

УДК 681.3.01

**К.Г. Носов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САПР**

Сегодня 3D-модель в САПР – это электронный документ и основная единица технологии проектирования промышленных изделий. Бумажные носители информации (чертежи) утрачивают свою актуальность и требуют адаптации к существующим реалиям. Приведен пример документирования изделия при переносе данных с существующего чертежа в трехмерную электронную модель. Показано, что применение когнитивного подхода дает дополнительные возможности при оптимизации процесса моделирования и проектирования как системы. Также возможно пополнить недостаток знаний при построении трехмерной модели за счет применения знаний из других областей, включая использование параметров уже имеющихся изделий и инструментария САПР.

**Ключевые слова:** когнитивный подход, компьютерное моделирование, трехмерное моделирование, САПР.

**K.G. Nosov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **COGNITIVE APPROACH TO THE SOLUTION OF THE PROBLEM MODELING AND DESIGN IN CAD**

Today, 3D-CAD model is an electronic document and the basic unit of design technology of industrial products. Paper media (drawings) lose their relevance and need to be adapted to the existing realities. An example of product documentation when you transfer data from existing drawings to three-dimensional electronic model. It is shown that the application of the cognitive approach provides additional opportunities in the optimization process modeling and design as a system. Also it is makes up for the lack of knowledge in the construction of three-dimensional model through the application of knowledge from other areas including the use of the parameters of existing products and CAD tooling.

**Keywords:** cognitive approach, computer simulation, three-dimensional modeling, CAD.

### **Введение**

В современных условиях, когда значительные объемы накопленных знаний в области проектирования сопровождаются все более автоматизируемыми процессами жизнедеятельности человека, недостаточное внимание уделяется потенциалу когнитивных методов решения задач. В последнее время получили развитие физико-математические

модели, основанные на когнитивном подходе, который, в свою очередь, базируется на научном и интуитивном анализе баз данных, полученных путем теоретического, экспериментального и численного исследования объектов рассматриваемого класса информации [1].

Под когнитивным подходом понимается решение традиционных для данной науки проблем методами, учитывающими когнитивные аспекты, в которые включаются процессы восприятия, мышления, познания, объяснения и понимания. Когнитивный подход в любой предметной области акцентирует внимание на «знаниях», точнее, на процессах их представления, хранения, обработки, интерпретации и производстве новых знаний [2].

Применение в моделировании и проектировании когнитивного (познавательного) подхода позволяет не только использовать шаблоны решенных ранее задач, но и производить изменения в процессе проектирования, используя в том числе знания и навыки из решения подобных задач, применяемых в других областях знаний. В данном случае модель изделия достаточно представить как параметризованную систему с входными и выходными данными. Основной акцент при этом делается не на знании и анализе имеющегося объема исходных данных и применении к нему операций моделирования и проектирования по заданному алгоритму, а на понимании физического смысла этих данных и понимании (познании) возможности вариантов их комбинирования с другими данными, напрямую не входящими в заданный диапазон входных и выходных условий.

## **1. Особенности современного проектирования**

В настоящее время внедрение современных технологий в процесс проектирования новых изделий связано в первую очередь с появлением САПР, имеющих в своем составе такой инструмент, как моделирование эксплуатационных характеристик.

На рис. 1, 2 приведены упрощенные схемы процесса проектирования в периоды соответственно до и после внедрения САПР.

На рис. 1 показаны процессы, в свое время преимущественно выполнявшиеся без применения вычислительных систем (вручную). На рис. 2 одной звездочкой помечены автоматизированные процессы, которые выполняются с помощью вычислительных систем, но требуют от человека постоянного принятия решений, в том числе проектных.

Двумя звездочками помечены автоматические и полуавтоматические процессы, которые не требуют от человека постоянного принятия решения, но требуют периодического задания алгоритмов для последующего принятия вычислительной системой «самостоятельного» решения, например программирование испытательного стенда – формирование критериев анализа и принятия решений в процессе проведения испытаний. Схема современного процесса проектирования имеет тенденцию к постоянному видоизменению с каждым витком развития технологий и может отличаться в различных сферах деятельности – машиностроении, приборостроении, строительстве и т.д.

