на рынке труда с преобладанием малых организаций-работодателей, университеты не всегда могут взаимодействовать с крупными организациями. Одним из видов взаимодействия является создание базовых кафедр и лабораторий, но это связано с существенными материальными затратами. Зачастую возникают организационные затруднения в связи с отсутствием в штате организаций лиц, занятых подготовкой кадров. Данные нашего опроса показали, что 48 % организаций имеют интерес к созданию базовых кафедр, но фактически только 2 % предприятий реализуют такую форму сотрудничества. В результате университеты самостоятельно анализируют потребности работодателей, учитывая совокупные потребности множества небольших организаций. Поэтому предприятия остаются не в полной мере удовлетворенными в уровне подготовки выпускников, и данные нашего опроса подтверждают это. В целом возникает достаточно сложная ситуация:

- Выпускники университетов с физико-математическим образованием, наиболее подготовленные в области моделирования, практически не знакомы с инженерной деятельностью, и редко хотят и находят работу на производстве.
- Выпускники технических университетов в основном имеют подготовку в области моделирования, не соответствующую современным достижениям в этой области.
- Сложившиеся экономические условия не стимулируют переход предприятий на новые технологии, несмотря на то, что они испытывают потребность в новых технологиях.

Выходом из положения видится необходимость перестроить инженерное образование в области моделирования, так чтобы выпускники могли владеть современными технологиями моделирования, и могли бы применять их на практике.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В России существует дефицит специалистов в области информационных технологий, в частности специалистов в области моделирования. Передовые предприятия, стремящиеся использовать современные технологии моделирования для выбора оптимальных параметров изделий и проектирования на базе моделирования, сталкиваются с рядом объективных трудностей, среди которых одной из важнейших является отсутствие подготовленных инженерных кадров. Университеты традиционно хорошо готовят специа-

листов физико-математических специальностей в области моделирования, и отстают от мирового уровня в подготовке соответствующих инженерных кадров. Подготовка инженеров в области моделирования должна быть изменена так, чтобы выпускники — бакалавры и магистры — уже в университетах овладевали технологиями современного компьютерного моделирования и имели навыки решения промышленных задач. Переподготовка кадров является одной из самых востребованных форм обучения, особенно если она происходит непосредственно на предприятиях. Это косвенно говорит о том, что сегодняшние требования к инженерному образованию изменились, и необходимо менять программы обучения.

Список литературы

1. Официальный сайт проекта «Innovative teaching and learning strategies in open modelling and simulation environment for student-centered engineering education» [Электронный ресурс]. URL: <http://inmotion-project.net> (дата обращения: 24.06.2017).
2. Страница программного продукта Matlab на официальном сайте компании MathWorks [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (дата обращения: 24.06.2017).
3. Электронная энциклопедия PLM [Электронный ресурс]. URL: <http://plmpedia.ru/wiki> (дата обращения: 24.06.2017).
4. Ян Ларссон. Проектирование на основе численного моделирования // САПР и графика. 2011. № 12 [Электронный ресурс]. URL: <http://sapr.ru/article/22689> (дата обращения: 24.06.2017).
5. Analysis, Simulation, and Systems Engineering Software Summit (USA, Santa Fe Institute, January 8-9, 2015) [Электронный ресурс]. URL: <http://c4uc.org/News/Summit.aspx> (дата обращения: 24.06.2017).
6. Василенко Е. Рынок инженерного ПО в России // Современная электроника. 2016. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.soel.ru/upload/iblock/7c1/20160108.pdf> (дата обращения: 24.06.2017).
7. Самые востребованные профессии в России 2017. Портал «Edu News. Все для поступающих» URL: <http://edunews.ru/professii/rating/vostrebovannie-Russia.html> (дата обращения: 24.06.2017).
8. Востребованные и высокооплачиваемые профессии 2016 года. Портал «2016 год Обезьяны» [Электронный ресурс]. URL: <http://god-2016.com/novosti/vostrebovannye-i-vysokooplachivaemye-professii-2016-goda> (дата обращения: 24.06.2017).
9. Сайт «Jooble», результаты поиска вакансий по запросу «математическое моделирование» [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.jooble.org/работа-математическое-моделирование> (дата обращения: 24.06.2017).
10. Официальный сайт компании «Академия АйТи» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.academy.it.ru> (дата обращения: 24.06.2017).
11. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 1061 от 12.09.2013г. «Об утверждении перечней специальностей и направлений подготовки высшего образования (с изменениями на 11 апреля 2017 года)» [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499045862> (дата обращения: 24.06.2017).
12. Направления подготовки и специальности высшего профессионального образования. Федеральный портал «Российское образование» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.edu.ru/abitur/act.106/index.php> (дата обращения: 24.06.2017).
13. Официальный сайт Ульяновского научно-исследовательского института авиационной технологии и организации производства [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ulniat.ru> (дата обращения: 24.06.2017).
14. Паспорта научных специальностей. Сайт Высшей аттестационной комиссии при министерстве образования и науки Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://vak.ed.gov.ru/316> (дата обращения: 24.06.2017).

