

**Ю. Д. Васильева**

*Институт современных знаний имени А. М. Широкова, Минск, Беларусь*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗИРУЕМОЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ЛИЦА ПАЦИЕНТА ПОСЛЕ ЛЕЧЕНИЯ ЗУБОЧЕЛЮСТНЫХ АНОМАЛИЙ**

**Аннотация.** Предлагается метод прогнозирования положения мягких тканей лица пациента после лечения зубочелюстных аномалий. В качестве исходных данных используются базовые формы сеточных моделей зубов для построения зубочелюстной системы пациента до лечения и трехмерная модель головы пациента, построенная по двум фотографиям. Между базовыми формами зубов и трехмерной моделью головы устанавливаются связи, позволяющие при изменении формы зубных дуг пациента плавно изменять соответствующий участок модели головы. Такие связи дают возможность по прогнозируемому скелетному профилю построить профиль лица пациента после предполагаемого лечения. Прогнозируемый скелетный профиль определяется в соответствии с построенной математической моделью параметрических зубочелюстных дуг пациента после лечения, которая использует методики, предложенные специалистами-ортодонтами. Были проведены экспериментальные исследования с визуальной и численной оценкой. Средние квадратичные отклонения положения кожного профиля лица пациента от прогнозируемого положения кожного профиля на трехмерной модели головы пациента не превысили 10 %.

**Ключевые слова:** параметрическая модель, трехмерная модель головы, зубочелюстные аномалии, боковая телерентгенограмма, усредненная модель, фотография лица, профиль лица

**Для цитирования.** Васильева, Ю. Д. Разработка прогнозируемой трехмерной модели лица пациента после лечения зубочелюстных аномалий / Ю. Д. Васильева // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2017. – №4. – С. 122–128.

**Yu. D. Vasilyeva**

*Institute of Modern Knowledge named after A. Shirokov, Minsk, Belarus*

## **DEVELOPMENT OF A PREDICTED THREE-DIMENSIONAL MODEL OF PATIENT'S FACE AFTER THE TREATMENT OF DENTOALVEOLAR ANOMALIES**

**Abstract.** The methods of prediction of location of patient's soft tissues after the treatment of dentoalveolar anomalies are considered. The base forms of teeth mesh models for modelling patient's dental systems before and also after the medical treatment and patient's three-dimensional model from his two photos are used as the input data. The relations are established between the base form of the teeth and three-dimensional model. These relations make it possible to modify the form of teeth with smooth modifications of soft tissues on the patient's head. The prediction position of soft tissues is based on the position of the skeletal profile. A method for constructing the position of patient's skeletal profile has been developed. It takes into account individual geometric parameters. The algorithm uses the technique of orthodontists to establish a series of geometric relations between the patient's teeth. An experimental study was conducted by means of visual and numerical evaluation. The mean square deviation between soft tissues of the patient's face and the predictable position of soft tissues of the patient's face hadn't prevail 10 %.

**Keywords:** 3D head, parametric model, front/side photos, 3D model of a face, 3D face reconstruction, dentoalveolar anomalies, orthodontic treatment, teleroentgenogram

**For citation.** Vasilyeva Yu. D. Development of a predicted three-dimensional model of patient's face after the treatment of dentoalveolar anomalies. *Vesti Natsyonal'noi akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2017, no. 4, pp. 122–128 (in Russian).

**Введение.** Зубочелюстные аномалии – одно из распространенных заболеваний, которое приводит к неправильному развитию отдельных зубов, зубных рядов, челюстей, мягких тканей. Перед лечением таких аномалий врач планирует и предполагает изменение профиля лица пациента в зависимости от изменения зубочелюстной системы в процессе лечения. При этом важно предоставить визуальную информацию о прогнозируемой форме лица пациента. Это позволит

пациенту и специалисту контролировать ход лечения и даст психологическое обоснование затраченному времени и применяемому способу лечения.

Перед началом лечения врач измеряет ширину зубов пациента, определяет их положение на зубных дугах и делает боковую телерентгенограмму (ТРГ), которая является разновидностью рентгенологического исследования. Боковая ТРГ проводится для диагностики неправильного прикуса, аномалий роста и расположения челюстей во время ортодонтического лечения [1].

