

5. Чекланд, П. Б. Системное мышление, системная практика [Текст] / П. Б. Чекланд. – Нью-Йорк: Вилли, 1981. – 630 с.

6. Авдеева, З. К. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) [Текст] / З. К. Авдеева, С. В. Коврига, Д. И. Макаренко. – Институт проблем управления РАН, 2010. – С. 26–39.

#### References

1. Vernadskii, V. I. (1944). A few words about the noosphere. - *Successes of modern biology*, 2 (18), 234.

2. Gopalakrishnan, T. R., Nair, A. N., Sooda, K. (2008). Transformation of Networks through Cognitive Approaches. *JRI (Journal of Research & Industry)*, 1 (1), 11.

3. Kulinich, A. A. (2001). Subject-oriented system of conceptual modeling "Canvas". *Proceedings of the 1st International Conference "Cognitive analysis and development management situations."* Moscow, October, 348.

4. Thomas, R. W., Friend, D. H., DaSilva, L. A., MacKenzie, A. B. (2006). Cognitive Networks: Adaptation and Learning to Achieve End-to-end Performance Objectives. *IEEE Communications Magazine*, 12 (44), 21.

5. Checkland, P. B. (1981). *Systems Thinking, Systems Practice*. New York: Wiley, 630.

6. Avdeeva, Z. K., Kovriga, S. V., Makarenko, D. I. (2010). Cognitive modeling for solving semi-structured management systems (situations). *Institute of Control Sciences*, 26–39.

*Дата надходження рукопису 25.02.2015*

**Козловський Валерій Валерійович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, кафедра засобів захисту інформації. Національний авіаційний університет, пр. Комарова 1, м. Київ, Україна, 50045  
E-mail: vvk@zeos.net

**Карпінський Микола Петрович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, кафедра інформатики, Університету в Бельську-Бялій і Державна вища технічна школа, Новий Сонч, Польща, 43-309

**Мищенко Андрій Віталійович**, кандидат технічних наук, професор, кафедра засобів захисту інформації Національний авіаційний університет, пр. Комарова 1, м. Київ, Україна, 50045

**Варченко Олег Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра авіоніки, Національний авіаційний університет, пр. Комарова 1, м. Київ, Україна, 50045

**Німченко Тетяна Василівна**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра засобів захисту інформації, Національний авіаційний університет, пр. Комарова 1, м. Київ, Україна, 50045

УДК 62.493+687.1

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.39363

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ КИНЕКТ СИСТЕМ

**Е. Ю. Мураховская-Печенежская, Н. Л. Рябчиков**

*В статье рассмотрены методы определения размеров объектов сложной формы с помощью компьютерных кинект систем. Разработанные методы позволяют на основе анализа поля точек, полученных в кинект системах определять реальные формы и размеры произвольных разрезов. Проведенные экспериментальные исследования при определении формы тела человека показали расхождение не превышающее 2,5 %.*

**Ключевые слова:** размерные характеристики, кинект системы, трехмерное сканирование, точность, объемная модель, визуализация

*The article deals with methods for determining the size of objects with complex shapes using computer Kinect systems. The developed methods allow to determine the real shapes and sizes of arbitrary sections on the base of field-based analysis points obtained in Kinect systems. Experimental studies in determining the shape of the human body showed difference not exceeding 2,5 %*

**Keywords:** dimensional characteristics, Kinect system, three-dimensional scanning, precision, volumetric model, visualization

### 1. Введение

Методы измерения сложных трехмерных объектов, к которым, в частности, относится тело человека, в настоящее время далеки от совершенства. Для подобных объектов стандартами вводятся

десятки характерных размеров, методы получения которых, связаны с применением контактных устройств. Трудоемкость процесса при этом высока, а точность в значительной степени зависит от квалификации измеряющего. Современные трех-

мерные сканеры в значительной степени автоматизируют данный процесс, однако он получается очень дорогостоящим. Современные кинект системы недороги, однако опыт оценки точности их применения для целей измерения пространственных объектов отсутствует.

