

УДК 616.711

## ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ИМПЛАНТАТА ПОЗВОНКА АНАТОМИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

© 2019 Н.Л. Казанский<sup>1,2</sup>, С.Р. Абульханов<sup>1,2</sup>, А.И. Кондратьев<sup>1</sup>, М.Б. Сазонов<sup>1</sup>, О.С. Сурков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

<sup>2</sup> Институт систем обработки изображений РАН - филиал Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, г. Самара

Статья поступила в редакцию 21.01.2019

В статье предлагаются варианты конструкций имплантатов позвонка анатомической формы. Предполагается, что имплантат позвонка имеет позвоночное отверстие. По этой причине имплантаты сделаны разъемными. Для обеспечения жёсткости конструкции имплантата в собранном виде исследованы два варианта крепления составляющих конструкции: крепление «ласточкин хвост» и с помощью несимметричных поверхностей. С учётом существующей медицинской практики, для крепления составляющих имплантата предложено сопряжение составляющих с помощью несимметричных поверхностей и крепёжного элемента. Предложенные крепления составляющих имплантатов позвонка могут быть использованы при протезировании других костей. Сформулированы критерии оценки конструкции, включающие близость веса к весу естественного позвонка и возможность сопротивления внешним нагрузкам. Предложенные конструкции имплантата позвонка анатомической формы были проанализированы на основе сформулированных критериев оценки. Чтобы имплантат не отторгнулся иммунной системой и его составляющие могли срастаться, предполагается изготовление имплантатов из блоков аллогенного остеопластического материала. *Ключевые слова:* имплантат позвонка анатомической формы, крепление составляющих конструкции имплантата, крепление «ласточкин хвост», несимметричные поверхности, разъемная конструкция.

### ВВЕДЕНИЕ

По данным ВОЗ ежегодный прирост тяжелых позвоночно-спинальных травм составляет 1,7% [1]. Травмы позвоночника почти всегда приводят к очень серьезным последствиям (80-95% случаев к инвалидности) [2, 3].

Лечение таких травм осуществляют оперативным вмешательством [4-6]. При осложненной травме позвоночника после предварительной декомпрессии нервных структур применяют реконструкцию поврежденного сегмента позвоночника. Сравнительный анализ оценки эффективности результатов лечения пострадавших с травмами позвоночника показал,

что имплантаты - перспективное и достаточно эффективное средство реконструкции травмированных позвонков. Имплантация в нейрохирургии позвоночника применяется примерно в 65-70% хирургических операций.

Выбор конструкции и материала имплантата зависит от многих факторов, которые могут быть взаимоисключающими.

Материал имплантата должен обладать следующими свойствами [7]:

- биосовместимость с окружающими анатомическими структурами;
- экологичность и гипоаллергенность;
- пористая структура;
- плотность должна соответствовать плотности здоровой костной ткани;
- прочностные свойства должны соответствовать плотности здоровой костной ткани;
- упругость, пластичность, вязкость, теплопроводность, электропроводность и магнитная проницаемость должны соответствовать плотности здоровой костной ткани.

В идеале имплантат позвонка должен быть изготовлен из костного материала пациента, что при значительных утратах костной ткани невозможно. По этой причине оптимальным материалом имплантата является костная ткань (ксеноматериал) сельскохозяйственных животных. Физико-технические свойства материала имплантата во многом определяют его конструкцию.

Позвонок, как анатомический объект, может иметь одно или три отверстия (крестец (sacrum)

*Казанский Николай Львович, доктор физико-математических наук, руководитель ИСОИ РАН, профессор кафедры технической кибернетики Самарского университета. E-mail: kazansky@smr.ru*

*Абульханов Станислав Рафаелевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологий производства двигателей Самарского университета. E-mail: Abulhanov58@mail.ru*

*Кондратьев Александр Игорьевич инженер кафедры технологий производства двигателей Самарского университета. E-mail: itcssau@mail.ru*

*Сазонов Михаил Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологий производства двигателей Самарского университета. E-mail: Sazonov.mihail.56@yandex.com*

*Сурков Олег Валентинович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологий производства двигателей Самарского университета. E-mail: ossvbm@mail.ru*

имеет 8 отверстий). Через наибольшее из них - позвоночное отверстие (vertebrae foramen) проходит спинной мозг. Через другие два отверстия в поперечном отростке (transverse foramen) проходят кровеносные сосуды позвоночника. Травма спинного мозга при установке имплантата недопустима. По этой причине конструкция имплантата должна быть разъемной. При этом элементы конструкции должны обеспечить установку имплантата без травмы спинного мозга, а конструкция в собранном состоянии должна удовлетворять требованиям, которые мы сформулировали выше.

В статье предложено несколько конструкций разъемных имплантатов позвонка и проведен анализ предложенных конструктивно-технологических решений.

## 1. ФОРМИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОЗВОНКА

Для конструирования имплантата позвонка использовался позвонок теленка (рис. 1 а, с, е).

Поверхность позвонка была аппроксимирована полиномами (рис. 1 b, d, e) по точкам, координаты которых определялись на контрольно-измерительной машине GLOBAL Performance (Manufacturer: HEXAGON MANUFACTURING INTELLIGENCE. Contact: 10617 Trenton Ave, St. Louis, MO 63132, USA). Для более точного описания формы позвонка можно использовать методы анализа статистической модели формы [8] и учитывать погрешности измерений [9] для определения размеров конкретного позвонка. Различные проекции полученной 3d модели позвонка приведены на рис. 1 b, d, f.

