

УДК 37.031.2

DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.992-1002

Опыт использования специализированного программного обеспечения в образовательном процессе и науке

Р. А. Вдовин*, Г. А. Трафимова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия

443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, д. 34, *vdovin.ssau@gmail.com

Аннотация

В данной статье рассматривается опыт использования систем компьютерного моделирования технологических процессов в образовательной и научной деятельности. В силу постоянно возрастающей цифровизации, использование информационных технологий становится необходимым и минимальным условием развития общественного уклада. Разработка и внедрение обширной номенклатуры программного обеспечения оказывается важнейшим инструментом в современном мире цифровых технологий. Использование специализированных программных продуктов в учебном процессе при выполнении лабораторных работ в рамках изучения технологических дисциплин позволяет сформировать общепрофессиональные компетенции у обучающихся. В результате этого, обучающийся приобретает необходимые знания, умения и владения, а также навыки работы в данной программе. С научной точки зрения, использование современного программного обеспечения в последнее время становится крайне актуальным. Прежде всего, это связано с возможностью визуальной интерпретации на экране компьютера решения задач практически любой сложности: будь то графическая визуализация конструкции детали или моделирование реального технологического процесса. Авторами приводится описание системы компьютерного моделирования литейных процессов, и получаемый экономический эффект от ее использования в производственных условиях. Внедрение программного обеспечения в реальный технологический процесс позволило произвести оптимизацию технологии, минимизировать производственные издержки, сократить длительность технологического цикла по изготовлению продукции, а также снизить финансовые и временные затраты. В этой связи использование информационных технологий и, как следствие, программного обеспечения в учебном процессе и научной деятельности позволяют оставаться конкурентоспособными и востребованными как на рынке образовательных услуг и среди потенциальных работодателей, так и соответствовать мировым научным трендам.

Ключевые слова: информационные технологии, программное обеспечение, учебный процесс, цифровизация, научная деятельность, компьютерная поддержка производства.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-кандидатов наук по проекту № МК-853.2019.8 «Разработка научно-технологических основ повышения качества изготовления ответственных деталей газотурбинного двигателя за счет использования алгоритмов аддитивного производства и цифровых моделей-двойников».

Для цитирования: 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. DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.992-1002

© Вдовин Р. А., Трафимова Г. А., 2019



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



Experience of Using Specialized Software in the Educational Process and Science

R. A. Vdovin*, G. A. Trafimova

Samara National Research University, Samara, Russia

34 Moscow highway, Samara 443086, Russia

*vdovin.ssau@gmail.com

Abstract

This article examines the experience of using systems of computer simulation of technological processes in educational and scientific activities. Due to the ever-increasing digitalization, the use of information technology is becoming a necessary and minimal condition for the development of social structure. The development and implementation of an extensive range of software is the most important tool in the modern world of digital technology. The use of specialized software products in the educational process when performing laboratory work as part of the study of technological disciplines makes it possible to develop general professional competencies in the students. As a result of this, the student acquires the necessary knowledge, skills and possession, as well as the skills to work in this program. From a scientific point of view, the use of modern software has recently become extremely relevant. First of all, this is due to the possibility of visual interpretation on the computer screen of solving problems of almost any complexity: whether it is a graphical visualization of the construction of a part or modeling of a real technological process. The author provides a description of the computer simulation system of foundry processes, and the resulting economic effect from its use in a production environment. The introduction of software into the real technological process has made it possible to optimize the technology, minimize production costs, reduce the duration of the production cycle and reduce financial and time costs. In this regard, the use of information technology and, as a consequence, software in the educational process and scientific activity allows us to remain competitive and in demand both in the market of educational services and among potential employers, and to comply with world scientific trends.

Keywords: Information technology, software, educational process, digitalization, scientific activity, computer support of production.

Funding: The study was carried out with the financial support from the President of the Russian Federation for state support to young Russian scientists, candidates of sciences under project No. MK-853.2019.8 "Development of scientific and technological foundations for improving the quality of manufacturing critical parts of a gas turbine engine through the use of additive manufacturing algorithms and digital twin models".

For citation: Vdovin R.A., Trafimova G.A. Experience of Using Specialized Software in the Educational Process and Science. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2019; 15(4):992-1002. DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.992-1002



Введение

Происходящие в настоящее время процессы глобальных перемен приводят к многочисленным экономическим, политическим, социальным и технологическим изменениям. Основной причиной таких изменений является «цифровая» революция, ставшей причиной появления нового уровня взаимодействия человечества с информационными технологиями. В рамках образования «цифрового» общественного уклада, значительная часть изменений происходит на уровне базовых социальных институтов: экономических, политических, образовательных [1]. В разрезе глобальных и национальных программ развития цифровой экономики цифровизация, автоматизация и роботизация рассматриваются исключительно с точки зрения их влияния на различные сферы, например, на рынок труда. В качестве социально-экономических последствий автоматизации и роботизации производственных отношений в настоящее время широко обсуждается перспектива технологической безработицы [2]. В свою очередь, современный рынок труда в значительной степени зависит от совершенства системы образования. Без сомнений, новый уровень взаимодействия людей с информацией подразумевает наличие новых знаний, умений и компетенций. Все это привело к необходимости внедрения современного формата обучения людей с учетом формируемых под влиянием новых технологий личных и социальных потребностей. Обязательной профессиональной компетенцией становится цифровая грамотность.

Исследователи отмечают, что основной причиной необходимости реформирования процесса образования во всех развитых странах мира стал процесс глобализации, в ходе которого образовательный процесс является существенным инструментом борьбы за лидерство [3]. Поэтому не вызывает сомнений, что основанием для создания пространства инноваций, центрами цифровой трансформации экономики должны стать современные университеты высшего образования. При этом именно университеты рассматриваются в качестве фундамента для создания новой цифровой среды обитания, на пороге которой сейчас стоит человечество [4].

