

*Special Topic: Forensic Examinations – Terms and Techniques*

Modeling Methods in Forensic Engineering and Technical Expertise: Artificial Languages of Modeling in Forensics

Pavel Menshikov (✉) 

Expert agency “VITTA”, 1A-17, Tashkentskaya st., St. Petersburg, 196084, Russia

vitta.spb@mail.ru

Abstract

In forensic science, graphic, mathematical and computer models are often used for technical reconstructions and the provision, for example, of fire-technical expertise. In the field of forensic safety, simulations are used to determine the causes of accidents and whether it was possible to prevent them. Here alternative computer models produce likely versions of the incident and the possible causes of hardware failure. To the extent that these alternatives rely on certain physical laws and initial data, they offer alternatives languages to represent incidents. An example of this is provided by zone and field modeling of a fire with their varying degrees of complexity, accuracy and reliance on background assumptions. Zone models are based on mathematical relations from empirical observations, such as the stratification of fluid zones. They offer a relatively broad view of mass and energy exchanges in an enclosure. The fire is described by heat and mass release rates. After discretization, the system's two-equation closure for turbulence that constitutes the core of a zone model is solved by way of computing resources. The time evolution of the different variables in a given zone and the flows of energy and mass between two adjacent zones are then calculated. Field models are based on fundamentals of fluid mechanics and represent the application of Computational Fluid Dynamics (CFD) to fire scenarios. The environment is divided into a large number of small cells whose size must be related to the combination of geometric complexity, time discretization and the magnitude of flows passing through opposing faces of the cell. On the basis of this mesh, the fluid flows induced by a fire are calculated by applying the basic equations of fluid dynamics. Consequently, the data that are obtained from these zone and fields models of fire differ in nature, quality and quantity. Moreover, the integration of other heat transfer mechanisms requires the set up of a parallel application of sub-models that interact with the core model. Further sub-models must be integrated to take account of other phenomena that cannot be correctly represented by the core model, such as turbulence. It is evident that despite the use of formulas from fundamental physics, this does not mean that the models will fully reflect reality. Especially computer modeling is in demand in situations of uncertainty. It enables the construction not only of models of specific objects and incidents, but also a model of criminal phenomena in general. There are both local models of urban crime based on historical, geographic, demographic data and information from social networks, as well as universal systems of Agent modeling of criminal behavior. However, at the moment, the use of artificial intelligence for modeling in the field of forensic science is limited due to the lack of clarity in the process of building the model.

Keywords: Modeling; Forensics; Forensic Engineering and Technical Expertise; Artificial Language



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Специальный выпуск: Технология Криминалистики и Судебной Экспертизы

Методы моделирования в судебной инженерно-технической экспертизе: Искусственные языки моделирования в криминалистике

Павел Валентинович Меньшиков (✉) 

Экспертное агентство “ВИТТА”, Ташкентская ул., д. 1А -17, Санкт-Петербург, 196084, Россия

vitta.spb@mail.ru

Аннотация

Графические, математические и компьютерные модели часто используются в судебной строительно-технической и пожарно-технической экспертизе. В судебной экспертизе по технике безопасности моделирование используется для определения причин несчастных случаев и возможностей его предотвращения. Альтернативные компьютерные модели воспроизводят вероятные версии произошедшего случая и варианты возникновения неисправности оборудования. В той степени, в которой эти альтернативы полагаются на определенные физические законы и исходные данные, они предлагают альтернативные языки для представления инцидентов. На примере интегрального, зонного и полевого моделирования пожара прослеживаются возможности использования моделей разной степени сложности, точности и допущений. Зональные модели основаны на математических соотношениях эмпирических наблюдений, таких как стратификация флюидных зон. Они предлагают относительно широкий обзор обмена массой и энергией в помещении. Пожар рассматривается описывается скоростью выделения тепла и массы. После дискретизации закрытые системы с двумя уравнениями для турбулентности, составляющее ядро модели зоны, решается с помощью вычислительных ресурсов. Затем рассчитывается изменение во времени различных переменных в данной зоне и потоки энергии и массы между двумя соседними зонами. Полевые модели основаны на основах механики жидкости и представляют собой применение вычислительной гидродинамики (CFD) к сценариям пожаров. Окружающая среда разделена на большое количество мелких ячеек, размер которых должен зависеть от сочетания геометрической сложности, дискретности по времени и величины потоков, проходящих через противоположные грани ячейки. На основе этой сетки потоки, вызванные пожаром, рассчитываются с применением основных уравнений гидродинамики. Следовательно, данные, полученные на этих моделях зон и полей, различаются по характеру, качеству и количеству. Более того, интеграция других механизмов теплопередачи требует настройки параллельного применения подмоделей, которые взаимодействуют с моделью ядра. Дополнительные подмодели должны быть интегрированы, чтобы учесть другие явления, которые не могут быть правильно представлены базовой моделью, например турбулентность. Использование формул фундаментальных физических законов и компьютерных вычислений не означает, что модели будут полностью отображать действительность. Компьютерное моделирование оказывается особенно востребовано в ситуациях неопределенности. Строятся как локальные модели городской преступности, базирующиеся на исторических, географических, демографических данных и информации из социальных сетей, так и универсальные системы Агентного моделирования преступного поведения. Однако на данный момент использование для моделирования в области криминалистики искусственного интеллекта ограничено из-за отсутствия ясности процесса построения модели.