В дальнейшем для построения конструкции имплантата позвонка использовалась модель реального позвонка, приведенная на рис. 1 d и на рис. 2.

Для придания 3d модели имплантата размеров и пропорций реального позвонка мы предполагаем использовать, например, результаты МРТ позвонка. Отметим: на модели позвонка (рис. 2) отсутствуют отверстия в поперечном отростке (transverse foramen). Мы считаем, что отсутствие дужки (transverse process) не является значительным отклонением формы имплантата от формы анатомического позвонка. На реальном позвонке (рис. 1) отсутствовала одна дужка остистого отростка. Отсутствие дужки на модели не вызвано технологическими ограничениями современного станочного оборудования.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИМПЛАНТАТА ПОЗВОНКА АНАТОМИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Способность конструкция имплантата в собранном состоянии сопротивляться деформациям (жесткость) необходима для успешной

реабилитации пациента после установки имплантата взамен разрушенного позвонка. При условии выполнения имплантата из костной ткани животного и при наличии высокой жесткости конструкции в собранном состоянии, высокая вероятность регенерации (срастивания) элементов конструкции имплантата в мягких тканях больного.

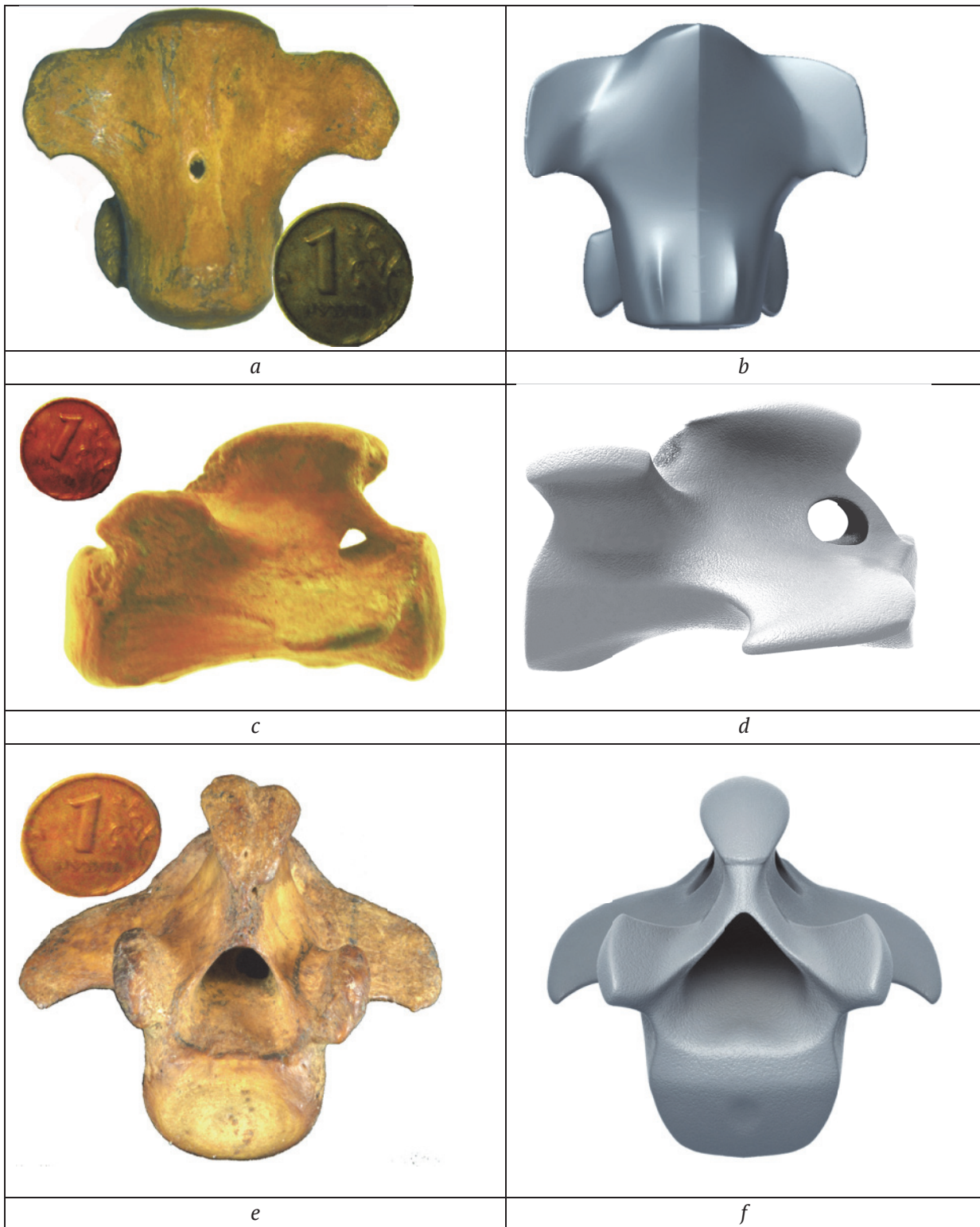
В машиностроении для крепления лопаток газотурбинного двигателя на диске турбины используют крепление «ласточкин хвост» [9]. Это крепление обладает высокой жесткостью [10]. В травматологии также известна практика использования крепления «ласточкин хвост» [11, 12].