Наиболее отчетливо процесс реформирования системы образования можно проследить на примере инновационных образовательных технологий, которые подразумевают внедрение и использование технологий, основанных на новых исследовательских данных. К подобным технологиям, в первую очередь, необходимо отнести такие технологии, которые способствуют улучшению способностей обучающихся применительно к научно-технической и инновационной деятельности. Инновационные методы обучения и образовательные технологии направлены, прежде всего, на повышение собственной активности и мотивации обучающихся к учебно-профессиональной деятельности. Они способствуют переходу от пассивного усвоения знаний студентами к их активному восприятию в модельных или реальных ситуациях профессиональной деятельности, что, безусловно, повышает качественный уровень подготовки будущих специалистов.

Среди инновационных технологий в образовательном процессе можно выделить технологии, которые непосредственно изменяют процесс обучения - дистанционное образование, массовые открытые онлайн курсы, электронные библиотеки и т.д. [5]. В настоящее время онлайн-составляющая становится значительной частью образования как в высших учебных

заведениях, так и для целей дополнительного образования, в том числе, профессионального [6]. Массовые открытые онлайн-курсы (от англ. Massive open online courses, MOOC) представляют собой эффективную модель осуществления дистанционного образования [7]. На сегодняшний день существует множество платформ MOOC, наиболее популярными из них являются: edX, Canvas Network, Coursera, Khan Academy, Udacity, Лекториум, Универсарium и др.

Российские университеты, находясь в процессе активной трансформации, все более активно осваивают массовые онлайн курсы [8]. Однако, широкое распространение подобных технологий в образовании приводит к тому, что значительная часть педагогических работников нуждается в специальных мероприятиях (курсовой подготовке, семинарах и т.д.) по освоению новых инструментов, цифровых образовательных ресурсов и средств, появляющихся в образовательных учреждениях [9].

Значение инновационных технологий демонстрируют процессы цифровизации образования, в основе которых лежат факторы, заставляющие изменить общий подход к образованию, приняв во внимание интеллектуальные и психологические особенности сегодняшнего молодого поколения, которое не знает, что такое жизнь в режиме оффлайн без доступа к киберпространству [10]. Поэтому, образовательные организации сталкиваются с необходимостью существенно изменять традиционные образовательные подходы, внедрять проектные решения, гибкие образовательные программы и новые информационные технологии (ИТ).

Знания и компетенции, необходимые для использования ИТ, привели к появлению новой грамотности – компьютерной, информационной, медиаграмотности. Подобная грамотность является на сегодняшний день частью учебных программ на каждом уровне образования. ИТ позволяют получать доступ к информации в режиме реального времени вне зависимости от места нахождения. Этим обеспечивается доступность образовательных ресурсов в различных режимах, возможность демонстрации динамических процессов и т.д. Поскольку ИТ обеспечили доступ, хранение и обработку информации в режиме реального времени, результатом этого стало появление не только новых технологий, но и новых отраслей науки и экономики.

Среди большого числа характеристик информационных технологий наиболее важными, по мнению авторов, являются: возможность хранения большого объема информации, возможность передачи информации на значительные расстояния в сжатые сроки, возможность интерактивных коммуникаций между субъектами информационного пространства и интеграции с другими программными продуктами. Как правило, речь идет о более эффективном восприятии информации за счет воздействия на различные визуальные и аудиальные каналы посредством цвета, графической информации, звука и т.д.

Развитие информационных технологий осуществляется посредством информационной индустрии, связанной как с производством технологий и технических средств для появления новых знаний, так и с обслуживанием информационной инфраструктуры, а также с решением проблемы распространения получаемых знаний, воспроизводства кадров в новом информационном обществе. Поэтому важно отметить, что эффективное функционирование современной информационной индустрии позволяет не только получить новые способы



хранения и распространения информации, но и значительно облегчить процедуру восприятия и усвоения информации всеми участниками информационного процесса.

Целью данной работы является определение места и роли программного обеспечения в ситуации перехода на новые научно-исследовательские и образовательные технологии. Задачей является исследование особенностей использования специализированных программных пакетов в различных областях образовательной и научной деятельности.

В современном развивающемся обществе особую роль информационные технологии играют для научной и образовательной деятельности, способствуя повышению уровня эффективности научного и учебно-познавательного процесса за счет автоматизации в ходе накопления, обработки и распространения информации. Помимо этого, появилась возможность не просто сопоставлять данные, координировать совместную деятельность и обмениваться результатами, но и решать многие трудоемкие научные и образовательные задачи. Как правило, в научной деятельности информационные технологии способствуют ускоренному развитию теоретических разработок [11, 12] и прикладных исследований [6]. Во многом этому способствуют сетевые информационные технологии, развитие мобильных средств коммуникаций и т.д.

Основная часть. Теоретический анализ

Как известно, роль информационных технологий в образовании постоянно возрастает, причем независимо от контингента обучающихся (школьники, студенты, слушатели программ профессиональной переподготовки). Чаще всего использующиеся в системе образования информационные технологии решают такие задачи как:

1. разработка и развитие единого информационного образовательного пространства, возможность его использования всеми участниками образовательного процесса независимо от времени и места;
2. создание, развитие и эффективное использование баз знаний образовательных технологий с возможностью свободного доступа к ним участников образовательного процесса;
3. беспрепятственный доступ к сети Интернет каждого участника образовательного процесса практически из любой точки образовательной организации.

Среди направлений использования информационных технологий в современном образовании можно выделить несколько основных.

1. Проектирование и развитие информационного пространства. Информационные технологии позволяют беспрепятственно получить доступ к информации в любое время и в любом месте. Обучающиеся и педагоги используют информационные технологии, чтобы приобрести учебный материал в сети «Интернет». IT-специалисты создают специальный образовательный контент, который может быть использован обучающимися, например, студенты могут пользоваться электронной библиотечной средой для мобильных телефонов, что значительно экономит их время и помогает им читать в любое время в любом месте.
2. Использование в учебном процессе мультимедийного и интерактивного оборудования. Важное значение для повышения уровня и качества освоения нового материала имеет исполь-

зование средств мультимедиа. Преимущества применения средств мультимедиа заключаются в следующем:

- имеется возможность адаптироваться под особенности обучающихся;
- позволяют скорректировать скорость подачи материала;
- позволяют сократить непроизводительные затраты живого труда преподавателя;
- повышают мотивационную составляющую у обучающихся;
- обеспечивают наглядное восприятие, которое способствует комплексному пониманию и лучшему запоминанию материала.

