

## Практическая реализация оптимизационного алгоритма расчёта давности смерти при изменении температуры внешней среды

А.Ю. Вавилов<sup>1</sup>, А.А. Халиков<sup>2</sup>, Т.В. Найденова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ижевская государственная медицинская академия, Ижевск, Россия;

<sup>2</sup> Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия

### АННОТАЦИЯ

При установлении давности наступления смерти на основе результатов термометрического исследования трупа могут возникать ситуации, когда температура внешней среды на месте обнаружения мёртвого тела изменялась. В этих случаях использование для расчётов значения температуры внешней среды, полученные в ходе осмотра трупа, неизбежно приведёт к формированию ошибки определения давности наступления смерти. Однако в судебной медицине разработан способ, позволяющий осуществить расчёт в условиях неполной начальной информации с оптимизацией переменных, используемых в качестве предикторов математической модели, лежащей в основе этого расчёта, что показано на примере случая, рассматриваемого в статье.

На основе алгоритма оптимизации Пауэлла показана работа формульного расчёта давности наступления смерти в условиях, когда температура внешней среды на момент осмотра трупа отличается от таковой за период пребывания его на месте обнаружения. На базе программы Microsoft Excel создан лист расчёта с указанием формул в нумерованных ячейках для использования предлагаемого алгоритма в судебно-медицинской практике, позволяющий в дальнейшем применить его в приложении Calc пакета LibreOffice или ему подобных.

Показан пример практического осмотра трупа на месте его обнаружения с результатами ректальной термометрии и расчётов давности наступления смерти без оптимизационного подхода к определению индивидуальной величины коэффициентов. На основе рассматриваемого практического наблюдения продемонстрировано, что адекватный экспертный подход к оценке исходных значений применительно к конкретной рассматриваемой ситуации способен существенно повысить точность установления давности наступления смерти, что подтверждено совпадением расчётных значений давности наступления смерти с результатами, полученными следственным путём.

**Ключевые слова:** давность смерти; термометрия; начальные условия моделирования; оптимизация; алгоритм; температура среды; практическая реализация.

### Как цитировать:

Вавилов А.Ю., Халиков А.А., Найденова Т.В. Практическая реализация оптимизационного алгоритма расчёта давности смерти при изменении температуры внешней среды // Судебная медицина. 2024. Т. 10, № 4. С. 000–000. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16188>

Рукопись получена: 23.09.2024 Рукопись одобрена: 18.10.2024 Опубликовано online: 13.12.2024

## Practical implementation of an optimization algorithm for calculation of the time since death when changing the ambient temperature

Alexey Yu. Vavilov<sup>1</sup>, Airat A. Khalikov<sup>2</sup>, Tatiana V. Naidenova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Izhevsk State Medical Academy, Izhevsk, Russia;

<sup>2</sup> Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

### ABSTRACT

When establishing the time since death based on the results of a thermometric study of a corpse, situations may arise when the ambient temperature at the place where the dead body was found changed. In these cases, using the ambient temperature value obtained during the examination of the corpse for calculations will inevitably lead to the formation of an error in determining the time since death. However, a method has been developed in forensic medicine that allows for calculation under conditions of incomplete initial information with optimization of the variables used as predictors of the mathematical model underlying this calculation, which is shown in the example of the case considered in the article.

Based on the Powell optimization algorithm, the work of the formulaic calculation of the time since death is shown in conditions when the ambient temperature at the time of examination of the corpse differs from that during the period of its stay at the place of discovery. A calculation sheet with formulas in numbered cells for using the proposed algorithm in forensic practice has been created on the basis of the Microsoft Excel program, allowing it to be used in the Calc application of the LibreOffice package or similar ones in the future.

An example of a practical examination of a corpse at the place of its discovery with the results of rectal thermometry and calculations of the time since death without an optimization approach to determining the individual value of the coefficients is shown. Based on the considered practical observation, it is demonstrated that an adequate expert approach to assessing the initial values in relation to a specific situation under consideration can significantly increase the accuracy of establishing the time since death, which is confirmed by the coincidence of the calculated time since death values with the results obtained by investigative means.