15. Перечень действующих советов по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по состоянию на 1 сентября 2017 г. Сайт Высшей аттестационной комиссии при министерстве образования и науки Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://vak.ed.gov.ru/89> (дата обращения: 24.06.2017).
16. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования [Электронный ресурс]. URL: <http://fgosvo.ru> (дата обращения: 24.06.2017).

Поступила в редакцию 12.05.2017, окончательный вариант — 15.06.2017.

Computer tools in education, 2017

№ 3: 51–60

<http://ipo.spb.ru/journal>

COMPUTER SIMULATION OF COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS. ESTIMATION OF NEEDS IN SPECIALISTS

Ryzhov V.A.¹, Senichenkov Yu.B.², Shornikov Yu.V.³, Dostovalov D.N.³

¹SPbSMTU, Saint-Petersburg, Russia

²SPbSTU, Saint-Petersburg, Russia

³NSPU, Novosibirsk, Russia

Abstract

A program to determine the asymptotic efficiency of convolution codes, simulating the passage of a text message on guided and unguided (radio) transmission medium is considered. The program was designed for the purpose of teaching students the principles of formation and functioning of error correction codes.

Keywords: *informational technologies, tools for modeling and simulation, engineering education, labour-market, Summary.*

Citation: V. A. Ryzhov, Y. B. Senichenkov, Y. V. Shornikov, and D. N. Dostovalov, "Komp'yuternoe modelirovanie slozhnykh dinamicheskikh sistem. Otsenka potrebnostei v spetsialistakh" [A Program to Determine the Asymptotic Efficiency of Convolutional Codes], *Computer tools in education*, no. 3. pp. 51–60, 2017 (in Russian).

Acknowledgements: *This work was supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR grant № 17-07-01513) and by the grant of the Education, Audiovisual and Culture Agency (EU), programme ERASMUS + Capacity building in higher education, project № 573751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP, Innovative teaching and learning strategies in open modelling and simulation environment for student-centered engineering education.*

Received 12.05.2017, the final version — 15.06.2017.

Vladimir A. Ryzhov, St. Petersburg State Marine Technical University, Professor, doctor of science, Faculty of Naval Architecture and Ocean Technology Head of department Applied Math & Math Modeling, ryzhov@smtu.ru

Yuriy B. Senichenkov, St. Petersburg Peter the Great Polytechnic University, Institute of Computer Science and Technology, Professor, doctor of science; 194021 Saint-Petersburg, Polytehnicheskaya st., 21, ICST, sen@dcn.icc.spbstu.ru

Yuriy V. Shornikov, Novosibirsk state technical university Professor, doctor of science, shornikov@inbox.ru

Dmitriy N. Dostovalov, Novosibirsk state polytechnic university Docent, dostovalov.dmitr@mail.ru

Рыжов Владимир Александрович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой прикладной
математики и математического
моделирования СПбГМТУ,
ryzhov@smtu.ru

Сениченков Юрий Борисович,
доктор технических наук, доцент,
профессор ВШ ИКНИТ
СПбПУ Петра Великого;
194021 Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 21, ВШ ИКНИТ,
sen@dcn.icc.spbstu.ru

Шорников Юрий Владимирович,
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры АСУ НГТУ,
shornikov@inbox.ru

Достовалов Дмитрий Николаевич,
кандидат технических наук, доцент,
кафедра АСУ НГТУ,
dostovalov.dmitr@mail.ru

© Наши авторы, 2017.
Our authors, 2017.