

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ МНОГОУРОВНЕВОЙ ГРАФОГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ

© 2011 В. И. Иващенко

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Рассмотрены возможности совершенствования графических дисциплин для обучения специалистов в области инновационного машиностроения. Разработана модель системы многоуровневой графогеометрической подготовки, реализованной на факультете двигателей летательных аппаратов СГАУ. Представлены результаты педагогического экспериментального исследования.

*Графическая и геометрическая подготовка, многоуровневая педагогическая система, моделирование обучения, экспериментальное исследование.*

Графические дисциплины относятся к наиболее важным компонентам базовой общеинженерной подготовки. Знания и навыки в области инженерной графики и компьютерного геометрического моделирования во многом определяют успешность выполнения студентами курсовых работ и проектов на выпускающих кафедрах. В настоящее время актуальной проблемой стала слабая обще-техническая грамотность первокурсников. Многие выпускники школ не обладают элементарными умениями, необходимыми для отображения простых геометрических фигур. В этих условиях базовая графогеометрическая подготовка должна компенсировать недостатки системы общего образования и в то же время соответствовать инновационному характеру учебного процесса в национальном исследовательском университете.

Задачи современной графогеометрической подготовки специалистов для автоматизированного проектирования и производства изделий, по нашему мнению, могут быть решены в многоуровневой педагогической системе, для которой характерны адаптивность, самоорганизация и ориентация на формирование проектно-технологического мышления [1]. Рассмотрим модель системы на примере построения студентом проектного решения.

В процессе обучения в сознании учащегося накапливаются типовые варианты конструктивных и технологических решений в форме геометрических образов. Если типовую стратегию, обеспечивающую каждое решение, изображать отрезком, то накопленный на текущем уровне потенциал будет представлен спектром математических ожи-

даний, обеспечивающих тот или иной параметр. В целом уровень подготовки проектанта косвенно характеризуется площадью пространства, определяемой множеством  $K$ , которое включает подмножества *Cons* конструкторских и *Tech* технологических образцов. Однако особую ценность представляет совершенство применения технологических приёмов, которое в предлагаемой модели оценивается параметром  $Tz$ . Его величина, особенно при наличии системных многоуровневых связей, влияет на качество проектного решения и позволяет судить о креативном компоненте в работе проектанта.

Примем, что концентрация  $c(s)$  вариантов фигур, хранящихся на некотором уровне и соответствующих в понимании учащегося заданному геометрическому параметру  $s$ , подчиняется закону Гиббса – Больцмана [2]. В этом случае кривая распределения возможных решений описывается зависимостью

$$c(s) = \frac{K}{T_z} \exp\left(-\frac{\Delta s}{K}\right),$$

где  $\Delta s$  – ошибка идентификации, обусловленная отличием характеристического параметра, на котором базируется целевая стратегия проектанта, от заданного параметра;

$K$  – профессиональная компетенция (компетентностный показатель) учащегося, определяемая как

$$K = \sqrt{Cons^2 + Tech^2}.$$

Наличие отклонения  $\Delta s$  приводит к тому, что наиболее вероятный образ решения, возникающий на первом этапе построения, не является оптимальным или даже может выходить за границы диапазона положи-

тельных оценок. Из этого следует, что коррекция первого варианта носит итерационный характер и предполагает перенос внимания проектанта на другие линии спектра, ассоциативно родственные первой выборке.

Пусть текущий  $i$ -й этап обучения начинается с достигнутого уровня профессиональной компетенции  $K_{0i}$ . В течение рассматриваемого этапа компетенция, согласно рабочей программе, должна повыситься на величину  $(K_i - K_{0i})$  и достигнуть  $K_i$ .

Тогда процесс повышения уровня профессиональной компетенции можно отобразить уравнением

$$K = K_{0i} + (K_i - K_{0i})(1 - e^{-\lambda t}),$$

где  $e$  – основание натурального логарифма;

$\lambda$  – коэффициент системности знаний, характеризующий эффективность межпредметных связей;

$t$  – время.

