

▶ <https://doi.org/10.19048/2411-8729-2020-6-1-4-13>



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СУДЕБНО-МЕДИЦИНСКИХ ЭКСПЕРТНЫХ ЗАДАЧ: BIM-ТЕХНОЛОГИЯ И 4D-МОДЕЛИРОВАНИЕ

С. В. Леонов^{1,2*}, Ю. П. Шакирьянова^{1,2}, П. В. Пинчук^{1,3}

¹ ФГКУ «111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз» Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье приведен обзор основных методов трехмерного моделирования, используемых в настоящее время в различных областях науки и практики, включая судебную медицину. Описаны возможности использованных методов. Введено понятие BIM-технологии, позволяющей комплексно применять различные методы, работающие в среде трехмерного пространства: от фотограмметрии и компьютерной томографии до визирования и моделирования САПР. Приведен случай практического использования BIM-технологии в рамках практической работы судебно-медицинского эксперта. Показаны возможности дополнения и расширения модели во времени в рамках единого информационного поля (4D-моделирование).

На примере конкретной экспертизы показано, в рамках каких исследований возможно использовать созданную BIM-модель, какие вопросы могут быть решены с ее помощью. Для достижения поставленной цели проводилось исследование данных компьютерной томографии с последующей реконструкцией трехмерной модели черепа с повреждением; проведен анализ следов крови с последующим трехмерным моделированием обстоятельств на месте происшествия, в рамках реконструкции применен метод фотограмметрии, метод конечно-элементного анализа и визирование траекторий выстрелов.

Примененные в рамках проведенной ситуационной медико-криминалистической экспертизы BIM-технологии позволили успешно решить интересующие следователя вопросы: определить механизм образования следов крови, расположение источника кровотечения; определить траектории полетов огнестрельных снарядов и их элементов; провести реконструкцию обстоятельств происшествия; установить положение стрелявшего; выполнить прогнозирование разрушения стекла под воздействием пули.

Заключение. Новые компьютерные технологии (BIM-технология и 4D-моделирование) являются дальнейшим развитием трехмерного моделирования, и внедрение их в экспертную практику позволит создавать единое информационное поле для всех подлежащих исследованию объектов, максимально объективно прорабатывать все возможные следственные версии криминальных событий.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, BIM-технологии, 4D-моделирование, компьютерная томография, фотограмметрия

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Леонов С. В., Шакирьянова Ю. П., Пинчук П. В. Перспективы развития трехмерного моделирования для решения судебно-медицинских экспертных задач: BIM-технология и 4D-моделирование. *Судебная медицина*. 2020;6(1):4–13. <https://doi.org/10.19048/2411-8729-2020-6-1-4-13>

Поступила 08.10.2019

Принята после доработки 28.11.2019

Опубликована 28.03.2020

DEVELOPMENT PROSPECTS OF 3D MODELLING IN FORENSIC MEDICINE: BIM-TECHNOLOGY AND 4D MODELLING

Sergey V. Leonov^{1,2*}, Yulia P. Shakiryanova^{1,2}, Pavel V. Pinchuk^{1,3}

¹ 111th Main State Centre for Forensic Medical and Criminalistic Examinations, Moscow, Russian Federation

² A. I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

³ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

Abstract. The present article provides an overview of the main methods of three-dimensional modelling currently used in various fields of science and practice, including forensic medicine. The possibilities of used methods are described.

The authors introduce the concept of BIM-technology, which allows various methods working in 3D to be applied comprehensively: from photogrammetry and computed tomography to line-of-sight and CAD modelling. The article presents a case involving practical application of BIM-technology within the practical work of a forensic expert. The possibilities of supplementing and expanding the model over time within a single information field (4D modelling) are shown.

Using the example of a specific examination, it is shown for which studies the created BIM-model can be employed, as well as what issues can be solved with its help. To that end, CT data was studied with the subsequent reconstruction of the 3D model of the damaged skull; blood traces were analysed with the subsequent 3D modelling of circumstances at the scene. The following methods were used for the reconstruction: photogrammetry, the finite element method and line-of-sight modelling of gunshot trajectories.

Applied within a situational forensic medical examination, BIM-technologies successfully provided answers to the investigator's questions: mechanism underlying the formation of blood traces; location of the bleeding source; trajectories of projectiles and their elements; circumstances of the occurrence; position of the shooter; prediction of glass breakage caused by a bullet.

Conclusion. New computer technologies (BIM-technology and 4D modelling) constitute the next step in the development of three-dimensional modelling. Their introduction into the practice of experts will help create a single information field for all objects under study, as well as consider all possible investigative leads as objectively as possible.

Keywords: three-dimensional modelling, BIM-technologies, 4D modelling, computed tomography, photogrammetry

Conflict of interest: the authors declare no apparent or potential conflicts of interest.

Funding: the study had no sponsorship.

For citation: Leonov S. V., Shakiryanova Yu. P., Pinchuk P. V. Development Prospects of 3D Modelling in Forensic Medicine: BIM-Technology and 4D Modelling. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2020;6(1):4-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.19048/2411-8729-2020-6-1-4-13>

Submitted 08.10.2019

Revised 28.11.2019

Published 28.03.2020

На протяжении 15 лет нами проводятся судебно-медицинские экспертизы с применением трехмерного моделирования (рис. 1) [1]. На первом этапе внедрения виртуального моделирования в повседневную практику работы эксперта трехмерные модели (далее — 3DM) использовались для повышения наглядности заключения. Безусловно, качественно прорисованные модели людей, участников криминального события, установленные соотношения обстоятельствам травмирования, возможность подачи материала с любого ракурса значительно увеличивали качество иллюстративности заключений. Применение 3DM привело к экономии рабочего времени: высокая информативность подачи материала обеспечила снижение числа допросов эксперта как на этапе предварительного расследования, так и в судебных слушаниях.

Дальнейшее увеличение производительности персональных компьютеров и программного обеспечения привело к тому, что разрабатываемые модели стали более точными, качественными, а следовательно, и наглядными. Кроме этого, все большее вовлечение современной жизни в виртуальное пространство (строительные и обучающие программы, архитектурный, ландшафтный дизайн, фильмы, игры) привело к тому, что в сети Интернет можно получить любую трехмерную модель: от машины или образца оружия до здания, обстановки квартиры и т.д. Естественно, это дало толчок к развитию специализированных судебно-медицинских программ. Так, в рамках проведения кранио-фациальной идентификации С. С. Абрамовым и соавторами был создан аппаратно-программный комплекс, позволяющий осуществлять сравнительное исследование двухмерной фотографии с трехмерной моделью черепа [2].

