

# МЕТОДЫ ТРЕХМЕРНОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СУДЕБНОЙ МЕДИЦИНЕ (СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА)

В. А. Попов, В. В. Самчук

ФГКУ «111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз» Минобороны России, отдел судебно-медицинской экспертизы, Москва

**Аннотация:** В статье приведен обзор методов трехмерного и математического моделирования, успешно используемых с начала 2000-х годов по настоящее время в судебной медицине. Описано основное программно-аппаратное обеспечение, с помощью которого создаются трехмерные модели стандартных объектов исследования в рамках судебной медицины. Авторами отмечены области и перспективы применения описываемых методов.

**Ключевые слова:** трехмерное моделирование, математическое моделирование, метод конечных элементов, реконструкция обстановки

## METHODS OF THREE-DIMENSIONAL AND MATHEMATICAL MODELING IN FORENSIC MEDICINE (THE CURRENT ISSUE)

V. A. Popov, V. V. Samchuk

**Abstract:** The article provides an overview of methods three-dimensional and mathematical modeling, successfully used since the beginning of 2000-ies at the present time in forensic medicine. Described the basic hardware and software, which creates three-dimensional models are standard objects of study within forensic medicine. The authors noted region and prospects of application of the described methods.

**Keywords:** three-dimensional modeling, mathematical modeling, finite element method, reconstruction of the situation

<http://dx.doi.org/10.19048/2411-8729-2017-3-3-36-39>

С начала 2000-х годов в практическую деятельность судебно-медицинских экспертов все больше внедряются методы трехмерного и математического моделирования. Первоначально использовались простые трехмерные модели тел человека (3D-атласы), применяемые в виде схем при разметке повреждений на трупах и повышающие иллюстративность заключений экспертов. Параллельно, в рамках ситуационных экспертиз, применялись программы, позволяющие моделировать позу человека и придавать ему различные положения в соответствии с имеющейся информацией из протоколов допросов, следственных экспериментов и т. д. о положении потерпевшего и подозреваемого в момент нанесения повреждений (Poser и аналоги) [1].

Начальные версии программ были примитивны – человек отображался в них только в виде контуров и угловатых рельефов мышечного каркаса. Современные версии специализированных компьютерных программ позволяют построить качественную модель человека в трехмерном пространстве графического редактора, при необходимости отобразить его в виде скелета, выбрать пол, возраст, рост и тип телосложения, добавить неограниченное количество моделей травмирующих предметов, окружающей обстановки и т. д. Все движения, моделируемые в графических редакторах, соответствуют реальным движениям человека с учетом подвижности и степеней свободы в определенных суставах.

Применение данных компьютерных программ позволяет оценить возможность причинения тех или иных повреждений и повысить качество и наглядность выполняемых судебно-медицинских и медико-криминалистических экспертиз.

В дальнейшем, с развитием современных технических средств, примерно с 2005–2010 гг. методы трехмерного

и математического моделирования позволили не только повысить наглядность, но и прогнозировать вероятные исходы процессов нанесения повреждений в тех или иных конкретных условиях, а также справляться со сложными условиями моделирования обстановки на месте происшествия, в которых обычные следственные действия были безуспешны. Так, с помощью моделирования в графическом редакторе 3ds Max появилась возможность создания масштабных моделей различной обстановки (как внутри помещения, так и на открытой местности) и оценки всех условий происшествия в трехмерной среде графического редактора, с учетом исходных реальных размеров объектов [1]. Это усовершенствовало метод визуирования, применяемый в баллистике, и расширило границы его использования [2].

Методы математического моделирования, применяемые в судебной медицине, основаны на знаниях физики и таких технических дисциплин, как сопротивление материала и теория резания материала. Многие исследователи довольно успешно применяют их в своих научных трудах, объясняя с их помощью процессы образования переломов костей, формирования колото-резаных, огнестрельных и рубленых повреждений [3–18].

С использованием базы этих знаний в судебной медицине началась работа с программами типа САПР (системы автоматизированного проектирования), основанными на методе конечно-элементного анализа (ANSYS, AutoDesk Inventor, «ЛИРА-САПР» и др.). С помощью метода конечных элементов, применительно к задачам судебной медицины, решаются вопросы деформации и разрушения биологических объектов. Метод основан на решении сложных дифференциальных уравнений, и суть его в том, что область исследования разбивается на конечное число подобластей (элементов). Процессы

деформации, происходящие в каждом элементе, отображаются математическими функциями и системой линейных уравнений, решение которых и дает необходимый результат.