**Keywords:** time since death; thermometry; initial conditions of modeling; optimization; algorithm; ambient temperature; practical implementation.

### To cite this article:

Vavilov AY, Khalikov AA, Naidenova TV. Practical implementation of an optimization algorithm for calculation of the time since death when changing the ambient temperature.

*Russian Journal of Forensic Medicine.* 2024;10(4):000–000.

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16188>

**Submitted: 23.09.2024 Accepted: 18.10.2024 Published online: 13.12.2024**

### АКТУАЛЬНОСТЬ

Термометрия с целью определения продолжительности времени, прошедшего с момента смерти человека до исследования его мёртвого тела в условиях осмотра места происшествия, является одним из методов, применение которых прямо регламентировано нормативными актами, регулирующими организацию и производство судебно-медицинских экспертиз в государственных судебно-экспертных учреждениях Российской Федерации. Использование термометрии для достижения указанной цели вполне обосновано: метод является строго объективным,

поскольку основан на результатах инструментальных измерений метрологически стандартизованным измерительным средством — термометром, а сам регистрируемый процесс — снижение температуры изучаемого объекта — достаточно жёстко детерминирован временем его охлаждения, протекающего в условиях, которые также могут быть измерены и соответствующим образом учтены [1].

В последние годы исследователи, изучающие вопросы постмортальной термометрии, единодушны во мнении о целесообразности применения к анализу результатов посмертной температуры методов математического моделирования [2]. Современные математические модели, особенно относящиеся к подвиду двухэкспоненциальных, т.е. моделирующих снижение как глубокой, так и поверхностной температуры трупа в их взаимосвязи, позволяют с очень высокой точностью описать наблюдаемый процесс с учётом индивидуальных особенностей конкретного трупа (вес, состояние одежды, причина смерти и т.д.) и внешних условий его пребывания (температура окружающей среды, инсоляция, атмосферные осадки и проч.) [3, 4].

Одной из самых распространённых математических моделей, используемых для практического определения давности смерти человека, является хорошо известное выражение феноменологической модели С. Henssge и соавт. [5], которое может использоваться самостоятельно в рамках итеративного подбора параметра  $t$  (давность наступления смерти), осуществляемого до совпадения моделируемого значения температуры трупа его реальной измеренной величине, учитываемых в форме безразмерной температуры (температура объекта минус температура внешней среды). Другим возможным вариантом является использование аналитического решения, предложенного В.А. Куликовым [6]. Второй вариант предпочтительнее тем, что исключает необходимость многократных последовательных расчётов с меняющимися вводными значениями модели, как это осуществляется при итеративном подходе, и сводится к однократному расчёту при выбранных параметрах математического выражения. Кроме того, использование формулы аналитического решения позволяет установить индивидуальную продолжительность первоначального температурного плато трупа, тем самым адаптировать расчёт к реальным особенностям изучаемого объекта [7]. При этом остаются некоторые сложные моменты такого моделирования, заключающиеся в том, что в его процессе исследователь вынужден аксиоматично принимать в качестве предикторов математического выражения ряд коэффициентов без должного обоснования их величины. Это касается как указанной величины коэффициента  $K$ , отражающей индивидуальную продолжительность первоначального температурного плато, так и значения начальной температуры трупа —  $T_0$ , выбираемых исходя из используемой диагностической зоны соответственно рекомендациям авторов, занимавшихся её изучением. Между тем следует согласиться с утверждением, что использование одного постоянного значения  $T_0$  может явиться дополнительным источником погрешностей определения давности смерти, так как указанная величина является индивидуальной характеристикой объекта и может прижизненно изменяться в зависимости от причины смерти субъекта, типа танатогенеза, наличия внешних воздействий на диагностическую зону и её целостности [8].