Ключевые слова: Моделирование; Криминалистика; Судебная инженерно-техническая экспертиза; Искусственный язык



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Методы моделирования в судебной инженерно-технической экспертизе: Искусственные языки моделирования в криминалистике

В настоящее время с появлением новых технологий метод моделирования становится одним из самых востребованных не только в судебной экспертизе, но и других областях человеческой деятельности. На сегодняшний день судебная экспертиза имеет сложную методологическую структуру, это связано с усложнением и разнообразием технологий, появляющихся в мире.

Зачастую, перед судебным экспертом ставятся задачи, решение которых требует проведения экспертного эксперимента – опыта, который произведен в специально созданных условиях для изучения того или иного явления, факта, процесса, который является необходимым для решения экспертной задачи. Не всегда возможно использовать данный метод, так как в большинстве случаев он предполагает проведение определенных действий над объектом исследования, что не всегда возможно и целесообразно. В таких случаях возможна замена реального объекта исследования специально созданной моделью.

Широкое применение метода моделирования при решении задач судебных экспертиз обусловлено необходимостью установления истины, а так как этот процесс требует применения совершенных методов и приемов и должен осуществляться на основе новых подходов при разработке моделей, используемых процессуальными субъектами, то метод моделирования является ярким примером наиболее показательного варианта удовлетворения данных требований.

Основной инженерно-технической экспертизой, используемой метод моделирования, является судебная строительно-техническая экспертиза.

Самым широко используемым видом метода моделирования в данной экспертизе является графическая модель, представляющая собой некое средство соединения всех полученных данных об объекте исследования, например, данных проведенных измерений. Графическая модель здания является планом того или иного сооружения, который отображает характеристики, необходимые для решения задач, поставленных перед судебным экспертом, например, такими характеристиками могут являться: расположение сооружений относительно какой-либо части участка земли, размеры различных сооружений, ориентация объектов исследования относительно сторон света. Графическая модель, например, позволяет узнать необходимые данные в случае ситуации, при которой новые конструкции нарушают возможность правильной эксплуатации сооружений, возведенных ранее.

Существует частный вид моделирования – реконструкция. С помощью такого вида модели можно воспроизвести необходимую часть разрушения до ее первоначального состояния и провести необходимые исследования. При реконструкции восстанавливают необходимую часть разрушенного объекта при помощи остатков разрушенного объекта или же по имеющейся в наличии информации о разрушении (Орехов Макеев и Балабин, 2019, с. 79).



Также, в судебной строительно-технической экспертизе используется компьютерное моделирование. Так называемое BIM (Building Information Model или Modeling) моделирование является новым цифровым подходом к решению задач судебной строительно-технической экспертизы. Данный вид моделирования заключается в следующем: осуществляется сбор всей информации при проектировании и строительстве объекта, с каждой новой стадией работы над объектом эта информация пополняется новыми данными. Используя эту информацию, можно предупредить те или иные ошибки при эксплуатации законченного объекта. Стоит отметить, что данная модель составляется не при производстве судебной экспертизы, а лишь помогает эксперту проводить исследования, так как содержит всю информацию по объекту. Также, с помощью данной модели эксперт может спрогнозировать то или иное состояние объекта в будущем, проводя все необходимые эксперименты на данной модели (Харченко, 2019, С. 90). Становится возможным построение трехмерной аналитической структурной модели зданий и сооружений (Bernier & Padgett, 2018)

Цифровые модели оказываются особенно востребованы в ситуации неопределенности. Например, при судебно-экспертной деятельности в рамках строительно-технической экспертизы для определения влияния ремонтно-строительных работ на техническое состояние объекта могут использоваться нейро-нечёткие модели (Pasko & Terenchuk, 2020).