Для измерения размеров зубов используются оттиски с челюсти пациента. Ширину коронок зубов верхней или нижней челюсти измеряют в самой широкой части. Измерения проводят для первых шести зубов (два резца, клык, два премоляра и моляр) на обеих сторонах верхней и нижней челюстей [2]. Остальные зубы (седьмой и восьмой) не рассматриваются при формировании моделей зубочелюстных дуг пациента.

Задача заключается в разработке методов для прогнозирования формы лица пациента после лечения зубочелюстных аномалий на основе построенной трехмерной модели головы по двум фотографиям и «идеальной» модели зубочелюстной системы при наличии полученных в начале лечения данных о пациенте.

**Объекты и методы исследований.** В качестве исходных данных используется боковая ТРГ пациента, его фотографии лица и ширина зубов. В ходе исследований рассматривались пациенты в возрасте от 6 до 40 лет, при лечении которых использовались брекет-системы.

Процесс прогнозирования разбивается на три этапа:

- 1) построение модели зубочелюстной системы пациента;
- 2) построение трехмерной модели головы пациента;
- 3) изменение модели профиля лица пациента.

*Построение модели зубочелюстной системы пациента.* Разработанные методы позволяют построить зубочелюстную систему пациента до лечения с точным положением каждого зуба, наклона и ширины. Рассматриваются только по 12 зубов на верхней и нижней челюстях, поскольку только эти зубы оказывают влияние на формирование профиля лица.

Учитывая особенности строения каждого зуба и используя эскизы усредненных зубов [3], предварительно были подготовлены трехмерные сеточные объекты, которые представлены в виде базовой модели, без учета индивидуальных характеристик отдельного пациента.

Базовые модели зубов масштабируются пропорционально по всем направлениям локальных осей координат до совпадения с шириной зуба пациента и распределяются на зубных дугах, которые формируют зубочелюстную систему пациента.

Для соответствия построенных зубных дуг с дугами пациента предусматривается возможность уточнения аномалий зубов.

После создания нижней и верхней зубных дуг задаются наклон и положение нижних резцов на боковой ТРГ для смыкания построенных моделей.

*Построение трехмерной модели головы пациента.* Автором ранее были рассмотрены существующие методы и программные продукты построения трехмерной модели головы по фотографиям [4]. Из-за невозможности использования в готовых программных комплексах данных о зубных дугах пациента и последующей их модификации был разработан собственный метод, который строит модель головы пациента по двум фотографиям.

В основе построения лежит базовая форма трехмерной сеточной модели головы с правильной топологией. Дополнительно к модели привязываются объекты, выступающие в роли характерных точек (рис. 1). Каждая точка связана с соответствующей группой вершин, и при перемещении любой из точек будет изменяться форма сеточной структуры соответствующего участка.

Специалистом на двух фотографиях лица в профиль и анфас согласно приведенному шаблону для определения положения носа, глаз, подбородка и губ в произвольном порядке указываются характерные точки. Затем с помощью разработанного алгоритма устанавливаются связи точек на фотографиях с характерными точками на базовой сеточной модели [5].

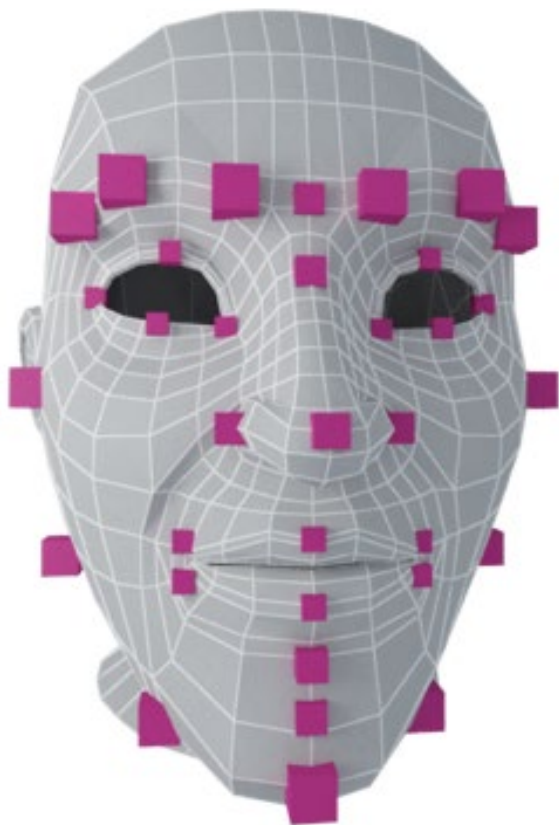


Рис. 1. Характерные точки на базовой сеточной модели  
 Fig. 1. Key points are located on the template mesh model

Рассматриваемые методы позволяют выявить по семь базовых точек на зубочелюстных дугах, через которые проводится сплайн Безье.