## 2. Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями

Проектная документация для обеспечения инженерных решений в настоящее время применяется в цифровом формате даже на небольших предприятиях. Несколько замедлен этот процесс на предприятиях с частой переналадкой, для которых характерны изделия сложной геометрии. К таким производствам относятся предприятия легкой промышленности. В значительной степени автоматизированы здесь отчетные документы по автоматизации шаблонов, методов раскроя, представления, передачи и архивирования конструкторских и технологических решений одежды. Только некоторые из шагов процесса проектирования автоматизированы в производственных условиях, такие как методы конструктивного моделирования и производства образов. Базовая антропометрическая информация для проектирования представлена в виде дискретных характеристик типовых фигур, утвержденных стандартами. Недостаточная достоверность методов, позволяющая визуализировать внешнюю форму созданной одежды предопределяет внедрение новых систем измерения и отображения геометрической информации об объекте. Традиционно определение геометрических параметров сложных объектов связывают с применением дорогостоящих трехмерных сканеров. В последнее время появились сравнительно недорогие kinnekt системы, позволяющие получать информацию о пространственной форме объекта. К сожалению, эффективность их внедрения в реальное производство не исследовалась.

## 3. Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы

Исследованием различных характеристик внешней формы фигуры человека и научными методами проведения массовых антропометрических обследований занимались такие ученые, как В. В. Бунак, Н. Н. Раздомахин, Е. Я [1, 2] Сурженко, Б. А. Никитюк, С. К. Лопандина и др. Высокотехнологичным антропометрическим обследованиям населения в национальном масштабе посвящены зарубежные исследования тайваньских ученых (Leong I.F., 2007), в Турции (A. Vuguskan, et al., 2011), в Оклахомском государственном университете (Petrova A., Ashdown S. P., 2012), в Германии (Hlaing E. C. et al., 2013), что подтверждает актуальность внедрения современных методов виртуального бесконтактного измерения тела человека для массовых обследований населения [1, 2].

Существенный вклад в разработку проблем получения информации о пространственной форме фигуры человека внесен И. М. и А. И. Семячкиными, Г. Н. Ждановым, В. Г. Поляковым (1976), Л. А. Агошковым и др. (1980), А.Ф.Бланк др. (1982–1983) [3, 4].

Различные подходы к виртуальному представлению фигуры человека в швейной промышленности изучались В. Е. Кузьмичевым (ИГТА, 2012), зарубежными учеными британского Университета Лафборо (Jones P. R. M., et al., 1995), Университета Сан-Пауло (Costa L., Cesar Jr., 2009), Кембриджского университета (Chen Y., Cipolla R., 2011), Департамента швейной промышленности Университета Айовы и Сеульского университета (Park S.M. et al., 2011), Университета штата Нью-Йорк в Стоуни-Брук (Zhao X., et al., 2012) [5]. В этом направлении также следует отметить ряд современных исследований создания 3D модели фигуры человека и ее динамической трансформации швейцарских ученых (Aubel A., Thalman D., 2004; Magnenat-Thalman N., Thalman D., 2005) [6], итальянских (Attene M. et al., 2009) [7], японских (Kunii T., Amano T., Aristwa H., Okada S., 2010) [8] и австрийских ученых [9].

Определение формы и размеров тела человека бесконтактными методами бесконтактными методами в настоящее время стало возможным при применении недорогих кинект систем. Однако недостаточно исследованной остается технология съема размеров и оценка точности полученных данных.

Цель работы – оценить точность определения формы сложной поверхности с помощью кинект систем.

Измерения проводились с помощью трехмерных технологий сканирования. Предлагаемая методика может быть полезна для увеличения эффективности и конкурентоспособности швейной промышленности и удовлетворения требованиям клиентов в качественной продукции. В настоящее время цифровые устройств заметно облегчили работу конструктора швейной продукции, позволили ускорить процесс проектирования. Системы трехмерных проекций одежды развивающихся бок о бок с плоскими системами в следующих областях:

- прием сканирования макета от поверхности в соответствии с 3D-моделью;
  - создание трехмерной модели в соответствии с изгибом ткани.
- Системы трехмерного проектирования одежды активно развивается по следующим направлениям:
- получение из сканирования поверхности её трехмерной модели;
  - получение 3D-модели по поверхности сканирования из ткани.

Замена устаревшей техники на более прогрессивную снижает роль человеческого фактора в процессах различных отраслей промышленности. Однако швейная промышленность в данной области отстает. Были проведены исследования по созданию реалистического трехмерного изображения одежды, кроме проблемы построения идентичного

плоскости развертки. Развертка оболочки манекена не обеспечивает переход к модели одежды, потому что одежда имеет свой собственный пространственную форму, в то же время она зависит от фигуры человека.

Технология 3D сканирование является одним из самых передовых технологий в создании электронных копий физических объектов. Используя его, люди получают большие возможности в процессе создания модели без привычного 3D-моделирования с помощью специализированных программных пакетов. Но есть и некоторые трудности. Разнообразие объектов, которые могут быть проходить 3D-сканирование, показывает нам необходимость развития различных алгоритмов регистрации их поверхностей и методов обработки необработанных данных.

