

УДК 37.031.2

DOI: 10.25559/SITITO.16.202002.439-448

Результаты использования отечественного программного продукта «ПолигонСофт» в образовании и науке

Р. А. Вдовин

ФГАОУ ВО «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 вопрос, связанный с использованием систем компьютерного моделирования технологических процессов применительно для образовательной и научной сферы. В связи прогрессирующей цифровизацией, использование перспективных информационных технологий становится минимальным и достаточным условием развития общественного уклада. Разработка и внедрение обширной номенклатуры в первую очередь отечественного программного обеспечения оказывается первостепенным инструментом в современном мире цифровых и ИТ-технологий. Использование современных программных продуктов в учебном процессе при выполнении лабораторных и практических работ позволяет сформировать у обучающихся цифровые компетенции в соответствии с требованиями образовательных стандартов. С научной стороны, использование специализированного программного обеспечения, в том числе отечественного, в современных условиях становится очень актуальным. Это связано с возможностью графической интерпретации на экране компьютера решения прикладных производственных задач любой сложности. В работе автор приводит опыт работы в системе компьютерного моделирования литейных процессов «ПолигонСофт», а также получаемый экономический эффект от ее использования в производственных условиях. Внедрение отечественного программного обеспечения в реальный технологический процесс позволило произвести оптимизацию технологии, минимизировать производственные издержки, сократить длительность технологического цикла изготовления продукции, а также снизить финансовые и временные затраты. В этой связи использование информационных технологий и, как следствие, отечественного 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, образовательный процесс, наука, компьютерное моделирование, визуализация.

Для цитирования: Вдовин, Р. А. Результаты использования отечественного программного продукта «ПолигонСофт» в образовании и науке / Р. А. Вдовин. – DOI 10.25559/SITITO.16.202002.439-448 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. – Т. 16, № 2. – С. 439-448.

© Вдовин Р. А., 2020



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



Results of Using the Domestic Software Product “PolygonSoft” in Education and Science

R. A. Vdovin

Samara National Research University, Samara, Russia

34 Moskovskoye shosse, Samara 443086, Russia

vdovin.ssau@gmail.com

Abstract

This article discusses the issue related to the use of systems for computer modeling of technological processes as applied to the educational and scientific spheres. In connection with the progressing digitalization, the use of promising information technologies is becoming a minimum and sufficient condition for the development of a social order. The development and implementation of an extensive range of primarily domestic software is the primary tool in the modern world of digital and IT technologies. The use of modern software products in the educational process when performing laboratory and practical work allows students to form digital competencies in accordance with the requirements of educational standards. From the scientific point of view, the use of specialized software, including domestic, is becoming very important in modern conditions. This is due to the possibility of graphic interpretation on the computer screen of the solution of applied production problems of any complexity. In this work, the author gives the experience of working in the system of computer modeling of foundry processes “PolygonSoft”, as well as the resulting economic effect from its use in industrial conditions. The introduction of domestic software into a real technological process made it possible to optimize the technology, minimize production costs, shorten the duration of the technological cycle of manufacturing products, and also reduce financial and time costs. In this regard, the use of information technology and, as a consequence, domestic software in the educational process and scientific activity allows you to remain competitive and in demand both in the educational services market and among potential employers, and to comply with global scientific trends.

Keywords: Information technology, software, educational process, science, computer modeling, visualization.

For citation: Vdovin R.A. Results of Using the Domestic Software Product “PolygonSoft” in Education and Science. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2020; 16(2):439-448. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202002.439-448>



Введение

В настоящее время, несмотря на высокие темпы развития цифровых технологий в различных отраслях, вопрос, связанный с внедрением данных технологий в образовательную и научную сферы до сих пор остается актуальным. Одной из причин, сдерживающей интенсивное внедрение цифровых технологий является недостаточное внимание и скептическое отношение к разрабатываемым отечественным программным продуктам. Согласно утвержденной Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации, является обеспечение конкурентоспособного преимущества страны за счет развития сфер жизнедеятельности, а также модернизация системы управления на основе внедрения цифровых и ИТ-технологий. Однако нельзя увеличить долю использования отечественных технологий ориентированных товаров и услуг только за счет сокращения темпов использования зарубежных программных продуктов. Проблема заключается в недостаточно высоких темпах разработки и использования отечественных продуктов и, как следствие, обучения пользователей для использования данных сервисов. По мнению автора работы, начать решение обозначенной проблемы следует с образовательных учреждений высшего образования, при этом повышая квалификацию, как самих преподавателей, так и формируя цифровые компетенции у обучающихся [1-3].