Мы исследовали две конструкции имплантата позвонка, у которого составляющие конструкции сопрягались с помощью крепления «ласточкин хвост»: плоский «ласточкин хвост» и «ласточкин хвост», выполненный на цилиндрических поверхностях. Особенности конструкции используемых нами креплений «ласточкин хвост» следующие (рис. 3):

- охватываемая (станина) и охватывающая детали (салазки) выполняются на плоских или на цилиндрических поверхностях;
- салазки имеют разъемный характер. При этом поверхность сопряжения разъемных частей салазок исключает их взаимные поперечные перемещения;
- сопрягаемые поверхности паза на охватываемой детали и шипа на охватывающей детали выполнены с уклоном  $2\div 3^\circ$  по длине паза.

На рис. 3 показаны две составляющих конструкции крепежа «ласточкин хвост», которые сопрягаются между собой с помощью паза и шипа трапецеидальной формы в сечении. При этом поверхности шипа и паза состоят из фрагментов плоских поверхностей. Конструкция имплантата на рис. 3 имеет цельный характер. Мы считаем, что внутренняя полость в модели позвонка может соответствовать губчатому содержанию тела позвонка. Отсутствие такой полости приведёт к увеличению веса имплантата по сравнению с естественным позвонком. Кроме того, отсутствие полости приведёт к увеличению жесткости имплантата в отличие от его природного аналога.

Увеличенные вес и жесткость имплантата неизбежно приведут к деградации прилегающих анатомических структур. Для придания имплантату позвонка физико-технических свойств, в наибольшей степени соответствующих природным позвонкам, мы разработали полую модель имплантата позвонка. В этом случае составляющие модели имплантата соединялись с помощью крепления «ласточкин хвост», сформированного из фрагментов цилиндрических поверхностей. Такая конструкция крепления имеет большую площадь поверхностей сопряжения, поэтому об-

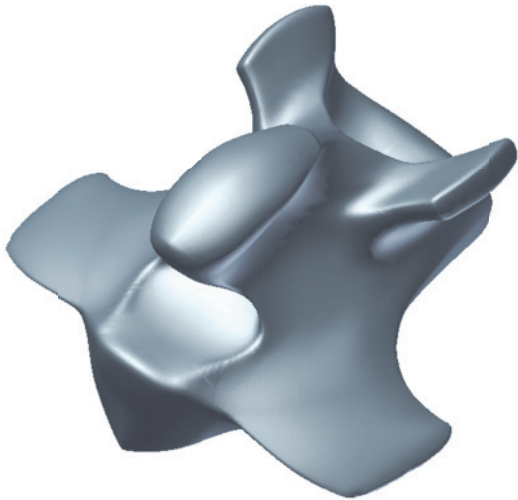


**Рис. 1.** Позвонки телёнка:  
 а, с, е – фотографии различных видов реального позвонка телёнка;  
 б, д, ф – аналогичные виды 3d модели позвонка телёнка

ладает большей способностью сопротивляться деформациям. Боковые грани паза и шипа крепления имеют форму «ласточкин хвост» с наклоном. Такая конструкция в собранном виде имеет дополнительную жёсткость. На рис. 4 показана такая модель имплантата позвонка.

Для придания наибольшей жёсткости имплантату в собранном состоянии на поверхности сопряжения составляющих конструкции, соответствующих остистому отростку (*processus spinosus*) и правому поперечному отростку (*neural spine*), выполнен паз и шип с треугольным сечением (рис. 4 е, ф).