Широкое применение виртуального пространства и 3D-моделирования началось при производстве баллистических экспертиз и при визировании [3, 4].

Прекрасные результаты нами были получены при проведении реконструкции криминального события по следам крови в рамках ситуационных медико-крими-

налистических экспертиз. В частности, использование трехмерного пространства позволило позиционировать источник кровотечения, а значит и жертву, с высокой точностью [5]. Сложность проведения таких экспертиз объяснялась не только многообъектностью исследования, но и необходимостью самостоятельно рисовать или комбинировать из готовых элементов обстановку помещения, в котором произошло происшествие (рис. 2).

Лазерное сканирование в силу дороговизны, необходимости использования нескольких сканеров для различных объектов применения в отечественной судебно-медицинской экспертизе не нашло.

Метод создания трехмерных моделей на базе цифровых фотографий заслуженно снискал уважение у судебных-медицинских экспертов, научных работников и следственных органов [6].

Возможность создавать трехмерную модель помещения, в котором развивались криминальные события, и вводить в трехмерное пространство виртуальный манекен, безусловно, повысила доказательность экспертизы (рис. 3а, б) [5, 7].

Следующая область применения трехмерных моделей — расчет и прогнозирование разрушений в рамках использования систем автоматизированного проектирования (далее — САПР). В рамках решения научных и практических задач нами проводилось моделирование сложного-напряженного состояния состояния бедренной кости при изгибе, сочетающемся с кручением, внедрения различных вариантов острых предметов в ткани, распределение газопороховой струи и т.д.¹ [8–10].

Возможность импортировать оригинальные файлы компьютерной томографии (далее — КТ) в среды проектирования и моделирования разрушений позволила проводить математическое моделирование мак-

¹ Леонова Е. Н. Морфология разрушения диафизов длинных трубчатых костей под воздействием острого индентора при различных условиях опирания: Автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.03.05. М., 2009. 22 с.

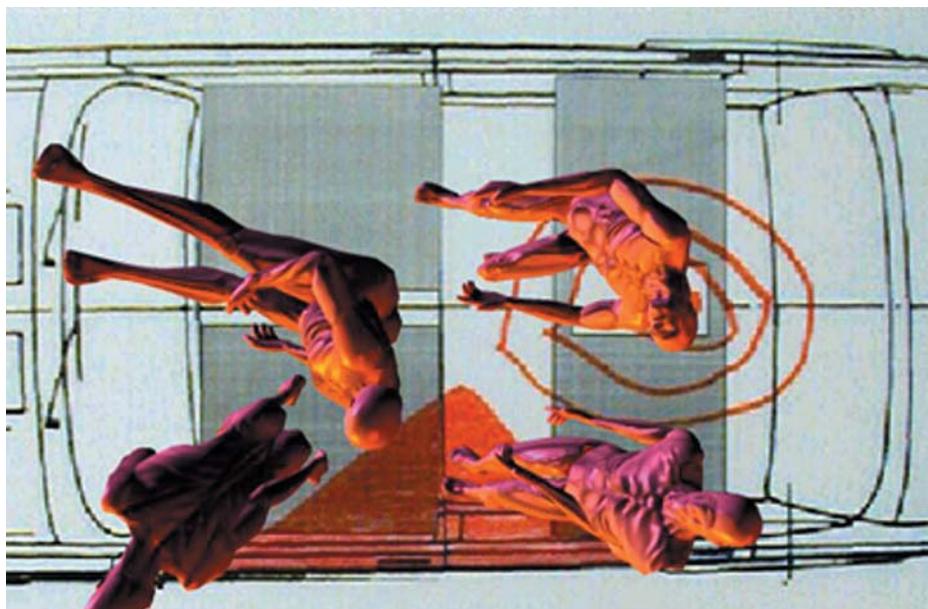
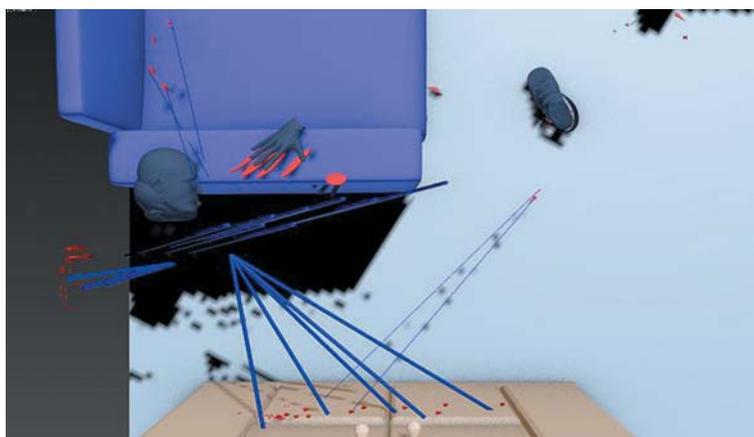
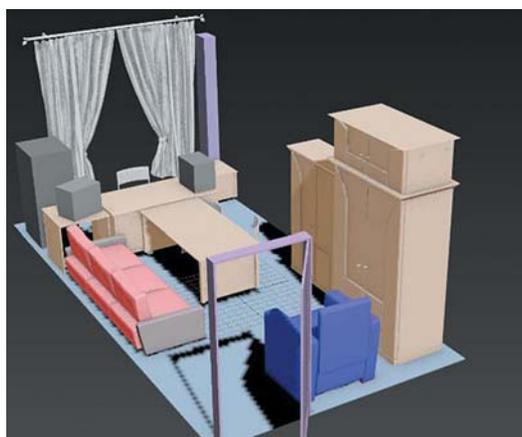


Рис.1. Реконструкция травмы внутри салона автомобиля
Fig. 1. Reconstruction of the injury sustained inside the car



а

б

Рис. 2. Экспертиза следов крови: а — реконструированное помещение, б — реконструкция с механогенезом следов крови
Fig. 2. Examination of blood traces: а — реконструированное помещение, б — реконструкция с механогенезом следов крови



а

б

Рис. 3. Экспертиза следов крови, реконструкция изменения положения тела (а) и перемещения жертвы (б)
Fig. 3. Examination of blood traces, reconstruction of changes in the position of the body (а) and victim's movements (б)

симально приближенно к оригиналу. Так, в рамках решения практической ситуационной задачи нами использовались «DICOM» файлы КТ потерпевшего. Решая вопрос об условиях формирования перелома в заданных следователем условиях, мы осуществляли моделирование разрушения большеберцовой кости, конфигурация которой была идентична кости потерпевшего (рис. 4а–в) [11, 12].