Базовые основы этого метода в судебной медицине были заложены при анализе механизма образования рубленых и колото-резаных повреждений [8; 10]. В дальнейшем метод успешно применялся при оценке острой и огнестрельной травмы, а также при прогнозировании морфологии тех или иных повреждений без проведения следственного или экспертного эксперимента [7; 20]. В настоящее время метод используется при анализе переломов различных костей скелета человека.

С развитием современного медицинского программного обеспечения (используемого при компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографической диагностике) появилась возможность моделировать разрушения костных объектов, вводя в трехмерное пространство графического редактора модель кости конкретного живого человека, имея при этом данные компьютерной томографии или рентгенологические данные. В полученной трехмерной модели кости возможно создавать различные напряженные состояния для получения той или иной морфологии повреждений, которая соответствует оригиналу. Моделирование позволяет определить механизм перелома, места и направления травмирующего воздействия [21–23].

В последние годы все большее распространение получают программно-аппаратные комплексы, автоматически создающие трехмерные модели объектов на основе цифровых фотографий, кадров видеозаписи, сканирования объектов. Примерами программ, создающих модель объекта на базе цифровых фотографий и кадров видеозаписи, являются Agisoft Photoscan и ContextCapture. Осуществив круговую фотосъемку или видеозапись объекта при соблюдении определенных условий съемки и поместив электронные графические файлы в программу, эксперт без труда получит трехмерную модель объекта с возможностью последующей ее обработки. Модель полностью соответствует оригиналу, повторяя все особенности его поверхности и метрические характеристики. На сегодняшний день данный метод был применен в программной кранио-фациальной идентификации для создания трехмерной модели черепа [24]. Помимо создания моделей отдельно расположенных объектов, существует возможность построения и обстановки на месте происшествия с отображением всех мельчайших деталей. Полученную модель возможно хранить в электронных архивах и в любой момент использовать при необходимости [1].

На сегодняшний день для создания трехмерных моделей существует возможность использования программно-аппаратных комплексов, в которые включены 3D-сканеры, воспроизводящие поверхность объекта путем его сканирования [25]. Наиболее сложный объект для создания трехмерной модели – это лицо человека, поскольку оно находится в постоянном неконтролируемом движении, обусловленном сокращением мимических мышц, дыханием, движением глаз. Однако 3D-сканеры достаточно успешно справляются с созданием модели головы, а также многих других объектов.

#### ◇ Выводы

Дальнейшее совершенствование методов трехмерного и математического моделирования позволит расширить возможности судебной медицины, решать новые экспертные задачи, повышать наглядность и качество проводимых судебно-медицинских, медико-криминалистических и ситуационных экспертиз.

#### ◇ ЛИТЕРАТУРА

1. *Леонов С.В., Пинчук П.В., Крупин К.Н., Шакирьянова Ю.П.* Современные и перспективные методы визуирования и моделирования при реконструкции обстоятельств происшествия. Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы. – Хабаровск, 2016, вып. 15. – С. 134–146.
2. *Леонов С.В., Пинчук П.В.* Установление места положения стрелявшего методом трехмерного моделирования. // Суд.-мед. экспертиза. – 2016. – № 3. – С. 38–39.
3. *Бутузова Ю.П.* Вопросы механизма образования и морфологии повреждений кожи острыми предметами с позиции теории резания материалов // Медицинская экспертиза и право. – 2012. – № 2. – С. 27–29.
4. *Леонов С.В., Власюк И.В., Крупин К.Н.* Моделирование механизма образования колото-резаных ран методом конечных элементов // Суд.-мед. экспертиза. – 2013. – № 6. – С. 14–16.
5. *Леонов С.В., Бутузова Ю.П.* Анализ напряжений, возникающих в следовоспринимающем материале при внедрении колюще-режущего предмета // Суд.-мед. экспертиза. – 2013. – № 2. – С. 19–21.
6. *Шакирьянова Ю.П.* Судебно-медицинская оценка влияния скола лезвия клинка на морфологию колото-резаного повреждения // Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. – Москва. – 2013. – 22 с.
7. *Леонов С.В., Бутузова Ю.П., Финкельштейн В.Т.* Использование метода конечных элементов при моделировании процесса формирования колото-резаных повреждений // Медицинская экспертиза и право. – 2013. – № 1. – С. 29–32.
8. *Бутузова Ю.П., Леонов С.В.* Особенности отображения «зоны острия» клинка ножа в морфологии колото-резаных повреждений тканей. // Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы и патологической анатомии. Вып. 12. – Хабаровск, 2012. – С. 32–35.
9. *Кислов М.А.* Использование трехмерного математического моделирования методом конечных элементов для оценки механизма образования колото-резаного повреждения // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – М., 2015. – Т.14. – №3. – С. 549–553.
10. *Кислов М.А., Леонов С.В.* Механизм разрушения костной ткани при острой травме // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – М., 2016. – Т. 15. – №3. – С. 521–525.
11. *Кислов М.А.* Прогнозирование разрушения колото-резаных повреждений плоских костей с учетом математического моделирования методом конечных элементов // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – М., 2015. – Т.14. – №2. – С. 303–307.
12. *Кислов М.А.* Оценка механизма трещинообразования в кости при сквозном краевом колото-резаном повреждении с помощью математического моделирования // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – М., 2015. – Т. 14. – №4. – С. 791–795.
13. *Кислов М.А.* Применение метода конечных элементов для прогнозирования разрушения костной ткани // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики. Материалы 7-й научно-практической интернет-конференции. 30–31 марта 2016 г. / отв. ред. Ю.С. Нагорнов. – Ульяновск: ЗЕБРА, 2016. – С. 60–65.