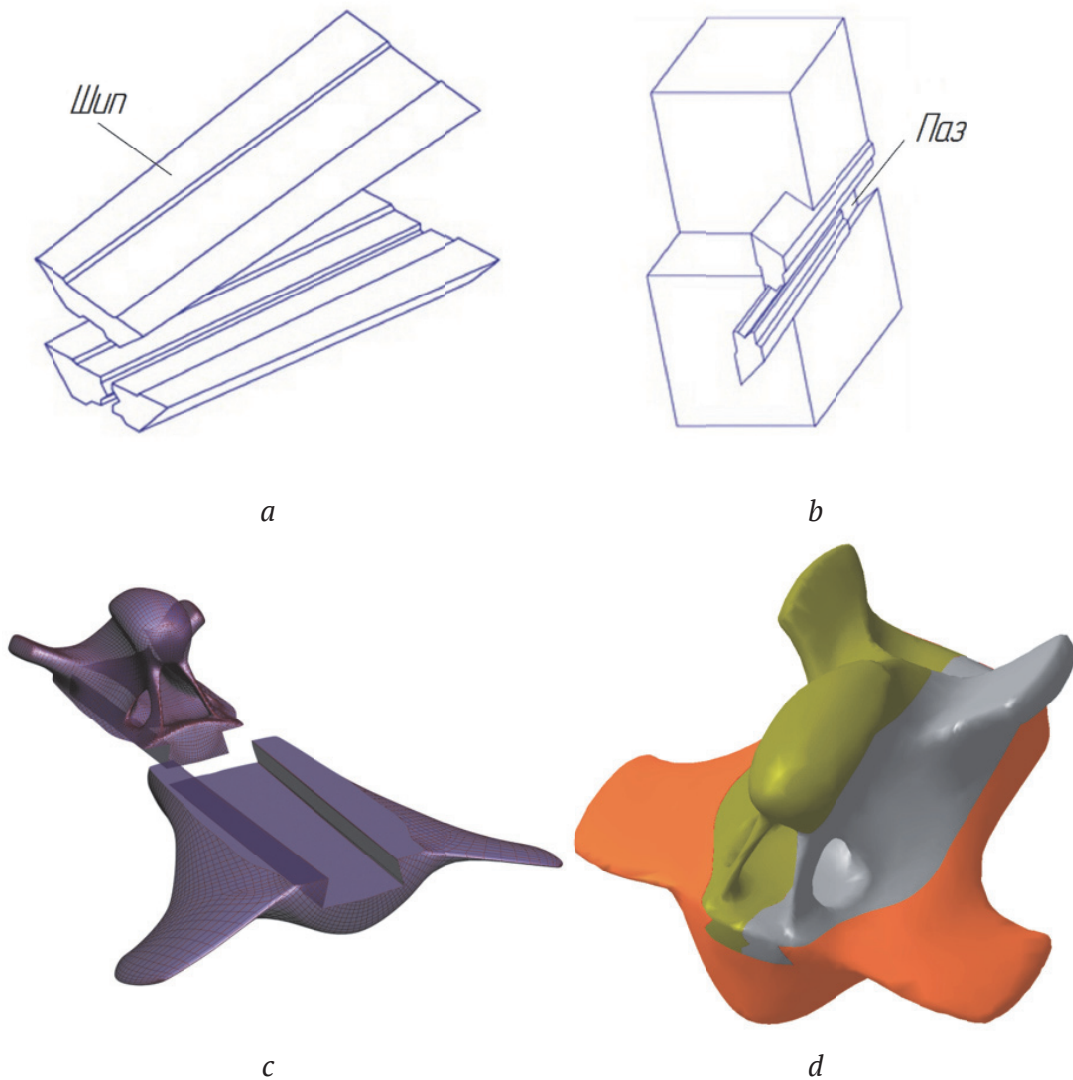




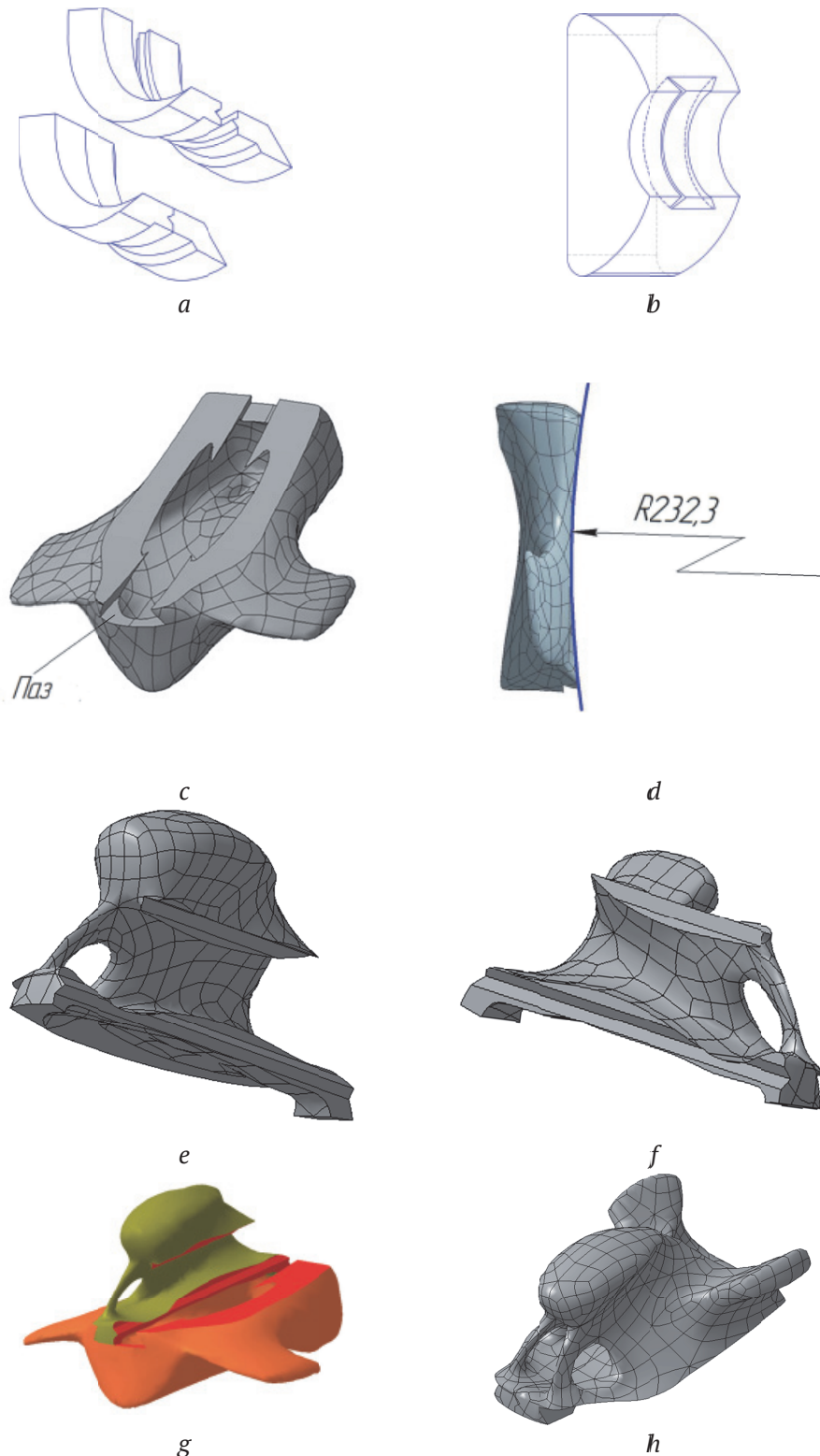
**Рис. 2.** 3d модель позвонка телёнка, используемая в дальнейшем для проектирования имплантата