Выделив в проектной задаче этапы, представим поиск решения в виде кусочно-линейной функции. На каждом  $i$ -ом этапе процесс аппроксимируется прямолинейным отрезком в интервале  $t_i \leq t \leq t_{i+1}$ . Относительно данного отрезка отклонение  $\Delta K_i$  совершает гармонические колебания:

$$\Delta K_i = (K_i - K) \cos \omega t,$$

где  $\omega$  – циклическая скорость анализа информационного уровня.

Если на текущем уровне вариант представления об изделии не демонстрирует требуемые параметры, то активизируются механизмы памяти, которые в предлагаемой синергетической модели проявляются путём обращения к другим уровням хранения данных в информационном пространстве учащегося. Вследствие того, что поддерживать внимание ко всем аспектам геометрии изделия не представляется возможным, происходит перераспределение мыслительной деятельности. «Дальние, глубокие» уровни приобретают прозрачность и как бы проецируются на текущий вариант решения.

При этом актуализируются ассоциативные связи, которые контролируются и оцениваются, исходя из логики стратегии проекта. Под логикой учебного проектирования здесь понимается взаимосвязь компонентов методического обеспечения (методик, инструкций и др.), отражающего порядок действий и оценки промежуточных ре-

зультатов. В ассоциативных связях значительную роль играет технологическая инфраструктура образа (функция – форма – технологический метод – заготовка – станочное оборудование – приспособление – инструмент).

Говоря о временном описании процесса, будем оценивать трудоёмкость проектного этапа количеством информации  $I$ , причём

$$I = W_K / W,$$

где  $W_K$  – количество информации о геометрии фигуры, удовлетворяющей параметру  $K$ ;

$W$  – количество информации о геометрии проектируемого изделия.

Циклический процесс обработки информации не сводится только к чтению, а содержит несколько процессов разного плана, включая синтез нового образа по шаблону – заданию. В этом смысле компетентный уровень проектанта должен содержать компоненты (знания, навыки), способствующие быстрому затуханию колебаний и переходу на следующий итерационный этап. С другой стороны, должны присутствовать факторы, обеспечивающие генерацию процесса (продуктивный синтез идеи, образа, средств достижения) для перехода к новому типовому варианту в том случае, если затухание обусловлено отсутствием у адепта креативной стратегии для текущего варианта.

Установив аналогию между параметрами осциллятора и факторами, влияющими на траекторию приближения к эталону, составим уравнение динамики, которое приближенно описывает процесс подбора и модификации образов на этапе:

$$I \cdot \ddot{\Delta K} = -f(\Delta K, \dot{\Delta K}) + M \cdot \Lambda \cdot \cos \omega t, \quad (1)$$

где  $f$  – функция, обеспечивающая встраивание текущего типового варианта и переход к следующему этапу;

$M$  – функционал, характеризующий систему связей на текущем уровне;

$\Lambda$  – функционал, описывающий систему межуровневых связей;

$\omega$  – циклическая скорость сканирования уровней.

На факультете двигателей летательных аппаратов СГАУ разработана и успешно внедрена многоуровневая система графогометрической подготовки инженеров по широкому спектру специальностей и специализаций. В её основу положена концепция пре-

вентивного изучения объёмного геометрического моделирования Л.А. Чемпинского [3] и авторская концепция пропедевтического изучения основ автоматизированного моделирования и изготовления изделий на стадиях довузовской подготовки и базовой инженерной подготовки (первые курсы технического университета) [4].

Для проверки эффективности системы многоуровневой графogeометрической подготовки были проведены экспериментальные исследования, в которых участвовали учащиеся Самарского международного аэрокосмического лицея и студенты СГАУ. Задача экспериментального исследования была ограничена проверкой связи технологического аспекта электронного моделирования с зарождением и развитием проектно-технологического мышления учащегося.