Применительно к высшему образованию вообще и формированию цифровых компетенций у педагогов в области отечественного программного обеспечения необходимо отметить следующее. На данном этапе приоритетными задачами модернизации высшей школы является преодоление ее замкнутости, обеспечения открытости ее внешним воздействиям, создание условий для ее адаптации к запросам общества и рынка труда, что, в свою очередь, ведет к актуализации индивидуальных образовательных технологий и положительно сказывается на качестве образовательного процесса. В современном динамически меняющемся обществе это возможно только при внедрении инновационных технологий в образовательный и научный процессы, интеграции всех видов профессиональной деятельности, использовании сетевых моделей взаимодействия всех участников образовательных отношений. Одним из важнейших направлений исполнения национального проекта «Образование» является постоянное развитие цифровой образовательной среды и индивидуальных образовательных траекторий. Создаваемая среда нацелена на аккумуляцию технических средств с привлечением моделей сетевого взаимодействия и позиционирует цифровые технологии как интегрированный субъект единого информационного пространства, использующий в образовании общую совокупность информационных ресурсов и возможностей. Однако, на сегодняшний день, формирование у обучающихся высших заведений цифровых компетенций осуществляется, как правило, за счет использования в образовательном процессе коммерческих программных продуктов, зачастую обычных иностранных. Данный факт, как правило, ограничивает возможности взаимодействия, интеграции и открытости, т.к. коммерческие программные продукты зачастую остаются недоступными для многих образовательных учреждений, ввиду большой стоимости лицензий [4, 5].

В то же время использование образовательными организациями информационной среды в соответствии с обязательными

требованиями федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) открывает безграничные возможности получения любым преподавателем необходимых знаний, навыков и умений с использованием цифровых технологий и отечественного программного обеспечения, оставаясь в правовом поле, выбора необходимого перечня программ, которые максимально соответствуют имеющейся материально-технической базе, актуальным потребностям и запросам рынка труда. С другой стороны требования ФГОС ВО поколения 3++ предписывают в обязательном порядке использовать отечественное программное обеспечение, список которых приводится в рабочих программах дисциплин (РПД). Таким образом, использование программного обеспечения отечественного производства и формирование на его основе цифровых компетенций в настоящее время является необходимым условием в науке и образовании [6, 7].

Значимость рассматриваемого вопроса подтверждает то, что использование программного обеспечения преимущественно отечественного производства способствует сохранению культуры. Разработка отечественных программных продуктов нацелена на поддержание информационной безопасности и технологической независимости. По этой причине актуальной становится задача создания принципов, способных обеспечить овладение цифровыми технологиями преподавателей образовательных учреждений, включая выбор и установку рекомендуемых операционных систем, прикладных специализированных программных продуктов, а также использование открытых стандартов, отвечающих современным требованиям, предъявляемым к инженерам; целенаправленную подготовку и переподготовку профессорско-преподавательского состава образовательной организации, разработку системы мониторинговой и консультационной поддержки [8-10].

Дополнительным стимулом в данном направлении стало постановление Правительства РФ № 2299 от 17 декабря 2010 года, в котором был утвержден План перехода федеральных бюджетных учреждений на использование программного обеспечения на 2011-2015 годы. Данный план, в первую очередь, предусматривает формирование реестра базового программного обеспечения, необходимого для решения типовых производственных задач и внедрение его в подведомственных бюджетных учреждениях. Данный реестр будет периодически обновляться. Кроме того, будет создан единый репозиторий подобного программного обеспечения [11, 12].

Основная часть. Теоретический анализ

Рассмотрим более подробно основные результаты внедрения отечественной системы компьютерного моделирования литейных процессов «ПолигонСофт» в образовательный процесс на примере кафедры технологий производства двигателей федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева». Апробацию данный программный продукт в учебном процессе одновременно проходил на нескольких уровнях образования: в бакалавриате у обучающихся четвертого курса в рамках изучения дисциплин «Моделирование процессов литья, горячей и листовой штамповки» и «Автоматизированная разработка заготовительных технологических процессов», а также в магистратуре у обучающихся двух групп первого



курса в рамках изучения дисциплин «Моделирование процессов формообразования и многоосевая обработка на станках с ЧПУ» и «Современные программные средства инженерного моделирования в двигателестроении и энергетических установках» [13-15].

Ключевой целью изучения данных дисциплин является формирование и развитие у обучающихся специальных умений, навыков и цифровых 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 [16, 17].

Задачи, которые выполняют обучающиеся в рамках изучения данных дисциплин, заключаются в:

- приобретении знаний в области технологий заготовительного производства современных предприятий при освоении теоретического и практического материала;
- формировании необходимых умений, навыков и компетенций для цифрового моделирования процессов заготовительного производства в специализированных программных продуктах, в том числе отечественного производства.