Построенные сплайны определяют верхнюю и нижнюю зубные дуги, на которых должны разместиться 24 зуба. В качестве зубов используются упрощенные сеточные модели. Зная ширину каждого зуба, они равномерно распределяются вдоль сплайнов.

В результате будет построено приближенное к оптимальному положение каждого зуба. Параметры трансформации с упрощенных моделей зубов переносятся на сеточные модели зубов пациента до лечения, формируя положение зубов, которое прогнозируется получить в результате лечения.

Благодаря установленным связям сеточная модель приобретает форму лица пациента (рис. 2).

*Изменение модели профиля лица пациента.* В соответствии с масштабом сеточной модели головы пациента устанавливается масштаб построенных ранее зубочелюстных дуг пациента до лечения, которые встраиваются в модель головы пациента.

Подготовленные связи между моделями упрощенных форм зубов и базовой моделью головы переносятся на сформированные сеточные модели зубов и модель головы пациента до лечения. Это позволяет связать области на модели головы так, чтобы получить плавное изменение соответствующего участка лица пациента при любой трансформации зуба.

Далее положение каждого зуба меняется в соответствии с его положением после лечения. Данный вид трансформации основывается на методе построения математической модели параметрических зубочелюстных дуг пациента после лечения и учитывает индивидуальные геометрические параметры зубочелюстной системы, используя методики, предложенные специалистами-ортодонтами (рис. 3) для установления ряда геометрических соотношений между зубами [7].

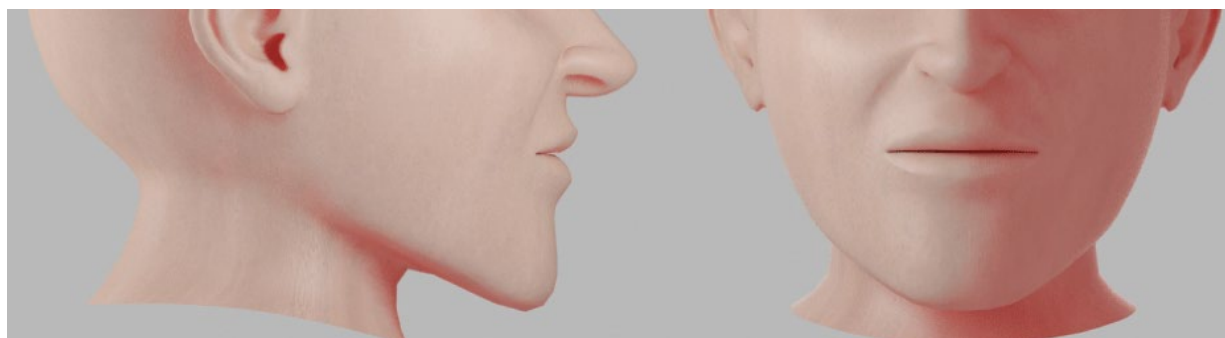


Рис. 2. Базовая форма изменена в соответствии с фотографиями пациента  
 Fig. 2. The template model was changed in accordance with the photos of patient

