

На правах рукописи

**Швед Евгений Феликсович**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСМЕРТНОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ  
ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ДАВНОСТИ СМЕРТИ В  
УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕЙСЯ ТЕМПЕРАТУРЫ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**14.00.24. - судебная медицина**

**Автореферат**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук**

**Швед Евгений Феликсович**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

---

Издательство “Экспертиза”, ЛУ № 066  
426009, г. Ижевск, ул. Ленина, 87-а, т. 75-24-93  
24 стр., тираж 100 экз.

Подписано в печать: 18.01.06 г. Заказ № 149  
Отпечатано в типографии АО «Буммаш»  
426050, г. Ижевск, Воткинское шоссе, 170

**Ижевск  
2006**

Работа выполнена на кафедре судебной медицины ГОУ ВПО  
"Ижевская государственная медицинская академия Росздрава"

- Научный руководитель:** доктор медицинских наук,  
профессор В.И. Витер
- Официальные оппоненты:** доктор медицинских наук,  
профессор В.Н. Звягин  
доктор медицинских наук,  
С.С. Абрамов
- Ведущая организация:** Бюро судебно-медицинской  
экспертизы Департамента  
здравоохранения г.Москвы

Защита состоится “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2006 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 208.070.01 при Федеральном государственном учреждении «Российский центр судебно-медицинской экспертизы Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию» (123242, г. Москва, ул. Садовая-Кудринская, д. 3, корп. 2).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Федерального государственного учреждения «Российский центр судебно-медицинской экспертизы Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию».

Автореферат разослан “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2006 года.

**Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.м.н., доцент**

**Панфиленко О.А.**

### **Актуальность проблемы:**

Определение давности наступления смерти (ДНС) - это одна из основных задач, решаемых в процессе производства судебно-медицинской экспертизы. Правильное установление времени смерти необходимо для успешного раскрытия и расследования правоохранительными органами преступлений против жизни граждан.

Указанная проблема, привлекает в последнее время все большее количество исследователей, усилия которых сосредоточены на поиске новых подходов к решению этой сложной, но весьма актуальной для следственных органов задачи, которая, как указывают некоторые авторы, имеет еще и общемедицинское, и общепатологическое значение (Науменко В.Г., 1984).

Попытки повысить точность определения ДНС приводят исследователей как к выявлению новых, ранее не использованных для термометрии, диагностических зон, так и к переводу проблемы из ряда узкоспециальной - судебно-медицинской, в разряд стоящих на стыке различных специальностей, в первую очередь, из области естественных наук (Витер В.И., Куликов В.А., 1999).

Наиболее динамично развивающимся в последнее время направлением следует считать подход к определению ДНС с позиций термометрического подхода, что в судебно-медицинской практике реализуется в виде различных математических моделей (Burmann, 1923; Новиков П.И., 1986; Ботезату Г.А., 1975; Толстолицкий В.Ю., 1995), основанных на оценке динамики посмертного охлаждения тела и перерасчете определенных значений температур на начальный период температурного тренда. При этом, как указывалось в литературе (Щепочкин О.В., 2001), погрешность определения может составлять до 30-50% искомого результата, значительно снижая экспертную ценность такового суждения.

В случаях, когда трупы после наступления смерти находятся в закрытых помещениях при более или менее постоянной температуре воздуха, наилучшие результаты диагностики давности смерти достигаются применением методов, основанных на моделировании процесса изменения температуры трупа. Как в отечественной, так и в зарубежной научной судебно-медицинской литературе представлен целый ряд математических моделей процесса охлаждения трупа. Однако среди них мы не встретили ни одно-

го математического описания, позволяющего достаточно корректно воспроизводить процесс охлаждения трупов при значительных изменениях температуры окружающей среды. На практике же существенные колебания температуры воздуха в течение посмертного периода встречаются довольно часто. Это практически все случаи нахождения трупа на открытой местности, а также случаи, когда в помещении, где находится труп, до его осмотра открывались или закрывались окна или двери, включалось или выключалось отопление и т.п. При таких условиях применение существующих способов моделирования температуры трупа в целях установлении времени смерти не приемлемо.

Учитывая вышесказанное, **целью исследования** явилось: разработка алгоритмов установления времени смерти при меняющихся условиях внешней среды на базе создания новой математической модели процесса посмертного изменения температуры трупа, ориентированной на пошаговое ее воспроизведение.

В соответствии с указанной целью были поставлены следующие **задачи**:

1. На основе анализа температурных кривых, полученных в ходе экспериментов на трупах с различными характеристиками, при условиях меняющейся температуры окружающего воздуха, разработать математическую модель процесса посмертного охлаждения трупа, допускающую корректный учет колебаний температуры окружающей среды.

2. Отработать на экспериментальном материале методику итеративного поиска вариантов времени смерти и значений теплообменных параметров трупа по выборке процесса с использованием новой математической модели при условиях меняющейся температуры окружающей среды.

3. Изучить зависимость теплообменных параметров трупа от показателей размеров тела для практического определения этих параметров репрезентативным способом при отсутствии данных о массе тела.

4. Разработать алгоритм экспертной деятельности с учетом полученных критериев и возможностью использования их в практической деятельности.