Также метод моделирования имеет важную роль при решении некоторых задач судебной пожарно-технической экспертизы. С помощью моделирования эксперты определяют, как ведет себя объект экспертизы (конструкции, материалы) в условиях пожара, как изменяются. При данном методе используются различные пути получения информации из созданной модели. Наиболее часто используемым видом моделирования является математический. Математическое моделирование базируется на идеи решения задач судебных экспертиз с помощью математической задачи или системы дифференциальных уравнений, которые описывают необходимый процесс, также существует вариант создания аналогии, где аналогом выступает явление, имеющие математическое и экспериментальное обоснование.

Моделирование огня при пожаре может идти по интегральному, зонному или полевому принципу. Интегральная модель на основе системы дифференциальных уравнений позволяет оценить среднеобъемные параметры состояния среды, независимым аргументом является время. Зонные модели представляет собой математические модели и дают относительно широкое представление об обмене массой и энергией в замкнутом пространстве. Огонь рассматривается как объемный источник тепла и видов; поэтому он описывается скоростью выделения тепла и массы (Walton et al., 2016). Разделение на зоны (чаще всего конвективная колонка, припотолочный слой и зона холодного воздуха) позволяет рассчитать температуру и концентрацию различных химических веществ, которые будут меняться со временем. После дискретизации решается система уравнений, составляющая ядро зонных моделей; затем рассчитываются временные изменения различных переменных в данной зоне и потоки энергии и массы между двумя соседними зонами (Bast et al., 2018). Одной из важнейших проблем зонных моделей является необходимость априорного знания структуры течения, которые необходимо получить либо экспериментально, либо из



предварительных теоретических соображений (Novozhilov, 2001). Полевые модели основаны на основах механики жидкости и представляют собой применение вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD) к сценариям пожара. В этом случае среда делится на большое количество мелких ячеек, совокупность которых составляет вычислительную модель. Потoki газа, вызванные пожаром, рассчитываются на основании основных уравнений гидродинамики (уравнения Навье-Стокса). Интеграция других механизмов теплопередачи, участвующих в пожаре, теплопроводности и, прежде всего, излучении, требует применения подмоделей, которые взаимодействуют с основной моделью гидродинамики (McGrattan & Miles, 2016; Novozhilov, 2001). Не имея никаких априорных допущений, полевая модель может использоваться для разнообразных сценариев пожара, однако является сложной для применения.

Однако нужно понимать, что использование формул фундаментальных физических законов и компьютерных вычислений не означает, что модели будут полностью соответствовать действительности. Результаты и зонного и полевого моделирования в значительной степени сильно зависят от начальных и граничных условий, заданных первоначально экспертом (Walton et al., 2016).

Метод моделирования может использоваться в судебной экспертизе по технике безопасности при решении следующих задач: существовала ли возможность предотвратить несчастный случай (каким образом), какова непосредственная причина несчастного случая, мог ли несчастный случай произойти по данной причине, могло ли данное обстоятельство способствовать случившемуся происшествию, какой была последовательность процессов (действия/ бездействия участников данных процессов), которые явились причиной несчастного случая, возможно ли внезапное возникновение неисправности (аварийной ситуации), приведшей к несчастному случаю, была ли возможность возникновения несчастного случая при исправной работе данного оборудования, была ли возможность предотвращения (недопущения) несчастного случая и другие. Моделирование может использоваться для анализа ошибок в работе разнообразных технических устройств (Block, 2017; Colin Gagg, 2020)

Для решения вышеуказанных задач возможно использование компьютерного вида моделирования. В таком случае созданная модель (ряд моделей) будет воспроизводить вероятные версии произошедшего случая. Так, например, при ответе на вопрос о непосредственной причине произошедшего несчастного случая возможно создание ряда моделей, которые будут наглядно показывать все возможные причины. Модель может учитывать один или несколько эффектов (Bernier & Padgett, 2018). С помощью имеющихся данных и информации о конкретном происшествии возможным станет сопоставлении одной из моделей с реальным случаем.

При ответе на вопрос о возможности внезапного возникновения неисправности, приведшей к несчастному случаю, можно создать модель с учетом всех особенностей и параметров исследуемого оборудования и рассмотреть все возможные варианты возникновения неисправности оборудования на данной модели. Возможно использование машинного обучения для моделирования несчастных случаев на производстве, так (Matías et al., 2008) использовали для моделирования падений на производстве байесовские сети, а (Sarkar et al., 2019)



использовали метод опорных векторов (SVM) и искусственная нейронная сеть (ANN), с оптимизацией генетическим алгоритмом (GA) и методом роя частиц (PSO) для достижения более высокая степень точности и надежности.