Применение томографии в судебной медицине получило название виртопсии, данный высокоэффективный неинвазивный метод диагностики в последние годы получает все большее распространение [13–17].

Проведенный литературный поиск показал, что трехмерные модели нашли широкое применение как в науке, так и в практике судебной медицины. Однако полученные данные существуют разрозненно, не связаны друг с другом и реализуются только в каком-то достаточно узком сегменте экспертного или научного поиска.

Если обратиться к современным техническим дисциплинам, таким как архитектура, строительство, проектирование, то можно обратить внимание на следующий факт: множественные трехмерные решения узких задач стали объединяться и формировать информационную модель. В зависимости от производителя программного обеспечения эти модели именуется BIM-технологиями (Autodesk), 4D-моделями (Bentley).

Суть BIM-технологии (building information modeling — технологии информационного моделирования) достаточно проста: на одной платформе создается модель, в которую вносятся данные, объединяющие все архитектурно-планировочные, конструктивные и инженерные решения с отражением всех технико-экономических показателей. Для облегчения работы со сложными объектами применяется трехмерная визуализация проектных данных в различных комплексах виртуальной реальности.

Например, получив доступ к BIM-модели, можно посмотреть, как проходят электропроводка, канализация, водоснабжение, вентиляция, железобетонные конструкции. Программа решает вопросы наслоений, нестыковок, прочих коллизий инженерных систем и коммуникаций на этапе проектирования, а не при строительстве или после

сдачи объекта в эксплуатацию. Трехмерная визуализация упрощает обнаружение коллизий.

BIM-технология обеспечивает автоматизированную выгрузку в электронном виде проектной документации, результатов инженерных и прочих изысканий, отчетных документов по запросам контролирующих органов. Проведение виртуального тура по объекту с использованием визуализации в виртуальной реальности позволяет оценить проект в условиях, приближенных к реальным.

BIM-технология позволяет дополнять проект в условиях реального времени, внося лирические решения, фазы строительства и т.д. Как результат, формируется 4D-модель, которая в реальном времени отражает всю информацию об объекте.

Работая с трехмерными объектами в рамках решения практических задач, мы пришли к выводу, что применение и использование BIM-технологий в судебно-медицинской экспертизе возможно: объединение данных BIM-технологий с другими экспертными и следственными данными обеспечивает возможность получения полноценной BIM-модели криминального события. В качестве примера приведем следующее практическое наблюдение.

В рамках производства ситуационной медико-криминалистической экспертизы необходимо было решить вопрос о возможности нахождения гр. Ш. на переднем пассажирском сиденье автомобиля, который был расстрелян из охотничьего карабина во время остановки на перекрестке.

Нами применены следующие 3D-технологии.

1. Реконструкция повреждений костей черепа по данным КТ (рис. 5а). Созданный трехмерный объект перенесен в среду программы «Autodesk Inventor» (рис. 5б).

Созданную модель возможно использовать при САПР расчетах по оценке и прогнозированию характера разрушения, например оценить характер и объем деформации кости при ударе полубололочным снарядом.

2. Реконструкция траекторий полета брызг крови. Были изучены фототаблицы ранее проведенных по данному уголовному делу экспертиз и по этим данным выполнена трехмерная реконструкция следов крови на различных деталях и элементах салона автомобиля (рис. 6а, б).

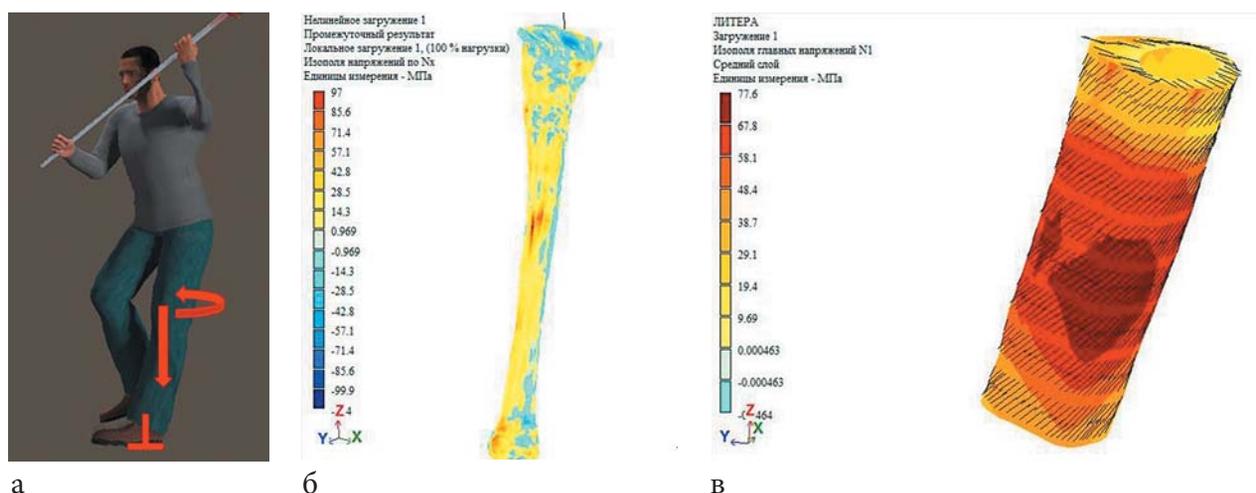
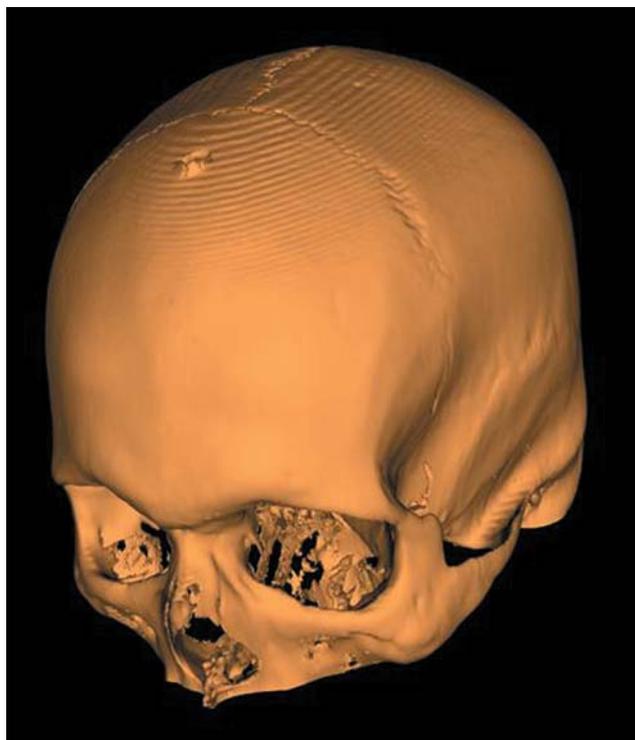