**Научная новизна исследования** заключается в том, что впервые разработана математическая модель посмертного изменения температуры трупа, пошагово описывающая его термодинамику при меняющихся условиях внешней среды, с разработкой алгоритмов её использования при установлении времени смерти.

**Практическая значимость** работы состоит в разработке алгоритма судебно-медицинского исследования трупа при меняющейся температуре внешней среды, что сопровождается повышением точности термометрических методик, применяемых на ранних сроках посмертного периода с целью определения давности наступления смерти.

#### **Апробация диссертации.**

Результаты исследования докладывались и обсуждались на заседаниях кафедр судебной медицины 2-го Московского ордена Ленина государственного медицинского института им. Пирогова, ГОУ ВПО "Ижевская государственная медицинская академия" и ГОУ ДПО "Уральская государственная медицинская академия дополнительного образования", а так же Республиканского общества судебных медиков Удмуртии и Челябинского областного бюро судебно-медицинской экспертизы (Ижевск, Челябинск, Москва, 1990-2004).

#### **Реализация результатов исследования. Публикации.**

Полученные результаты исследования используются в учебном процессе кафедры судебной медицины Ижевской государственной медицинской академии, в практической работе ГУЗ "Бюро судебно-медицинской экспертизы" Министерства Здравоохранения Удмуртии, Пермского областного бюро судебно-медицинской экспертизы, Челябинского областного бюро судебно-медицинской экспертизы. По теме диссертации опубликовано 6 научных работ, из них 1 в международной печати.

#### **Структура и объем диссертации.**

Диссертация изложена на 144 листах. Состоит из введения, обзора литературы, главы о материале и методах исследования, 2 глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка использованной литературы, включающего 205 источников, в том числе 40 зарубежных. Диссертация

содержит 21 рисунок и 13 таблиц. Приложение оформлено в виде сводных таблиц.

Весь материал, представленный в диссертации, получен, обработан и проанализирован лично автором.

**На защиту выносятся следующие положения:**

1. Разработанный математический аппарат представляет новую не использовавшуюся ранее в судебно-медицинской экспертной практике модель, которая позволяет достаточно точно воспроизводить в пошаговом режиме кривые охлаждения трупа при меняющихся условиях внешней среды в соответствии с физической природой моделируемого процесса.

2. Подход к моделированию процесса охлаждения трупа, основанный на использовании новой формулы в пошаговом режиме, позволяет на основе адаптивного подхода, корректно учитывать не только меняющуюся температуру воздуха, но и изменения теплообменных параметров трупа (коэффициент В).

3. На основании учета антропометрических характеристик трупа (рост, окружность груди, живота, бедра) возможно получение объективной информации, позволяющей достоверно, на основании использования современного математического аппарата, определять массу тела с высокой точностью.

4. Расчетная погрешность определения ДНС предлагаемым способом не превышает значений таковой, определенных для классических моделей и постоянной температуры окружающей среды.

**Материалы и методы исследования.**

Работа выполнена на практическом судебно-медицинском материале с применением комплекса общепринятых и специальных методов исследования по оригинальной методике. Приведены данные исследования 65 трупов, проходивших исследование в Челябинском областном бюро судебно-медицинской экспертизы за период 1989-2005 гг. Для исследования специально отбирались трупы лиц с достоверно известной давностью наступления смерти (от 2 до 6 часов посмертного периода).

Все трупы - взрослых людей в возрасте от 28 до 72 лет, скончавшихся от различных насильственных и ненасильственных причин. Для исследования не брали трупы с грубыми нарушениями

анатомической целости тела (травматическими ампутациями, грубой деформацией тела, "размятием" органов).

Исследуемой диагностической зоной явилась ткань печени, как наиболее часто используемая в последние годы диагностическая зона, удобство использования которой обусловлено применением современных аппаратных средств (электронные термометры), позволяющих производить замер температуры в глубине тела с высокой точностью.

Производился непрерывный мониторинг температуры в глубоких отделах трупов посредством созданного нами (Швед Е.Ф., Новиков П.И., 1992) аппаратно-программного комплекса для диагностики давности смерти "Термит-1". Указанный комплекс состоит из портативного персонального компьютера, термоизмерительной приставки, подключаемой к компьютеру через параллельный порт, и программного обеспечения, необходимого как для осуществления самого процесса термоизмерений, так и для сохранения данных о температуре в файле. Термоизмерительная приставка имеет два отдельных термочувствительных элемента, соединенные с экранированным многожильным кабелем с разъемом для подключения к параллельному порту персонального компьютера. Один из термодатчиков размещен на конце игольчатого щупа длиной 21 см и предназначен для измерения температуры в глубоких отделах трупа, другой - в корпусе цилиндрической формы - для параллельного измерения температуры окружающей среды.