Исследование включало констатирующий, развивающий и прогностический эксперименты. На каждом этапе разрабатывалась методика, составлялись аттестационные задания и назначались оценки, которые образовали выборки. При обработке полученных результатов использовались типовые методики [5, 6, 7]. Для оценки изменения уровня проектно-технологического мышления учащихся и студентов использовались качественные характеристики проектного документа: электронной 3D модели или компьютерного чертежа детали.

В качестве показателей, характеризующих уровень проектно-технологического мышления, автором были выбраны следующие оценочные параметры документа:

- уровень декомпозиции действительной геометрической формы, отражающий аналитические свойства мышления;
- уровень композиционных связей между элементами геометрической формы, отражающий умение решать задачи синтеза;
- уровень вариативности при построении модели, отражающий владение инструментом – CAD/CAM программой.

На стадии довузовской подготовки в констатирующем и развивающем экспериментах участвовали учащиеся 11 классов лицея в количестве 30 чел. в контрольной и 30 чел. в экспериментальной группе.

Констатирующему эксперименту предшествовал начальный этап изучения объёмного моделирования в среде CAD/CAM ADEM, когда контрольная и экс-

периментальная группы занимались по общей программе. Учащиеся решали задачи на построение электронной модели детали с натуры или по аксонометрической проекции на твёрдом носителе.

В констатирующем эксперименте уровень пространственного мышления оценивался параметром  $X_d$  – «точность декомпозиции» - по шкале «10+1». Целые баллы в количестве от 0 до 10 назначались за правильность определения геометрических фигур (порядка 10 шт.), образующих форму предмета. Дополнительно десятые доли балла присваивались за креативный характер работы.

Анализ формы огибающих кривых с достаточной степенью достоверности позволяет считать, что величины  $X_1$  (контрольная группа) и  $X_2$  (экспериментальная) распределяются по нормальному закону. Для дисперсии  $\sigma^2$ , вычисляемой по известной формуле [8]

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1},$$

были получены значения:  $\sigma_1^2=2,3152$  и  $\sigma_2^2=2,7665$ .

Гипотеза  $H_0$  о равенстве дисперсий проверялась сравнением расчётной величины  $F$  - критерия с критическим.

Вычисленное значение  $F$  - критерия составило:

$$f = \sigma_2^2 / \sigma_1^2 = 1,1949.$$

Критическое значение  $F$  для уровня достоверности 0,10 и числа степеней свободы (29, 29) составляет  $F_{0,05; 29, 29} = 1,86$ .

На основании того, что  $f < F_{0,05; 29, 29}$ , приходим к выводу: разница значений дисперсии пренебрежимо мала, а точность выставления оценок в обеих группах одинакова.

Принадлежность двух выборок к одной генеральной совокупности отражает свойство однородности контингента и косвенно свидетельствует о корректности в выделении групп для проведения в них эксперимента. Данная гипотеза  $H_0$  проверялась свободным от параметров способом с помощью критерия Уилкоксона.

Полное число инверсий оказалось равным  $u = 126$ .

Отклонение этой характеристики от математического ожидания составляет:

$$\left| u - \frac{n_1 n_2}{2} \right| = 13,5.$$

Для уровня значимости  $\alpha = 0,05$  табличное критическое значение  $u_\alpha = 47,5$ .

Вследствие того, что  $u < u_\alpha$ , гипотеза  $H_0$ :

$$F(X_{i1}) \equiv F(X_{i2})$$

может корректно применяться в данном исследовании.

В ходе развивающего эксперимента контрольная группа проходила обучение по действующей программе курса геометрического моделирования в среде CAD/CAM ADEM. В экспериментальной группе значительная часть аудиторных часов (30...50%) отводилась на знакомство с автоматизированным производством. Учащиеся получали

практические навыки моделирования изделий и отдельно моделирование процесса их изготовления в среде программ Roland 3D Engrave и Virtual MODELA.