Рис. 4. Математическое моделирование перелома голени: а — расстановка сил и фиксаций в модели, б — максимальные растягивающие главные напряжения в большеберцовой кости, в — главные напряжения на границе верхней и средней трети голени с указанием направлений главных осей напряжений на наружной поверхности большеберцовой кости
Fig. 4. Mathematical modelling of a shin fracture: a — alignment of forces and fixations in the model, б — maximum tensile principal stresses in the tibia, в — principal stresses at the border of the upper and middle third of the tibia with the directions of the principal stress axes on the outer surface of the tibia



а



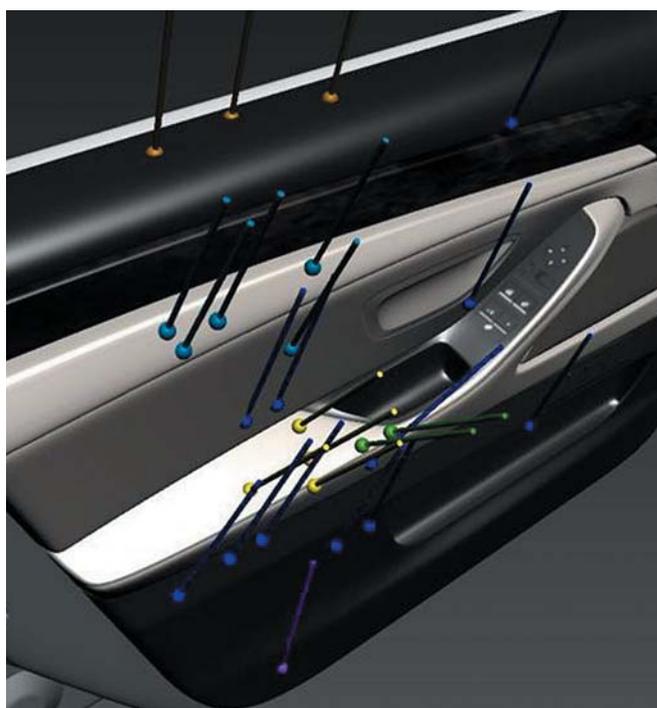
б

Рис. 5. Трехмерная модель черепа с входным огнестрельным повреждением лобной кости: созданная в программе «InVesalius» (а) и экспортированная в среду «Autodesk Inventor» (б)

Fig. 5. Three-dimensional model of the skull having a gunshot entry damage to the frontal bone created in the program “InVesalius” (a) and exported to the “Autodesk Inventor” environment (б)



а



б

Рис. 6. Разметка ранее выполненной фототаблицы и определение углов падения брызг крови (а), трехмерная модель водительской двери с траекториями падения брызг крови (б)

Fig. 6. Marking of the previously made photo table and the determination of blood spatter angles (а), a three-dimensional model of the driver’s door with the trajectories of blood spatter (б)

Для моделирования использована полученная из интернет-ресурса модель автомобиля, которая по метрическим параметрам была приведена к оригинальным размерам автомобиля, а соответствие особенностей строения было верифицировано по фототаблицам осмотра места происшествия.

Полученные данные суммировались, и в результате была получена суммарная модель траекторий брызг крови, оставивших следы в салоне автомобиля (рис. 7).

3. Реконструкция траекторий полетов огнестрельных снарядов и их элементов выполнена по данным проведенной баллистической экспертизы. Широкие возможности виртуальной среды позволяют делать объекты полупрозрачными, обеспечивая максимальную визуализацию (рис. 8).

4. Позиционирование источника кровотечения в пространстве с учетом анатомических особенностей жертвы, оригинального ранения и траекторий выстрелов.

На основе фотографии трупа потерпевшего было модифицировано тело трехмерного манекена в соответствии с оригинальными особенностями тела потерпевшего. В оригинале можно было методом фотограмметрии получить оригинальную модель трупа и, применив специальный оператор (например, в программе 3DS Max, оператор bone), обеспечить необходимый объем движений трехмерной модели человека. Однако, поскольку повреждений на туловище и конечностях не имелось, а жертва после ранения не перемещалась, целесообразности создавать эту модель не было.