В экспериментальной работе были использованы два режима измерений:

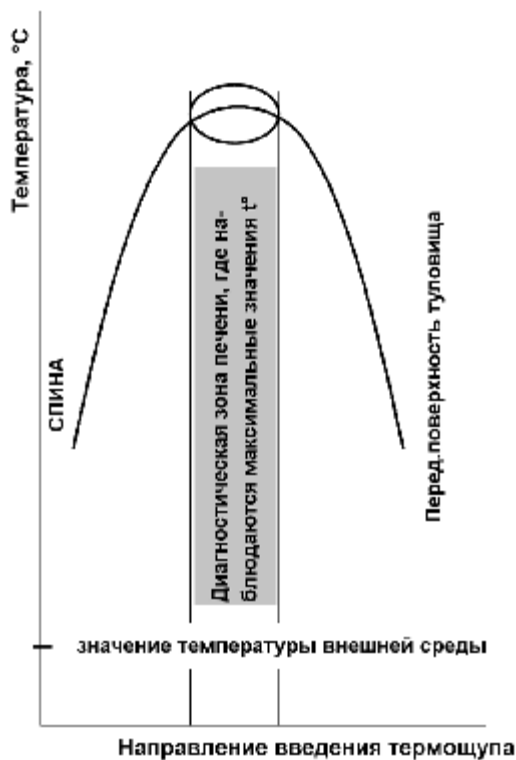
I режим - измерения продолжительностью четыре секунды с разрешающей способностью около  $0,01^{\circ}\text{C}$  - для поиска точки измерений температуры тканей трупа (наиболее теплой зоны);

II режим - измерения продолжительностью одна минута с разрешающей способностью около  $0,001^{\circ}\text{C}$  - для продолжительного мониторинга температуры в выбранной точке измерений.

Измерения температуры производили в печени. Труп укладывали на спину. Термощуп погружали через прокол кожи в проекции угла между мечевидным отростком грудины и правой реберной дугой в направлении спереди назад, несколько снизу вверх и

слева направо (под углом примерно  $75^\circ$  к фронтальной плоскости). Плавно меняя глубину погружения термодатчика под контролем показаний прибора (при I режиме измерений), находили экстремум распределения температуры в органе по ходу погружения термощупа. Форма распределения температур в туловище трупа по направлению погружения термодатчика схематически представлена на рисунке 1. Очевидно, что экстремум представленного распределения температуры в туловище трупа соответствует наиболее теплой зоне тканей по ходу погружения термощупа.

В наиболее теплой точке органа, найденной таким образом, термощуп оставляли для последующих измерений температуры.



**Рис. 1. Схема распределения температур в тканях трупа в направлении введения термощупа**



Резкие скачки температуры среды воспроизводились путем быстрого перемещения трупов вместе с подложкой (матрасы, деревянный настил) на "каталке" между помещениями с различными температурами воздуха. При этом использовались: секционная комната с обычной комнатной температурой (от +18 до +23°C), секционная комната, температура воздуха в которой контролировалась мощным кондиционером (Tadigan, диапазон задаваемых температур - от +12 до +30°C), и трупохранилища со стандартным холодильным оборудованием (от +2 до +6°C). До и после резкого изменения температуры среды трупы длительно (по 5-10 часов) выдерживались в условиях постоянной температуры воздуха при продолжающемся мониторинге температуры глубоких отделов трупа.

По окончании измерений температуры с одетых трупов снимали одежду и фиксировали ряд антропометрических параметров:

- длина тела измерялась стандартным трупным ростомером в положении трупа лежа на спине от подошвенных поверхностей пяток до верхней точки волосистой части головы;

- окружность талии измерялась сантиметровой лентой как окружность живота строго в горизонтальной плоскости на уровне пупка;

- окружность ягодиц измерялась сантиметровой лентой как окружность, проходящая в горизонтальной плоскости через наиболее выступающие участки ягодиц;

- окружность грудной клетки талии измерялась сантиметровой лентой как окружность, проходящая строго в горизонтальной плоскости на уровне 6-х ребер;

- окружность правого бедра измеряли сантиметровой лентой на уровне границы средней и верхней третей;

После фиксации размерных параметров, труп взвешивали на стандартных механических весах. Взвешивание производили вместе с носилками. Массу носилок вычитали из полученного результата.

Результаты антропометрии обрабатывали с использованием метода многофакторного линейного регрессионного анализа, что позволило установить и количественно описать взаимосвязь между массой трупа и его размерными характеристиками.

В процессе формирования базы данных, статистической обработки и оформления полученных результатов использовались

компьютер с операционной системой Windows XP, программа обработки электронных таблиц Microsoft Excel XP, текстовый редактор Microsoft Word-XP, статистический пакет SPSS 13,0 for Windows.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.**

Проведенный анализ существующих математических моделей убедительно свидетельствует о хорошей проработке проблемы моделирования процесса охлаждения трупа при стационарном режиме температуры окружающего воздуха. К сожалению, на практике подобные условия встречаются далеко не во всех случаях. Довольно часто судебно-медицинский эксперт встречается с вариантом пребывания трупа в условиях переменной температуры окружающего воздуха. При этом, даже если характеристики указанных изменений известны, традиционный математический аппарат, разработанный к настоящему времени, не может быть применен.

Очевидно, что при переменных условиях внешней среды наилучшие результаты математического моделирования могут быть достигнуты только в том случае, если кривую изменения температуры трупа воспроизводить в пошаговом режиме. Для этого весь предполагаемый посмертный период должен быть разбит на более короткие интервалы времени, границы которых следует устанавливать таким образом, чтобы для любого временного промежутка можно было допустить неизменность температуры окружающей среды. Значения температуры трупа рассчитываются последовательно от начала к концу каждого из интервалов. При таком подходе каждый шаг моделирования процесса может формироваться на основе собственного значения температуры окружающего воздуха.