В настоящее время основной проблемой в строительстве систем виртуальной реальности является создание интерактивного человека и интерфейс виртуальной среде [1]. До появления Microsoft Kinect, следующая проблема была решена путем облачения пользователя в различных датчиков (специальные костюмы, очки, перчатки и т. д.). Но это не всегда удобно. Главной особенностью Kinect систем является избавление от этой необходимости.

Возможности данных систем очень велики. Их можно применять для разработки более точных протезов, сканировать человеческий организм. Разработка методов его внедрения способна предложить более персонализированные одежду, промышленные дизайнеры могут просматривать визуализации и манипулировать ими в реальном времени.



Рис. 1. Сканирование при помощи кинект систем в лаборатории Украинской инженерно – педагогической академии

Среди всех программ для 3D-сканирования, один из ведущих является ReconstructMe, программа, разработанная австрийской компанией Profactor. Программа является коммерческим продуктом, который в ряде случаев может быть использован в личных целях [1]. ReconstructMe сканирует модель в своем реальном масштабе, поэтому дальнейшего масштабирования не требуется. К сожалению, программа доступна только для Windows (рис. 2)

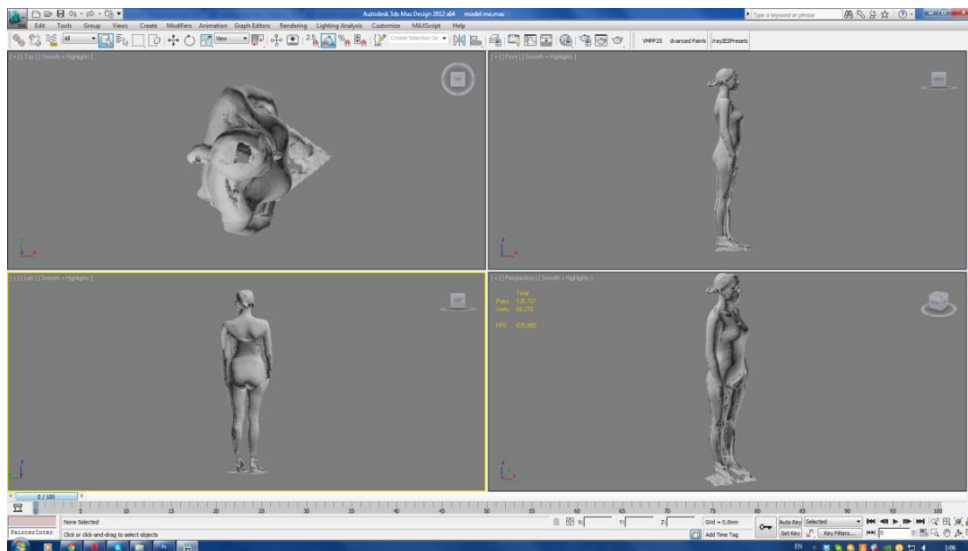


Рис. 2. Сканированная модель в интерфейсе программы

Мы использовали кинект технологии, чтобы захватить трехмерные модели в реальном времени. Это дает нам мгновенную обратную связь о ходе моделирования, в то время как модель может находиться в движении. ReconstructMe – предпочтительное применение для решения повседневных задач сканирования.

Использование ReconstructMe очень похоже на использование обычного фотоаппарата. Тем не менее,

вместо того, чтобы видеопотока, получаем полную 3D модель. Основной этап работы над моделируемой сцены – визуализация (рис. 3). Нами ставилась задача обеспечения получения размеров. Поэтому, были максимально упрощены модели трехмерного сканирования – отключались режимы отображения текстуры, тени и источники света, различные особенности материалов. Для отображения окончательного изображение

на экране, желательно подобрать наиболее подходящий модуль визуализации [2].



Рис. 3. Трехмерная модель после визуализации

Для анализа размеров объекта размеры нужно провести достаточно кропотливую работу. Если размеры не соответствуют действительности, продукт не будет соответствовать фигуре (рис. 4) Правильно определенные размеры дают возможность контролировать реальные размеры с размерами изделия, и определить степень отклонения от стандартной фигуры.



Рис. 4. Антропометрические исследования при использовании кинект систем

В связи с этим можно поставить ряд задач по использованию данного устройства. Первая состоит в построении реальной поверхности фигуры или одежды для использования в целях дизайна или дальнейшего получения разверток. Вторая задача – определение реальных размерных признаков для реального конструирования.