3. Дистанционные образовательные технологии. С помощью информационных технологий обучающиеся получают возможность изучать необходимые дисциплины и специальные модули дистанционно - через онлайн курсы. Весь спектр учебных материалов и заданий обучающийся получает через электронную почту или на сайте учебного заведения. Подобная дистанционная форма процесса обучения получала особую популярность среди тех, кто желает получить второе высшее или дополнительное профессиональное образование.

4. Использование цифровых образовательных ресурсов. Цифровые образовательные ресурсы на сегодняшний день являются важнейшей составляющей деятельности современного преподавателя. К основным преимуществам использования цифровых образовательных ресурсов необходимо отнести:

- полноценное использование в учебном процессе новых педагогических инструментов;
- создание индивидуальной образовательной траектории обучающегося;
- возможность построения авторского учебного курса преподавателя;
- стимулирование учебной мотивации обучающихся;
- повышения качества процесса обучения и устранение пробелов в знаниях.

5. Использование компьютерных тренажеров, симуляторов и виртуальных лабораторных работ. В данном случае появляется возможность в учебной аудитории с использованием современного технического и программного обеспечения провести моделирование производственной ситуации или реального технологического процесса. Обучающиеся, под руководством преподавателя, применяя полученные знания, умения и навыки, проявляя свои творческие способности, проводят анализ моделируемой ситуации и учатся самостоятельно принимать решения в конкретной производственной ситуации.

6. Использование компьютерных технологий при контроле знаний обучающихся. Система компьютерного контроля позволяет реализовывать более эффективную и производительную технологию контроля знаний обучающихся по сравнению с традиционными методами оценки. Использование компьютерных технологий для контроля знаний обучающихся позволяет преподавателю сократить время на проверку тестов, контрольных работ, что, в свою очередь, позволяет проводить контроль гораздо чаще и значительно снизить фактор субъективности, на который часто жалуются обучающиеся.

Реализация федеральных государственных образовательных стандартов нового поколения характеризуется интерактивностью и взаимным сотрудничеством участников образовательного процесса в ходе обучения. Использование информационных технологий в процессе обучения позволяет не только



дать обучающимся исчерпывающую информацию об объекте исследования, но и помогает им разобраться во всем многообразии и сложности связей, свойственных реальным предприятиям, а также проследить динамику этих связей при воздействии внешних и внутренних факторов.

С помощью информационных технологий становится возможным проектировать современные образовательные программы, позволяющие формировать у обучающихся неординарность мышления, развивать творческие способности, помогающие эффективно использовать знания из разных научных областей, интегрируя их в контексте решаемой задачи. На наш взгляд, особенно важны изменения образовательных технологий применительно к современному инженерному образованию, требующему от выпускников технических направлений подготовки иметь высокий уровень владения современными наукоемкими технологиями. В связи с этим, необходимо широкое внедрение современных информационных компетенций и технологий (в том числе, технологий компьютерного проектирования, а также наукоемких технологий компьютерного инжиниринга).

При этом важно рассматривать информационные и коммуникационные технологии как один из вариантов создания новой образовательной среды, в которой данные технологии призваны создавать и реализовывать новые образовательные модели. Целевой функцией использования информационных технологий является понимание образовательной среды как информационной системы, сочетающей в себе сетевые технологии, программные и технические средства, математическое и методическое обеспечение, предназначенные для повышения эффективности и качества образовательного процесса.

Таким образом, на сегодняшний день использование информационных технологий как в образовательной, так и в научной сферах является необходимым условием перехода на новые информационные отношения. В большинстве образовательных организаций создаются среды компьютерной и виртуальной поддержки организации и управления в различных видах деятельности, в том числе в образовании и науке. При рассмотрении роли ИТ в широком смысле важнейшим аспектом является то обстоятельство, что ИТ сами по себе не приносят пользы, являясь инструментом для решения тех или иных задач. Для системы образования, по нашему мнению, важна не сама технология, а ее взаимодействие с обучающимся и ее роль в образовательном процессе в целом [13-17].

Одним из видов новых информационных технологий выступает научное программное обеспечение, которое может быть использовано как в научном, так и в учебном процессе. Кроме того, такое программное обеспечение применяется для разработки методического обеспечения современных образовательных программ. Так, научная работа требует использования программ самого разного функционального назначения (например, крайне востребованной является визуализация научных расчетов).

На рынке существует огромное множество программных продуктов, предназначенных для решения различного рода задач. Вместе с тем, используемое научное программное обеспечение может быть как профессионально разработанным программным пакетом, так и самостоятельной разработкой.

Проанализируем роль информационных технологий на примере их использования в образовательной и научной деятельности Самарского университета. В Самарском университете

все большую популярность получают открытые платформы дистанционного обучения, привлекающие к себе внимание возможностью построения индивидуальных образовательных траекторий обучающимися, в том числе возможностью получить профессиональную переквалификацию. В настоящее время Самарский университет разработал более 20 МООС-курсов, разместив на платформе «Открытое образование» такие курсы, как «Эксплуатация аэропортов», «Самолёт: от пассажира к инженеру», «Расчёт лётных характеристик ракеты-носителя», «Ракетные двигатели», «Потенциальные течения жидкости», «Основы кристаллохимии» и др. [<https://openedu.ru/university/ssau/>].

Кроме того, в университете применяются и разрабатываются различные виды программного обеспечения, имеющие прикладное значение. Одной из таких разработок является создание прототипа программного комплекса «Социальный эхолот», позволяющего в режиме онлайн изучать структуру общественных настроений и уровня взаимного доверия по любой тематике, используя в качестве исходной информации открытые данные пользователей социальных сетей.