Другой очень важной величиной, прямо влияющей на скорость охлаждения мёртвого тела, является величина температуры окружающей среды —  $T_{cp}$ . В абсолютном большинстве всех практических применений термометрического метода определения давности наступления смерти температура среды задаётся на основе её однократного измерения на месте обнаружения мёртвого тела. Однако необходимо отметить, что  $T_{cp}$ , как правило, является нестабильной величиной даже применительно к пребыванию тела в условиях какого-либо помещения, не говоря уже об открытой местности. Разработаны и представлены в научной печати способы учёта колебаний

$T_{cp}$  [9], тем не менее, несмотря на их безусловную научную значимость [10] и возможность к применению в ряде случаев, повсеместное использование авторских рекомендаций обычно невозможно из-за отсутствия сведений о том, как именно эти колебания происходили.

Автором настоящей статьи в сотрудничестве со специалистами в области технических наук разработан способ учёта указанных неопределённостей, основанный на математических принципах, так называемых алгоритмах оптимизации [11]. Согласно проведённым исследованиям, его применение позволяет уменьшить итоговую ошибку определения давности наступления смерти. Способ ранее уже освещался в научной судебно-медицинской литературе в отношении установления  $T_0$ , однако в связи с кажущейся сложностью получил малое распространение в практической экспертизе. Созданию варианта его практической реализации и посвящена настоящая статья.

## ОПИСАНИЕ СЛУЧАЯ

На почве совместного распития спиртных напитков между гражданами Б. и Р. произошла ссора, в ходе которой гражданин Б. нанёс два удара ножом в грудь гражданину Р. Через непродолжительное время от полученных ранений гражданин Р. скончался. Осознав тяжесть содеянного, гражданин Б. вызвал по телефону скорую помощь и позвонил в отдел полиции. Врач — судебно-медицинский эксперт прибыл на место происшествия в составе следственно-оперативной группы и произвёл осмотр мёртвого тела. Температура воздуха в помещении (квартира гражданина Р.) измерена однократно, температура трупа — дважды в прямой кишке. Измерения проведены электронным термометром (точность  $0,001^{\circ}\text{C}$ ). Получены значения температур:  $T_{cp}=20,282$ ,  $T_1=27,596$ ,  $T_2=27,298$ . Интервал между замерами температур трупа составлял 15 минут (0,25 часа). Время первого замера температуры трупа — 03 часа 25 минут. Со слов задержанного гражданина Б., как только он «понял, что натворил», сразу позвонил в скорую помощь. Время звонка, зафиксированное диспетчером скорой помощи (установлено следственным путём), — 22 часа 44 минуты. Таким образом, время, прошедшее с момента звонка в скорую помощь до момента первого замера температуры трупа, составило 4 часа 41 минуту.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Использование принципов оптимизационного определения давности наступления смерти возможно только на этапе охлаждения трупа, соответствующего его регулярному периоду, границы которого определяются исходя из диапазона применимости конкретной диагностической зоны [12]. Формирование диагностической выборки температуры воздуха при этом вполне можно заменить её однократным измерением. Многократный замер температуры трупа также может быть вполне заменён на его двукратное исследование (рис. 1). Безусловно, следует признать обоснованным требование к адекватности выбора диагностической зоны исходя из комплекса условий, установленных технологией [13]. Не менее тщательно выполняются условия к выбору интервала времени между замерами температуры, устанавливаемые по разрешающей способности используемого термоизмерителя [12], как и принятие во внимание существования температурной инерции датчика термометра [12].

По формуле (1) производится расчёт постоянной времени регулярного периода охлаждения (постоянная времени спада) [11].

$$\tau_1 = \frac{\Delta\tau}{\ln\left(\frac{T_1 - T_{cp}}{T_2 - T_{cp}}\right)}, \quad (1)$$

где  $\tau_1$  — постоянная времени спада;  $\Delta\tau$  — интервал времени между замерами, час (в десятичной системе);  $T_{cp}$  — температура среды (воздуха), °C;  $T_1$  и  $T_2$  — температура трупа на момент 1-го и 2-го термоизмерений, °C.