Займемся пока второй задачей и сосредоточимся на наиболее сложной части – определении обхватных размеров.

Выясним сначала, какую информацию можно извлечь из полученных данных. При сохранении данных с 3D сканера в виде DXF файла, последний можно открыть с помощью текстовых

программ. Каждая точка в нем выделяется определителем POINT, после чего следует ряд данных (номер, цвет и т. д.). Нас больше всего интересуют координаты точек. Так, после определителя 10 в файле располагается число абсцисса точки, после определителя 20 – ордината точки, после определителя 30 – аппликата точки.

Учитывая наше стремление определять обхватные признаки, которые располагаются на определенной высоте, попробуем избавиться от одной координаты. Для этого разобьем общую поверхность точек поперечными сечениями с расстояниями между ними  $\Delta z$  на ряд областей, каждая из которых близка к плоской фигуре (рис. 5)



Рис. 5. Разбиение поверхности поперечными сечениями

При этом в каждую область попадают точки, которые относятся к определенной высоте измерений. Можно определить положение плоскости, которое относится к определенному размерному признаку. Можно также исследовать все полученные области, после чего выделить те, которые наиболее подходят под определение размерных признаков (наибольшие или наименьшие обхваты). В любом случае каждая точка выбранной области имеет в DXF файле три координаты, причем аппликата в исследуемой области лежит в пределах

$$z_i - \frac{\Delta z}{2} \leq z \leq z_i + \frac{\Delta z}{2}.$$

Введем предположение о том, что в пределах данной области конфигурация поперечного сечения меняется незначительно. Приравняем координату  $z$  значению средней высоты выбранного сечения  $z_i$ . В результате каждая отдельная область будет иметь вид поля точек на плоскости (рис. 6)

Для полученного поля точек можно определить координаты и построить аппроксимирующую кривую в любой программе обработки данных. На рис. 7, например, построена кривая, которая соединяет полученные точки. Из данного рисунка следует, что точки, характеризующие рассматриваемое сечение, располагаются в DXF файле произвольным образом. Поэтому перед проведением дальнейших действий

их необходимо упорядочить. При выборе алгоритма сортировки массива данных вначале необходимо выбрать параметр сортировки. Очевидно, что в качестве такого параметра нерационально использовать имеющиеся в распоряжении декартовы координаты точек. Обращаем внимание, что искомая кривая – замкнутая, поэтому абсцисса и ордината каждой точки встречается по крайней мере два раза. Попытка расположить точки в порядке возрастания или убывания декартовых координат, потому, приведет к еще большему их перемешиванию.