Трехмерному манекену была придана поза, которая была зафиксирована при осмотре трупа на месте происшествия, модель по росту соответствовала оригиналу. Туловище и шея манекена сгибались, изменением положения головы добивались соответствия траектории

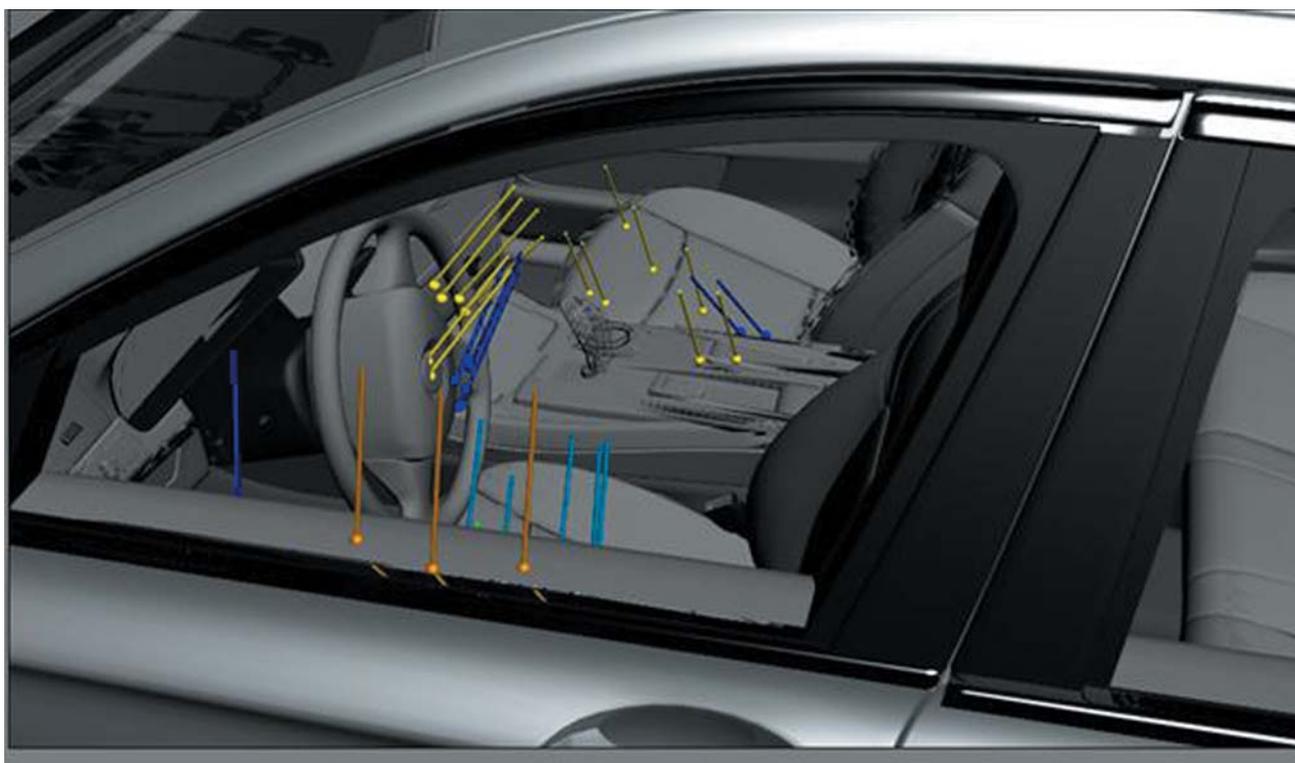
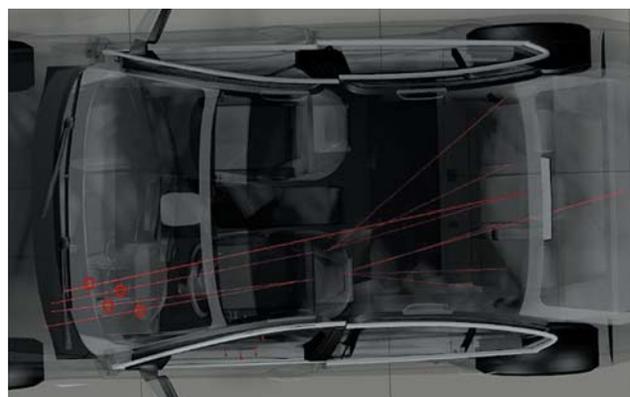


Рис. 7. Суммарная модель траекторий брызг крови, оставивших следы в салоне автомобиля

Fig. 7. Summary model of the trajectories of blood spatter that left traces in the car



а



б

Рис. 8. Модель траекторий полетов огнестрельных снарядов: вид спереди (а) вид сверху (б)

Fig. 8. Model of projectile trajectories: front view (a) top view (б)

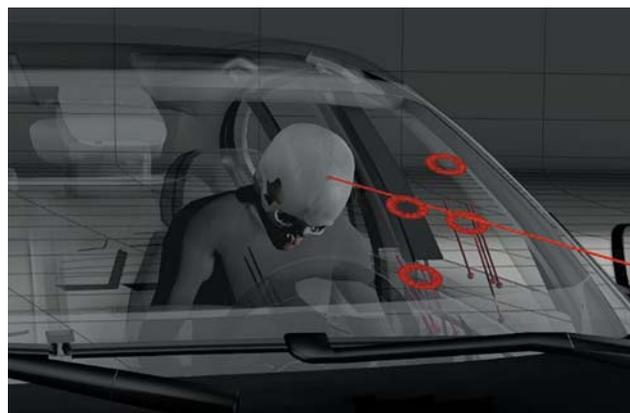
полета снаряда и траекторий распространения брызг из входного огнестрельного ранения (рис. 9а). При этом учитывались размеры фокуса выброса крови из оригинального ранения [18]. Для обеспечения максимальной информативности созданной ВМ модели в трехмерное пространство была внесена модель черепа, полученная при топографическом исследовании (рис. 9б).

5. Позиционирование модели на месте происшествия, определение положения стрелявшего.

Позиционирование проведено по данным осмотра места происшествия. Модель получена методом фотограмметрии при помощи облета места происшествия имеющимся в распоряжении экспертов квадрокопте-

ром Phantom 4. Полученная видеозапись при облете импортирована в программу Context Capture (Bentley). По полученным данным модель места происшествия была максимально упрощена до схемы для обеспечения только значимых для следователя участков местности — для производства визирования и определения положения стрелявшего (под деревом обнаружен охотничий карабин «Сайга» и нитяные перчатки) (рис. 10).