В целях обеспечения качества учебного процесса и соблюдения требований к результатам освоения программы бакалавриата в рамках федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (далее – ФГОС ВО 3++) в апреле 2019 года Самарским университетом был объявлен конкурс по разработке учебной дисциплины «Современные коммуникативные технологии», формирующей универсальную компетенцию УК-4 в рамках основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования (ВО) направлений бакалавриата и специалитета всех укрупненных групп специальностей и направлений подготовки (УГСН), реализуемых в университете в соответствии с ФГОС ВО 3++. Разработанная учебная дисциплина освещает вопросы коммуникации, с учетом особенностей цифрового общества, межкультурной коммуникации в межличностной и профессиональной сфере. Дисциплина «Современные коммуникативные технологии» входит в состав базовой части дисциплин учебного плана и ориентирована на:

- освоение средств и сервисов информационно-коммуникационных технологий, направленных на организацию продуктивного межличностного, академического и профессионального взаимодействия;
- приобретение опыта коммуникации в академической сфере на основе информационно-образовательной среды университета;
- освоение приемов организации и сопровождения эффективной межличностной и профессиональной коммуникации;
- приобретение навыков обеспечения безопасности и защиты информации в процессе межкультурной коммуникации в межличностной, академической и профессиональных сферах.

В Самарском университете опыт различных образовательных подразделений относительно использования информационных технологий несколько различается. Интересным является опыт института двигателей и энергетических установок, который с 2002 г. использует специализированное программное обеспечение для моделирования определенных объектов и конструкций, а также протекающих сопутствующих процессов в двигателе.



На сегодняшний день более 90% преподаваемых дисциплин в институте двигателей и энергетических установок базируются на комплексном использовании систем компьютерного проектирования (рисунок 1). Благодаря этому, обучающиеся уже с первого курса получают необходимый комплекс знаний, позволяющий им формировать системное мышление и приобретать навыки владения компьютерными технологиями. На четвертом курсе обучающиеся института подробно знако-

мятся с технологическими процессами изготовления основных деталей двигателя и для более качественного усвоения материала выполняют лабораторные работы с элементами цифрового проектирования реальных производственных технологий. Подобная работа выполняется в рамках дисциплины «Моделирование процессов литья, горячей и листовой штамповки» в объеме 4 ЗЕТ (144 часов).



Р и с. 1. Используемые системы компьютерного проектирования

Fig. 1. Computer design systems in use

Целью изучения дисциплины «Моделирование процессов литья, горячей и листовой штамповки» является формирование и развитие у обучающихся специальных умений, навыков и компетенций системного подхода в области современных тенденций развития методов и средств решения задач при автоматизированной разработке «цифровых двойников» технологических процессов заготовительного производства в едином информационном пространстве предприятия на основе использования специализированных CAD/CAE программных продуктов.

В процессе освоения дисциплины обучающимися решаются следующие задачи:

- приобретаются знания в области технологических процессов заготовительного производства современных предприятий при освоении теоретического и практического материала;

- формируются необходимые умения, навыки и компетенции для компьютерного моделирования технологических процессов заготовительного производства в специализированных программных продуктах.

Планируемые результаты освоения образовательной программы (компетенции обучающихся) определяются требованиями федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по направлению подготовки (специальности) и формируются в соответствии с матрицей компетенций образовательной программы.

Планируемые результаты обучения по дисциплине – знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций и обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения образовательной программы, формируются в соответствии с картами компетенций образовательной программы (таблица 1).

Таблица 1. Перечень формируемых компетенций и требований к уровню подготовки обучающегося

Table 1. A list of competencies and requirements for the level of training of the student

Шифр компетенции	Наименование компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
ОПК-3	способность использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности	знать: этапы заготовительного производства и специфику функционирования современных информационных технологий и прикладных программных комплексов; уметь: разрабатывать алгоритмы проектирования технологических процессов; владеть: навыками компьютерного моделирования в области проектирования объемных моделей и заполнения технической документации.
ОПК-4	способность участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа	знать: понятийный аппарат в части разработки вариантов технологических процессов по критерию минимальной технологической себестоимости; уметь: разрабатывать оптимальный технологический процесс; владеть: навыками оптимизации технологической себестоимости при разработке технологий.



Важно отметить, что в процессе реализации дисциплины учитывается тесная связь с предшествующими и последующими, по отношению к рассматриваемой, дисциплинами, формирующими общепрофессиональные компетенции.

В таблице 2 представлен укрупненный тематический план и структура содержания дисциплины «Моделирование процессов литья, горячей и листовой штамповки». Из тематического

плана видно, что 50% лекционной нагрузки и 100% лабораторных работ занимает работа со специализированным программным обеспечением (ProCast, MSC Apex, Simufact forming и Deform). Подобный подход на протяжении всего семестрового курса вырабатывает у обучающегося необходимые знания, умения и владения предметной областью, а также способствует качественному формированию компетенций ОПК-3 и ОПК-4.

Таблица 2. Укрупненный тематический план дисциплины «Моделирование процессов литья, горячей и листовой штамповки»
Table 2. The enlarged thematic plan of the discipline «Modeling of casting processes, hot and sheet stamping»