Затем по формулам (2) рассчитывается точечное значение давности смерти человека на момент измерения температуры трупа  $T_1$  и  $T_2$  [11].

$$\begin{aligned} ДНС_1 &= \tau_1 \times \ln\left(\frac{T_0 - T_{cp}}{T_1 - T_{cp}} + \frac{K}{K-1}\right) \\ ДНС_2 &= \tau_1 \times \ln\left(\frac{T_0 - T_{cp}}{T_2 - T_{cp}} + \frac{K}{K-1}\right), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $ДНС_1$  и  $ДНС_2$  — значение давности смерти человека на момент 1-го и 2-го термоизмерений, час;  $T_1$  и  $T_2$  — температура трупа на момент 1-го и 2-го термоизмерений, °C;  $T_{cp}$  — температура среды (воздуха), °C;  $\tau_1$  — постоянная времени спада;  $K$  — постоянный коэффициент.

Логичным представляется предположение, что при выполнении расчёта (3) будет соблюдаться условие (4):

$$\Delta\tau_{расч} = ДНС_2 - ДНС_1, \quad (3)$$

$$\Delta\tau_{расч} = \Delta\tau, \quad (4)$$

где  $\Delta\tau_{расч}$  — расчётный интервал времени между замерами, час (в десятичной системе);  $ДНС_1$  и  $ДНС_2$  — значение давности смерти человека на момент 1-го и 2-го термоизмерений, час,  $\Delta\tau$  — интервал времени между замерами, час (в десятичной системе).

Если указанное условие не соблюдается, делается вывод о том, что начальные условия ( $T_0$ ,  $T_{cp}$ ,  $K$ ) моделирования не являются оптимальными [11], так как моделируемый процесс охлаждения тела не в полной мере соответствует реальной выборке температур трупа, и указанные параметры нуждаются в их итеративном подборе до момента выполнения условия (4), что предусмотрено оптимизационным алгоритмом Пауэлла [14]. Продемонстрируем это на основе приведённого выше практического наблюдения.

С целью расчёта значения давности наступления смерти гражданина Р. используем представленный выше алгоритм оптимизации, который легко реализуется с помощью табличных процессоров типа приложения Excel пакета Microsoft Office, приложения Calc пакета LibreOffice или аналогичных (рис. 2). На листе Microsoft Excel в столбцах В и С и строках с 3-й по 13-ю внесём значения переменных, используемых в расчёте, и формулы, реализующие расчёт по выражениям (1–4). Поскольку термометрия проводилась в прямой кишке, коэффициент  $K$  выбран равным 12, а начальная температура тела ( $T_0$ ) — 37,0°C. Как следует из результатов расчёта, продолжительность времени, прошедшего с момента смерти гражданина Р. до осмотра трупа экспертом и, соответственно, регистрации температуры составляет 5,49 часа (5 часов 29 минут), что противоречит следственным данным. Проверка условия (4) показала, что оно не соблюдается (ячейка С13), на основании чего эксперт, выполнявший расчёт, сделал обоснованный вывод о неоптимальности параметров, используемых в процессе расчётов. Анализируя возможные причины этой ситуации, было сделано предположение, что термометрическая процедура на месте обнаружения трупа произведена в изменившихся внешних условиях. В частности,

было известно, что до смерти гражданин Р. вместе с гражданином Б. находились в квартире одни, в неё никто не заходил, дверь в квартиру не открывалась. Такая обстановка сохранялась до прибытия на место происшествия бригады скорой медицинской помощи, сотрудников полиции и следственного комитета, после чего двери квартиры в подъезд были постоянно открыты, в квартиру и обратно ходили люди. Эксперт предположил, что температура внешней среды изначально была несколько выше, и в рамках оптимизационного алгоритма Пауэлла произвёл итеративный поиск оптимального значения  $T_{cp}$ . В используемой программе Microsoft Excel это реализуется через меню «Данные – Анализ «что если» – Подбор параметра». Программе задаётся поиск такого значения ячейки C7 ( $T_{cp}$ ), при котором значение ячейки C13 — условие (4) — равно 0 (рис. 3).