6. При производстве экспертизы выполнено прогнозирование разрушения пулями созданной информационной экспертной модели лобового стекла автомобиля в рамках определения характера деформации исследуемого объекта с использованием метода конечных элементов и спе-



а

б

Рис. 9. Моделирование смертельного ранения в голову с учетом траектории полета снаряда, траекторий выброса брызг крови и раневого канала: а — вид слева, б — вид спереди с видимой КТ-моделью черепа

Fig. 9. Modelling of a fatal wound to the head considering the trajectory of the projectile, the trajectory of blood spatter and permanent cavity: а — left view, б — front view with a visible CT model of the skull

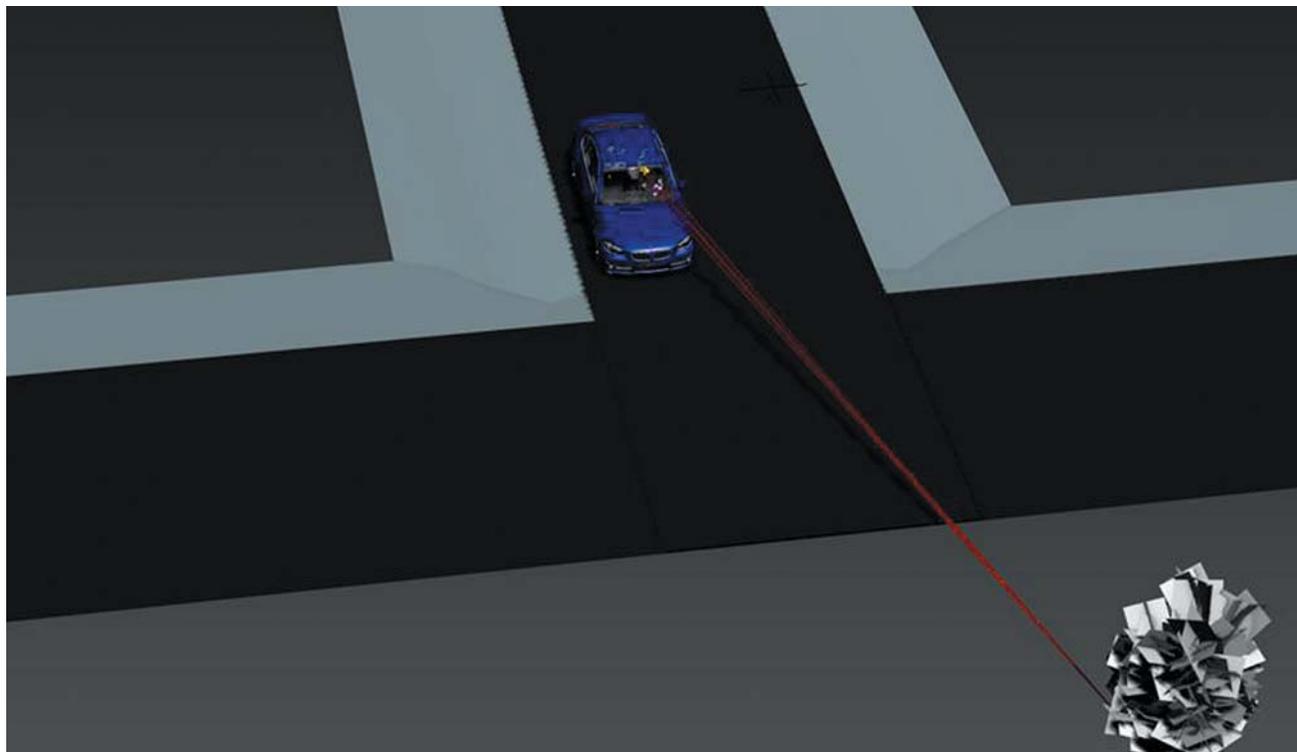
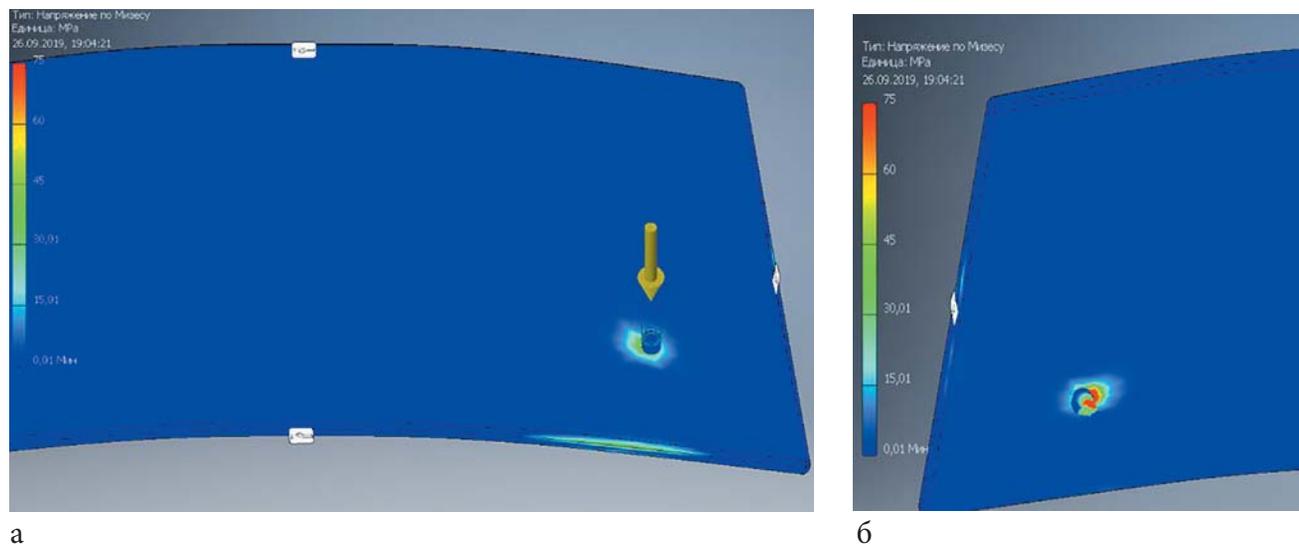


Рис. 10. Визирование положения стрелявшего

Fig. 10. Line-of-sight modelling of the shooter's position



а
б
Рис. 11. Напряжения по Мизесу на лобовом стекле автомобиля при внедрении в него пули: а — вид снаружи, б — вид изнутри
Fig. 11. Von Mises stress on the windshield of the car upon the bullet entering it: а — view from the outside, б — view from the inside

циализированной компьютерной программы «Autodesk Inventor» (рис. 11а, б) [19]. В случае необходимости с помощью созданной модели возможно было проведение краниофациальной идентификации реконструированной модели черепа по оригинальным фотографиям, идентификации травмирующих предметов (в случае наличия слеодообразующих объектов и следов-повреждений).