Аттестационные материалы для обеих групп были одинаковыми. Они включали контрольные задания, выполняемые всеми испытуемыми после отработки ими равновеликой аудиторной нагрузки, а также методику выставления за итоговое проектное решение (3D модель) трех оценок  $X_d$ ,  $X_s$  и  $X_t$ , характеризующих соответственно аналитические способности (декомпозиция), совершенство синтеза и степень владения проектной средой.

Результаты развивающего экспериментального исследования представлены на рис. 1 и 2.

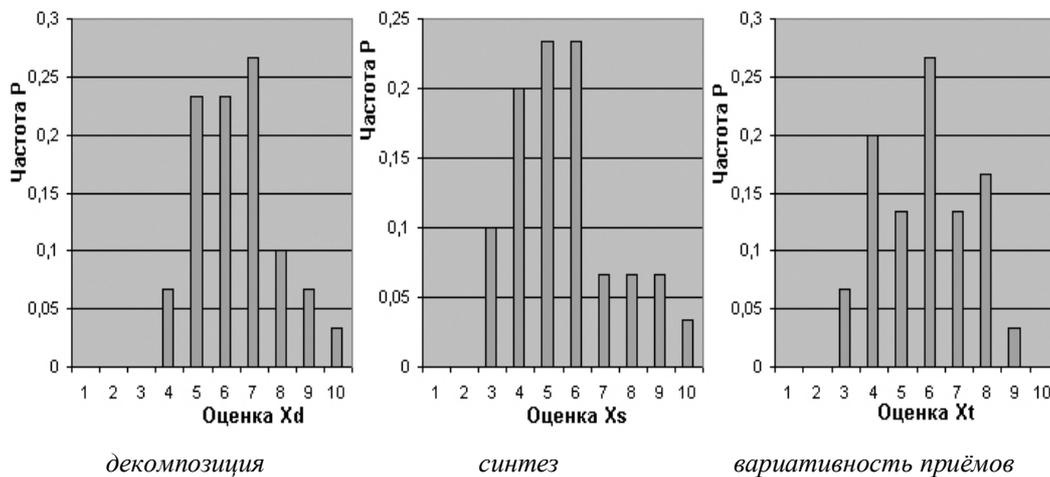


Рис. 1. Распределение показателей в контрольной группе учащихся

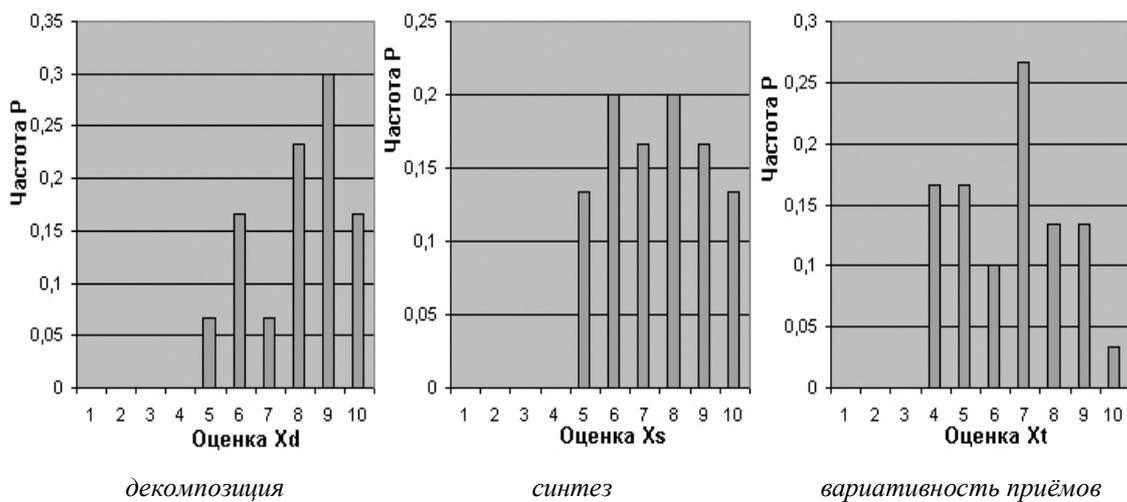


Рис. 2. Распределение показателей в экспериментальной группе учащихся

Анализ частотного распределения свидетельствует о его близости, в основном, к нормальному. Однако, в отличие от конста-