14. Кислов М.А., Клевно В.А. Использование трехмерного математического моделирования для прогнозирования разрушения в случаях колото-резаных повреждений плоских костей // Медицинская экспертиза и право. М, 2016. – №1. – С. 31–34.
15. М.А. Кислов, В.А. Клевно. Судебно-медицинская фрактология колото-резаной травмы // Медицинская экспертиза и право. М, 2016. – №3 – С. 46–48.
16. К.Н. Крупин, М.А. Кислов. Применение метода конечно-элементарного анализа в современной судебно-медицинской практике // Судебная медицина. – М, 2017. – Т. 3. – №1. – С. 120.
17. Леонов С.В., Кислов М.А. Математическое моделирование автомобильной травмы методом конечных элементов (случай из практики) // Актуальные вопросы медико-криминалистической экспертизы: современное состояние и перспективы развития. Материалы научно-практической конференции, посвященной 50-летию МКО БСМЭ Московской области. – Самара, 2013. – С. 184–192.
18. Леонов С.В., Бутузова Ю.П. Анализ напряжений, возникающих в следовоспринимающем материале при введении колюще-режущего предмета // Суд.-мед. эксперт. – 2013. – № 2. – С. 19–21.
19. Леонов С.В. Дифференциальная диагностика рубленых повреждений кожи и плоских костей черепа по признаку остроты лезвия // Дисс. ... докт. мед. наук. – М., 2007. – 250 с.
20. Пиголкин Ю.И., Дубровин И.А., Леонов С.В., Михайленко А.В., Дубровин А.И., Зоткин Д.А. Современное представление о механизме формирования огнестрельного перелома // Суд.-мед. экспертиза. – 2013. – № 6. – С. 4–8.
21. Леонов С.В., Пинчук П.В., Крупин К.Н., Панфилов Д.А. Математическое моделирование травмирующего воздействия на большеберцовую кость для оценки образования перелома // Суд.-мед. экспертиза. – 2017. – № 2. – С. 11–13.
22. Леонов С.В., Пинчук П.В., Крупин К.Н., Панфилов Д.А. Дифференциальная диагностика условий образования перелома методом математического моделирования // Медицинская экспертиза и право. – 2017. – № 1. – С. 24–28.
23. Пинчук П.В., Крупин К.Н., Панфилов Д.А. Математическое моделирование сложнонапряженного состояния большеберцовой кости для оценки характера перелома // Медицинская экспертиза и право. – 2016. – № 6. – С. 42–46.
24. Шакирьянова Ю.П., Леонов С.В., Пинчук П.В. Опыт совершенствования метода краниофациальной диагностики при решении задач идентификации // Медицинская экспертиза и право. – 2017. – № 1. – С. 15–18.
25. Потанькина Т.В., Федорова А.С., Шишкин Ю. Ю. Применение 3D-сканирования и моделирования для установления механизма образования повреждений шеи. Материалы международного конгресса и научно-практической школы «Актуальные вопросы судебной медицины и экспертной практики-2017» 12–14 апреля 2017 года. – М., 2017. – Т.3. – С. 115–116.
26. Leonov S. V., Pinchuk P. V., Krupin K. N., Shakir'yanova Yu. P. Sovremennye i perspektivnye metody vizirovaniya i modelirovaniya pri rekonstruktsii obstoyatel'stv proisshestviya. Izbrannie voprosy sudebno-meditsinskoj ekspertizy. – Habarovsk, 2016, vyp. 15. – 134–146. (In Russian)
27. Leonov S. V., Pinchuk P. V. Ustanovlenie mesta polozheniya strelyavshego metodom trehmernogo modelirovaniya. // Sud. med. ekspertiza. – 2016. – № 3. – 38–39. (In Russian)