Изучение данных дисциплин проводилось в соответствии с актуальными на момент написания данной работы ФГОС ВО по

направлениям:

- 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств (уровень бакалавриата), приказ Минобрнауки России № 1000 от 11.08.2016 г., зарегистрировано в Минюсте 25.08.2016 г. № 43412;
 - 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов (уровень бакалавриата), приказ Минобрнауки России № 83 от 05.02.2018 г., зарегистрировано в Минюсте 28.02.2018 г. № 50183;
 - 24.04.05 Двигатели летательных аппаратов (уровень магистратура), приказ Минобрнауки России № 74 от 05.02.2018 г., зарегистрировано в Минюсте 28.02.2018 г. № 50180.
- В соответствии с требованиями ФГОС ВО поколения 3++ планируемые результаты освоения образовательной программы (компетенции обучающихся) определяются требованиями образовательного стандарта по направлению подготовки (специальности) и формируются в соответствии с матрицей компетенций. Планируемые результаты обучения – знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности формируются в соответствии с индикаторами достижения компетенций и результатами освоения образовательной программы. В таблице 1 представлен фрагмент матрицы профессиональных компетенций (ПК), в котором показан алгоритм формирования у обучающихся цифровых компетенций за счет изучения технологических дисциплин.

Таблица 1. Фрагмент матрицы профессиональных компетенций
Table 1. Fragment of the professional competence matrix

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
ПК-6 Способность разрабатывать маршрутные карты технологических процессов изготовления отдельных деталей и узлов двигателей и энергоустановок летательных аппаратов.	ПК-6.1. Демонстрирует знания разработки технологических маршрутов изготовления деталей и узлов двигателей и энергоустановок летательных аппаратов двигателей.	знать: технологии изготовления отдельных деталей и узлов двигателей и энергоустановок летательных аппаратов; уметь: разрабатывать маршрутные карты технологических процессов; владеть: навыками компьютерного моделирования технологических процессов изготовления отдельных деталей и узлов двигателей и энергоустановок летательных аппаратов.
	ПК-6.2. Проектирует операционную технологию и разрабатывает технологическую документацию.	знать: основы проектирования операционных технологий; уметь: разрабатывать технологическую документацию; владеть: навыками проектирования процессов изготовления отдельных деталей и узлов двигателей.
ПК-7 Способность выбирать основные и вспомогательные материалы, используемые при изготовлении двигателей летательных аппаратов.	ПК-7.1. Выбирает основные и вспомогательные материалы в зависимости от технологического процесса изготовления деталей двигателей летательных аппаратов.	знать: номенклатуру основных и вспомогательных материалов, используемых при изготовлении деталей двигателей летательных аппаратов, а также основу их взаимозаменяемости; уметь: выбирать (назначать) основные и вспомогательные материалы в зависимости от используемого технологического процесса изготовления деталей двигателей летательных аппаратов; владеть: навыками оптимизации технологической себестоимости при изготовлении деталей двигателей летательных аппаратов в процессе разработки технологических процессов.
	ПК-7.2. Демонстрирует способность выбора технологических решений в зависимости от материала деталей двигателей, указанных в технических требованиях чертежа.	знать: специфику использования технологических процессов в зависимости от материала деталей; уметь: классифицировать технологические решения по видам материалов, указанных в технических требованиях чертежа; владеть: навыками оценки себестоимости используемых технологических решений в зависимости от выбранных материалов.



Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
ПК-13 Способность выбирать оптимальное решение при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства.	ПК-13.1. Выбирает оптимальное технологическое решение при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости.	знать: теоретические основы системы менеджмента качества, основные показатели надежности и требования безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства; уметь: выбирать оптимальные технологические решения при создании продукции с учетом заданных требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения; владеть: навыками компьютерного моделирования технологических процессов изготовления деталей двигателей летательных аппаратов с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства.
	ПК-13.2. Демонстрирует способность оптимизировать технологические решения с учетом безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства.	знать: основы оптимизации технологических процессов; уметь: оценивать показатели надежности оптимизированных технологических процессов; владеть: навыками моделирования оптимизированных технологических процессов, учитывающих экологическую чистоту производства и параметры безопасности жизнедеятельности.

В таблице 2 представлено детальное распределение учебной нагрузки по видам контактной работы в течение учебного года. Анализ распределения нагрузки показывает, что суммарное количество часов, отводимое на работу в специализированном технологическом программном продукте и, как следствие, на формирование цифровых компетенций отводится

328,05 часов, из них 40% отводится на выполнение лабораторных работ, примерно 35% - на практические и семинарские занятия, и оставшиеся 25% - на лекции, КСР и зачеты. Таким образом, значительную часть времени занимает практические выполнение работ и решение прикладных задач обучающимися.