Объем дисциплины 4 ЗЕТ (144 часа)
Объем контактной работы: 36 часов
Лекционная нагрузка: 8 часов
Активные и интерактивные
Тема 1. Изучение основного функционала систем компьютерного моделирования литейных процессов и процессов горячей и листовой штамповки (1 час).
Тема 2. Изучение особенностей и области использования метода конечных элементов и метода конечных разностей применительно к моделированию технологических процессов двигателестроения (1 час).
Тема 3. Общая методика построения математических моделей процессов литья, горячей и листовой штамповки (1 час).
Тема 4. Изучение функциональных особенностей программных продуктов ProCast, MSC Apex, MSC Forming и Deform (1 час).
Традиционные
Тема 5. Изучение технологических особенностей получения отливок различными методами (2 часа).
Тема 6. Изучение способов изготовления поковок в зависимости от типа штампа (2 часа).
Лабораторные работы: 20 часов
Активные и интерактивные
Тема 7. Особенности подготовки трехмерной геометрии отливки для моделирования процесса литья в программных пакетах ProCast и MSC Apex. Обзор интерфейсов и модульных структур программных пакетов ProCast и MSC Apex (4 часа).
Тема 8. Моделирование технологического процесса литья по выплавляемым моделям, расчет заполнения и кристаллизация отливки (4 часа).
Тема 9. Моделирование технологического процесса литья под давлением с учетом движения поршня (4 часа).
Тема 10. Моделирование технологического процесса объемной штамповки металлов, находящихся ниже и выше температуры рекристаллизации, соответственно в модулях Cold Forming и Hot Forging программного продукта Simufact forming (2 часа).
Тема 11. Моделирование технологического процесса листовой штамповки, включая штамповку толстых листовых заготовок и полых цилиндров с умеренным изменением толщины стенки в модуле Sheet Metal Forming программного продукта Simufact forming (2 часа).
Тема 12. Моделирование технологического процесса термообработки с учетом фазовых превращений и прогнозирования свойств материалов в модуле Heat Treatment программного продукта Simufact forming (2 часа).
Тема 13. Моделирование технологического процесса горячей объемной штамповки в программном продукте Deform (2 часа).
Контролируемая аудиторная самостоятельная работа: 8 часов
Традиционные
Тестирование по темам дисциплины.
Самостоятельная работа: 108 часов
Традиционные
Тема 14. Изучение технологического процесса изготовления отливок рабочих лопаток турбины ГТД 1-ой ступени. Анализ технологических режимов, используемого оборудования и выявление основных причин возникновения брака.
Тема 15. Изучение теоретических основ концепции проектирования цифровых имитационных моделей-двойников технологических процессов («Индустрия 3.0») на примере существующих современных высокотехнологичных производств.

Интерактивные образовательные технологии и инновационные методы обучения, используемые при осуществлении образовательного процесса по данной дисциплине реализуются в форме: лекций, бесед, группового обсуждения обзоров современных технологических процессов изготовления продукции машиностроительных производств, тестирования, вопросов для устного опроса, примерных тем рефератов, типовых практических заданий, индивидуальных технологических задач.

Как показал опыт института двигателей и энергетических установок Самарского университета, внедрение новых информационных технологий в образовательный процесс значительным образом меняет традиционную систему обучения,

вносит совершенно новые компоненты образовательного процесса, которые необходимы для подготовки конкурентоспособных специалистов мирового уровня. Использование современных информационных технологий является необходимым условием формирования и развития более эффективных подходов к обучению и совершенствованию методики преподавания. Представляется, что этим технологиям необходимо обучать студентов практически всех инженерных специальностей; начинать осваивать их в университете следует как можно раньше – это позволит поднять качество знаний, усилит их направленность на решение практических задач, облегчит обучение на старших курсах.



Влияние информационных технологий на различные сферы общества привело к приоритетному их использованию в науке. Современные компьютерные технологии, безусловно, охватывают весь спектр научных областей: экономическую, юридическую, социальную, техническую и прочие. Рассмотрим более подробно роль и место информационных технологий в технических науках.

В силу постоянного развития техники и технологии использование информационных технологий в деятельности научно-исследовательских институтов, инжиниринговых фирм и производственных предприятий становится обязательным. Происходит постепенный переход к «безбумажным технологиям», при котором работа осуществляется в едином информационном пространстве. Использование специализированного программного обеспечения позволяет избежать дорогостоящих натуральных экспериментов, проводя моделирование и решение сложных технических задач виртуально на экране компьютера, тем самым повышая эффективность процесса проектирования и производства продукции. При этом бережется оборудование, происходит экономия дорогостоящего материала и временных ресурсов, а взамен получается масса уникальной информации.

В настоящее время в процессе конструкторской и технологической подготовки производства используют системы автоматизированного проектирования, в зарубежной литературе известные как CAD/CAM/CAE технологии.

Более предметно рассмотрим роль компьютерных технологий при научно-технологической подготовке литейного производства деталей двигателестроения. Использование методов и средств специализированного программного обеспечения при моделировании литейных процессов на этапе виртуального проектирования технологического процесса литья (до этапа изготовления отливок деталей) позволяет свести к минимуму возможные просчеты и ошибки, которые неизбежно возникают при разработке технологии, снизить временные и финансовые затраты, повысить показатели эффективности, конкурентоспособности и качества разрабатываемой продукции [18]. Только компьютерное моделирование технологических процессов позволяет «заглянуть» внутрь изделия, проанализировать характер протекающих в нем процессов и выявить причины возникновения дефектов.

Использование специализированного программного обеспечения в реальных производственных условиях позволяет снизить расходы, уменьшить длительность технологического цикла, трудоемкость проектирования и освоения производства новых сложных изделий. На 15...20 % снижаются расходы, связанные с технологической подготовкой производства и выпуском технологической документации. Таким образом, более чем на 25 % сокращаются сроки производства новых изделий [19].

Использование информационных технологий в литейном производстве в значительной степени связано с обработкой, поступающей от CAD-систем конструкторских подразделений, большого массива информации о проектируемом изделии в виде цифровых моделей деталей [20]. Информация о технологических процессах, используемых в литейном производстве, поступает в виде математических моделей, которые создаются в результате функционирования CAE-систем [21]. Виртуальное литейное производство, созданное на базе профессиональной CAE-системы ПолигонСофт, не только моделирует

процесс кристаллизации отливки (решение тепловой задачи), но и позволяет прогнозировать структуру отливки детали на макро- и микроуровне, создавая при этом информационную картину цифровой модели отливки. На основании созданной цифровой модели отливки, в производственных условиях может быть получена достаточно точная материальная модель [22].

Основополагающим звеном производства литых заготовок деталей с использованием информационных технологий является программное обеспечение моделирования технологического процесса литья. Критерии выбора программного обеспечения зависят, в первую очередь, от применяемых технологий литья и номенклатуры выпускаемой продукции [23]. Для технологического процесса литья деталей аэрокосмического назначения, которые характеризуются тонкими стенками и ребрами, щелевыми каналами сложной пространственной формы, например, лопаток газотурбинного двигателя (ГТД), преимуществом обладает метод конечных элементов (МКЭ), позволяющий максимально точно передать пространственную геометрию отливки лопатки, который используется в программном продукте ПолигонСофт [24].