28. Butuzova Yu. P. Voprosy mehanizma obrazovaniya i morfologii povrezhdenij kozhi ostrymi predmetami s pozitsii teorii rezaniya materialov // Meditsinskaya ekspertiza i pravo. – 2012. – № 2. – 27–29. (In Russian)
29. Leonov S. V., Vlasyuk I. V., Krupin K. N. Modelirovanie mehanizma obrazovaniya koloto-rezanyh ran metodom konechnyh elementov // Sud. med. ekspertiza. – 2013; – № 6. – 14–16. (In Russian)
30. Leonov S. V., Butuzova Yu. P. Analiz napryazhenij, vznikavshih v sledovospriimauschem materiale pri vnedrenii kolyusche-rezhushchego predmeta // Sud. med. ekspertiza. – 2013. – № 2. – 19–21. (In Russian)
31. Shakir'yanova Yu. P. Sudebno-meditsinskaya otsenka vliyaniya skosa lezviya klinka na morfologiyu koloto-rezanogo povrezhdeniya // Avtoreferat dissertatsii kand. med. nauk. – Moskva. – 2013. – 22 s. (In Russian)
32. Leonov S. V., Butuzova Yu. P., Finkil'shtein V. T. Ispol'zovanie metoda konechnyh elementov pri modelirovanii protsessa formirovaniya koloto-rezanyh povrezhdenij // Meditsinskaya ekspertiza i pravo. – 2013. – № 1. – 29–32. (In Russian)
33. Butuzova Yu. P., Leonov S. V. Osobennosti otobrazheniya «zony ostriya» klinka nozha v morfologii koloto-rezanyh povrezhdenij tkanei. // Izbrannie voprosy sudebno-meditsinskoj ekspertizy i patologicheskoi anatomii. Vyp. 12. Habarovsk. – 2012. – 32–35. (In Russian)
34. Kislov M. A. Ispol'zovanie trehmernogo matematicheskogo modelirovaniya metodom konechnyh elementov dlya otsenki mehanizma obrazovaniya koloto-rezanogo povrezhdeniya // systemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskih sistemah. – M, 2015. – T.14. – №3. – 549–553. (In Russian)
35. Kislov M. A., Leonov S. V. . Mehanizm razrusheniya kostnoi tkani pri ostroi travme // systemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskih sistemah. – Moskva, 2016. – T.15. – №3. – 521–525. (In Russian)
36. Kislov M. A. Prognozirovanie razrusheniya koloto-rezanyh povrezhdenij ploskih kostei s uchetom matematicheskogo modelirovaniya metodom konechnyh elementov // systemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskih sistemah. – M, 2015. – T.14. – №2. – 303–307. (In Russian)
37. Kislov M. A. Otsenka mehanizma treschinoobrazovaniya v kosti pri skvoznom kraevom koloto-rezanom povrezhdenii s pomosh'yu matematicheskogo modelirovaniya // systemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskih sistemah. – Moskva, 2015. – T.14. – №4. – 791–795. (In Russian)
38. Kislov M. A. Primenenie metoda konechnyh elementov dlya prognozirovaniya razrusheniya kostnoi tkani // Mezhdisciplinarnie issledovaniya v oblasti matematicheskogo modelirovaniya i informatiki. Materialy 7-i nauchno-prakticheskoi internet-konferentsii. 30–31 marta 2016 g. / otv. red. Yu. C. Nagornov. – Ulyanovsk: ZEBRA, 2016. – 60–65. (In Russian)
39. Kislov M. A., Klevno V. A. . Ispol'zovanie trehmernogo matematicheskogo modelirovaniya dlya prognozirovaniya razrusheniya v sluchayah koloto-rezanyh povrezhdenij ploskih kostei // Meditsinskaya ekspertiza i pravo. M, 2016. – №1. – 31–34. (In Russian)
40. M. A. Kislov, V. A. Klevno. Sudebno-meditsinskaya fraktologiya koloto-rezanoy travmy // Meditsinskaya ekspertiza i pravo. M, 2016. – №.3 – 46–48. (In Russian)