Медицинская практика установки имплантатов позвонка показала, что соседние позвонки между травмированным (или поражённым) позвонком можно раздвинуть не более чем на 10 мм. Это обстоятельство указывает на ограниченную применимость конструкций имплантата позвонка на рис. 3-4. Однако мы считаем, что рассмотренные конструкции могут быть использованы при лечении других сложных переломов. Предлагаемый нами метод проектирования имплантатов может использоваться для лечения переломов, например, шейки бедренной кости (*collum ossis femoris*).

Для расширения возможности применения имплантата на рис. 3 и 4 мы предлагаем выполнять на теле имплантата позвонка два паза для крепления «ласточкин хвост». Угол между пазами определяется планом операции по установке имплантата. На рис. 5 показаны два паза



**Рис. 3.** Имплантат позвонка, в котором составляющие соединены с помощью крепления «ласточкин хвост»:  
 а – шип крепления «ласточкин хвост» в собранном и разобранном состоянии;  
 б – установка шипа в паз крепления «ласточкин хвост»;  
 с – модель имплантата позвонка (без губчатого содержимого) в разобранном виде;  
 д – модель имплантата позвонка в собранном состоянии



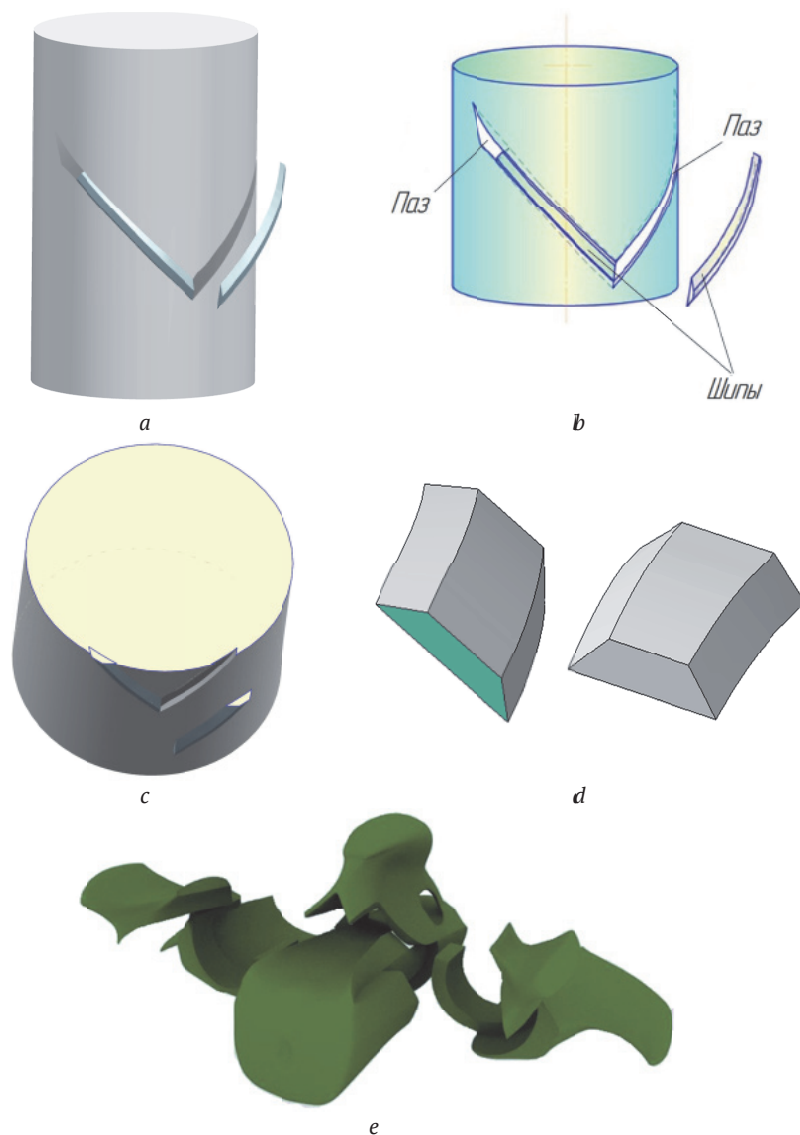
**Рис. 4.** Имплантат позвонка, в котором составляющие соединены с помощью крепления «ласточкин хвост»:

- а – шип крепления «ласточкин хвост» в собранном и разобранном состоянии;
- б – установка шипа в паз крепления «ласточкин хвост»;
- с – модель тела имплантата позвонка (без губчатого содержимого);
- д – вид сбоку модели тела имплантата позвонка в собранном состоянии;
- е – составляющая модели имплантата, которая соответствует остистому отростку (processus spinosus) и правому поперечному отростку (neural spine);
- ф – составляющая модели имплантата, соответствующая левому поперечному отростку (neural spine);
- г – сборка модели тела позвонка (corpus vertebrae) и составляющая модели имплантата, которая соответствует остистому отростку (processus spinosus) и правому поперечному отростку (neural spine);
- h – сборка составляющих имплантата, формирующих позвоночное отверстие (foramen vertebrale)