Алгоритм моделирования технологии литья включают: подготовку конечно-элементной модели лопатки; назначение теплофизических свойств материалов; задание начальных, граничных и контактных условий технологического процесса. Для адекватного проведения численных расчетов литейного процесса необходимо задать физические и теплофизические (усадочные) свойства материала отливки [25].

Система компьютерного моделирования литейных процессов ПолигонСофт позволяет производить инженерные расчеты практически любых технологических задач, связанных с литьем металлов:

- литья в песчаную форму с любым связующим;
- литья в кокиль (в том числе охлаждаемый или подогреваемый);
- литья по выплавляемым моделям;
- литья в вакууме (в том числе направленной кристаллизации);
- литья по процессу вакуумно-пленочной формовки;
- литья под высоким и низким давлением;
- непрерывного литья;
- центробежного литья;
- жидкой штамповки (литье с кристаллизацией под давлением);
- затвердевания с учетом подвода электрического тока.

Программный продукт ПолигонСофт имеет встроенный генератор сеток для поверхностного и объемного моделирования, который позволяет получить максимально корректную расчетную конечно-элементную модель за минимальное время. Также присутствует встроенный химический калькулятор, благодаря которому имеется возможность моделировать необходимые тепло-физические свойства литейных сплавов.

Ключевой особенностью программного обеспечения ПолигонСофт является возможность:

- оценить картину напряженно-деформированного состояния в отливке и оснастке;
- определить распределение тепловых полей в отливке и керамической форме;
- рассчитать цикличные нагрузки (например, при литье под давлением).



Программный продукт ПолигонСофт отвечает рассмотренным выше положениям и позволяет формировать расчетную модель на основе соответствующих физических процессов в технологическом процессе литья, в то время, как необходимые решатели подключаются в процессе решения автоматически. Основанный на проверенном методе конечных элементов, ПолигонСофт представляет законченное решение, которое охватывает широкий спектр процессов литья металлов и сплавов.

Заключение

Использование специализированного программного обеспечения при решении научных задач для технологической подготовки производства позволяет существенно оптимизировать существующие технологические процессы, экономить материальные и временные ресурсы, повысить эффективность используемого инструментария и качество готовой продукции, оставлять конкурентоспособными среди лидеров научно-инновационной «гонки».

Поэтому в современных условиях цифровизации экономики существование научно-образовательной сферы немислимо без широкого использования новых информационных технологий, в том числе, специализированного программного обеспечения. Происходящие в различных сферах (экономической, инновационной, производственной, научно-образовательной) изменения диктуют новые требования к освоению, внедрению и использованию разнообразных программных продуктов в различных сферах деятельности. Особенно существенными эти требования выглядят на фоне прогнозов в научно-технологической сфере. Один из подобных прогнозов, сделанный Центром Стратегического Развития «Северо-Запад», предполагал в России в ближайшее время (до 2020 г.) массовый переход к современным системам проектирования и управления жизненным циклом — «модульная революция»; введение автоматизированного проектирования функций и свойств материалов с последующим (2020-2035 гг.) развитием интеллектуальных сред нового поколения [17]. В подобной трансформации, на наш взгляд, большое значение имеет не только экспертная и научно-исследовательская, но и образовательная поддержка научно-технологической сферы.

Повсеместное внедрение информационных технологий приведет к тому, что для нового технологического прогресса понадобится большее количество высококвалифицированных специалистов инженерного профиля. Информационные образовательные технологии позволяют научить студентов самостоятельно «добывать» знания из разных научных областей, группировать их и концентрировать в контексте конкретной решаемой задачи, изучать и овладевать современными наукоемкими технологиями. [13]. Эффективное формирование ключевых компетенций специалистов инженерной сферы возможно только с применением современных образовательных технологий в процессе проектирования и реализации учебной и учебно-исследовательской и научной деятельности [15].

Таким образом, современные информационные технологии с их стремительно растущим потенциалом и быстро снижающимися издержками открывают все новые возможности для сферы образования применительно к подготовке специалистов с новым уровнем ИТ-культуры.

Список использованных источников

- [1] Контур будущего: технологии и инновации в культурном контексте / Под ред. Д.И. Кузнецова, В.В. Сергеева, Н.И. Алмазовой, Н.В. Никифоровой. СПб.: Астерион, 2017. 550 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32791138&> (дата обращения: 18.09.2019).
- [2] Земцов С. Роботы и потенциальная технологическая безработица в регионах России: опыт изучения и предварительные оценки // Вопросы экономики. 2017. № 7. С. 142-157. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29729984> (дата обращения: 18.09.2019).
- [3] Миронов В. В. Университетское образование: консерватизм или инновации // Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология. 2017. Т. 23, № 4. С. 32-44. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32358211> (дата обращения: 18.09.2019).
- [4] Нестеров А. Ю. Самсонов Р. О. Инновационное понятие «космос» в трансформационной модели университета // Онтология проектирования. 2019. Т. 9, № 2. С. 175-190. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-175-190
- [5] Дзигоева Л. В. Сетевое взаимодействие образовательных организаций как мощный ресурс обновления инновационного развития образования // Вопросы педагогики. 2018. № 12. С. 24-27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36738382> (дата обращения: 18.09.2019).
- [6] Фролов И. Н. Применение нейронных сетей в организации сетевого сообщества педагогов // Нейрокомпьютерная парадигма и общество / Под ред. Ю.Ю. Петрунина. М.: Из-во МГУ, 2012. С. 201-212.
- [7] Котельникова Е. Н., Варфоломеева Т. Н. Массовые открытые онлайн-курсы как инновационная тенденция в образовании // Гуманитарные научные исследования. 2016. № 5. С. 98-100. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26233229> (дата обращения: 18.09.2019).
- [8] Берестова С. А., Мисюра Н. Е., Митюшов Е. А. Инновационные технологии массового обучения на примере онлайн курса «Инженерная механика» // Инженерное образование. 2017. № 21. С. 83-89. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29988094> (дата обращения: 18.09.2019).
- [9] Никуличева И. В. Внедрение дистанционного обучения в учебный процесс образовательной организации. М.: ФИРО, 2016. 72 с.
- [10] Штайн Л. Высшее образование в эпоху цифровой революции // Альманах «Цифровая экономика». 2017. С. 35-39.
- [11] Люгер Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд. М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. 864 с.
- [12] Лекторский В. А. Философия, искусственный интеллект и когнитивная наука // Искусственный интеллект: междисциплинарный подход / Под ред. Д.И. Дубровского и В.А. Лекторского. М.: ИИнтелЛ, 2006. С. 12-21.
- [13] Боровков А. И., Бурдаков С. Ф., Клявин О. И., Мельникова М. П., Пальмов В. А., Силина Е. Н. Современное инженерное образование. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 80 с.
- [14] Везиров Т. Т. Мультимедийная лаборатория образовательных ресурсов: инновационные технологии в образовании // Гуманизация образования. 2017. № 6. С. 120-128. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32413769> (дата обращения: 18.09.2019).