Таблица 2. Распределение учебной нагрузки (в часах)
Table 2. Distribution of the training time (in hours)

Наименование дисциплины	Специальность, направление подготовки	количество				распределение учебной нагрузки (в часах)					
		курс	студентов	потоков	групп	лекции	практич. и сем. занятия	лаборатор. занятия	КСР	зачеты	Всего
Моделирование процессов литья, горячей и листовой штамповки	15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов	4	51	1	3	12	0	72	10	7,65	101,65
Автоматизированная разработка заготовительных технологических процессов	15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств	4	31	1	2	8	0	60	8	4,65	80,65
Современные программные средства инженерного моделирования в двигателестроении и энергетических установках	24.04.05 Двигатели летательных аппаратов	1	12	1	1	2	14	0	2	1,8	19,8
Моделирование процессов формообразования и многоосевая обработка на станках с числовым программным управлением	24.04.05 Двигатели летательных аппаратов	1	13	1	1	8	98	0	18	1,95	125,95
Итого:		-	107	-	7	30	112	132	38	16,05	328,05

Таким образом, на основании представленного опыта, внедрение новых информационных технологий в образовательный процесс значительным образом модернизирует классическую систему обучения, приносит обновленные элементы процесса образования, которые необходимы для подготовки конкурентоспособных специалистов мирового уровня. Использование современных программных продуктов, в том числе отечественного производства, является необходимым условием для формирования и развития более эффективных подходов к

обучению и совершенствованию методики преподавания. Целесообразно данным технологиям обучать студентов практически всех инженерных специальностей; начинать осваивать их в университете следует как можно раньше – т.к. это позволит повысить качество знаний, усилит их направленность на решение конкретных прикладных задач, облегчит обучение на старших курсах [18-20].

С другой стороны невозможно переоценить вклад, вносимый использованием отечественных программных продуктов в



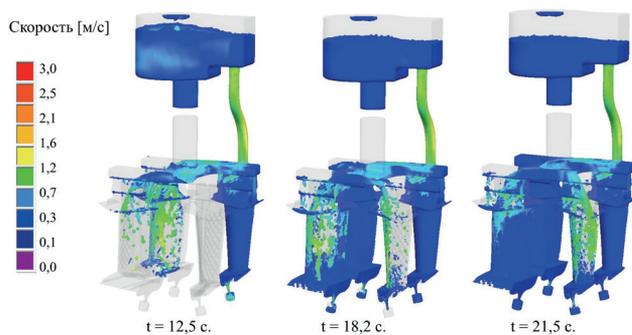
развитие научной деятельности. Опыт использования системы компьютерного моделирования литейных процессов «ПолигонСофт» позволяет сделать вывод, что в современных условиях выпуска конкурентоспособной продукции значительную роль играет скорость прохождения этапов НИОКР и выход годного продукта на рынок. В этом случае не целесообразно использовать метод проб и ошибок, при котором путем проведения натурных исследований подбираются оптимальные технологические режимы процесса изготовления деталей. Тем более в условиях импортозамещения и импортоопережения задача использования систем компьютерной поддержки производства становится актуальной [21, 22].

В данной работе представлены результаты решения одной из многочисленных задач по цифровому моделированию технологического процесса литья лопаток газотурбинного двигателя (ГТД) и апробации результатов моделирования в литейном производстве конкретного предприятия. С точки зрения проведения научного анализа необходимо обратить внимание на характер заполнения металлом керамической формы (рисунок 1): заполнение расплавом происходит последовательно, при этом в центральной части пера лопаток происходит разделение потока, о чем свидетельствуют образующиеся пустоты. Поэтому, при заливке на воздухе при подобной постановке возможно появление газовых пузырей и, как следствие, возникновение оксидных пленок. При заливке в вакууме возможно прогнозировать появление неспаев [23].

На рисунке 2 представлен анализ характера распределения пористости в отливке лопатки. Как видно из анализа отливка имеет распределенную по всему объему пористость более 8%, что недопустимо, особенно в случае тонкостенной геометрии лопатки.

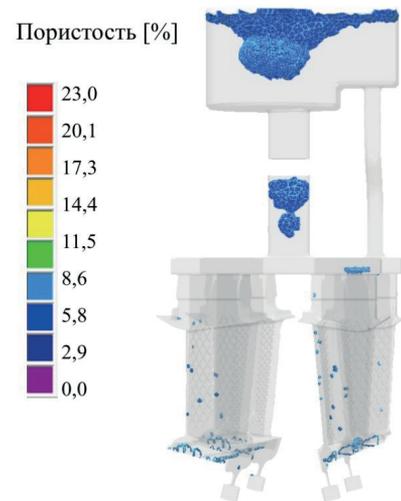
Таким образом, по результатам использования системы компьютерного моделирования процессов литья «ПолигонСофт» при технологической подготовке производства лопаток ГТД могут быть сделаны следующие выводы:

1. СКМ ЛП могут быть использованы для оптимизации конструкции литниково-питающей системы (ЛПС) для деталей любой геометрической сложности, а также температурно-временных характеристик процессов литья.
2. СКМ ЛП позволили оценить эффективность ЛПС на стадии анализа характера гидродинамики расплава, не прибегая к дорогостоящим плавкам-заливкам.