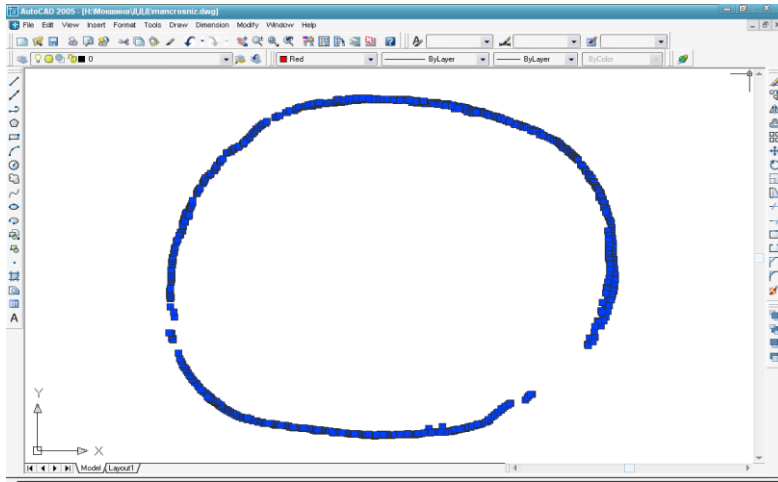


Рис. 6. Плоское поле точек отдельного сечения, полученного 3D сканером

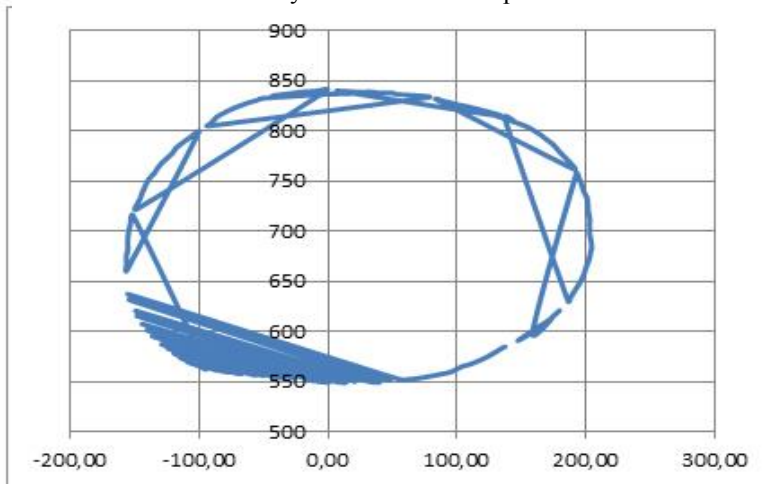


Рис. 7. Контур сечения, полученный по данным исходного DXF файла

Перейдем на время к полярным координатам. Для этого вначале определим максимальное и минимальное значение абсциссы и ординаты для поля точек. Разместим полюс полярной системы координат в центр рассматриваемого сечения. Для этого пересчитаем декартовы координаты каждой точки по формулам

$$\begin{cases} X = x - \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2} \\ Y = y - \frac{y_{\max} + y_{\min}}{2} \end{cases}$$

В полярных координатах применяются две координаты – радиус вектор  $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$  и полярный угол  $\varphi = \arctg \frac{y}{x}$ .

Вычислим полярный угол каждой точки и расположим все координаты в порядке его возрастания. Аппроксимационная кривая, построенная по данным точкам имеет вид искомого сечения (рис. 8)

После проведения сортировки расстояние между ближайшими точками определяется по теореме Пифагора, а общая длина кривой, которая равна обхвату фигуры на данной высоте

$$Об = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$$

Поскольку нами ставилась задача определения точности трехмерного сканирования с помощью кинект систем, были проведены измерения основных размерных признаков с помощью указанных устройств. После статистической обработки данные по математическому ожиданию основных признаков приведены в табл. 1

Таблица 1

Таблица сравнительных размерных характеристик

№	Антропометрическое измерени	Обозначение	Измерение с использованием	Реальный размер
1	Грудь/бюст	C/B	93	91
2	Талия	W	71	69
3	Бедра	H	92	91
4	Ширина плеча	Sw	44	44
5	Ширина спины	Bw	40	41
6	Длина плеча	Shl	13	13
7	Длина рукава	Sl	59	59
8	Высота	Ht	163	163
9	Отклонения для обхватных размеров	%	≈2,4	
10	Отклонения для широтных размеров	%	≈2,1	

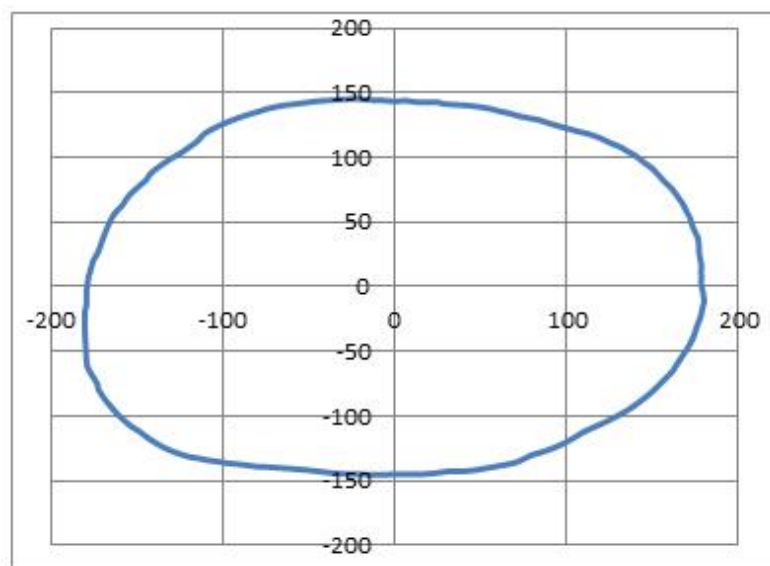


Рис. 8. Сечение, полученное после сортировки по полярному углу

#### 4. Выводы

Усовершенствованы методы определения формы и размеров тела человека при помощи кинект систем. Предложены методы компьютерной визуализации полученных данных. Проведен анализ точности определения размеров при измерении тела человека. Доказано, что отклонение от реальных размеров не превышает 2,5 %, что допустимо для швейной промышленности