Как следует из результатов расчёта, выполненного с применением алгоритма оптимизации, оптимальным значением температуры среды ( $T_{cp}$ ) является 22,442°C, что соответствует логическим умозаключениям эксперта о более высоком изначально значении температуры воздуха на месте пребывания трупа и её последующего изменения в меньшую сторону. Определено также, что с момента смерти гражданина Р. до осмотра трупа врачом — судебно-медицинским экспертом прошло 4,72 часа (4 часа 43 минуты), что практически точно соответствует сведениям, установленным следственным путём.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создан способ практической реализации оптимизационного подхода к определению индивидуальной величины коэффициентов аналитического решения математической модели С. Henssge, использование которого способствует повышению точности формульного расчёта давности наступления смерти.

Алгоритм оптимизации Пауэлла, предложенный к практическому применению авторами настоящей статьи, легко реализуется в табличных процессорах типа приложения Excel пакета Microsoft Office, приложения Calc пакета LibreOffice или аналогичных, путём задания в ячейки используемого приложения формул, приведённых в данной статье, и использования штатных возможностей приложения по итеративному подбору выбранного параметра до выполнения условия (4). Выбор параметра, подлежащего оптимизации по изложенному алгоритму, должен быть осуществлён аргументированно исходя из условий конкретной рассматриваемой экспертной ситуации.

Случай из экспертной практики, представленный в статье, демонстрирует возможности оптимизационного алгоритма и на конкретном приведённом примере показывает возможность применения его для решения задачи, поставленной перед экспертом следствием.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при подготовке и написании статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.Ю. Вавилов, А.А. Халиков — сбор данных; А.Ю. Вавилов, Т.В. Найденова — написание рукописи; А.Ю. Вавилов, А.А. Халиков,

Т.В. Найденова — научное редактирование рукописи; А.Ю. Вавилов, А.А. Халиков, Т.В. Найденова — рассмотрение и одобрение окончательного варианта рукописи.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие законных представителей пациента на публикацию медицинских данных в обезличенной форме в журнале «Судебная медицина».

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** This article was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.Yu. Vavilov, A.A. Khalikov — data collection; A.Yu. Vavilov, T.V. Naidenova — drafting of the manuscript; A.Yu. Vavilov, A.A. Khalikov, T.V. Naidenova — critical revision of the manuscript for important intellectual content; A.Yu. Vavilov, A.A. Khalikov, T.V. Naidenova — review and approve the final manuscript.

**Consent for publication.** Written consent was obtained from the patient's law representatives for publication of relevant medical information within the manuscript in Russian Journal of Forensic Medicine.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков П.И., Швед Е.Ф., Нацентов Е.О., и др. Моделирование процессов в судебно-медицинской диагностике давности наступления смерти: монография. Челябинск-Ижевск, 2008. 312 с. EDN: XSFSVT
2. Недугов Г.В. Математическое моделирование охлаждения трупа: монография. Казань: Бук, 2021. 198 с. EDN: NSTMKO
3. Вавилов А.Ю., Витер В.И. Применение некоторых современных математических моделей посмертного охлаждения тела для определения давности наступления смерти // Судебно-медицинская экспертиза. 2007. Т. 50, № 5. С. 9–12. EDN: IBOISF
4. Вавилов А.Ю., Белых С.А., Швед Е.Ф. Математическое моделирование процесса изменения температуры трупа при воздействии на него прямой солнечной радиации в целях диагностики давности смерти // Судебно-медицинская экспертиза. 2023. Т. 66, № 6. С. 18–23. EDN: IJTJZD doi: 10.17116/sudmed20236606118
5. Henssge C., Madea B. Estimation of the time since death // Forensic Sci Int. 2007. Vol. 165, N 2-3. P. 182–184. doi: 10.1016/j.forsciint.2006.05.017
6. Куликов В.А. Практическая методика измерения ДНС по методу регулярного теплового режима // Современные вопросы судебной медицины и экспертной практики. 1998. № X. С. 115–120.
7. Вавилов А.Ю., Малков А.В. Учет «температурного плато» как условие повышения точности диагностики давности смерти человека // Медицинская экспертиза и право. 2012. № 1. С. 14–16. EDN: OXWMAN
8. Недугов Г.В. Конечно-элементная оценка влияния открытой проникающей черепно-мозговой травмы на посмертное температурное поле головы // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. 2022. № 2. С. 125–131. EDN: XLCEWK doi: 10.20340/vmi-rvz.2022.2.ICTM.1
9. Швед Е.Ф., Новиков П.И. Применение математической модели процесса изменения температуры трупа в диагностике давности смерти при переменных условиях внешней среды // Судебно-медицинская экспертиза. 1991. Т. 34, № 2. С. 5–7.