тирующего, в развивающем эксперименте наблюдается тенденция к сепарации уровней усвоения материала. Усиление контраста

между более и менее успевающими студентами при общем повышении образованности характерно для высокотехнологичной педагогической среды, базирующейся на CAD/CAM программе.

По сравнению с констатирующим экспериментом параметр  $X_d$ , свидетельствующий о точности анализа формы, изменялся в контрольной и экспериментальной группах наиболее однородно: дисперсия равнялась соответственно 0,15 и 0,2. При этом абсолютный средний прирост составил 2,36 и 3,77. Первичная оценка  $X_d$  показала преимущество инновационной методики перед действующей методикой. По всем трём параметрам экспериментальная группа имела более высокий уровень освоения предметной области.

Для оценки корреляционных связей между параметрами рассматривалась регрессия в координатах  $X_d$ ,  $X_s$ ,  $X_t$ . Искомая связь устанавливалась в парах по известной формуле [8]. Приведём в качестве примера зависимость для  $X_d$  и  $X_s$ :

$$r_{ds} = \frac{\sum_{i=1}^{30} (X_{di} - \bar{X}_d)(X_{si} - \bar{X}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{30} (X_{di} - \bar{X}_d)^2 \sum_{i=1}^{30} (X_{si} - \bar{X}_s)^2}}$$

Расчётным путем получены значения коэффициентов корреляции:  $r_{ds} = 0,952$ ;  $r_{st} = 0,975$ ;  $r_{dt} = 0,957$ . Малое отличие найденных величин от 1 свидетельствует о наличии связей и возможности их описания линейной зависимостью.

Подставив в формулу (1) значения параметров: компетентностный показатель  $K = X_d$ , эффективность межуровневых связей  $\lambda = X_s$  и качество (компьютерная технология обработки) типового образа  $u = X_t$ , проведём расчётное моделирование изменения уровня проектно-образных представлений в течение учебного времени. Длительность учебного процесса составляет 34 условные единицы, что соответствует количеству недель в учебном году. Зависимости, полученные расчётным путем, показаны на рис. 3.

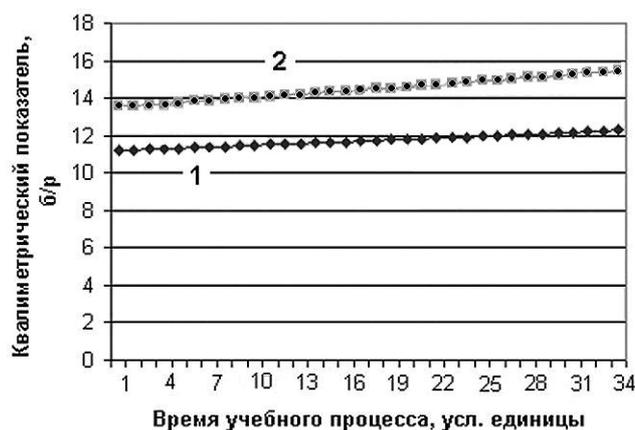


Рис. 3. Изменение уровня проектного мышления:  
1 – контрольная группа,  
2 – экспериментальная группа

Экспериментальные данные свидетельствуют об эффективности инновационного курса, основанного на технологизации объёмного компьютерного моделирования и обеспечивающего более высокие показатели развития проектно-технологического мышления.

На стадии сквозной графогеометрической подготовки специалистов в условиях технического вуза – национального исследовательского университета – в экспериментальном исследовании ранжировалось качество проектного документирования на трёх кафедрах: механической обработки материалов, основ конструирования машин, конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов.