- [15] Шехонин А. А., Тарлыков В. А., Багаутдинова А. Ш., Харитонова О. В. Образовательные технологии инженерного образования: междисциплинарный подход // Инженерное образование. 2017. № 21. С. 117-121. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29988099> (дата обращения: 18.09.2019).
- [16] Кубасов И. А., Копытин А. А. Повышение эффективности управления инженерными системами центров обработки данных путем применения специализированного программного обеспечения // Территория науки. 2018. № 1. С. 63-70. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35545802> (дата обращения: 18.09.2019).
- [17] Дежина И., Пономарев А., Фролов А. Перспективные производственные технологии в России: контуры новой политики // Форсайт. 2015. Т. 9, № 1. С. 20-31. DOI: 10.17323/1995-459X.2015.1.20.31
- [18] Halbig M. C., Jaskowiak M., Kiser J., Zhu D. Evaluation of Ceramic Matrix Composite Technology for Aircraft Turbine Engine Applications // 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 07 January 2013 - 10 January 2013. Grapevine (Dallas/Ft. Worth Region), Texas, 2013. DOI: 10.2514/6.2013-539
- [19] Lu Z. L., Zhou J. P., Yang D. S., Jing H., Li D. Rapid fabrication method of pre-research turbine blade wax precision mould based on 3D printing technology // Acta Aeronautica et Astronautica Sinica. 2015. Vol. 36, Issue 2. Pp. 651-660. DOI: 10.7527/S1000-6893.2014.0083
- [20] Vdovin R. A., Smelov V. G. Research and optimization of the technological process of manufacturing a GTE blades using computer-aided design // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 156. Pp. 012002. DOI: 10.1088/1757-899X/156/1/012002
- [21] Chen S. Three dimensional Cellular Automaton – Finite Element (CAFE) modeling for the grain structures development in Gas Tungsten / Metal Arc Welding processes. Doctorat ParisTech, France, 2014. 209 p.
- [22] Nakamura T., Oka T., Imanari K., Shinohara K., Ishizaki M. Development of CMC Turbine Parts for Aero Engines // IHI Engineering Review. 2014. Vol. 47, No. 1. Pp. 29-32. URL: https://www.ihico.jp/var/ezwebin_site/storage/original/application/3af4d6d52f2a1d0972f2137f87e3cd8e.pdf (дата обращения: 18.09.2019).
- [23] Xinbao Z., Lin L., Weiguo Z., Min Q., Jun Z., Hengzhi F. Analysis of Competitive Growth Mechanism of Stray Grains of Single Crystal Superalloys during Directional Solidification Process // Rare Metal Materials and Engineering. 2011. Vol. 40, Issue 1. Pp. 9-13. DOI: 10.1016/S1875-5372(11)60009-X
- [24] Zhou Y. Z., Volek A., Green N. R. Mechanism of competitive grain growth in directional solidification of a nickel-base superalloy // Acta Materialia. 2008. Vol. 56, Issue 11. P. 2631-2637. DOI: 10.1016/j.actamat.2008.02.022
- [25] Power D. C. Palladium Alloy Pinning Wires for Gas Turbine Blade Investment Casting // Platinum Metals Review. 1995. Vol. 39, Issue 3. Pp. 117-126. URL: <https://www.technology.matthey.com/article/39/3/117-126/> (дата обращения: 18.09.2019).

Поступила 18.09.2019; принята к публикации 07.12.2019;
опубликована онлайн 23.12.2019.

Об авторах:

Вдовин Роман Александрович, доцент кафедры технологий производства двигателей, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева (443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, д. 34), кандидат технических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8835-2999>, vdovin.ssau@gmail.com

Трафимова Галина Анатольевна, доцент кафедры философии, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева (443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, д. 34), кандидат социологических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6809-7676>, galina.trafimowa@yandex.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] *Contours of the future: technology and innovation in cultural context*. Kuznetsov D.I., Sergeev V.V., Almazova N.I., Nikiforova N.V. (Eds.) Asterion, SPb, 2017. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32791138&> (accessed 18.09.2019). (In Russ.)
- [2] Zemtsov S. Robots and potential technological unemployment in the Russian regions: Review and preliminary results. *Voprosy Ekonomiki*. 2017; (7):142-157. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29729984> (accessed 18.09.2019). (In Russ. abstract in Eng.)
- [3] Mironov V.V. University education: conservatism or innovation. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 18. Sotsiologiya i politologiya = Moscow State University Bulletin. Series 18. Sociology and Political Science*. 2017; 23(4):32-44. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32358211> (accessed 18.09.2019). (In Russ. abstract in Eng.)
- [4] Samsonova R.O., Nesterov A.Yu. Innovative Concept of "Space" in the Transformation Model of the University. *Ontology of Designing*. 2019; 9(2):175-190. (In Russ. abstract in Eng.) DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-175-190
- [5] Dzigoeva L.V. Network interaction of educational organizations as a powerful resource for updating the innovative development of education. *Voprosy Pedagogiki*. 2018; (12):24-27. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36738382> (accessed 18.09.2019). (In Russ.)
- [6] Frolov I.N. The use of neural networks in the organization of a network community of educators. In: Petrunin Yu.Yu. (ed) *Neurocomputing Paradigm and Society*. MSU Publ., Moscow, 2012, pp. 201-212. (In Russ.)
- [7] Kotelnikova E.N., Varfolomeeva T.N. Massive open online courses as one of the innovative trend in education. *Humanities scientific researches*. 2016; (5):98-100. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26233229> (accessed 18.09.2019). (In Russ. abstract in Eng.)
- [8] Berestova S.A., Misyura N.E., Mityushov E.A. Innovative Technology for Mass Training: Case Study of e-Course "Mechanical Engineering". *Engineering Education*. 2017; (21):77-82. Available at: <http://aeer.ru/filesen/io/m21/>