Современные методы компьютерного моделирования значительно расширили возможности моделирования в forensics. Они позволяют не только отвечать на конкретные запросы, но и строить общие модели криминального поведения. Это могут быть локальные модели городской преступности, базирующиеся на исторических, географических, демографических данных и информации из социальных сетей (Kounadi et al., 2018; Malleson & Andresen, 2015; Yang et al., 2020). С середины 2000-х годов получила распространение универсальная система Агентного моделирования (Agent-based modeling (ABM)), в котором может быть реализованы разнообразные теории и подходы. В ней существует среда (например, город) и действующие агенты (люди, группы и организации), могущие представлять собой тех или иных преступников, жертв, свидетелей и полицейских с определенным набором характеристик (Groff et al., 2019; Hawdon & Ryan, 2018). В тоже время очевидно, что на данный момент использование для моделирования в области криминалистики искусственного интеллекта ограничено из-за "черного ящика" машинного обучения (Rudin, 2019)

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что, рассматривая вопрос о роли метода моделирования при решении задач судебной инженерно-технической экспертизы, необходимо рассматривать каждый род данного вида экспертизы отдельно, так как задачи некоторых из них возможно и необходимо решать с помощью метода моделирования в качестве основного и единственно подходящего метода, а задачи других решаются с помощью других, более подходящих методов, используя моделирование только в качестве дополнительного метода, а иногда и вовсе не используется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Орехов Г. В., Макеев Б. А., Балабин Ю. А. Методы математического моделирования и судебная строительно-техническая экспертиза // Журнал: Недвижимость: экономика, управление. 2019. № 2. С. 78-82
- Харченко В. Б. Использование BIM – моделей при производстве судебной строительно-технической экспертизы // Журнал: Юридическая наука. 2019. №11. С. 89-91.
- Bast W.D., Michelin R., Pavlich B., Fink L. Forensic Evaluation and Repair of Failures in 41-Story Granite Façade // Forensic Engineering 2018. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2018. P. 83–96. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784482018.009>
- Bernier C., Padgett J.E. Forensic Investigation of Aboveground Storage Tank Failures during Hurricane Harvey Using Fragility Models // Forensic Engineering 2018. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2018. P. 975–985. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784482018.094>
- Block F.E. The Role of Forensic Engineering Investigations in Medical Device Reports // Journal of Clinical Engineering. 2017. № 2(42). P. 85–88. DOI: <https://doi.org/10.1097/JCE.0000000000000208>



- Colin Gagg. Forensic Engineering: The Art and Craft of A Failure Detective. Boca Raton: CRC Press, 2020.
- Groff E.R., Johnson S.D., Thornton A. State of the Art in Agent-Based Modeling of Urban Crime: An Overview // Journal of Quantitative Criminology. 2019. № 1(35). P. 155–193. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10940-018-9376-y>
- Hawdon J., Ryan J. What Criminals Do, AT Least Theoretically: Agent Based Modeling as a Strategy for Critically Testing Criminological Theories // Sociological theory, methods and perspective. New York: Nova, 2018. P. 57–85.
- Kounadi O., Ristea A., Leitner M., Langford C. Population at risk: using areal interpolation and Twitter messages to create population models for burglaries and robberies // Cartography and Geographic Information Science. 2018. № 3(45). P. 205–220. DOI: <https://doi.org/10.1080/15230406.2017.1304243>
- Malleson N., Andresen M.A. The impact of using social media data in crime rate calculations: shifting hot spots and changing spatial patterns // Cartography and Geographic Information Science. 2015. № 2(42). P. 112–121. DOI: <https://doi.org/10.1080/15230406.2014.905756>
- Matías J.M., Rivas T., Martín J.E., Taboada J. A machine learning methodology for the analysis of workplace accidents // International Journal of Computer Mathematics. 2008. № 3–4(85). P. 559–578. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207160701297346>
- McGrattan K., Miles S. Modeling Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD) // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. New York, NY: Springer New York, 2016. P. 1034–1065. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_32
- Novozhilov V. Computational fluid dynamics modeling of compartment fires // Progress in Energy and Combustion Science. 2001. № 6(27). P. 611–666. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(01\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(01)00005-3)
- Pasko R., Terenchuk S. The Use of Neuro-Fuzzy Models in Expert Support Systems For Forensic Building-Technical Expertise // ScienceRise. 2020. № 67(2). P. 10–18. DOI:0.21303/2313-8416.2020.001278.
- Rudin C. Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead // Nature Machine Intelligence. 2019. № 5(1). P. 206–215. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0012-7>
- Sarkar S., Vinay S., Raj R., Maiti J., Mitra P. Application of optimized machine learning techniques for prediction of occupational accidents // Computers & Operations Research. 2019. (106). P. 210–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.02.021>
- Walton W.D., Carpenter D.J., Wood C.B. Zone Computer Fire Models for Enclosures // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. New York, NY: Springer New York, 2016. P. 1024–1033. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_31
- Yang B., Liu L., Lan M., Wang Z., Zhou H., Yu H. A spatio-temporal method for crime prediction using historical crime data and transitional zones identified from nightlight imagery // International Journal of Geographical Information Science. 2020. № 9(34). P. 1740–1764. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1737701>