◇ REFERENCES

26. Leonov S. V., Pinchuk P. V., Krupin K. N., Shakir'yanova Yu. P. Sovremennye i perspektivnye metody vizirovaniya i modelirovaniya pri rekonstruktsii obstoyatel'stv proisshestviya. Izbrannie voprosy sudebno-meditsinskoj ekspertizy. – Habarovsk, 2016, vyp. 15. – 134–146. (In Russian)

41. K.N. Krupin, M.A. Kislov. Primenenie metoda konechno-elementarnogo analiza v sovremennoi sudebno-meditsinskoj praktike // Sudebnaya meditsina. – M, 2017. – Т. 3. – №1. – 120. (In Russian)
42. Leonov S. V., Kislov M.A. Matematicheskoe modelirovanie avtomobil'noi travmy metodom konechnykh elementov (sluchai iz praktiki) // Aktual'nie voprosy mediko-kriminalisticheskoi ekspertizy: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya. Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyaschennoi 50-letiyu MKO BSME Moskovskoi oblasti. – Samara, 2013. – 184–192. (In Russian)
43. Leonov S. V., Butuzova Yu.P. Analiz napryazhenij, vznikavshih v sledovospriimavshem materiale pri vnedrenii kolyusche-rezhushchego predmeta // Sud. med. ekspert. – 2013. – № 2. – 19–21. (In Russian)
44. Leonov S. V. Differentsial'naya diagnostika rublennykh povrezhdenij kozhi i ploskikh kostei cherepa po priznaku ostroty lezviya // Dissertatsia doktora med. nauk. – Moskva. – 2007. – 250. (In Russian)
45. Pigolkin Yu.I., Dubrovin I.A., Leonov S.V., Mihailenko A.V., Dubrovin A.I., Zotkin D. A. Sovremennoe predstavlenie o mehanizme formirovaniya ognestrel'nogo pereloma // Sud. med. ekspertiza. – 2013. – № 6. – 4–8. (In Russian)
46. Leonov S.V., Pinchuk P.V., Krupin K.N., Panfilov D. A. Matematicheskoe modelirovanie travmiruyushchego vozdeistviya na bol'shebertsovuyu kost' dlya otsenki obrazovaniya pereloma // Sud. med. ekspertiza. – 2017. – № 2. – 11–13. (In Russian)
47. Leonov S.V., Pinchuk P.V., Krupin K.N., Panfilov D. A. Differentsial'naya diagnostika uslovij obrazovaniya pereloma metodom matematicheskogo modelirovaniya // Meditsinskaya ekspertiza i pravo. – 2017. – № 1. – 24–28. (In Russian)
48. Pinchuk P.V., Krupin K.N., Panfilov D. A. Matematicheskoe modelirovanie slozhnonapryazhennogo sostoyaniya bol'shebertsovoi kosti dlya otsenki haraktera pereloma // Meditsinskaya ekspertiza i pravo. – 2016. – № 6. – 42–46. (In Russian)
49. Shakir'yanova Yu.P., Leonov S.V., Pinchuk P. V. Opyt usovershenstvovaniya metoda kraniofatsial'noi diagnostiki pri reshenii zadach identifikatsii // Meditsinskaya ekspertiza i pravo. – 2017. – № 1. – 15–18. (In Russian)
50. Potan'kina T.V., Fedorova A.S., Shishkin Yu. Yu. Primenenie 3D-skanirovaniya i modelirovaniya dlya ustanovleniya mehanizma obrazovaniya povrezhdenij shei. Materialy mezhdunarodnogo kongressa i nauchno-prakticheskoi shkoly «Aktual'nie voprosy sudebnoi meditsiny i ekspertnoi praktiki-2017» 12–14 aprelya 2017 goda. – Moskva, 2017. Том 3. – 115–116. (In Russian)

---



---

Для корреспонденции

**ПОПОВ Валерий Александрович** – к.м.н., начальник отдела (организационно-планового и методического), врач – судебно-медицинский эксперт ФГКУ «111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз» Минобороны России • 105229, г. Москва, Госпитальная площадь, д. 3 • +7(499) 263–55–55, доб. 46–56; 7(926) 692–54–30 • bounty@bk.ru. {SPIN-код: 2645-1168, AuthorID: 219758}

**САМЧУК Виктор Владимирович** – к.м.н., начальник отдела судебно-медицинской экспертизы – врач – судебно-медицинский эксперт ФГКУ «111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз» Минобороны России ФГКУ • 105229, г. Москва, Госпитальная площадь, д. 3 • +7 (499) 263–55–55, доб. 46–84; +7 (916) 215–98–33 • viktor-samchuk@mail.ru.