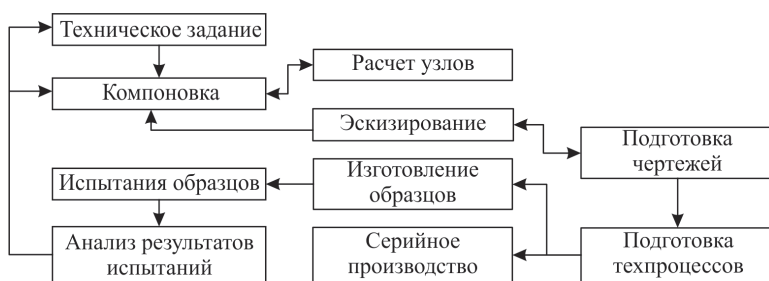


Рис. 1. Схема неавтоматизированного процесса проектирования

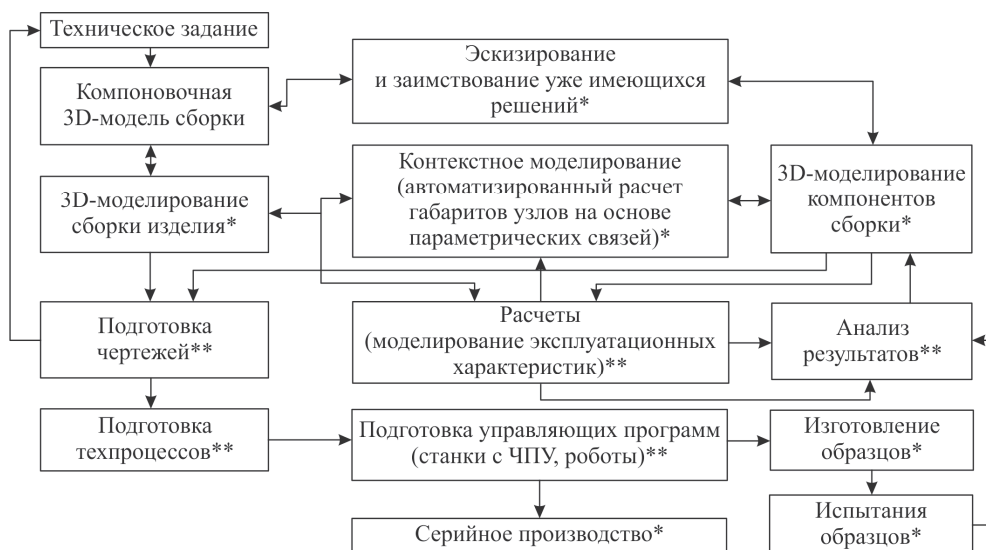


Рис. 2. Схема современного процесса проектирования с использованием САПР

Наиболее ресурсоемкими, а соответственно, и наиболее актуальными для разработки оптимизационных методов являются такие процессы, как: расчеты (моделирование эксплуатационных характеристик) и 3D-моделирование (проектирование).

Проектирование является сложным творческим процессом деятельности человека, направленным на создание нового и основанным на научных знаниях и использовании практического опыта в определенной сфере. И можно сказать, что без проектирования в современном виде, какое оно есть, не было бы и современной цивилизации. Производство практически всех промышленных товаров и строительных объектов связано с системами автоматизированного проектирования (САПР), а вся мировая структура экономики напрямую связана с производством той или иной продукции. Автоматизированное проектирование позволяет распределить функции между человеком и компьютером. Человек должен решать задачи творческого характера, а компьютер – задачи, допускающие формализованное описание в виде математического алгоритма [3].

Для проектирования характерны определенная «логика» и определенные возможности. Проектировщик может совмещать и примерять противоположные или несовпадающие требования к объекту; разрабатывать отдельные планы и подсистемы объекта, не обращая определенное время к другим планам и подсистемам; описывать независимо друг от друга вид, функции, функционирование и строение объекта и затем совмещать их; разрабатывать (решать) различные варианты объекта (изделия) и его подсистем, сравнивать эти варианты; «вносить в объект» свои ценности. Разрабатывая изделие, проектировщик строит своеобразные «семиотические модели», причем модели проектируемого объекта, полученные на предыдущих этапах (их условно можно назвать «абстрактными»), используются как средства при построении моделей, строящихся на последующих этапах (т.е. «конкретных» моделей) [4].

Вместе с тем одним из основных требований современного металлообрабатывающего и контрольно-измерительного оборудования является наличие компьютерной трехмерной модели (3D-модели)<sup>1</sup>. Но еще многие отечественные разработки, актуальные на сегодняшний день, содержатся только в бумажных чертежах. Современная же модель проектирования и производства построена по принципу: *виртуальная модель изделия – техпроцесс – производство – изделие*.