REFERENCES

- Bast, W. D., Michelin, R., Pavlich, B., & Fink, L. (2018). Forensic Evaluation and Repair



- of Failures in 41-Story Granite Façade. *Forensic Engineering* 2018, 83–96. <https://doi.org/10.1061/9780784482018.009>
- Bernier, C., & Padgett, J. E. (2018). Forensic Investigation of Aboveground Storage Tank Failures during Hurricane Harvey Using Fragility Models. *Forensic Engineering* 2018, 975–985. <https://doi.org/10.1061/9780784482018.094>
- Block, F. E. (2017). The Role of Forensic Engineering Investigations in Medical Device Reports. *Journal of Clinical Engineering*, 42(2), 85–88. <https://doi.org/10.1097/JCE.0000000000000208>
- Colin Gagg. (2020). *Forensic Engineering: The Art and Craft of A Failure Detective*. CRC Press.
- Groff, E. R., Johnson, S. D., & Thornton, A. (2019). State of the Art in Agent-Based Modeling of Urban Crime: An Overview. *Journal of Quantitative Criminology*, 35(1), 155–193. <https://doi.org/10.1007/s10940-018-9376-y>
- Hawdon, J., & Ryan, J. (2018). What Criminals Do, AT Least Theoretically: Agent Based Modeling as a Strategy for Critically Testing Criminological Theories. In J. H. Michalski (Ed.), *Sociological theory, methods and perspective* (pp. 57–85). Nova.
- Kharchenko V. B. (2019). Ispol'zovaniye BIM – modeley pri proizvodstve sudebnoy stroitel'no-tehnicheskoy ekspertizy [The use of BIM - models in the production of judicial construction and technical expertise]. *Journal: Legal Science*, 11., 89-91.
- Kounadi, O., Ristea, A., Leitner, M., & Langford, C. (2018). Population at risk: using areal interpolation and Twitter messages to create population models for burglaries and robberies. *Cartography and Geographic Information Science*, 45(3), 205–220. <https://doi.org/10.1080/15230406.2017.1304243>
- Malleson, N., & Andresen, M. A. (2015). The impact of using social media data in crime rate calculations: shifting hot spots and changing spatial patterns. *Cartography and Geographic Information Science*, 42(2), 112–121. <https://doi.org/10.1080/15230406.2014.905756>
- Matias, J. M., Rivas, T., Martín, J. E., & Taboada, J. (2008). A machine learning methodology for the analysis of workplace accidents. *International Journal of Computer Mathematics*, 85(3–4), 559–578. <https://doi.org/10.1080/00207160701297346>
- McGrattan, K., & Miles, S. (2016). Modeling Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD). In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (pp. 1034–1065). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_32
- Novozhilov, V. (2001). Computational fluid dynamics modeling of compartment fires. *Progress in Energy and Combustion Science*, 27(6), 611–666. [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(01\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(01)00005-3)
- Orekhov G.V., Makeev B.A., & Balabin Yu.A. (2019). Methods of mathematical modeling and judicial construction and technical expertise. *Journal: Real Estate: Economics, Management*, 2, 78-82
- Pasko, R., & Terenchuk, S. (2020). The Use of Neuro-Fuzzy Models in Expert Support Systems For Forensic Building-Technical Expertise. *ScienceRise*, 2(67), 10–18. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001278>
- Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature Machine Intelligence*, 1(5), 206–215. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0048-x>



- Sarkar, S., Vinay, S., Raj, R., Maiti, J., & Mitra, P. (2019). Application of optimized machine learning techniques for prediction of occupational accidents. *Computers & Operations Research*, 106, 210–224. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.02.021>
- Walton, W. D., Carpenter, D. J., & Wood, C. B. (2016). Zone Computer Fire Models for Enclosures. In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (pp. 1024–1033). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_31
- Yang, B., Liu, L., Lan, M., Wang, Z., Zhou, H., & Yu, H. (2020). A spatio-temporal method for crime prediction using historical crime data and transitional zones identified from nightlight imagery. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(9), 1740–1764. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1737701>