Кроме того, переход тела из одних условий пребывания в другие (изменение температуры окружающего воздуха) проходит через период нерегулярного его охлаждения, что должно быть учтено при разработке соответствующей математической методики. Классические модели (линейная, экспоненциальная, логистическая), не учитывают данный период и не могут быть рекомендова-

ны к применению из-за неизбежного роста погрешности, получаемого с их помощью результата.

На основании указанного выше, за основу для собственных разработок нами была взята двухэкспоненциальная модель, которая впервые была предложена для описания процесса охлаждения трупа в 1962 году Marshall и Hoare. Проведенный анализ настоящей модели, позволяет считать ее наиболее подходящей для решения задач настоящего исследования.

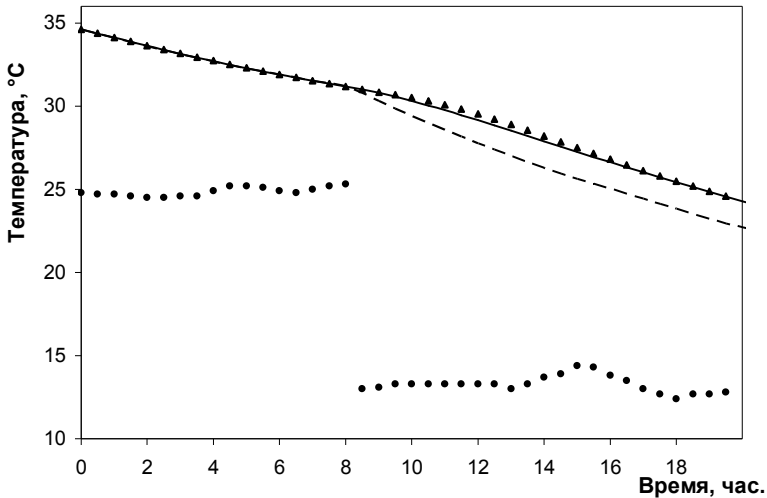
Для математического описания процесса изменения температуры трупа при меняющихся условиях внешней среды предлагаем использовать оригинальную систему двух уравнений следующего вида, полученных путем преобразования классического уравнения Marshall and Hoare:

$$\begin{cases} T = (T_0 - T_a) \times e^{B \times \Delta\tau} + \frac{T'_0 - T_a}{K - 1} \times (e^{B \times \Delta\tau} - e^{K \times B \times \Delta\tau}) + T_a \\ T' = (T'_0 - T_a) \times e^{K \times B \times \Delta\tau} + T_a \end{cases} \quad (1)$$

где  $\Delta\tau$  - продолжительность отдельных интервалов, на которые разбит посмертный период;  $T$  - температура трупа;  $T'$  - базисная температура;  $T_a$  - температура среды;  $K$  и  $B$  - коэффициенты, характеризующие индивидуальные особенности температурного тренда конкретного трупа.

Приведенная система уравнений является новым вариантом двухэкспоненциальной модели, имеющим, в сравнении с формулой Marshall and Hoare, преимущество, заключающееся в возможности раздельного запуска экспонент. Это позволяет избежать формирования "температурного плато" в ходе каждого последовательного запуска модели, что необходимо при "пошаговом" моделировании температуры трупа при переменных условиях внешней среды.

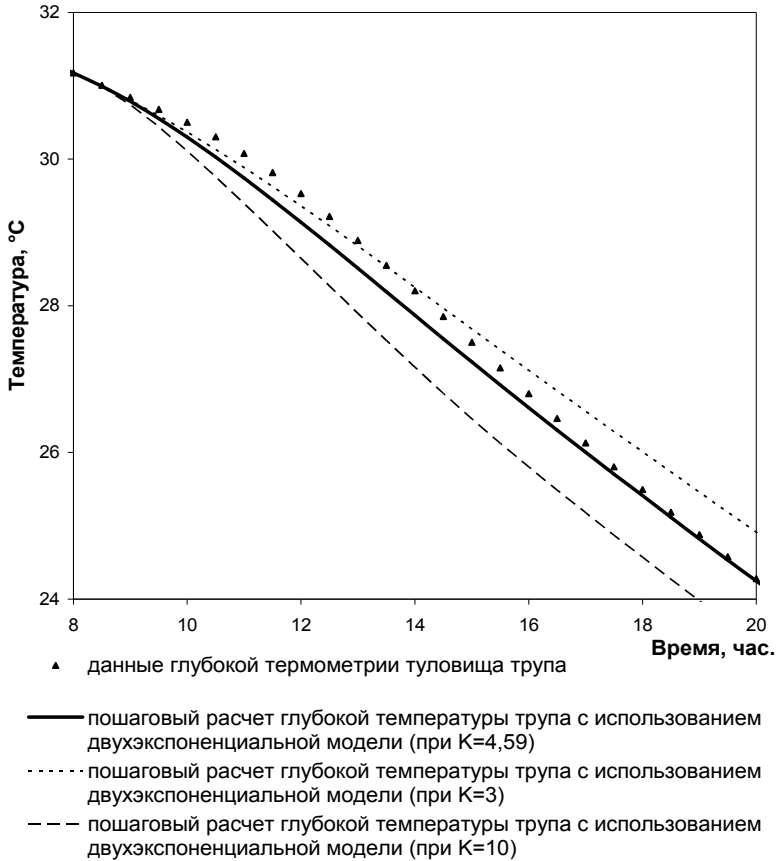
Проведение на 10-и трупах длительного мониторинга температуры в глубоких отделах трупа с экспериментальным моделированием одного резкого изменения температуры окружающего воздуха, подтвердило адекватность предлагаемой математической модели, что наглядно демонстрирует температурный тренд на рисунке 2.