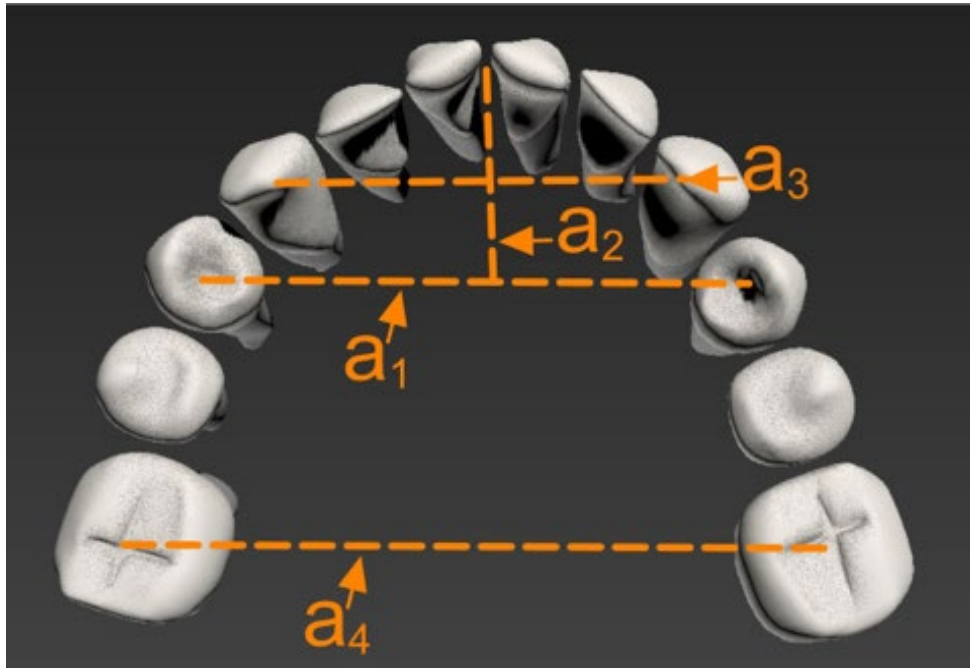


Рис. 3. Установление ряда геометрических соотношений:  $a_1$  и  $a_4$  – по методике Линден и Харт [6];  $a_2$  – метод Коркхауза;  $a_3$  – метод Слабковской

Fig. 3. It was established a series of geometric relations:  $a_1$  and  $a_4$  – Linden's and Hart's method [6];  $a_2$  – Korkhaus's method;  $a_3$  – Slabkovskaya's method

Исходя из назначенных ранее связей, с изменением положения зубов автоматически корректируется сетка модели головы пациента. Каждое изменение формы головы отражает предполагаемую внешность пациента после лечения (рис. 4).



Рис. 4. Положение мягких тканей лица после предполагаемого лечения

Fig. 4. Prediction of location of patient's soft tissues after the treatment

**Результаты исследований.** Экспериментальные исследования проводились на кафедре стоматологии Белорусского государственного медицинского университета под руководством специалистов. Были рассмотрены десять пациентов с зубочелюстными аномалиями, при лечении которых использовались брекет-системы и которые после лечения имеют гармоничный профиль лица.

Для сравнения полученных результатов использовались две фотографии лица пациента. Масштаб фотографий подбирался в соответствии с положением двух базовых характерных точек, относительно которых ранее встраивались зубные дуги: нижняя точка подбородка и точка на переносице.

Для оценки в качестве исходных данных использовались кожные профили лица пациента до и после лечения, полученные из профильной фотографии лица, и прогнозируемый кожный профиль, сформированный из сеточной оболочки на боковой проекции (рис. 5).