Р и с. 1. Характер заполнения керамической формы расплавленным металлом в различные моменты времени

Fig. 1. The nature of filling a ceramic mold with molten metal at various points in time



Р и с. 2. Характер распределения пористости в отливке
Fig. 2. The nature of the porosity distribution in the casting

Использование отечественного программного продукта по моделированию процесса литья позволило:

- существенно сократить время отработки технологического процесса, повысить качество принимаемых конструктивных и технологических решений при существенном сокращении материальных затрат на опытную отработку технологии литья;
- отработать процесс получения годных отливок лопаток ГТД;
- отработать методику прогнозирования появления литейных дефектов и разработать комплекс мер по их обнаружению и устранению;
- отработать методику моделирования напряженно-деформированного состояния отливки в процессе заливки и после выливки отливки из керамической формы с целью получения величины деформации и остаточных напряжений;
- отработать методику прогнозирования объемной усадки, определения ее характера и разработать комплекс мер по ее устранению.

Покажем экономическую оценку эффективности от использования программного продукта в производственных условиях конкретного предприятия. За основу была взята отливка лопатки № 1. Методика расчета для остальных отливок будет аналогична.

Исходными данными для анализа стали:

- заводские данные – энергозатраты, трудоемкость, амортизация оборудования, статистические данные;
- экспертные оценки – по согласованию с экспертами предприятия было решено производить расчет стоимости отливки согласно требуемому объему партии выпуска, который составляет 100 штук ($n=100$ шт.);
- литературные данные – была изучена методика расчета стоимости изготовления детали в заготовительном производстве, были подобраны наиболее оптимальные коэффициенты. Согласно исходным данным, на предприятии была определена стоимость изготовления одной отливки Лопатки № 1 ($C_{отл.1}$), которая составляет 24 594 рубля 00 коп. ($C_{отл.} = 24\ 594$ руб.). Таким образом, стоимость изготовления требуемой партии турбинных лопаток ($C_{партии}$) составит:

$$C_{партии} = C_{отл.} \times n;$$

$$C_{партии} = 24\ 594 \text{ руб.} \times 100 \text{ шт.} = 2\ 459\ 400 \text{ руб.}$$



Согласно статистическим данным, предоставленным предприятием, процент выхода годных Лопаток № 1 равен 50% (соответственно, 50% брака). Таким образом, для получения партии 100%-ых годных отливок необходимо изготовить 200 отливок Лопаток № 1, из расчета, что 50% уйдет в брак. Поэтому, стоимость требуемой партии годных отливок ($C_{\text{партии_треб.}}$)

составит:

$$C_{\text{партии_треб.}} = 24\,594 \text{ руб.} \times 200 \text{ шт.} = 4\,918\,800 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов стоимости отливок выбранной номенклатуры (по 4 разным видам отливок) без использования системы компьютерного моделирования «ПолигонСофт» представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчетов стоимости отливок без использования СКМ «ПолигонСофт»

Table 3. Results of calculations of the cost of castings without the use of "PolygonSoft"

Наименование отливки	Объем партии	% годных отливок	Требуемый объем партии	$C_{\text{отл}}$	$C_{\text{партии}}$	$C_{\text{партии_треб.}}$
Лопатка № 1	100 шт.	50%	200 шт.	24 594 руб.	2 459 400 руб.	4 918 800 руб.
Лопатка № 2	120 шт.	75%	160 шт.	23 358 руб.	2 802 960 руб.	3 737 280 руб.
Лопатка № 3	100 шт.	50%	200 шт.	22 259 руб.	2 225 900 руб.	4 451 800 руб.
Лопатка № 4	30 шт.	55%	55 шт.	27 684 руб.	830 520 руб.	1 522 620 руб.
ИТОГО за все отливки:						14 630 500 руб.

Таким образом, путем итерационного подхода, методом проб и ошибок, перевода "живые" деньги в брак получают требуемое количество годных отливок. Как правило, на практике, чтобы получить годную партию отливок количество итераций составляет 2 и более. При внедрении в производство программного обеспечения по моделированию литейных процессов удается значительно сократить расходы, связанные с выпуском брака и уже после первой плавки получить требуемое количество годных отливок.

Самым дорогостоящим этапом является стоимость лицензии и технической поддержки требуемого САЕ программного продукта. Стоимость одной полнофункциональной лицензии с необходимым количеством модулей и решателей отечественной программы «ПолигонСофт» составляет 330 000 рублей ($C_{\text{лицен-}}$

$= 330\,000 \text{ руб.}$). Следует помнить, что лицензия приобретается один раз и может быть использована для компьютерного моделирования всей номенклатуры литейного цеха!