- ▲ температурная кривая, полученная путем глубокой термометрии туловища трупа
- пошаговый расчет глубокой температуры трупа с использованием новой двухэкспоненциальной модели
- результат моделирования процесса охлаждения трупа простым экспоненциальным выражением
- температура окружающей среды

**Рис. 2. Графическое представление результатов пошагового математического моделирования реального процесса охлаждения трупа при резком изменении температуры окружающего воздуха**

На этом рисунке хорошо видно, что после резкого снижения температуры окружающей среды происходит ускорение охлаждения трупа, обусловленное увеличением температурного градиента между телом и окружающей средой. При этом данная реакция температурной кривой на внешнее воздействие существенно запаздывает во времени, что проявляется постепенным, растянутым на несколько часов изменением скорости охлаждения трупа до прихода ее в соответствие с новым уровнем окружающей температуры. Особенно это наглядно при сопоставлении реальной температурной кривой с простой экспонентой, которая незамедлительно реагирует на изменение своего базиса, в данном случае,



**Рис. 3. Графическое представление результатов пошагового математического моделирования реального процесса охлаждения трупа при различных значениях коэффициента  $K$ .**

температуры окружающей среды (на рисунке показано штриховой линией). Предлагаемая нами математическая модель, четче описывает регистрируемый процесс, отклоняясь от реального температурного тренда не более чем на  $0,4^{\circ}\text{C}$ .

При этом очевидно, что для пошагового двухэкспоненциального моделирования процесса изменения температуры трупа всегда можно подобрать такое значение  $K$ , при котором, хотя и при-

сутствует небольшое отличие в форме реальной и расчетной температурных кривых в первые часы после резкого изменения температуры окружающей среды, но суммарный эффект этого феномена при моделировании процесса совпадает с эффектом, имеющим место в реальности (Рис. 3).

Необходимо так же заметить, что на практике резкие скачки температуры окружающей среды встречаются редко. Наиболее типичными являются медленные суточные колебания температуры воздуха при нахождении трупа на открытой местности.

Анализом экспериментальных данных установлено, что, независимо от массы трупа, характера его одежды, характера подложки под трупом, абсолютных значений температуры воздуха, величины и направления ее резких изменений, значения константы  $K$ , позволяющие точно воспроизводить суммарный эффект "неупорядоченного процесса" при резких изменениях температуры среды, варьировали в чрезвычайно узком диапазоне: от 4,5 до 4,65 (среднее арифметическое -  $4,59 \pm 0,03$ ).

Проведенный расчет температурных кривых при крайних значениях (4,5 и 4,65) константы  $K$  показал, расхождение расчетных температур за счет различных значений этой константы по истечении "периода неупорядоченного процесса" может составить не более  $0,03^\circ\text{C}$ , что может соответствовать лишь нескольким минутам (менее 5) возможной ошибки диагностики давности смерти.

В связи с изложенным, мы посчитали правомерным, не выясняя причин указанного незначительного разброса значений константы  $K$ , в дальнейшем, использовать для описания "неупорядоченного процесса" значение  $K$ , равное 4,6.

В повседневной практике при определении давности наступления смерти методом математического моделирования процесса охлаждения трупа практические эксперты обычно сталкиваются с серьезным затруднением, обусловленным необходимостью установления массы исследуемого мертвого тела. Учет веса трупа осуществляется и в предлагаемой нами математической модели.

Приходится констатировать, что далеко не во всех судебно-медицинских моргах имеется необходимое для взвешивания тел оборудование. И это касается не только районных отделений судебно-медицинской экспертизы, но и многих региональных учреждений.

Нами было принято решение разработать простую в применении методику расчета массы тела, исходя из совокупности антропометрических показателей субъекта - длина тела, окружность грудной клетки, окружность живота, таза, бедра.

Проведенный многофакторный регрессионный анализ с использованием программы SPSS 13,0 for Windows позволил установить вид многофакторной зависимости между исследованными антропометрическими показателями и весом тела человека.

Уравнения регрессии, характеризующиеся наиболее высокой степенью предсказания результата, выглядят следующим образом соответственно для выборок женского и мужского пола:

Женский пол:

$$\begin{aligned} Weight = & -116,379 + 0,675 \times Thorax + 0,450 \times Height + \\ & + 0,522 \times Leg + 0,133 \times Breech \end{aligned} \quad (2)$$

Мужской пол:

$$Weight = -128,456 + 1,074 \times Thorax + 0,355 \times Breech + 0,389 \times Height \quad (3)$$

где *Weight* - вес, *Height* - рост (длина тела), *Thorax* - окружность грудной клетки, *Leg* - окружность бедра, *Breech* - окружность таза.