В контрольную группу входили студенты, обучающиеся специальностям: самолёто- и вертолётостроение, машины и технологии обработки металлов давлением, техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей. Базовая графогеометрическая подготовка данного контингента включала дисциплину «Машинная (компьютерная) графика» в объёме 32 ч аудиторных занятий. Студенты выполняли лабораторные работы, посвящённые построению простых 2D моделей, как правило, по одному общему варианту. Связь компьютерных чертежей с учебными заданиями по дисциплине «Инженерная графика» отсутствовала. Объёмное моделирование в рабочих программах по графическим дисциплинам для указанных специальностей не предусматривалось.

Экспериментальную группу составили студенты, обучающиеся специальности

«Авиационные двигатели и энергетические установки». Основные отличия базовой графогеометрической подготовки для этой специальности состоят в следующем:

- ранее, параллельно с дисциплиной «Начертательная геометрия», изучение объёмного геометрического моделирования;
- выполнение и представление всех заданий по дисциплинам «Графические редакторы» и «Инженерная графика» на компьютере (в электронной форме);
- интеграция заданий по инженерной графике с заданиями по дисциплинам, которые студенты изучают после базовой графогеометрической подготовки.

Для сравнения уровня проектно-технологического мышления были взяты курсовые проекты (работы), в которых студенты контрольной и экспериментальной групп выполняли идентичную по смыслу и сложности графическую часть. Документирование проектного решения рассматривалось только в форме 2D геометрической модели – чертежа детали. Для характеристики конструкторского документа использовались

два параметра: качество декомпозиции  $X_d$  и качество синтеза  $X_s$ . Каждый параметр ранжировался по десятибалльной шкале. Оценка  $X_d$  принимала большие значения, если геометрическая модель корректно отражала функциональное назначение изделия. В этом смысле параметр  $X_d$  свидетельствовал о способности выделять составную часть (элемент) из целого, в том числе представлять свойства сборочной единицы по чертежу её детали. В свою очередь, оценка  $X_s$  зависела от того, насколько точно и понятно 2D модель отражала требования к технологическому процессу изготовления детали.

Гипотеза экспериментального исследования состояла в том, что при любом характере распределения оценок группа, получившая инновационную базовую подготовку, должна продемонстрировать сдвиг осреднённых результатов в зону более высоких значений.

Результаты экспериментального исследования для каждого курсового проекта (задания) в отдельности показаны на рис. 4 - 6.

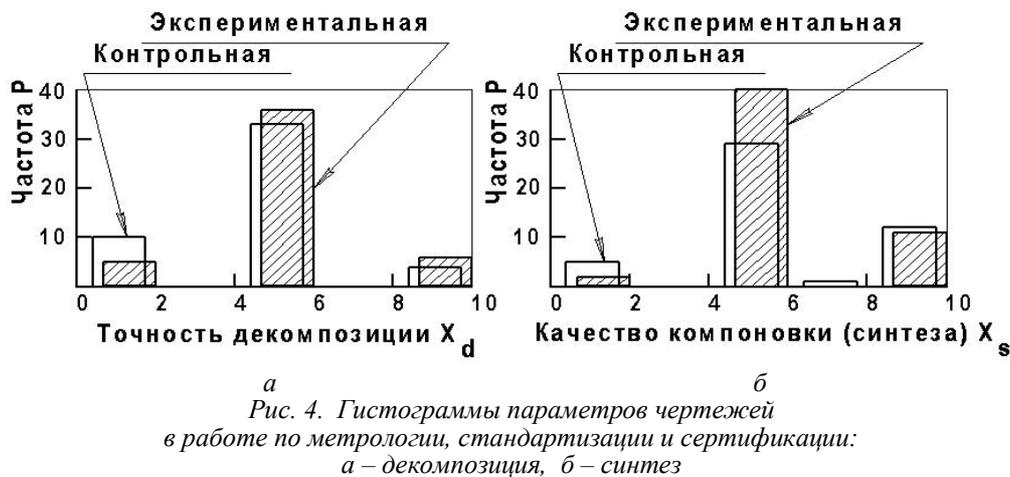


Рис. 4. Гистограммы параметров чертежей в работе по метрологии, стандартизации и сертификации: а – декомпозиция, б – синтез