При использовании СКМ ЛП «ПолигонСофт» удалось повысить процент годных отливок Лопатки № 1 до 55%. Таким образом, для получения партии 100%-ых годных отливок необходимо изготовить 182 отливки Лопаток № 1, из расчета, что 45% уйдет в брак. Поэтому, стоимость требуемой партии годных отливок ($C_{\text{партии_треб.}}$) составит:

$$C_{\text{партии_треб.}} = 24\,594 \text{ руб.} \times 182 \text{ шт.} = 4\,476\,108 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов стоимости отливок выбранной номенклатуры (по 4 разным видам отливок) с использованием системы компьютерного моделирования «ПолигонСофт» представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты расчетов стоимости отливок с использованием компьютерного моделирования

Table 4. Results of calculations of the cost of castings using computer modeling

Наименование отливки	Объем партии	% годных отливок (с применением компьютерных технологий)	Требуемый объем партии	$C_{\text{отл}}$	$C_{\text{партии}}$	$C_{\text{партии_треб.}}$
Лопатка № 1	100 шт.	55%	182 шт.	24 594 руб.	2 459 400 руб.	4 476 108 руб.
Лопатка № 2	120 шт.	80%	150 шт.	23 358 руб.	2 802 960 руб.	3 503 700 руб.
Лопатка № 3	100 шт.	60%	167 шт.	22 259 руб.	2 225 900 руб.	3 717 253 руб.
Лопатка № 4	30 шт.	65%	47 шт.	27 684 руб.	830 520 руб.	1 301 148 руб.
ИТОГО за все отливки:						12 998 209 руб.
Стоимость лицензии и технической поддержки:						330 000 руб.
Окончательная стоимость:						13 328 209 руб.

Сравнительный анализ результатов в таблицах 3 и 4 показывает, что применение компьютерного моделирования литейных процессов позволяет сокращать расходы на изготовление отливок примерно на 9%. Экономия от внедрения цифрового проектирования заготовительного производства составила 1 302 291 руб. Однако, необходимо помнить, что при увеличении номенклатуры отливок экономический эффект (экономика) будет возрастать!

Резюмируя, важно отметить, что внедрение компьютерных технологий в реальное производство с научной точки зрения

позволило повысить процент выпуска годных отливок, спрогнозировать образование литейных дефектов и предпринять комплекс мер, направленных на предотвращающие их появления. Интеграция технологий компьютерного моделирования и заготовительного производства позволило снизить расходы, уменьшить трудоемкость проектирования и освоения производства новых сложных изделий. На 30...40% уменьшились расходы на подготовку технологической документации. Более чем на 35% сократились сроки выпуска новых сложных изделий [24-25].



Заключение

Таким образом, в современных условиях цифровизации экономики существование научно-образовательной сферы невозможно без повсеместного использования информационных технологий, в том числе, отечественного программного обеспечения. Постоянное развитие различных сфер (экономической, инновационной, производственной, научно-образовательной) диктует новые требования к освоению, внедрению и использованию разнообразных программных продуктов. Особенно существенными эти требования выглядят для научно-технологической сферы. В подобной трансформации, по мнению автора, большое значение имеет не только экспертная и научно-исследовательская, но и образовательная поддержка научно-технологической сферы.