Для оптимального учета интегральной теплообменной характеристики трупа (константы В) разработан алгоритм, позволяющий реализовать адаптивный подход к численному решению задачи диагностики давности смерти в условиях меняющейся температуры внешней среды с использованием предложенной двухэкспоненциальной модели.

В общем виде, метод адаптивного поиска решения диагностической задачи может быть обозначен как итеративный, то есть, циклический перебор огромного числа значений момента запуска модели процесса охлаждения трупа и значений константы В, соответствующей интегральным теплообменным параметрам трупа. Целью итеративного поиска является нахождение того единственного варианта сочетания значений подбираемых параметров, при котором моделируемая температурная кривая максимально точно совпадет с обеими опорными точками (начальной и конечной) реальной выборки процесса.

	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И
1	Данные о температуре тела в течение суток				Температура тела, °С		Средняя температура тела, °С		
2	Дата	Время	Температура	1	2	3	4	5	
3	10.08.05	11:00	36,2	36,2	36,2	36,2	36,2	36,2	
4	10.08.05	12:00	36,4	36,4	36,4	36,4	36,4	36,4	
5	10.08.05	13:00	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	
6	10.08.05	14:00	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	
7	10.08.05	15:00	36,9	36,9	36,9	36,9	36,9	36,9	
8	10.08.05	16:00	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	
9	10.08.05	17:00	37,1	37,1	37,1	37,1	37,1	37,1	
10	10.08.05	18:00	37,2	37,2	37,2	37,2	37,2	37,2	
11	10.08.05	19:00	37,3	37,3	37,3	37,3	37,3	37,3	
12	10.08.05	20:00	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	
13	10.08.05	21:00	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	
14	10.08.05	22:00	37,6	37,6	37,6	37,6	37,6	37,6	
15	10.08.05	23:00	37,7	37,7	37,7	37,7	37,7	37,7	
16	10.08.05	00:00	37,8	37,8	37,8	37,8	37,8	37,8	
17	10.08.05	01:00	37,9	37,9	37,9	37,9	37,9	37,9	
18	10.08.05	02:00	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	
19	10.08.05	03:00	38,1	38,1	38,1	38,1	38,1	38,1	
20	10.08.05	04:00	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2	
21	10.08.05	05:00	38,3	38,3	38,3	38,3	38,3	38,3	
22									

**Рис. 4. Лист электронной таблицы Microsoft Excel, реализующей алгоритм расчета давности смерти**

С целью повышения удобства применения в практической деятельности предлагаемой математической модели, разработанная автоматизированная компьютерная система для расчета давности смерти пошаговым способом.

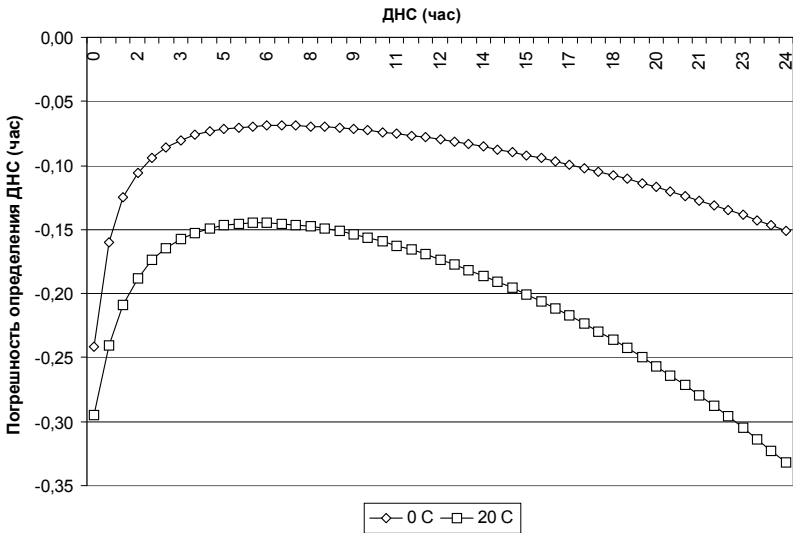
В качестве платформы для создания таковой системы выбран популярный табличный редактор Microsoft Excel, как один из самых распространенных инструментов для математической обработки материалов экспериментальных наблюдений (Рис. 4).

Анализируя погрешность разработанной нами математической системы, установлено, что ошибка расчета массы тела по его размерным характеристикам не превышает для мужской выборки 2%, а для женской - 4,1%, что соответствует требованиям, предъявляемым к точности статистических расчетов (5%).

Погрешности собственно двухэкспоненциальной математической модели представлены на рисунке 5.

Как следует из представленного графика, задавшись аппаратной погрешностью измерения в  $0,1^{\circ}\text{C}$ , в интервале температур





**Рис. 5. Зависимость погрешности ДНС по средним результатам глубокой термометрии от ДНС для различных температурных условий нахождения трупа (0 С и 20 С средние температуры)**

окружающей среды от 0°C до 20°C, возможно установление ДНС с погрешностью, не превышающей 0,35 часа. Данная величина погрешности определения ДНС выгодно отличает предлагаемую нами модель от подобных, предложенных в последние годы (Куликов В.А., 1998).