10. Швед Е.Ф. Моделирование посмертной термодинамики при установлении давности смерти в условиях меняющейся температуры окружающей среды: Автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.24. Место защиты: Российский центр судебно-медицинской экспертизы. Москва, 2006. 24 с.
11. Куликов В.А., Коновалов Е.А., Вавилов А.Ю. Оптимизационный подход уточнения давности наступления смерти в судебно-медицинской практике // Проблемы экспертизы в медицине. 2009. Т. 9, № 1. С. 8–10. EDN: OKFBXB
12. Витер В.И., Вавилов А.Ю., Бабушкина К.А., Хохлов С.В. Порядок работы врача — судебно-медицинского эксперта при осмотре трупа на месте его обнаружения: учебное пособие. Ижевск, 2016. 88 с.
13. Кильдюшов Е.М., Вавилов А.Ю., Куликов В.А. Диагностика давности смерти термометрическим способом в раннем посмертном периоде (новая медицинская технология) // Вестник судебной медицины. 2012. Т. 1, № 1. С. 19–23.
14. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах: учебное пособие для студентов вузов. Москва: Высшая школа, 2002. 544 с. EDN: SBRINH

## REFERENCES

1. Novikov PI, Shved EF, Natsentov EO, et al. *Modeling of processes in forensic medical diagnostics of the prescription of death*: Monograph. Chelyabinsk-Izhevsk; 2008. 312 p. (In Russ.) EDN: XSFSVT
2. Nedugov GV. *Mathematical modeling of corpse cooling*: Monograph. Kazan: Buk; 2021. 198 p. (In Russ.) EDN: NSTMKO
3. Vavilov AYu, Viter VI. The validity of some modern mathematical models of postmortem cooling of the human body. *Sudebno-meditsinskaia ekspertiza = Forensic medical expertise*. 2007;50(5):9–12. EDN: IBOISF
4. Vavilov AYu, Belykh SA, Shved EF. Mathematical simulation of the corpse's temperature changes during exposure of a direct solar radiation to diagnose a postmortem interval. *Sudebno-meditsinskaia ekspertiza = Forensic medical expertise*. 2023;66(6):18–23. EDN: IJTJZD doi: 10.17116/sudmed20236606118
5. Henssge C, Madea B. Estimation of the time since death. *Forensic Sci Int*. 2007;165(2-3):182–184. doi: 10.1016/j.forsciint.2006.05.017
6. Kulikov VA. Practical methodology for measuring DNS using the regular thermal regime method. *Sovremennyye voprosy sudebnoy meditsiny i ekspertnoy praktiki*. 1998;(X):115–120. (In Russ.)
7. Vavilov AYu, Malkov AV. Taking into account the "temperature plateau" as a condition for increasing the accuracy of diagnosing how long ago a person died. *Meditsinskaya ekspertiza i pravo*. 2012;(1):14–16. (In Russ.) EDN: OXWMAN
8. Nedugov GV. Finite element assessment of the effect of open penetrating craniocerebral trauma on the postmortem temperature field of the head. *Vestnik meditsinskogo instituta "Reaviz": Rehabilitatsiya, vrach i zdorov'ye*. 2022;(2):125–131. EDN: XLCEWK doi: 10.20340/vmi-rvz.2022.2.ICTM.1
9. Shved EF, Novikov PI Application of a mathematical model of the process of changing the temperature of a corpse in diagnosing the duration of death under variable environmental conditions. *Sudebno-meditsinskaia ekspertiza = Forensic medical expertise..* 1991;34(2):5–7. (In Russ.)
10. Shved EF. *Modeling of post-mortem thermodynamics when establishing the age of death under conditions of changing ambient temperature* [dissertation abstract]: 14.00.24. Place of protection: Russian Centre for Forensic Medical Examination; 2006. 24 p. (In Russ.)