---

<sup>1</sup> ГОСТ 2.052–2006. ЕСКД. Электронная модель изделия.

Также очень важно иметь в виду, что современное металлообрабатывающее оборудование позволяет вести обработку резанием практически по любой криволинейной траектории. Это, в свою очередь, позволяет инженерам-конструкторам не использовать расчетные криволинейные поверхности в виде вырожденных в подобные им сегменты, основанных на геометрических примитивах, а основываться на полноценных криволинейных формообразующих, соответствующих методам математической формализации.

## **2. Пример**

В качестве примера объекта проектирования взята модель реактивного сопла, а точнее, его наиболее ответственная часть – критическое сечение (сопло Лавалья).

В качестве прототипа сопла взято реальное изделие, «устаревшая» производственная информация о котором содержится только на бумажных носителях. В современных условиях подобные задачи решаются, например, для формирования так называемых «баз знаний» – специализированных компьютерных систем типа Knowledge Based Engineering (КВЕ). Это один из способов «встраивания» в САПР (CAD) накопленного опыта в виде отдельного модуля или библиотеки. КВЕ используются для сокращения времени проектирования и количества дорогостоящих натуральных и стендовых экспериментов, а также трудоемких многоресурсных расчетов [5]. Примером является «база знаний» САПР NX компании Siemens.

Задача проектирования нового изделия на основе данных существующего изделия выполнена непосредственно в САПР SolidWorks 2013 [6]. Оценка результатов выполнена с помощью модуля моделирования эксплуатационных характеристик FlowExpress [7], встроенного в САПР SolidWorks.

Решение задачи проектирования и моделирования на основе анализа результатов проведены в несколько этапов:

1. По имеющимся данным построена трехмерная параметрическая модель части реактивного сопла (рис. 3, *а*, *б*). Для операций автоматизированных вычислений математического ядра САПР использовались следующие допуски: позиционный – 0,001 мм, угловой –  $6 \cdot 10^{-8}$  град.

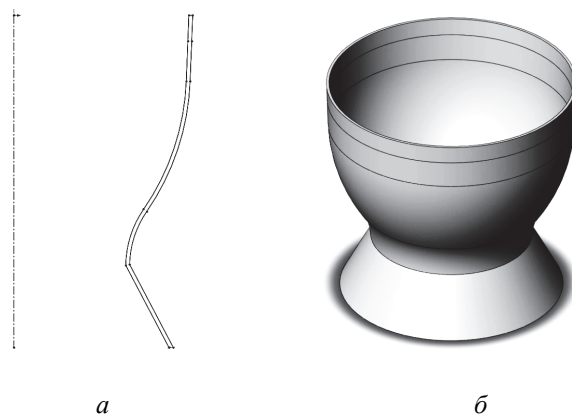


Рис. 3. Параметрическая модель сопла, построенная по чертежу (размеры и взаимосвязи не показаны): *а* – параметрический эскиз; *б* – твердотельная модель

Простой анализ эскиза (см. рис. 3, *а*) инструментами параметризации САПР показал, что кривые (части образующей сопла), из которых состоит верхняя (докритическая) часть эскиза, не являются касательными. Это приводит к незначительному, но все же имеющемуся разделению сопловой части на отдельные (в математическом выражении) поверхности. Таких частей образующей, в докритической части, всего четыре (см. рис. 3, *б*). Здесь и далее под термином «эскиз» будет пониматься плоская проекция замкнутого контура, вращением которого вокруг оси образуется сопло.

2. На основе понимания основных принципов работы математического аппарата САПР и построения криволинейных поверхностей, физических процессов формирования таких поверхностей на реальных объектах можно сформулировать некоторые вопросы для последующего решения. Например, используя единую образующую вместо четырех ее частей, возможно ли получить идентичную или подобную поверхность без ухудшения эксплуатационных характеристик сопла? Учитывая возросшие возможности современного металлообрабатывающего оборудования, можно ли указать на необходимость в такой аппроксимации? Заметим, что ранее, при разработке чертежей, выполнении расчетов специфика и точность нанесения размеров кривых на чертеже соответствовала лишь текущему уровню вычислительных возможностей и особенностей производственного оборудования.

3. Используя один из 2D-инструментов САПР – сплайн, кривые Безье или NURBS, можно получить вместо четырех кривых, образующих докритическую часть в эскизе, одну криволинейную образующую. Произведя разбиение существующих четырех участков образующей сечения на 34 точки с равным шагом по оси координат  $X$  и построив через эти точки сплайн, в результате получаем аппроксимирующую кривую (рис. 4, *a*).