- art_10.pdf (accessed 18.09.2019). (In Eng.)
- [9] Nikulicheva I.V. *Vnedrenie distancionnogo obucheniya v uchebnyj process obrazovatel'noj organizacii* [Introduction of distance learning in the educational process of an educational organization]. FIRO, Moscow, 2016. (In Russ.)
- [10] Stein L. *Vysshee obrazovanie v epohu cifrovoj revolyucii* [Higher Education in the Era of the Digital Revolution]. *Almanah "Digital Economy"*. 2017, pp. 35-39. (In Russ.)
- [11] Luger G.F. *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. 6 edition. Pearson, 2008. (In Eng.)
- [12] Lektorskiy V.A. *Philosophy, Artificial Intelligence and Cognitive Science*. In: Dubrovsky D.I., Lektorskiy V.A. (Eds.) *INTELL*, Moscow, 2006, pp. 12-21. (In Russ.)
- [13] Borovkov A.I., Burdakov S.F., Klyavin O.I., Mel'nikova M.P., Pal'mov V.A., Silina E.N. *Sovremennoe inzhenernoe obrazovanie* [Modern Engineering Education]. St. Petersburg: Publishing House of Polytechnic Univ., 2012. (In Russ.)
- [14] Vezirov T.T. *Multimedia laboratory of educational resources: innovative technologies in education. Humanization of Education*. 2017; (6):120-128. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32413769> (accessed 18.09.2019). (In Russ. abstract in Eng.)
- [15] Shehonin A.A., Tarlykov V.A., Bagautdinova A.Sh., Kharitonova O.V. *Educational Technologies in Engineering Education: Multidisciplinary Approach. Engineering Education*. 2017; (21):106-110. Available at: http://aeer.ru/filesen/io/m21/art_15.pdf (accessed 18.09.2019). (In Eng.)
- [16] Kubasov I.A., Kopytin A.A. *Povyshenie effektivnosti upravleniya inzhenernymi sistemami centrov obrabotki dannyh putem primeneniya specializirovannogo programmno obespecheniya* [Improving the management efficiency of engineering systems of data centers through the use of specialized software]. *Territoriya nauki*. 2018; (1):63-70. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35545802> (accessed 18.09.2019). (In Russ.)
- [17] Dezhina I., Ponomarev A., Frolov A. *Advanced Manufacturing Technologies in Russia: Outlines of a New Policy. Foresight-Russia*. 2015; 9(1):20-31. (In Russ. abstract in Eng.) DOI: 10.17323/1995-459x.2015.1.20.31
- [18] Halbig M.C., Jaskowiak M., Kiser J., Zhu D. *Evaluation of Ceramic Matrix Composite Technology for Aircraft Turbine Engine Applications*. In: *51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*, 07 January 2013 - 10 January 2013. Grapevine (Dallas/Ft. Worth Region), Texas, 2013. (In Eng.) DOI: 10.2514/6.2013-539
- [19] Lu Z.L., Zhou J.P., Yang D.S., Jing H., Li D. *Rapid fabrication method of pre-research turbine blade wax precision mould based on 3D printing technology. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*. 2015; 36(2):651-660. (In Eng.) DOI: 10.7527/S1000-6893.2014.0083
- [20] Vdovin R.A., Smelov V.G. *Research and optimization of the technological process of manufacturing a GTE blades using computer-aided design. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016; 156:012002. (In Eng.) DOI: 10.1088/1757-899X/156/1/012002
- [21] Chen S. *Three dimensional Cellular Automaton - Finite Element (CAFE) modeling for the grain structures development in Gas Tungsten / Metal Arc Welding processes*. Doctorat ParisTech, France, 2014. (In Eng.)
- [22] Nakamura T., Oka T., Imanari K., Shinohara K., Ishizaki M. *Development of CMC Turbine Parts for Aero Engines. IHI Engineering Review*. 2014; 47(1):29-32. Available at: https://www.ihico.jp/var/ezwebin_site/storage/original/application/3af4d6d52f2a1d0972f2137f87e3cd8e.pdf (accessed 18.09.2019). (In Eng.)
- [23] Xinbao Z., Lin L., Weiguo Z., Min Q., Jun Z., Hengzhi F. *Analysis of Competitive Growth Mechanism of Stray Grains of Single Crystal Superalloys during Directional Solidification Process. Rare Metal Materials and Engineering*. 2011; 40(1):9-13. (In Eng.) DOI: 10.1016/S1875-5372(11)60009-X
- [24] Zhou Y.Z., Volek A., Green N.R. *Mechanism of competitive grain growth in directional solidification of a nickel-base superalloy. Acta Materialia*. 2008; 56(11):2631-2637. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.actamat.2008.02.022
- [25] Power D.C. *Palladium Alloy Pinning Wires for Gas Turbine Blade Investment Casting. Platinum Metals Review*. 1995; 39(3):117-126. Available at: <https://www.technology.matthey.com/article/39/3/117-126/> (accessed 18.09.2019). (In Eng.)

Submitted 18.09.2019; revised 07.12.2019;
published online 23.12.2019.

About the authors:

Roman A. Vdovin, Associate Professor of the Department of Engine Production Technologies, Samara National Research University (34 Moscow highway, Samara 443086, Russia), Ph.D. (Engineering), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8835-2999>, vdovin.ssau@gmail.com

Galina A. Trafimova, Associate Professor of the Department of Philosophy, Samara National Research University (34 Moscow highway, Samara 443086, Russia), Ph.D. (Sociology), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6809-7676>, galina.trafimova@yandex.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