11. Kulikov VA, Konovalov EA, Vavilov AYu. Optimization approach to clarify the duration of death in forensic medical practice. *Problemy ekspertizy v meditsine*. 2009;9(1):8–10. (In Russ.) EDN: OKFBXB
12. Viter VI, Vavilov AYu, Babushkina KA, Khokhlov SV. *The work procedure of a doctor-forensic expert when examining a corpse at the place of its discovery: A training manual*. Izhevsk; 2016. 88 p. (In Russ.)
13. Kildyushov EM, Vavilov AYu, Kulikov VA. Diagnosis of time of death using thermometric method in early postmortal period (new medical technology). *Bulletin of forensic medicine*. 2012;1(1):19–23. EDN: PIVYGP
14. Panteleev AV, Letova TA. *Optimization methods in examples and problems: Textbook for university students*. Moscow: Vysshaya shkola; 2002. 544 p. EDN: SBRINH

ОБ АВТОРАХ	AUTHORS' INFO
* <b>Вавилов Алексей Юрьевич</b> , д-р мед. наук, профессор; адрес: Россия, 426034, Ижевск, ул. Коммунаров, д. 281; ORCID: 0000-0002-9472-7264; eLibrary SPIN: 3275-3730; e-mail: izhsudmed@hotmail.com	* <b>Alexey Yu. Vavilov</b> , MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; address: 281 Kommunarov str., 426034, Izhevsk, Russia; ORCID: 0000-0002-9472-7264; eLibrary SPIN: 3275-3730; e-mail: izhsudmed@hotmail.com
<b>Халиков Айрат Анварович</b> , д-р мед. наук, профессор; ORCID: 0000-0003-1045-5677; eLibrary SPIN: 1895-7300; e-mail: airat.expert@mail.ru	<b>Airat A. Khalikov</b> , MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; ORCID: 0000-0003-1045-5677; eLibrary SPIN: 1895-7300; e-mail: airat.expert@mail.ru
<b>Найденова Татьяна Владимировна</b> , канд. мед. наук; ORCID: 0000-0001-7847-4706; eLibrary SPIN: 7697-5731; e-mail: abhasvar@mail.ru	<b>Tatiana V. Naidenova</b> , MD, Cand. Sci. (Medicine); ORCID: 0000-0001-7847-4706; eLibrary SPIN: 7697-5731; e-mail: abhasvar@mail.ru
* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author	