под трапециевидальные шипы на цилиндрической поверхности, которая соответствует телу позвонка (*corpus vertebrae*). Угол между образующими двух пазов в точке их пересечения на цилиндрической поверхности составлял  $90^\circ$ . Поверхности пазов и шипов образованы сложными поверхностями свободных форм. На рис. 5 е показана модель имплантата позвонка, составляющие которой крепятся с помощью двух пазов «ласточкин хвост». Угол между пазами составляет  $130^\circ$ . Такая конструкция имплантата при его установке не требует существенного перемещения соседних позвонков. Однако установка составляющих конструкции имплантата, соответствующих остистому (*processus spinosus*) и двум поперечным (*neural spine*) отросткам, требует значительного пространства. Это об-

стоятельство может привести к травмированию прилегающих анатомических структур. Кроме того, конструкция имплантата на рис. 5 е сложна при изготовлении, имеет большую и сложную поверхность сопряжения, что может привести к увеличению реабилитационного периода больного после операции.

С учетом выявленных при анализе предыдущих решений недостатков мы разработали конструкцию имплантата позвонка (рис. 6), которая наиболее приемлема для установки имплантата взамен разрушенного (поражённого) позвонка. Предлагаемая конструкция имплантата может быть установлена с минимальным риском травмировать спинной мозг (*medulla spinalis*). Мы считаем, что установка имплантата должна осуществляться следующим образом [13-15]:



**Рис. 5.** Имплантат позвонка, в котором составляющие соединены с помощью двух креплений «ласточкин хвост»:

- а – два паза с трапециевидальным сечением на цилиндрической поверхности и два шипа с трапециевидальным сечением (один шип установлен в паз, другой шип подготовлен для установки в паз);
- б – рис. 5 а с указанием скрытых рёбер и граней; с – поперечное сечение рис. 5 а;
- д – два вида шипа с трапециевидальным сечением;
- е – 3d модель имплантата с двумя пазами в разобранном состоянии

- спинной мозг (*medulla spinalis*) помещается в отверстие (*foramen vertebrale*), формируемое двумя составляющими конструкции с поперечными отростками (*neural spine*) (рис. 6);

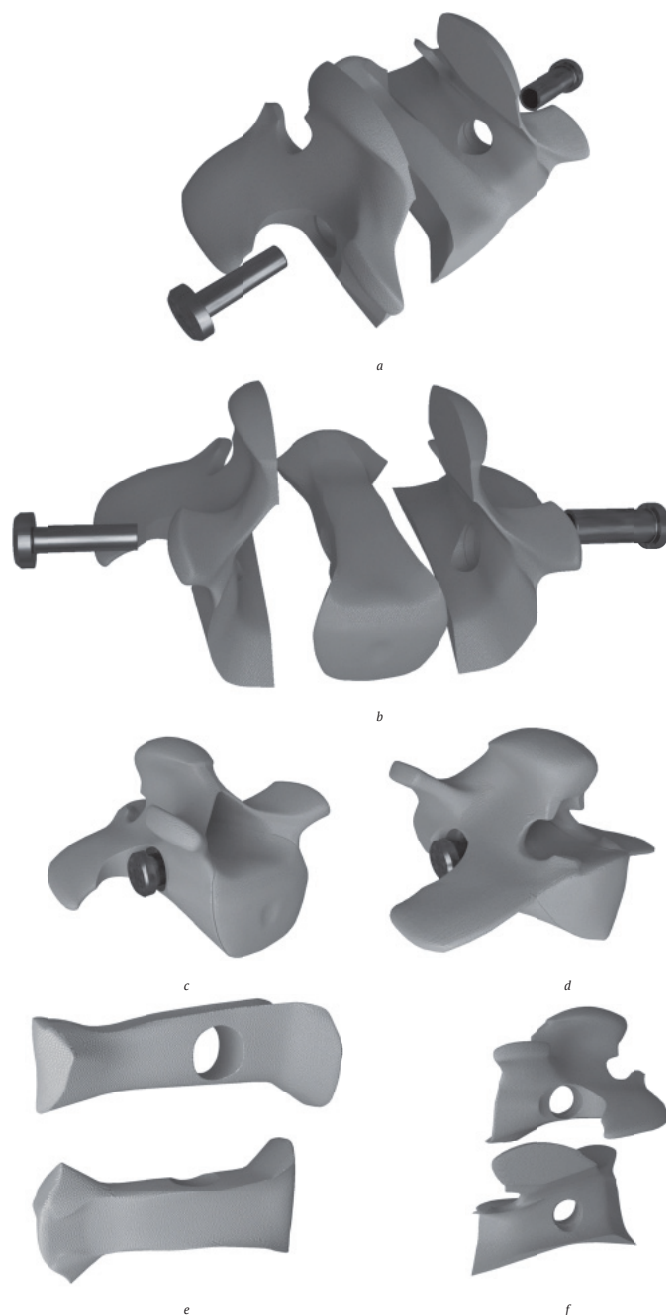
- затем устанавливается центральная часть имплантата, соответствующая телу позвонка (*corpus vertebrae*);

- собранная конструкция фиксируется крепёжным элементом, который может быть удалён после завершения реабилитации больного (после сращения составляющих имплантата).