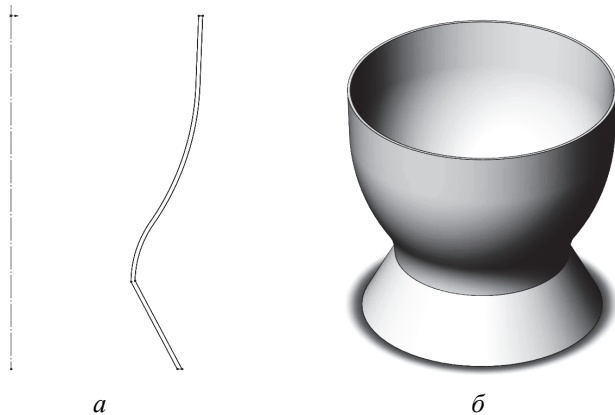


Рис. 4. Параметрическая модель сопла (размеры и взаимосвязи не показаны): *a* – параметрический эскиз; *б* – твердотельная модель, построенная с заменой набора образующих на единую кривую

4. Используя модули САПР, сравниваем топологии поверхности обоих вариантов трехмерных моделей (рис. 5, *a*, *б*). Сравнение показало отсутствие в новой версии модели линий перехода поверхностей, что говорит о наличии единственной поверхности в докритической части (на основании принципов работы математического ядра САПР).

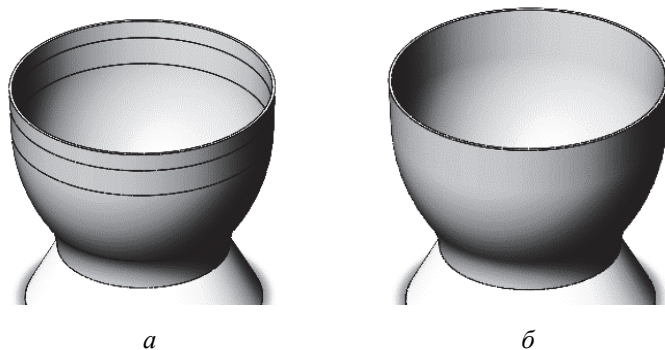


Рис. 5. Топологическая совместимость моделей: *a* – набора поверхностей по «классическому» эскизу; *б* – поверхности по новому эскизу

5. Используя модуль САПР, анализируем кривизну участков исходного эскиза и новой версии (рис. 6, *a*, *б*). Удостоверяемся в приемлемой взаимозаменяемости по этому параметру.

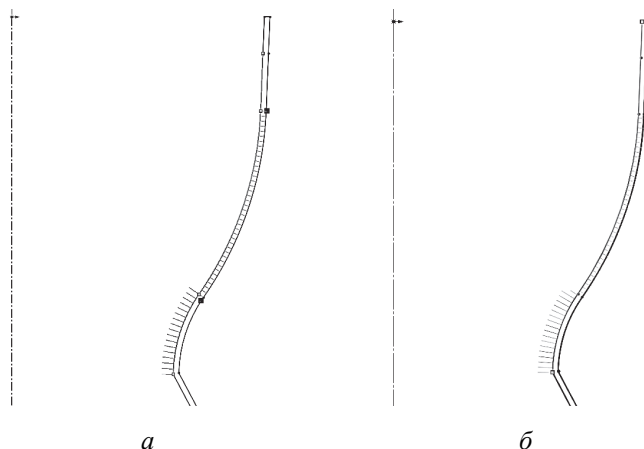


Рис. 6. Эпюра кривизны участка эскиза: *a* – по чертежу; *б* – единая кривая эскиза, заменяющая образующие из чертежа

Далее для наглядности отображения изменений и динамики процессов во внутренней полости на части изображений сопла применено виртуальное сечение – отделение половины сопла плоскостью, проходящей через ось сопла.

6. Используя модули САПР, анализируем кривизну участков поверхностей (рис. 7, *a*, *б*) и погрешность толщины тел (рис. 8, *a*, *б*). Удостоверяемся в приемлемой взаимозаменяемости трехмерных моделей по данным параметрам.