Таким образом, разработанная нами система определения давности наступления смерти, на основе двухэкспоненциальной математической модели, адекватно учитывая индивидуальные теплообменные характеристики конкретного изучаемого объекта путем итеративного подбора величины коэффициента В, с высокой точностью описывает реальный температурный тренд мертвого тела при переменных внешних условиях.

## **ВЫВОДЫ**

1. Результатом работы явилось создание оригинальной методики математического моделирования посмертной температуры трупа человека на базе разработанного для этого двухэкспоненциального выражения, позволяющего в пошаговом режиме воспроизводить кривые охлаждения трупа при меняющихся условиях внешней среды в соответствии с физической природой моделируемого процесса.

2. Методом адаптивного подхода реализован алгоритм подбора индивидуальных значений теплообменных параметров трупа (коэффициент В), отражающих особенности температурного взаимодействия тела с окружающей средой.

3. На практическом судебно-медицинском материале разработана оригинальная методика определения массы тела по его антропометрическим показателям (рост, окружность груди, живота, таза, бедра), позволяющая, на основании использования современного математического аппарата, с высокой точностью ( $P > 95$ ) производить учет данного параметра в ходе применения разработанной нами математической модели непосредственно на месте обнаружения трупа, что способствует повышению точности ОДНС ( $\pm 0,35$  часа).

4. Разработан алгоритм последовательных действий судебно-медицинского эксперта, позволяющий учесть выявленные нами зависимости для достижения наибольшей точности при определении давности наступления смерти термометрическим способом по результатам измерения глубокой температуры при изменяющейся температуре окружающей среды.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.**

На основании результатов, полученных в ходе выполнения работы, для целей повышения точности определения ДНС методом термометрии при меняющихся температурах окружающего воздуха, предложены следующие рекомендации.

1. Проведение термометрии для целей диагностики ДНС следует производить непосредственно на месте обнаружения трупа. Это позволяет исключить возможность нарушения его темпера-

турного режима в результате перемещения трупа в другие условия. Для этого необходимо использовать портативный электронный термометр любого типа, обеспечивающий необходимую точность измерения температуры.

Результаты термоизмерений с разрешающей способностью, не превышающей  $0,01^{\circ}\text{C}$ , могут быть положены в основу расчетов как с использованием классического варианта оценки теплообменных параметров трупа (В) по С.Henssge (1979), так и расчетов, производимых с использованием адаптивного подхода. Для реализации последней методики необходимо не менее двух замеров температуры, разнесенных во времени на срок не менее 15 минут.

Результаты термоизмерений, производимым термометрами, имеющими разрешающую способность  $0,1^{\circ}\text{C}$ , могут использоваться лишь для первого варианта расчетов.

Параллельно с измерением температуры трупа следует производить измерения температуры окружающего воздуха.

С нашей точки зрения, идеальной для работы с трупом является измерительная аппаратура, использованная при выполнении настоящего исследования (аппаратно-программный комплекс "Термит-1").

2. Получение сведений о динамике температуры внешней среды за период, заведомо превышающей давность смерти (следственным путем, данные метеоцентра, опрос родственников и т.д.).

Весь предполагаемый посмертный период должен быть разбит на более короткие интервалы времени, границы которых следует устанавливать таким образом, чтобы для любого временно-го промежутка можно было допустить неизменность температуры окружающей среды.

3. Для реализации расчета теплообменных параметров (В) по методике С.Henssge в случае отсутствия сведений о массе исследуемого тела произвести ее определение по антропометрическим показателям, используя предложенные в настоящей работе математические выражения соответственно женскому и мужскому полу:

Женский пол:

$$\begin{aligned} \text{Weight} = & -116,379 + 0,675 \times \text{Thorax} + 0,450 \times \text{Height} + \\ & + 0,522 \times \text{Leg} + 0,133 \times \text{Breech} \end{aligned}$$

Мужской пол:

$$Weight = -128,456 + 1,074 \times Thorax + 0,355 \times Breech + 0,389 \times Height$$

где *Weight* - вес, *Height* - рост (длина тела), *Thorax* - окружность грудной клетки, *Leg* - окружность бедра, *Breech* - окружность таза.

4. Для математического описания процесса изменения температуры трупа при меняющихся условиях внешней среды использовать двухэкспоненциальную систему:

$$\begin{cases} T = (T_0 - T_a) \times e^{B \times \Delta\tau} + \frac{T'_0 - T_a}{K - 1} \times (e^{B \times \Delta\tau} - e^{K \times B \times \Delta\tau}) + T_a \\ T' = (T'_0 - T_a) \times e^{K \times B \times \Delta\tau} + T_a \end{cases}$$

где  $\Delta\tau$  - продолжительность отдельных интервалов, на которые разбит посмертный период;  $T$  - температура трупа;  $T'$  - базисная температура;  $T_a$  - температура среды;  $K$  и  $B$  - коэффициенты, характеризующие индивидуальные особенности температурного тренда конкретного трупа.

В качестве исходных данных для поиска времени начала процесса изменения температуры трупа, использовать следующие:

- параметры, отражающие распределение температуры в трупе на момент смерти (в общем случае, температура в глубоких отделах - 37,8°C, условная базисная температура - 32,8°C);
- значение коэффициента  $K$ , отвечающего за форму и выраженность "температурного плато", равное 4,6.