РИСУНКИ

Температура, °С

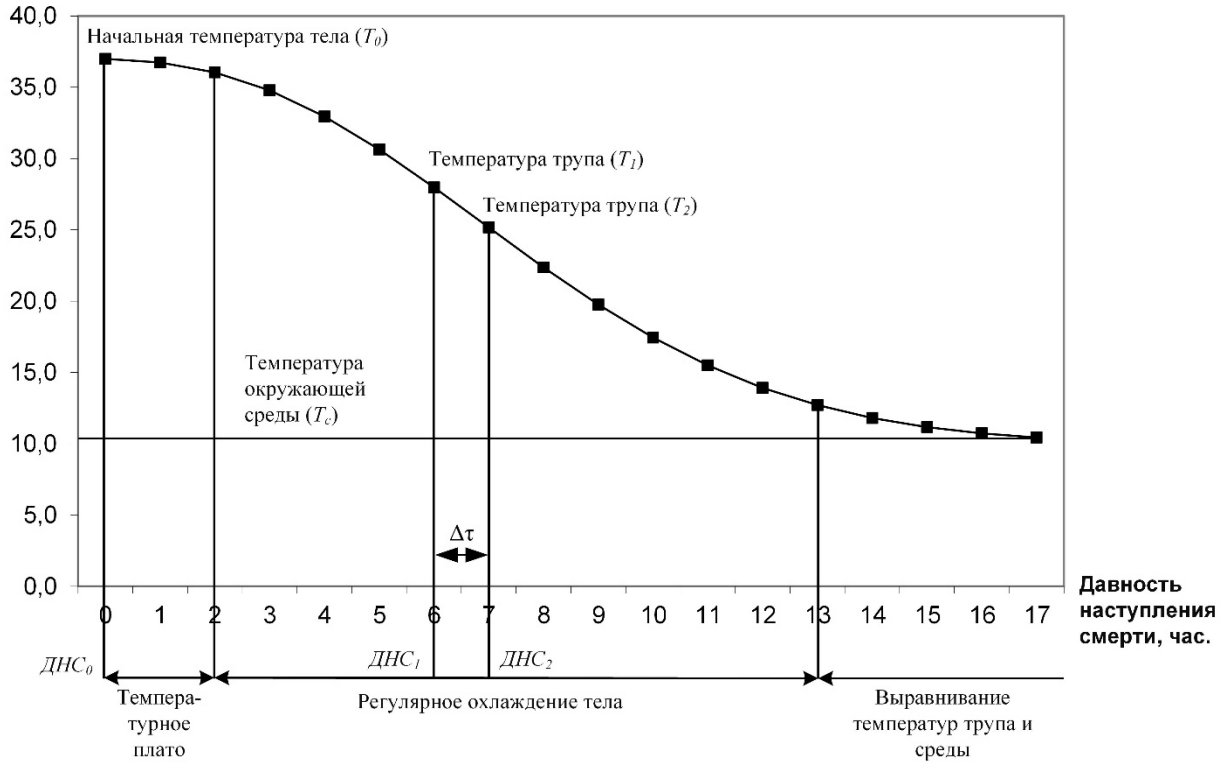


Рис. 1. Графическое представление оптимизационного алгоритма расчётного определения давности смерти термометрическим способом.

Fig. 1. Graphical representation of the optimization algorithm for calculating the time of death using the thermometric method.

1	В	С	
2	До оптимизации		
3	К	12	=12
4	T1	27,596	=27,596
5	T2	27,298	=27,298
6	T0	37,000	=37,000
7	Tср	20,282	=20,282
8	Δτ	0,25	=0,25
9	тау1	6,010	=C8/LN((C4-C7)/(C5-C7))
10	ДНС1	5,49	=C9*LN((C6-C7)/(C4-C7))+C9*LN(C3/(C3-1))
11	ДНС2	5,74	=C9*LN((C6-C7)/(C5-C7))+C9*LN(C3/(C3-1))
12	Δт расчет	0,25	=C11-C10
13	Δт расчет - Δτ	0,888	=КОРЕНЬ((C12-C8)^2)*1000000000000000

Рис. 2. Лист с формулами расчёта давности наступления смерти на основе алгоритма оптимизации.

Fig. 2. Sheet with formulas for calculating time since death based on the optimization algorithm.

1	В	С	
2	После оптимизации Тср		
3	К	12	= 12
4	Т1	27,596	=27,596
5	Т2	27,298	=27,298
6	Т0	37,000	=37,000
7	Тср	22,442	=22,442
8	Δт	0,25	=0,25
9	тау1	4,197	=C8/LN((C4-C7)/(C5-C7))
10	ДНС1	4,72	=C9*LN((C6-C7)/(C4-C7))+C9*LN(C3/(C3-1))
11	ДНС2	4,97	=C9*LN((C6-C7)/(C5-C7))+C9*LN(C3/(C3-1))
12	Δт расчет	0,25	=C11-C10
13	Δт расчет - Δт	0,000	=КОРЕНЬ((C12-C8)^2)*1000000000000000

Рис. 3. Результат применения алгоритма оптимизации.

Fig. 3. Result of applying the optimization algorithm.

Accepted for publication