Поэтому, 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] Миронов, В. В. Университетское образование: консерватизм или инновация? / В. В. Миронов // Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология. - 2017. - Т. 23, № 4. - С. 32-44. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32358211> (дата обращения: 12.06.2020). - Рез. англ.
- [2] Современное инженерное образование / А. И. Боровков [и др.]. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. - 80 с. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23713194> (дата обращения: 12.06.2020).
- [3] Kaplan, A. M. Higher education and the digital revolution: About MOOCs, SPOCs, social media, and the Cookie Monster / A. M. Kaplan, M. Haenlein. - DOI 10.1016/j.bushor.2016.03.008 // Business Horizons. - 2016. - Vol. 59, Issue 4. - Pp. 441-450. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000768131630009X> (дата обращения: 12.06.2020).
- [4] Дежина, И. Перспективные производственные технологии в России: контуры новой политики / И. Дежина, А. Пономарев, А. Фролов. - DOI 10.17323/1995-459X.2015.1.20.31 // Форсайт. - 2015. - Т. 9, № 1. - С. 20-31. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23221128> (дата обращения: 12.06.2020). - Рез. англ.
- [5] Митюшов, Е. А. Инновационные технологии массового обучения на примере онлайн курса «Инженерная механика» / Е. А. Митюшов, Н. Е. Мисюра, С. А. Берестова // Инженерное образование. - 2017. - № 21. - С. 83-89. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29988094> (дата обращения: 12.06.2020). - Рез. англ.
- [6] Контур будущего: технологии и инновации в культурном контексте / Под ред. Д. И. Кузнецова [и др.]. - СПб.: Астерион, 2017. - 550 с. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32791138> (дата обращения: 12.06.2020).
- [7] Харитонова, О. В. Образовательные технологии инженерного образования: междисциплинарный подход / О. В. Харитонова, А. Ш. Багаутдинова, В. А. Тарлыков, А. А. Шехонин // Инженерное образование. - 2017. - № 21. - С. 117-121. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29988099> (дата обращения: 12.06.2020). - Рез. англ.
- [8] Котельникова, Е. Н. Массовые открытые онлайн-курсы как инновационная тенденция в образовании / Е. Н. Котельникова, Т. Н. Варфоломеева // Гуманитарные научные исследования. - 2016. - № 5. - С. 98-100. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26233229> (дата обращения: 12.06.2020). - Рез. англ.
- [9] Везиров, Т. Т. Мультимедийная лаборатория образовательных ресурсов: инновационные технологии в образовании / Т. Т. Везиров // Гуманизация образования. - 2017. - № 6. - С. 120-128. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32413769> (дата обращения: 12.06.2020). - Рез. англ.
- [10] Никуличева, Н. В. Внедрение дистанционного обучения в учебный процесс образовательной организации / Н. В. Никуличева. - М.: ФИПИ, 2016. - 72 с. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29321980> (дата обращения: 12.06.2020).
- [11] Люгер, Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д. Ф. Люгер. - 4-е изд. - М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. - 864 с.
- [12] Дзигоева, Л. В. Сетевое взаимодействие образовательных организаций как мощный ресурс обновления инновационного развития образования / Л. В. Дзигоева // Вопросы педагогики. - 2018. - № 12. - С. 24-27. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36738382> (дата обращения: 12.06.2020).
- [13] Фролов, И. Н. Применение нейронных сетей в организации сетевого сообщества педагогов / И. Н. Фролов // Нейрокомпьютерная парадигма и общество. - М.: Изд-во МГУ, 2012. - С. 201-212.
- [14] Кубасов, И. А. Повышение эффективности управления инженерными системами центров обработки данных путем применения специализированного программного обеспечения / И. А. Кубасов, А. А. Копытин // Территория науки. - 2018. - № 1. - С. 63-70. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35545802> (дата обращения: 12.06.2020). - Рез. англ.
- [15] Лекторский, В. А. Философия, искусственный интеллект и когнитивная наука // Искусственный интеллект: междисциплинарный подход / Под ред. Д. И. Дубровского, В. А. Лекторского. - М.: ИИнтелЛ, 2006. - С. 12-21.
- [16] Самсонова, Р. О. Инновационное понятие «космос» в трансформационной модели университета / Р. О. Самсонова, А. Ю. Нестеров. - DOI 10.18287/2223-9537-2019-9-2-175-190 // Онтология проектирования. - 2019. - Т. 9, № 2. - С. 175-190. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38502814> (дата обращения: 12.06.2020). - Рез. англ.
- [17] Земцов, С. П. Роботы и потенциальная технологическая безработица в регионах России: опыт изучения и предварительные оценки / С. П. Земцов // Вопросы экономики. - 2017. - № 7. - С. 142-157. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29729984> (дата обращения: 12.06.2020). - Рез. англ.
- [18] Lu, Z. L. Rapid fabrication method of pre-research turbine blade wax precision mould based on 3D printing



- technology / Z. L. Lu, J. Zhou, D. Yang, H. Jing, D. Li. - DOI 10.7527/S1000-6893.2014.0083 // *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*. - 2015. - Vol. 36, No. 2. - Pp. 651-660.
- [19] Zhou, Y. Z. Mechanism of competitive grain growth in directional solidification of a nickel-base superalloy / Y. Z. Zhou, A. Volek, N. R. Green. - DOI 10.1016/j.actamat.2008.02.022 // *Acta Materialia*. - 2008. - Vol. 56, Issue 11. - Pp. 2631-2637. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359645408001055> (дата обращения: 12.06.2020).
- [20] Vdovin, R. A. Research and optimization of the technological process of manufacturing a GTE blades using computer-aided design / R. A. Vdovin, V. G. Smelov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. - 2016. - Vol. 156. - Pp. 1-7. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/156/1/012002> (дата обращения: 12.06.2020).
- [21] Power, D. C. Palladium Alloy Pinning Wires for Gas Turbine Blade Investment Casting / D. C. Power // *Platinum Metals Review*. - 1995. - Vol. 39, Issue 3. - Pp. 117-126. - URL: <https://www.technology.matthey.com/article/39/3/117-126> (дата обращения: 12.06.2020).
- [22] Takeshi, N. Development of CMC Turbine Parts for Aero Engines / N. Takeshi, O. Takeshi, I. Kuniyuki, S. Ken-ichi, I. Masato // *Engineering Review*. - 2014. - Vol. 47, Issue 1. - Pp. 29-32.
- [23] Halbig, M. C. Evaluation of Ceramic Matrix Composite Technology for Aircraft Turbine Engine Applications / M. C. Halbig, M. H. Jaskowiak, J. D. Kiser, D. Zhu // *51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*. - 2013. - № 1. - P. 1-11. - URL: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20130010774> (дата обращения: 12.06.2020).
- [24] Xinbao, Z. Analysis of Competitive Growth Mechanism of Stray Grains of Single Crystal Superalloys during Directional Solidification Process / Z. Xinbao, L. Lin, Z. Weiguo, Q. Min, Z. Jun, F. Hengzhi. - DOI 10.1016/S1875-5372(11)60009-X // *Rare Metal Materials and Engineering*. - 2011. - Vol. 40, Issue 1. - Pp. 9-13. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S187553721160009X> (дата обращения: 12.06.2020).
- [25] Chen, S. Three-dimensional cellular automaton-finite element modeling of solidification grain structures for arc-welding processes / S. Chen, G. Guillemot, C.-A. Gandin. - DOI 10.1016/j.actamat.2016.05.011 // *Acta Materialia*. - 2016. - Vol. 115. - Pp. 448-467. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359645416303391> (дата обращения: 12.06.2020).