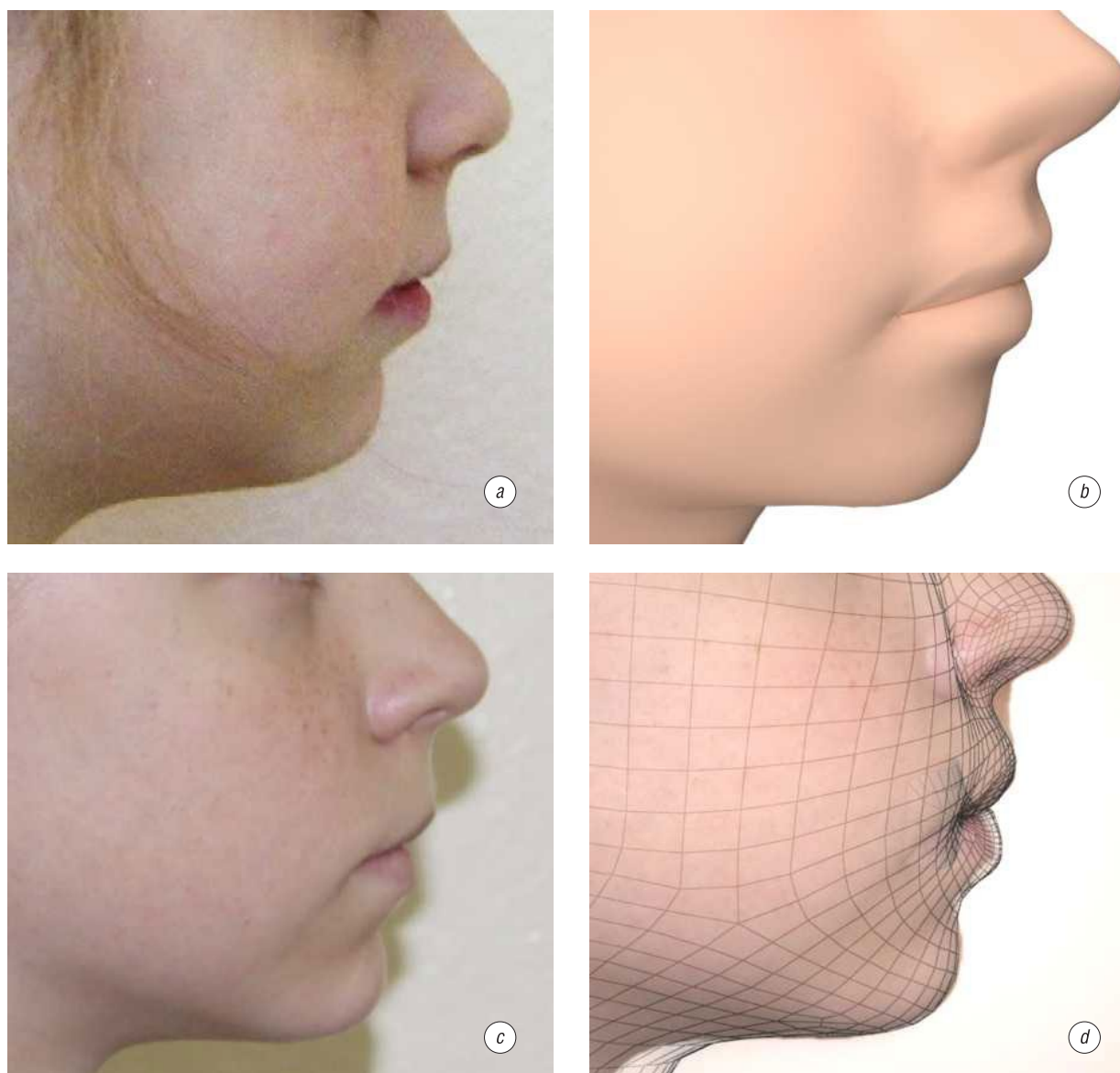


Рис. 5. Пример сравнения фотографий пациента (пациент № 1, 10 лет) до и после лечения и трехмерной модели головы с прогнозируемым положением мягких тканей: *a* – фотография в профиль до лечения, *b* – модель головы, *c* – фотография в профиль после лечения, *d* – модель головы

Fig. 5. The sample of comparison of patient's photos (patient № 1, 10 years old) before and after medical treatment and the three-dimensional model of the head with the prediction of location soft tissues: *a* – patient's photo before the treatment, *b* – the head's model, *c* – patient's photo after the treatment, *d* – the head's model

В результате экспериментальных исследований визуальная и численная оценки позволили оценить результаты прогнозирования на боковой ТРГ и на трехмерной модели головы. Средние квадратичные отклонения кожного профиля лица пациента от прогнозируемого кожного профиля на боковой ТРГ и трехмерной модели головы пациента представлены в таблице.

Средние квадратичные отклонения кожных профилей, %  
Mean squared deviation of the soft profiles, %

Критерий	Среднее квадратичное отклонение	
	на боковой ТРГ головы	на 3D модели головы
Площадь	4	6,7
Максимальное расстояние	8,6	6,4
Сумма квадратов расстояний	8,6	6,3

Из таблицы следует, что отклонение по трем критериям на трехмерной модели головы пациента не превышает 10 %, что отражает высокие результаты прогноза.

Предполагается развитие методов и средств решения поставленной задачи путем усовершенствования расчетов и оптимизации процесса визуализации. Углубленное изучение проблем зубочелюстных аномалий позволит применять новые методы для прогноза при лечении зубочелюстных аномалий.