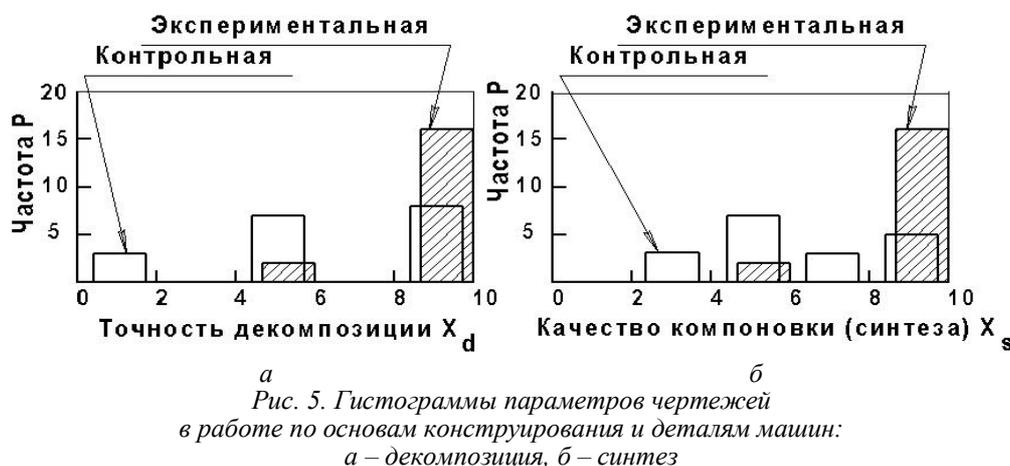


Рис. 5. Гистограммы параметров чертежей в работе по основам конструирования и деталям машин: а – декомпозиция, б – синтез



Рис. 6. Гистограммы параметров чертежей в работе по конструированию основных узлов и систем авиадвигателей и энергоустановок:  
 а – декомпозиция, б – синтез

Как показал эксперимент, в пяти сравнениях из шести более высокие средние значения параметров, характеризующих уровень проектно-технологического мышления студентов, наблюдаются в экспериментальной группе. Отсутствие преимущества экспериментальной группы в способности к синтезу (параметр  $X_s$ ), зафиксированное в работе по метрологии, стандартизации и сертификации, можно объяснить тем, что в плоской модели – чертеже технологическая информация передаётся не только и не столько через изображения, но в большей степени – совокупностью специальных знаков и надписей. В этом смысле положительное влияние пропедевтического изучения компьютерного 3D моделирования могло не проявиться в должной мере.

Все студенты, принимавшие участие в эксперименте, начинали изучение инженерной графики только на первом курсе. В настоящее время, к сожалению, не представляется возможным исследовать качество выполнения курсовых работ студентами, прошедшими пропедевтическую подготовку по основам автоматизированного моделирования и изготовления изделий. Можно с большой долей вероятности предположить, что введение технологического курса для учащихся старших классов, готовящихся к поступлению в технические вузы, будет способствовать резкому повышению уровня базовой графогометрической подготовки студентов и качества проектных работ на старших курсах.

Дополнительное подтверждение полезности насыщения графогометрической подготовки технологическими аспектами с реализацией в электронной учебной среде является целью третьего, прогностического эксперимента. Прогностическая сущность ста-

дии дополнительной подготовки обусловлена отсроченным положительным эффектом, который проявляется позже, на старших курсах, как опыт системного решения проблемы.