По нашему мнению, эта конструкция имплантата в сравнении с рассмотренными ранее

конструкциями более технологична, обладает высокой жесткостью на сдвиг благодаря сложным несимметричным поверхностям сопряжения составляющих имплантата [16]. Конструкция имплантата на рис. 6 защищена патентом [17].

Недостатками конструкции являются отсутствие полости внутри имплантата, что увеличивает его вес в сравнении с естественным позвонком. Выполнение отверстия для крепёжного элемента со смещением относительно оси составляющей имплантата, соответствующей телу позвонка (*corpus vertebrae*), ведёт к максимальной жёсткости конструкции в собранном



**Рис. 6.** Имплантат позвонка, в котором составляющие соединены с помощью несимметричных поверхностей:

а, b - два ракурса разнесенных сборок имплантата позвонка;  
с, d - два ракурса сборки имплантата позвонка;  
е - два ракурса центральной составляющей имплантата с отверстием под крепёжный элемент;  
f - два ракурса одной из составляющих имплантата, соответствующей поперечному отростку



состоянии. Вместе с этим отверстие снижает несущую способность конструкции имплантата (жесткость на сжатие).

Следует отметить, что все составляющие рассмотренных конструкций имплантатов позвонка могут быть изготовлены на современном станочном оборудовании с ЧПУ. Выполнение составляющих имплантата лезвийным инструментом позволяет регулировать уровень и характер шероховатости сформированных поверхностей. Это означает, что существует возможность способствовать регенерации костной ткани и прилегающих анатомических структур с помощью стратегии обработки и режимов работы станка с ЧПУ. Работу в этом направлении мы собираемся продолжить, используя оборудование и методы, позволяющие исследовать шероховатость поверхности [18-21].

Количество и форма составляющих конструкции имплантата должны учитывать характер травмы (заболевания) позвонка, а также план проведения оперативного вмешательства. Современные САМ-системы позволяют выполнять практически любое рассечение модели позвонка. Каждая модель имплантата должна быть оптимизирована с целью достижения максимальной жесткости конструкции, которая обеспечит необходимую несущую способность имплантата после периода реабилитации пациента.

Разработанные конструкции и способы крепления составляющих имплантата могут быть использованы для имплантатов других костей скелета человека, например, шейки бедренной кости (*collum ossis femoris*). Эти исследования станут предметом следующих публикаций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующие методы и программное обеспечение позволяют построить с необходимой точностью модель позвонка, которая позволяет спроектировать разъемный имплантат анатомической формы. Форма каждой составляющей конструкции имплантата учитывает особенности травмы (заболевания) позвонка, а также план проведения оперативного вмешательства. Сопряжение составляющих конструкции по несимметричным поверхностям обеспечивает максимальную жесткость сопрягаемых составляющих.

Имплантат позвонка анатомической формы имеет следующие достоинства:

1. анатомическая форма имплантата позволяет восстановить биомеханику здорового позвоночника;
2. выбор в качестве материала имплантата ксеноматериала позволяет исключить отторжение имплантата иммунной системой пациента;
3. снижение травматичности операции в сравнении с существующими методами оперативного лечения позвоночника.

Рассмотренные конструкции имплантата имеют ряд недостатков:

1. не обладают весом природных позвонков;
2. не обладают жесткостью природного позвонка;
3. не могут адаптировать свою форму и вес с изменением гормонального фона, вызванного возрастными изменениями пациента;
4. рассмотренные конструкции имплантата не привязаны к конкретному плану проведения операции.

Мы продолжим работу для устранения указанных недостатков и результаты представим в следующих публикациях.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Создание математической модели и анализ конструкций выполнены в рамках государственного задания ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (соглашение № 007-ГЗ/ЧЗ363/26), разработка конструкций имплантатов выполнена при поддержке программы повышения конкурентоспособности Самарского университета.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мыльникова Л.А. Актуальность профилактики травматизма в Российской Федерации. Возможные решения // Скорая медицинская помощь. – 2009. – № 2. – С. 4-7.
2. Згуров А.С., Хрущ А.В., Сон А.С. Современное состояние лечения позвоночно-спинномозговой травмы (научный обзор) // Международный неврологический журнал. – 2013. – 3(57). – С. 9-19. URL: [www.mif-ua.com](http://www.mif-ua.com) (дата обращения 12.01.2019)
3. Морозов И.Н., Млявых С.Г. Эпидемиология позвоночно-спинномозговой травмы (обзор) // Медицинский альманах. – 2011. – № 4. – С. 157-159.
4. Laus M., Zappoli F.A., Alfonso C., Malaguti M.C., Giunti A. Anterior surgery in trauma of the cervical spine // *La Chirurgia degli organi di movimento*. – 1997. – Vol. 82(2). – P. 97-104.
5. Kasimatis G.B., Panagiotopoulos E., Gliatis J., Tyllianakis M., Zouboulis P., Lambiris E. Complications of anterior surgery in cervical spine trauma: An overview // *Clinical Neurology and Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 111(1). – P. 18-27. DOI: 10.1016/j.clineuro.2008.07.009.
6. Schultz K.D., McLaughlin M.R., Haid R.W., Comey C.H., Rodts G.E., Alexander J. Single-stage anterior-posterior decompression and stabilization for complex cervical spine disorders // *Journal of Neurosurgery*. – 2000. – Vol. 93. – P.214-221.
7. Katchko K.M., Schneider A.D., Hsu W.K. Lumbar Interbody Fusion Implant Materials // *Contemporary Spine Surgery*. – 2017. – Vol. 18(8). – P. 1-8. DOI: 10.1097/01.CSS.0000521850.25847.5a.
8. Смелкина Н.А., Косарев Р.Н., Никонов А.В., Байриков И.М., Рябов К.Н., Авдеев А.В., Казанский Н.Л. Реконструкция анатомических структур на основе статистической модели формы // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 6. – С. 897-904. – DOI:



- 10.18287/2412-6179-2017-41-6-897-904.
9. Ruzanov N.V., Bolotov M.A., Pechenin V.A. The model for estimating the measurement error in geometric parameters of complex surfaces // Journal of Physics: Conference Series, 2018, Vol. 1096(1), Art. No. 012163.
  10. Conner B. P., Nicholas T. Using a Dovetail Fixture to Study Fretting Fatigue and Fretting Palliatives // Journal of Engineering Materials and Technology. – 2003. – Vol. 128(2). – P. 133-141. DOI: 10.1115/1.2172272.
  11. Болотов М.А., Печенин В.А., Мурзин С.П. Метод оценки неопределённостей пространственного сопряжения высокоточных оптических и механических деталей // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 3. – С. 360-369. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-3-360-369.
  12. Gimmelfarb A.L., Biziaeva L.N. Endoprosthesis of a coxofemoral joint // Patent RU No 2391943 C1. 20.06.2010.
  13. Mellinger P.A., Knoth D.B. Locking dovetail and self-limiting set screw assembly for a spinal stabilization member // Patent US No 6302888 B1. 16.10.2001.
  14. Абульханов С.Р., Карлова М.Д., Сорокин И.П. Построение сечений твердотельных моделей поясничного позвонка по произвольным поверхностям // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 6. – С.38- 42.
  15. Абульханов С.Р., Горяинов Д.С., Стрелков Ю.С. Выбор расщепления модели позвонка, обеспечивающего наибольшую его прочность // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 6. – С. 255-261.
  16. Абульханов С.Р., Кондратьев А.И., Сурков О.С., Стрелков Ю.С. Самозаклинивающаяся модель протеза позвонка // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т.16, № 6. – С. 241-245.
  17. Абульханов С.Р., Казанский Н.Л., Скуратов Д.Л., Стрелков Ю.С. Имплантат позвонка // Патент на изобретение РФ № 2592606; заявл. 28.04.2015; опубл. 27.07.2016.
  18. Казанский Н.Л. Исследовательский комплекс для решения задач компьютерной оптики // Компьютерная оптика. – 2006. – № 29. – С. 58-77.
  19. Бородин С.А., Волков А.В., Казанский Н.Л. Устройство для анализа наносероховатостей и загрязнений подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на ее поверхность // Оптический журнал. – 2009. – Т. 76, № 7. – С. 42-47.
  20. Abul'hanov S.R., Skuratov D.L., Khaimovich A.I. Correlation image analysis of surface roughness // Key Engineering Materials. – 2017 – Vol. 746 KEM. – P. 296-304.
  21. Abul'hanov S.R., Kazanskiy N.L. Information Pattern in Imaging of a Rough Surface // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018 – Vol. 302. – Art. No. 012068. DOI:10.1088/1757-899X/302/1/012068.

## CHOOSING THE DESIGN OF THE ANATOMICALLY SHAPED VERTEBRAL IMPLANT

© 2019 N.L. Kazanskiy<sup>1,2</sup>, S.R. Abulkhanov<sup>1,2</sup>, A.I. Kondratyev<sup>1</sup>, M.B. Sazonov<sup>1</sup>, O.S. Surkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Samara National Research University

<sup>2</sup> Image Processing Systems Institute of RAS -

Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Samara

The article offers variants of designs of anatomically shaped vertebral implants. We assume that the vertebral implant has a foramen vertebrale. For this reason, we made the implants detachable. We have investigated two options for fixing the components of the structure: the dovetail groove and using asymmetric surfaces. Taking into account the existing medical practice, for fixing the components of the implant, we proposed the conjugation of the components with the help of asymmetric surfaces and the fastener. This is necessary to ensure the rigidity of the implant structure assembled. We have formulated criteria for the evaluation of the design, including the proximity of the weight to the weight of a natural vertebra and the possibility of resistance to the external loads. We analyzed the proposed design of the anatomically shaped vertebral implant on the basis of the formulated evaluation criteria. In order for the implant not to be rejected by the immune system and its components can grow together, it is supposed to make implants from blocks of allogenic osteoplastic material.

**Keywords:** Implant-vertebrae anatomical shape, the fastening components of the design of the implant, mounting dovetail, steel surface, split construction.

Nikolay Kazanskiy, Doctor of Physics and Mathematics, Head of IPSI RAS, Professor of Technical Cybernetics Department, Samara University. E-mail: kazansky@smr.ru

Stanislav Abulkhanov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of IPSI RAS, Associate Professor, Department of Engine Production Technologies.

E-mail: Abulhanov58@mail.ru

Aleksandr Kondratyev, Engineer of the Department of Engine Production Technologies. E-mail: itcssau@mail.ru

Mikhail Sazonov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Engine Production Technologies.

E-mail: Sazonov.mihail.56@yandex.com

Oleg Surkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Engine Production Technologies.

E-mail: ossvbm@mail.ru