5. В практической экспертной работе наиболее надежные результаты диагностики ДНС достигаются при комбинированном использовании обоих способов расчета (с классическим расчетом теплообменной характеристики трупа, по формуле Henssge и с использованием адаптивного подхода). Если результаты расчета ДНС и теплообменных характеристик ( $B$ ), полученных разными способами, близки, то предпочтение следует отдавать адаптивному методу как не содержащему источника ошибки, связанной с несовершенством системы учета факторов, влияющих на этот параметр. Если результаты этих расчетов существенно различаются, то это, скорее всего, свидетельствует о "сломе" процесса

охлаждения трупа, например, в случае недавнего перемещения трупа, либо переворачивания его, либо при резких скачках температуры и т.п., о чем эксперт может даже и не иметь информации. В таких случаях предпочтение следует отдавать результатам использования методики расчета теплообменных параметров по С. Henssge (1979).

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Швед, Е.Ф. Диагностическая программа для определения давности смерти при помощи микрокалькуляторов марки МК-61 и БЗ-34 / Е.Ф. Швед, П.И. Новиков, А.Ю. Власов // Судебно-медицинская экспертиза. 1989. № 1. с. 15-17.

2. Швед, Е.Ф. Реализация на микро-ЭВМ адаптивного способа моделирования процесса изменения температуры трупа / Е.Ф. Швед, П.И. Новиков, А.Ю. Власов // Судебно-медицинская экспертиза. 1989. № 2. с. 4-6.

3. Швед, Е.Ф. Применение математической модели процесса изменения температуры трупа в диагностике давности смерти при переменных условиях внешней среды / Е.Ф. Швед, П.И. Новиков // Судебно-медицинская экспертиза. 1991. № 2. с. 5-7.

4. Крюков, В.Н. Методологические аспекты установления давности наступления смерти / В.Н. Крюков, П.И. Новиков, В.Г. Попов, А.Ю. Власов, Е.Ф. Швед // Судебно-медицинская экспертиза. 1991. № 3. с. 15-17.

5. Швед, Е.Ф. К вопросу о математическом моделировании процесса охлаждения трупа в целях судебно-медицинской диагностики давности смерти / Е.Ф. Швед, П.И. Новиков // Материалы III Всероссийского съезда судебных медиков. Саратов, 1992. с. 283-285.

6. Новиков, П.И. Зависимость точности диагностики давности смерти по процессу охлаждения от выбора значения начальной температуры трупа / П.И. Новиков, Е.Ф. Швед // Материалы III Всероссийского съезда судебных медиков. Саратов, 1992. с. 286-287.

7. Новиков, П.И. Диагностика давности смерти при исследовании трупов, оледеневших в условиях переменной температуры

внешней среды / П.И. Новиков, Е.О. Нацентов, Е.Ф. Швед // Материалы III Всероссийского съезда судебных медиков. Саратов, 1992. с. 292-293.

8. Новиков, П.И. Судебно-медицинский прибор для определения давности смерти по процессу изменения температуры трупа / П.И. Новиков, Е.Ф. Швед // Материалы III Всероссийского съезда судебных медиков. Саратов, 1992. с. 288-291.

9. Коршунов, Н.В. Возможности использования метода моделирования процесса охлаждения в оценке степени развития гнилостных явлений трупа / Н.В. Коршунов, Е.Ф. Швед, П.И. Новиков // Материалы IV съезда Всероссийского научного общества судебных медиков. Владимир, 1996. - Ч.2., с. 32.

10. Новиков, П.И. Методологический анализ проблемы давности смерти и перспективы ее дальнейшей разработки / П.И. Новиков, А.Ю. Власов, Е.Ф. Швед, Е.О. Нацентов, Н.В. Коршунов, С.А. Белых // Судебно-медицинская экспертиза. 2004. № 3. с. 9-11.

11. Новиков, П.И. Погодные условия и их влияние на процесс изменения температуры трупа при диагностике давности смерти / П.И. Новиков, С.А. Белых, Е.Ф. Швед, Е.О. Нацентов // Судебно-медицинская экспертиза. 2004. № 1. с. 13-14.

12. Korshunov N.V. Possibilities of estimation of the time interval necessary for the development of putrefactive manifestation in the corpse / N.V. Korshunov, E.F. Shved, P.I. Novikov, A. Yu. Vlasov, E.O. Natcentov // Доклад на III конференции Европейской Академии судебных наук 22-27 сентября 2003 г, Стамбул.

13. Швед, Е.Ф. Методика автоматизированного поиска момента начала процесса постмортального охлаждения (времени смерти) с использованием стандартного табличного редактора - Microsoft Office Excel / Е.Ф. Швед, А.Ю. Вавилов // Проблемы экспертизы в медицине. 2005. № 3. с. 36-39.

14. Витер, В.И. Способ оценки массы трупа по размерным антропометрическим показателям в практической диагностике давности смерти по процессу охлаждения трупа / В.И. Витер, Е.Ф. Швед, А.Ю. Вавилов // Проблемы экспертизы в медицине. 2005. № 4. с. 9-11.