В данном эксперименте принимали участие студенты второго курса, занимающиеся по программе НИРС. Они изучали элементы генезиса пространственного мышления, рождающегося из технологических представлений. Базой для эксперимента являлся программно-станочный комплекс Roland 3D Engrave и методика его изучения, адаптированная для студентов младших курсов [4]. В ходе работы подтверждено положительное воздействие технологических аспектов курса по автоматизированному моделированию и изготовлению изделий на формирование проектно-технологического мышления в процессе графогометрической подготовки.

Опыт внедрения системы графогометрической подготовки показал, что широкое использование объёмного моделирования обеспечивает высокое качество проектов на завершающих этапах подготовки специалистов, а выполнение лабораторных работ по компьютерному моделированию изготовления деталей в довузовский период и на младших курсах приводит к повышению абсолютной успеваемости по графическим дисциплинам в среднем на 20%.

На основе экспериментального исследования и анализа предложенных показателей было установлено, что технологизация графических дисциплин в периоды довузовской и базовой подготовки способствует развитию системного проектно-технологического мышления.

Работа выполнена в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие на-

учного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)». Проект РПН 3.1.1. 1120 «Разработка учебно-методического комплекса и экспериментальная отработка образовательной технологии подготовки элитного корпуса специалистов для инновационной деятельности в наукоемких высокотехнологичных отраслях машиностроения».

### Библиографический список

1. Иващенко, В.И. Концепция, методология и реализация системы графо-геометрической подготовки на основе усиления технологических компонентов [Текст]: монография / В.И. Иващенко. – М.: 2010. Деп. в ВИНТИ РАН 29.11.2010, №670-В2010. Библиогр. указатель ВИНТИ «Депонированные научные работы» №1, 2011. б/о. – 161 с.
2. Бутиков, Е.И. Краткий физико-математический справочник [Текст] / А.Г. Аленицын, Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. – М.: Наука, 1990. – 368 с.
3. Чемпинский, Л.А. Основы геометрического моделирования [Текст]: учеб. пособие /

Л.А. Чемпинский. – Самара: СГАУ, 2005. – 190 с.

4. Иващенко, В.И. Компьютерное моделирование и автоматизированное изготовление изделий: методика преподавания САД/САМ – технологий [Текст] / В.И. Иващенко, А.Б. Бейлин, А.И. Фрадков. – М.: Вентана-Граф, 2006. – 192 с
5. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 261 с.
6. Михеев, В.И. Моделирование и методы теории измерений в педагогике [Текст] / В.И. Михеев – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 198 с.
7. Тюрин, Ю.Н. Анализ данных на компьютере [Текст] / Ю.Н. Тюрин, А.А. Макаров; под ред. В.Э. Фигурнова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 544 с.
8. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике: для инженеров и учащихся втузов [Текст] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – 13-е изд., испр. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

## MODELING AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE MULTI-LEVEL DRAWING AND GEOMETRIC TRAINING SYSTEM

© 2011 V. I. Ivashchenko

Samara state aerospace university named after academician S. P. Korolyov  
(National Research University)

Drawing subjects improvement possibilities for the training of the innovation machinery construction specialists are considered. The model of the multi-level drawing and geometric training system is worked out and realized at «Aircraft engines» faculty of Samara State Aerospace University. The results of the pedagogical experimental research are produced.

*Drawing and geometric training, multi-level pedagogical system, modeling of training, experimental research.*

### Информация об авторах

**Иващенко Владимир Иванович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [ivashch@yandex.ru](mailto:ivashch@yandex.ru). Область научных интересов: педагогика профессионального образования, графическая и геометрическая подготовка, компьютерное геометрическое моделирование, САД/САМ технологии.

**Ivashchenko Vladimir Ivanovich**, candidate of science; senior lecturer, head of engineer drawing sub-faculty, Samara state aerospace university named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: [ivashch@yandex.ru](mailto:ivashch@yandex.ru). Area of research: professional education pedagogy, drawing and geometric training, geometry modeling, CAD/CAM technologies.