**Заключение.** Разработаны алгоритмы для построения прогноза формы лица пациента после планируемого лечения зубочелюстных аномалий. В основе построения прогноза лежат трехмерные модели зубных дуг пациента до лечения и головы пациента. С использованием заданной врачом ширины зубов пациента создается приближенная к оптимальной модель зубных дуг, которая задает форму лица пациента и формирует представление о его будущей внешности. Применяя рассмотренные методики, можно предположить, как будет выглядеть лицо пациента с учетом погрешности, выявленной при проведении численной и визуальной оценки результатов прогнозирования. Средние квадратичные отклонения по трем критериям не превысили 10 %. В ходе экспериментальных исследований были откорректированы связи сеточной модели с зубами для достижения более точного результата.

#### Список использованных источников

1. Палов, Н. А. Рентгенодиагностика / Н. А. Палов, А. З. Гингольд, К. А. Москачева. – М.: МЕД пресс-информ, 1999. – 556 с.
2. Антропометрические и графические методы в диагностике зубочелюстных аномалий: учеб.-метод. разработка / Т. Н. Терехова [и др.] ; под ред. Т. Н. Терехова. – Минск: Изд-во МГМИ, 1998. – 36 с.
3. Справочник по стоматологии / А. И. Рыбаков [и др.] ; под ред. А. И. Рыбакова. – М.: Медицина, 1986. – 260 с.
4. Васильева, Ю. Д. Компьютерное моделирование головы по фотографиям лица / Ю. Д. Васильева // Вест. Ин-та соврем. знаний. – 2011. – №3. – С. 86–92.
5. Васильева, Ю. Д. Построение трехмерной модели головы по фотографиям / Ю. Д. Васильева // Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 5 дек. 2013 г. / Ин-т соврем. знаний им. А. М. Широкова; редкол.: В. А. Мищенко [и др.]. – Минск, 2014. – С. 131–133.
6. Инновация в ортодонтии: учеб.-метод. пособие для элективного курса / И. В. Токаревич [и др.]; под ред. И. В. Токаревича. – Минск: Изд-во БГМУ, 2008. – 44 с.
7. Польша, Л. В. Положение верхней губы – ключ к планированию лечения пациентов с дистальной окклюзией / Л. В. Польша, В. М. Ломакина // Ортодонтия. – 2006. – №1. – С. 80.

#### References

1. Palov N. A., Gingold A. Z., Moskacheva K. A. *X-ray diagnostics*. Moscow, MED Press-inform Publ., 1999. 556 p. (in Russian).
2. Terekhova T. N., Timchuk Ya. I., Tokarevich, I. V., Gusakovskaya Zh. S. *Anthropometric and graphic methods in the diagnosis of dentoalveolar anomalies*. Minsk, Minsk State Medical Institute Publ., 1998. 36 p. (in Russian).

3. Rybakov A. I., Ivaschenko G. M., Lurie T. M. *Handbook of dentistry*. Moscow, Medicine Publ., 1986. 260 p. (in Russian).
4. Vasilyeva U. D. Digital modeling a head from photo of a face. *Vesti Instituta sovremennykh znaniy* [Proceedings of Institute of Modern Knowledge], 2011, no. 3, pp. 86–92 (in Russian).
5. Vasilyeva U. D. Reconstruction head modeling from photos. *Nauka i obrazovaniye v usloviyakh sotsial'no-ekonomicheskoy transformatsii obshchestva: materialy XVI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science and Education in context of socio-economic transformation of society: materials of the 16<sup>th</sup> International Scientific and Practise Conference, Minsk, 5 December 2013]. Minsk, 2014, pp. 131–133 (in Russian).
6. Tokarevich I. V., Timchuk Ya. M., Korhova N. V., Denisov S. S. *Innovation in orthodontics*. Minsk, Belarusian State Medical University Publ., 2008. 44 p. (in Russian).
7. Polma L. V., Lomakina L. V. The position of the upper lip is the key to planning the treatment of patients with distal occlusion. *Ortodontiya = Orthodontics*, 2006, no. 1 (33), pp. 80–83 (in Russian).

### **Информация об авторе**

*Васильева Юлия Дмитриевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики и информатики, Институт современных знаний имени А. М. Широкова (ул. Филимонова, 69, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: 043@tut.by

### **Information about the author**

*Yuliya D. Vasilyeva* – Ph. D. (Engineering), Assistant Professor of Department of Higher Mathematics and Informatics, Institute of Modern Knowledge named after A. Shirokov (69, Filimonov Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: 043@tut.by