Рис. 7. Совместимость моделей по кривизне: *a* – набор поверхностей по «классическому» эскизу; *б* – поверхности по новому эскизу



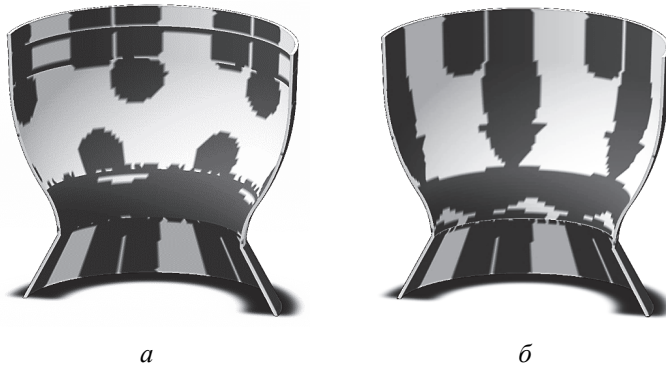


Рис. 8. Совместимость моделей по толщине образуемого тела:  
 а – по «классическому» эскизу; б – по новому эскизу

7. Используя модули САПР, анализируем массо-центровочные характеристики твердотельных моделей, полученных по двум вариантам эскизов (табл. 1). Значения приведены к относительному показателю; за основу (100 %) взяты параметры классической модели сопла (по чертежу).

Таблица 1

Массо-центровочные характеристики твердотельных моделей

№ п/п	Параметр модели	Отклонение
1	Объем	-0,144 %
2	Площадь поверхности	-0,003 %
Центр тяжести:		
3	$X$	0,000 %
4	$Y$	-0,049 %
5	$Z$	0,000 %
Моменты инерции, относительно центра тяжести:		
6	$P_x$	-0,031 %
7	$P_y$	-0,030 %
8	$P_z$	-0,055 %
Моменты инерции, относительно системы координат вывода данных:		
9	$L_{xx}, L_{zz}$	-0,030 %
10	$L_{yx}, L_{zx}, L_{xy}, L_{xz}$	0,000 %
11	$L_{yy}$	-0,056 %
12	$L_{zy}, L_{yz}$	0,001 %

Сравнение результатов моделирования для обоих вариантов исполнения трехмерной модели сопла показали некоторые различия. Заметим, однако, что отличия в процентном соотношении незначительны

и показывают даже некоторое преимущество новой версии модели, которое выражается в потере массы. Данный показатель для ракетно-космической техники является одним из ключевых, и его также необходимо учитывать в выходных данных при формировании задачи проектирования как параметризованной системы.

8. Используя модуль САПР – FlowExpress, оцениваем влияние внесенных изменений на одну из эксплуатационных характеристик: скорость истечения рабочего тела из сопла. За рабочее тело потока принят атмосферный воздух.

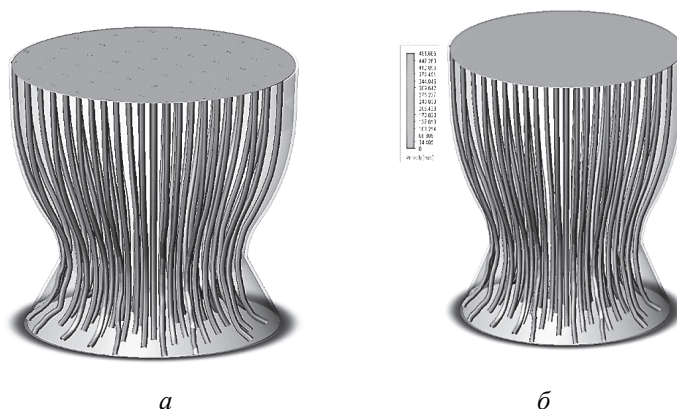


Рис. 9. Моделирование в рабочей зоне изделий процесса ускорения истечения рабочего тела: *a* – модель по «классическому» эскизу; *б* – модель по новому эскизу

В табл. 2 дается сравнение параметров основных процессов, протекающих в критической части сопла Лавалья и влияющих на скорость истечения рабочего тела. Моделирование выполнено для трех состояний (расчеты №№ 1, 2 и 3). Значения приведены к относительному показателю; за основу (100 %) взяты параметры классической модели сопла (по чертежу).

Таблица 2

Сравнение параметров основных процессов

Параметр	Результаты расчета		
	№ 1	№ 2	№ 3
Входное давление	1 атм.	100 атм.	300 атм.
Температура	20 °С	500 °С	1500 °С
Поток	20 м <sup>3</sup> /с		
Относительное изменение	+0,222	+0,513	+1,608

Параметр	Результаты расчета		
	№ 1	№ 2	№ 3
скорости потока, %			

Из результатов видно, что отклонения для одной из основных эксплуатационных характеристик в новой версии модели имеют лишь положительную тенденцию.