Примененные в рамках проведенной ситуационной медико-криминалистической экспертизы 3D-технологии позволили успешно решить интересующие следователя вопросы:

- определить механизм образования следов крови, расположение источника кровотечения;
- определить траектории полетов огнестрельных снарядов и их элементов;
- провести реконструкцию обстоятельств происшествия;
- установить положение стрелявшего;
- выполнить прогнозирование разрушения стекла под воздействием пули.

Таким образом, полагаем, что новые компьютерные технологии, такие как BIM-технология и 4D-моделирование, являются дальнейшим развитием активно применяемого в судебной медицине трехмерного моделирования исследуемых объектов и обстановки места происшествия. Внедрение в экспертную практику указанных технологий позволит создавать единое информационное поле для всех подлежащих исследованию объектов, максимально объективно прорабатывать все возможные следственные версии криминальных событий, значительно повысит наглядность и доказательность проводимых медико-криминалистических экспертиз в профильных экспертных подразделениях государственных судебно-экспертных учреждений.

◇ ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Леонов С. В. Методика проведения ситуационных экспертиз при решении вопросов расположения внутри салона автомобиля. *Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы*. 2003;(6):65–70. [Leonov S. V. Methodology of situational expertise for solving issues of arrangement inside a car. *Izbrannyye voprosy sudebno-meditsinskoi ekspertizy*. 2003;6:65–70. (In Russ.)]
2. Абрамов С. С., Башхаджиев Н. Х., Романько Н. А., Абрамов А. С. Использование видеоизображений в экспертизе идентификации личности. *Теория и практика судебной экспертизы*. 2007;7(3):77–85. [Abramov S. S., Bashkhadzhev N. Kh., Roman'ko N. A., Abramov A. S. Using video content for examining identification of personality. *Teoriya i praktika sudebnoi ekspertizy*. 2007;7(3):77–85. (In Russ.)]
3. Леонов С. В., Пинчук П. В. Установление места положения стрелявшего методом трехмерного моделирования. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2016;59(3):38–40. [Leonov S. V., Pinchuk P. V. Determining the shooting location by three-dimensional modeling. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2016;59(3):38–39. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/sudmed201659338-39>
4. Макаров И. Ю., Леонов С. В., Евтеева И. А. Возможности трехмерного моделирования как метода ситуационной реконструкции механизма огнестрельной травмы. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2013;56(1):4–9. [Makarov I. Yu., Leonov S. V., Evteeva I. A. The potential of three-dimensional simulation as the method for situational reconstruction of the gunshot injury mechanism. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2013;56(1):4–9. (In Russ.)]
5. Пиголкин Ю. И., Леонов С. В., Леонова Е. Н. Реконструкция обстоятельств происшествия по следам крови методом трехмерного моделирования. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2016;59(4):25–28. [Pigolkin Yu. I., Leonov S. V., Leonova E. N. The reconstruction of the occurrence circumstances from the analysis of blood stains with the use of the three-dimensional modeling technique. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2016;59(4):25–27. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/sudmed201659425-27>
6. Шакирьянова Ю. П., Леонов С. В., Пинчук П. В. Проблемы внедрения новых источников цифровой информации в судебной медицине. *Современное состояние и перспективы развития судебной медицины и морфологии в условиях становления Евразийского экономического союза: Сборник научных трудов*. Бишкек, 2019. С. 209–217. [Shakir'yanova Yu. P., Le-