Поступила 12.06.2020; принята к публикации 25.08.2020;
опубликована онлайн 30.09.2020.

Об авторе:

Вдовин Роман Александрович, доцент кафедры технологий производства двигателей, ФГАОУ ВО «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

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Mironov V.V. University Education: Conservatism or Innovation. *Moscow State University Bulletin. Series 18. Sociology and Political Science*. 2017; 23(4):32-44. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32358211> (accessed 12.06.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [2] Borovkov A.I. et al. Modern Engineering Education. SPb: Polytechnic. Publ.; 2012. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23713194> (accessed 12.06.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [3] Kaplan A.M., Haenlein M. Higher education and the digital revolution: About MOOCs, SPOCs, social media, and the Cookie Monster. *Business Horizons*. 2016; 59(4):441-450. (In Eng.) DOI: <http://doi.org/10.1016/j.bushor.2016.03.008>
- [4] 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: <http://doi.org/10.17323/1995-459x.2015.1.20.31>
- [5] 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: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29988094> (accessed 12.06.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [6] Contours of the future: technology and innovation in a cultural context. Kuznetsov D.I. (ed.). SPb.: Asterion; 2017. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32791138> (accessed 12.06.2020). (In Russ.)
- [7] Shehonin A.A., Tarlykov V.A., Bagautdinova A.Sh., Kharitonova O.V. Educational Technologies in Engineering Education: Multidisciplinary Approach. *Engineering Education*. 2017; (21):117-121. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29988099> (accessed 12.06.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [8] 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://www.elibrary.ru/item.asp?id=26233229> (accessed 12.06.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [9] Vezirov T.T. Multimedia Laboratory of Educational Resources: Innovative Technologies in Education. *Humanization of Education*. 2017; (6):120-128. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32413769> (accessed 12.06.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [10] Nikulicheva N.V. *Vnedrenie distancionnogo obuchenija v uchebnyj process obrazovatel'noj organizacii* [Implementation of distance learning in the educational process of an educational organization]. Moscow, FIPI; 2016. (In Russ.)
- [11] Luger G. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for



- [12] Complex Problem Solving. 6th Ed. Pearson; 2008. (In Eng.) 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://www.elibrary.ru/item.asp?id=36738382> (accessed 12.06.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [13] Frolov I.N. Application of neural networks in the organization of a network community of teachers. In: *Neurocomputer Paradigm and society*. Moscow, MSU Publ.; 2012. p. 201-212. (In Russ.)
- [14] Kubasov I.A., Kopytin A.A. Increasing the efficiency of management of engineering systems of data processing centers by using specialized software. *Territorija nauki*. 2018; (1):63-70. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35545802> (accessed 12.06.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [15] Lektorsky V.A. Philosophy, artificial intelligence and cognitive science. In: *Artificial Intelligence: an interdisciplinary approach*. M.: InTelL; 2006. p. 12-21. (In Russ.)
- [16] 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: <http://doi.org/10.18287/2223-9537-2019-9-2-175-190>
- [17] Zemtsov S.P. Robots and Potential Technological Unemployment in the Russian Regions: Review and Preliminary Results. *Voprosy Ekonomiki*. 2017; (7):142-157. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29729984> (accessed 12.06.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [18] Lu Z.L., Zhou J., Yang D., 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 Chinese) DOI: <http://doi.org/10.7527/S1000-6893.2014.0083>
- [19] 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: <http://doi.org/10.1016/j.actamat.2008.02.022>
- [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; 156:1-7. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/156/1/012002> (accessed 12.06.2020). (In Eng.)
- [21] 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 12.06.2020). (In Eng.)
- [22] Takeshi N., Takeshi O., Kuniyuki I., Ken-ichi S., Masato I. Development of CMC Turbine Parts for Aero Engines. *Engineering Review*. 2014; 47(1):29-32. (In Eng.)
- [23] Halbig M.C., Jaskowiak M.H., Kiser J.D., 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*. 2013; (1):1-11. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20130010774> (accessed 12.06.2020). (In Eng.)
- [24] 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: [http://doi.org/10.1016/S1875-5372\(11\)60009-X](http://doi.org/10.1016/S1875-5372(11)60009-X)
- [25] Chen S., Guillemot G., Gandin C.-A. Three-dimensional cellular automaton-finite element modeling of solidification grain structures for arc-welding processes. *Acta Materialia*. 2016; 115:448-467. (In Eng.) DOI: <http://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.05.011>

Submitted 12.06.2020; revised 25.08.2020;
published online 30.09.2020.

About the author:

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

The author has read and approved the final manuscript.