### Заключение

В качестве примера применения когнитивного подхода рассмотрено решение практической задачи проектирования сопла Лаваля с использованием современных технологий в области моделирования и проектирования. В данном случае суть предлагаемого подхода заключается в применении инвариантного параметрического задания координат опорных точек образующей поверхности сопла с заданной (необходимой) дискретностью. Положительным моментом является то, что за счет массива точек, заданных математическим законом, появляется возможность заложить в расчет формализацию кривой с помощью математической формулы. Точное построение кривой позволяет выполнять интерполяции, а также осуществлять быстрый поиск вариативных решений более сложных задач (расчет прочности, текучести и т.д.) в комплексе с модулями FEM, встроенными в большинство «тяжелых» САПР.

Приведенный пример индуктивно позволяет понять, что при правильном подходе к выбору инструментов новой технологии моделирования, а также при заимствовании в разработках, знании и понимании процессов можно получить более высокие показатели характеристик производимого продукта.

Основываясь на том, что имеющееся изделие доказало свою работоспособность в процессе серийного производства и эксплуатации, когнитивный подход, заключающийся в данном случае в разработке алгоритма моделирования и аппроксимации на геометро-аналитической основе, возможно использовать при создании новых изделий.

### Список литературы

1. Khlopkov Yu.I., Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu. Development of cognitive technology in computational aerodynamics // Interna-

tional Journal of Astronomy, Astrophysics and Space Science. – 2014. – Vol. 1. – No. 1.

2. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2001.

3. Галалай П.Г., Компьютерный курс начертательной геометрии на базе КОМПАС-3D. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010.

4. Новая философская энциклопедия: в 4 т. / ред. совет: В.С. Степин, А.А. Гусейнов, Г.Ю. Семигин, А.П. Огурцов [и др.]. – М.: Мысль, 2010.

5. Хлопков Ю.И., Зея М'о М'инт, Хлопков А.Ю. Когнитивные подходы при решении задач компьютерного проектирования // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8.

6. Большаков В.П., Бочков А.Л., Сергеев А.А. 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex: учеб. курс. – СПб.: Питер, 2011.

7. SolidWorks Resource Centre. – URL: <http://www.solidworks.com/sw/resources.htm> (дата обращения: 10.11.2014).

### References

1. Khlopkov Yu.I., Zeia M'o M'int, Khlopkov A.Yu. Development of cognitive technology in computational aerodynamics. *International Journal of Astronomy, Astrophysics and Space Science*, 2014, vol. 1, no. 1.

2. Plotinskii Ju.M. Modeli sotsial'nykh protsessov [Models of social processes: Textbook for higher educational institutions]. Moscow: Logos, 2001.

3. Talalai P.G., Komp'uternyi kurs nachertatel'noi geometrii na baze KOMPAS-3D [Computer course in descriptive geometry based on KOMPAS-3D]. Saint-Petersburg: BHV-Peterburg, 2010.

4. Novaya filosofskaya entsiklopediia: v 4 tomakh [The New Encyclopedia of Philosophy]. Eds. V.S. Stepin, A.A. Guseinov, G.Ju. Semigin, A.P. Ogurcov [et al.]. Moscow: Mysl', 2010.

5. Khlopkov Iu.I., Zeia M'o M'int, Khlopkov A.Iu. Kognitivnye podkhody pri reshenii zadach komp'uternogo proektirovaniia [Cognitive approaches for solving computer-aided design]. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniia*, 2014, no. 8.

6. Bol'shakov V.P., Bochkov A.L., Sergeev A.A., 3D-modelirovanie v AutoCAD, KOMPAS-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex [3D-modeling in AutoCAD, KOMPAS-ZD, SolidWorks, Inventor, T-Flex: Training Course]. Saint-Petersburg: Piter, 2011.

7. SolidWorks Resource Centre, available at: <http://www.solidworks.com/sw/resources.htm> (accessed 10 November 2014).

Получено 21.11.2014

### **Об авторе**

**Носов Константин Григорьевич** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Дизайн, графика и начертательная геометрия» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [designcon@yandex.ru](mailto:designcon@yandex.ru)).

### **About the author**

**Konstantin G. Nosov** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student, Department of Design, Graphics and Descriptive Geometry, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: [designcon@yandex.ru](mailto:designcon@yandex.ru)).