- onov S. V., Pinchuk P. V. Problemy vnedreniya novykh istochnikov tsifrovoi informatsii v sudebnoi meditsine [Issues of introducing new sources of digital information in forensic medicine]. In: *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya sudebnoi meditsiny i morfologii v usloviyakh stanovleniya Evraziiskogo ekonomicheskogo soyuza: Sbornik nauchnykh trudov* [Current status and development prospects of forensic medicine and morphology in the context of establishment of the Eurasian Economic Union. Collection of scientific papers]. Bishkek, 2019. P. 209–217. (In Russ.)]
7. Леонов С. В., Пинчук П. В. Судебно-медицинская характеристика повреждений у пешехода при переднекраевом наезде автомобиля. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2016;59(4):21–24. [Leonov S. V., Pinchuk P. V. The forensic-medical characteristic of the injuries inflicted to a pedestrian in a road traffic accident by the vehicle in the side and front impact position. *Forensic Medical Expertise*. 2016;59(4):21–24. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/sudmed201659421-24>
 8. Леонов С. В., Бутузова Ю. П., Финкельштейн В. Т. Использование МКЭ при моделировании процесса формирования колото-резаных повреждений. *Медицинская экспертиза и право*. 2013;(1):29–32. [Leonov S. V., Butuzova Yu. P., Finkel'shtein V. T. Use of the Finite Element Analysis when modelling the process of the formation of stab wounds. *Meditinskaya ekspertiza i pravo*. 2013;1:29–32. (In Russ.)]
 9. Леонов С. В., Бутузова Ю. П. Анализ напряжений, возникающих в следовоспринимающем материале при внедрении колюще-режущего предмета. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2013;56(2):19–21. [Leonov S. V., Butuzova Yu. P. Analysis of stresses developing in the evidence-bearing material affected by a bladed article. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2013;56(2):19–21. (In Russ.)]
 10. Леонов С. В., Пинчук П. В., Крупин К. Н. Математическое моделирование выстрела газопороховой струи при выстреле из ствола типа EVO. *Вестник судебной медицины*. 2017;6(2):8–11. [Leonov S. V., Pinchuk P. V., Krupin K. N. Mathematical modelling of a gas-powder stream shot from a trunk like EVO. *Vestnik sudebnoi meditsiny*. 2017;6(2):8–11. (In Russ.)]
 11. 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):24–29. [Leonov S. V., Pinchuk P. V., Krupin K. N., Panfilov D. A. Differential diagnostics of conditions of formation of fracture by method of mathematical modelling. *Meditinskaya ekspertiza i pravo*. 2017;1:24–29. (In Russ.)]
 12. Пинчук П. В., Леонов С. В., Крупин К. Н., Панфилов Д. А. Математическое моделирование травмирующего воздействия на большеберцовую кость для оценки условий образования перелома. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2017;60(2):11–13. [Pinchuk P. V., Leonov S. V., Krupin K. N., Panfilov D. A. The mathematical modeling of the injurious impact on the tibial bone for the evaluation of the conditions leading to its fracture. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2017;60(2):11–13. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/sudmed201760211-13>
 13. Дадабаев В. К. Дополнительный метод исследования в судебно-медицинской экспертной деятельности. *Тверской медицинский журнал*. 2015;(5):8–21. [Dadabaev V. K. Additional method of research in medicolegal expert activity. *Tverskoi meditsinskii zhurnal*. 2015;5:8–21. (In Russ.)]
 14. Фетисов В. А. Посмертная томография в исследованиях швейцарских судебных медиков и рентгенологов в проекте «виртопсия». *Эксперт-криминалист*. 2016;(4):28–32. [Fetisov V. A. Postmortem Tomography in Examinations of Swiss Forensic Doctors and Radiologists under the “Virtopsy” Project. *Ekspert-kriminalist*. 2016;4:28–32. (In Russ.)]
 15. Ковалев А. В., Кинле А. Ф., Коков Л. С., Синицын В. А., Фетисов В. А., Филимонов Б. А. Реальные возможности посмертной лучевой диагностики в практике судебно-медицинского эксперта. *Consilium Medicum*. 2016;18(13):9–25. [Kovalev A. V., Kinle A. F., Kokov L. S., Sinitsyn V. A., Fetisov V. A., Filimonov B. A. Actual possibilities of postmortem imaging in forensic medicine practice. *Consilium Medicum*. 2016;18(13):9–25. (In Russ.)]. https://doi.org/10.26442/2075-1753_2016.13.9-25
 16. Клевно В. А., Чумакова Ю. В., Курдюков Ф. Н., Лебедева А. С., Дуброва С. Э., Ефременков Н. В. и др. Виртопсия пилотов, погибших внутри легкомоторного самолета при падении его и ударе о землю. *Судебная медицина*. 2019;(1):4–10. [Klevno V. A., Chumakova Yu. V., Kurdyukov F. N., Lebedeva A. S., Dubrova S. E., Efremenkov N. V., et al. Virtopsy of pilots died inside a light airplane when it fell and hit the ground. *Sudebnaya meditsina*. 2019;1:4–10. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.19048/2411-8729-2019-5-1-4-10>
 17. Клевно В. А., Чумакова Ю. В., Курдюков Ф. Н., Лебедева А. С., Дуброва С. Э., Ефременков Н. В. и др. Виртопсия тела девушки-подростка, погибшей при падении с большой высоты. *Судебная медицина*. 2019;(1):11–15. [Klevno V. A., Chumakova Yu. V., Kurdyukov F. N., Lebedeva A. S., Dubrova S. E., Efremenkov N. V., et al. Virtopsy of the body of a girl-adolescent died after fall from a great height. *Sudebnaya meditsina*. 2019;1:11–15. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.19048/2411-8729-2019-5-1-11-15>
 18. Comiskey P. M., Yarin A. L., Attinger D. High-Speed Video Analysis of Forward and Backward Spattered Blood Droplets. *Forensic Science International*. 2017;276(10):134–141. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.04.016>
 19. Леонов С. В., Михайленко А. В. Морфологические признаки огнестрельных повреждений плоских костей, позволяющие установить направление вращения огнестрельного снаряда. *Медицинская экспертиза и право*. 2014;(1):35–38. [Leonov S. V., Mikhailenko A. V. Morphological characteristics of flat bones fractures from gunshots that allow to establish direction of rotation if a bullet. *Meditinskaya ekspertiza i pravo*. 2014;1:35–38. (In Russ.)]

Об авторах • Authors

ЛЕОНОВ Сергей Валерьевич — д.м.н., профессор, начальник отдела медико-криминалистической идентификации ФГКУ «111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз» Минобороны России; профессор кафедры судебной медицины и медицинского права ФГБОУ ВО «МГМСУ им. А. И. Евдокимова» Минздрава России [Sergey V. Leonov, Dr. Sci. (Med.), Prof., Head of the Department of Forensic Medical Identification, 111th Main State Centre for Forensic Medical and Criminalistic Examinations; Prof., Department of Forensic Medicine

and Medical Law, A. I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry] • sleonoff@inbox.ru • {ORCID: 0000-0003-4228-8973}

ШАКИРЬЯНОВА Юлия Павловна — к.м.н., заведующая отделением медико-криминалистической идентификации ФГКУ «111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз» Минобороны России; доцент кафедры судебной медицины и медицинского права ФГБОУ ВО «МГМСУ им. А. И. Евдокимова» Минздрава России [Yulia P. Shakiryanova, Cand. Sci. (Med.), Departmental Head, Department of Forensic Medical Identification, 111th Main State Centre for Forensic Medical and Criminalistic Examinations; Assoc. Prof., Department of Forensic Medicine and Medical Law, A. I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry] • tristeza_ul@mail.ru • {ORCID: 0000-0002-1099-5561}

ПИНЧУК Павел Васильевич — д.м.н., доцент, начальник ФГКУ «111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз» Минобороны России; профессор кафедры судебной медицины ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н. И. Пирогова» Минздрава России; Главный судебно-медицинский эксперт Министерства обороны Российской Федерации, Заслуженный работник здравоохранения Российской Федерации [Pavel V. Pinchuk, Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Head of the 111th Main State Centre for Forensic Medical and Criminalistic Examinations; Prof., Department of Forensic Medicine, Pirogov Russian National Research Medical University; Chief Forensic Expert, Ministry of Defense of the Russian Federation, Honoured Health Care Worker of the Russian Federation] • pinchuk1967@mail.ru • {ORCID: 0000-0002-0223-2433}

► **Вклад авторов.** Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать. Все авторы принимали участие в разработке концепции статьи и написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы благодарны анонимным рецензентам за полезные замечания.

► **Contributions.** Authors are solely responsible for submitting the final manuscript to print. All authors participated in the development of the concept of the article and the writing of the manuscript. The final version of the manuscript was approved by all authors. The authors are grateful to anonymous reviewers for helpful comments.