#### Литература

1. Раздомахин, Н. Н. Система трехмерного проектирования одежды и перспективы ее развития [Текст] / Н. Н. Раздомахин, А. Г. Басуев, Е. Я. Сурженко // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 1997. – № 1. – С. 111–116.
2. Лопандина, С. К. Типология населения, моделирование и конструирование бытовой одежды [Электронный ресурс] / Центральный научно исследовательский институт швейной промышленности. – Режим доступа: [http://www.cniishp.ru/articles/tipologiya\\_naseleniya.html](http://www.cniishp.ru/articles/tipologiya_naseleniya.html) – Дата доступа: 28.09.2010
3. Агошков, Л. А. Методы построения разверток при проектировании одежды [Текст]: уч. пос. / Л. А. Агошков. – Киев: УМКВО, 1991. – 63 с.
4. Бланк, А. Ф. Практическая книга по моделированию женской одежды [Текст] / А. Ф. Бланк, З. М. Фомина; 3-е изд. – Москва: Легпромбытиздат, 1992. – 255 с.

5. Раздомахин, Н. Н. Система трехмерного автоматизированного проектирования в индустрии моды [Текст] / Н. Н. Раздомахин, А. Г. Басуев, Е. Я. Сурженко. – Мода и дизайн: исторический опыт новые техно-логии: Международная конференция. СПбГУТД – СПб., 2012. – С. 91–92.

6. Раздомахин, Н. Н. Трехмерная виртуальная модель одежды и ее конструкция [Текст] / Н. Н. Раздомахин // В мире оборудования. – 2003. – № 4. – С. 42–43.

7. Godecke, W. Technische Datenverarbeitung in der Bekleidungsindustrie [Text] / W. Godecke // Bekleidung und Wasche. – 2003. – Vol. 29, Issue II. – P. 68.

8. An interactive fashion design system “INEADS” [Text] / Computer and Graph, I. – 2010. – Vol. 1, Issue 4. – P. 297–302.

9. Reconstructme [Electronic resource] / Austria, Stadtgut. – Available at: <http://reconstructme.net> (Last accessed: 07.03.2015)

#### References

1. Razdomahin, N. N. (1997). Sistema trehmernogo proektirovaniya odezhdyy i perspektivy ee razvitiya. Vestnik sankt-peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i dizayna, 1, 111–116.
2. Lopandina, S. K. (2010). Tipologiya naseleniya, modelirovanie i konstruirovaniye byitovoy odezhdyy (elektronnyy resurs). Tsentralnyy nauchno issledovatel'skiy institut shveynoy promyshlennosti. Available at: [http://www.cniishp.ru/articles/tipologiya\\_naseleniya.html](http://www.cniishp.ru/articles/tipologiya_naseleniya.html) (Last accessed: 28.09.2010)
3. Agoshkov, L. A. (1991). Metody postroeniya razvertok pri proektirovani odezhdyy. Ucheb. posobie po spets. Kiev: UMKVO, 63.
4. Blank, A. F. (1992). Prakticheskaya kniga po modelirovaniyu zhenskoy odezhdyy. Third edition. Moscow: Legprombytizdat, 255.
5. Razdomahin, N. N., Basuev, A. G., Surzhenko, E. Ya. (2012). Sistema trehmernogo avtomatizirovannogo proektirovaniya v industrii modyy. Moda i dizayn: istoricheskiy opyt novyye tehnologii: Mezhdunarodnaya konferentsiya. SPbGUTD – SPb., 5, 91–92.
6. Razdomahin, N. N. (2003). Trehmernaya virtualnaya model odezhdyy i ee konstruksiya. V mire oborudovaniya, 4, 42–43.
7. Godecke, W. (2003). Technische Datenverarbeitung in der Bekleidungsindustrie. Bekleidung und Wasche. Bd., 29 (II), 68.
8. An interactive fashion design system “INEADS” (2010). Computer and Graph, I, 1 (4), 297–302.
9. Reconstructme (2015). Austria, Stadtgut. Available at: <http://reconstructme.net> (Last accessed: 07.03.2015)

*Дата надходження рукопису 24.02.2015*

**Рябчиков Николай Львович**, доктор технических наук, профессор, кафедра технологий и дизайна, Украинская инженерно-педагогическая академия, ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003  
E-mail: nikolryab@rambler.ru

**Мураховская-Печенежская Елена Юрьевна**, аспирант, кафедра технологий и дизайна, Украинская инженерно-педагогическая академия, ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003  
E-mail: Elin-mur@yandex.ru