

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

На основе метода тепловизионной диагностики рассматривается автоматизированная система анализа функционального состояния иммунной системы организма. Для повышения точности входных данных автоматизированной системы экспресс - диагностики проводится анализ измерений при помощи оценки неопределённости измерения. Разработан алгоритм расчёта интегрального показателя температурных отклонений по каждому виду измерений, который заключается в линейно-логическом выборе контрольных точек измерений перед расчётом каждого температурного показателя.

**Ключевые слова:** экспресс-диагностика, неопределённость измерений, метод устранения погрешности.

### Введение

**Постановка проблемы.** В качестве прототипа разрабатываемого алгоритма и компьютерной системы экспресс-диагностики определения функционального состояния иммунной системы был выбран метод тепловизионной диагностики, разработанный иммунологами России на основе научных трудов о методах рефлексодиагностики профессора В.Г. Вогралика и М.В. Головановой. Эффективность и высокая точность результатов диагностики, основанной на этом методе, была подтверждена многочисленными исследованиями в научно-исследовательских центрах России (1988-1990 гг.) [1, 2, 6].

Важность своевременной диагностики иммунной недостаточности связана с необходимостью возможного раннего ее устранения и предотвращения заболеваний. Однако традиционная диагностика является недоступной для широкого круга людей из-за высокой себестоимости лабораторных реактивов.

Это порождает проблему сложности раннего выявления и профилактики заболеваний. Разработка алгоритма и создание автоматизированной компьютерной системы экспресс-метода диагностики и профилактики состояния иммунной системы позволяют решить данную проблему.

Во время апробации разработанного алгоритма анализа состояния иммунной системы возникла проблема недостаточной точности входных данных, на которые влияют различные факторы, такие как неточность местоположения измерений, погрешность измерительного прибора, смещение измерительного пятна, изменение температуры окружающей среды и т.д [4, 9].

Возникла необходимость провести анализ полученных измерений, применяя оценку неопределённости измерения для уточнения методики проведения измерений и разработки вспомогательной системы устранения погрешности измерений (уточнения данных).

### Анализ последних достижений и публикаций.

В работах [1, 2, 6] описана методика проведения тепловизионной диагностики, важность данной методики для профилактики иммунодефицитных состояний, в [4] авторы описывают особенности моделирования систем с использованием тепловизионных измерительных приборов, в [9, 10] описана разработанная компьютерная информационно аналитическая система для проведения тепловизионного анализа по методу экспресс-диагностики. Данные разработки стали основой для дальнейших исследований.

**Целью данной работы** является использование оценки неопределённости измерений для уточнения метода определения предела допустимой погрешности температурных показателей, который обеспечивает создание аффективного программного средства компьютерной системы экспресс - диагностики.

### Изложение основного материала

Экспресс-метод тепловизионной диагностики состоит в том, что в определённых активных точках грудной клетки, отвечающих за проекцию переднего срединного канала (рис. 1 ),

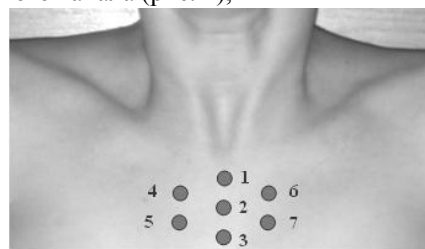


Рис. 1. Точки измерений грудной клетки

и в точках внутренней поверхности стоп, отвечающих за проекцию канала селезёнка-поджелудочная железа (рис. 2),

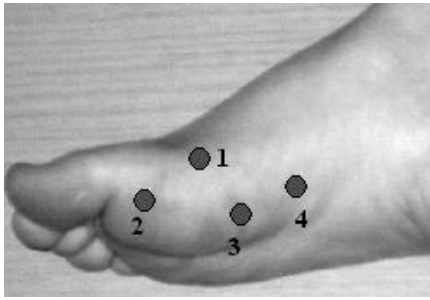


Рис. 2. Точки измерений стопы

измеряется тепловое излучение приборами соответствующего типа – тепловизорами или пирометрами. После этого проводится анализ температурных показателей и других входных данных (таких как пол, возраст, наличие простудных заболеваний, параметры общего анализа крови), на основе которых рассчитываются частичные и общий интегральные показатели температурных отклонений. По общему интегральному показателю температурных отклонений определяется количественное и функциональное состояние иммунной системы.

Использование измерительных приборов и человеческий фактор в определении положения точек измерения приводит к возникновению погрешности входных данных. Это, в свою очередь, влияет на точность определения состояния иммунной системы пациента.

Для проведения измерений используются измерительные приборы (пирометры или тепловизоры) со следующими техническими характеристиками: температурное разрешение –  $0,1^{\circ}\text{C}$ , диаметр измеряемого пятна – 5 мм, погрешность измерения температуры – 0,5 %, время измерения от 80 ms до 5 sec, диапазон измерения температуры от  $+10^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Данные приборы могут быть беспроводного или проводного типа с цифровым интерфейсом для подключения к ПК.

Даже при соблюдении требования к измерительному прибору, погрешность измерений возникает из-за снятия показаний с поверхности тела разных по физиологическому строению пациентов.

Изначально для проведения тепловизионного анализа были использованы три температурных показателя: грудной, левой стопы и правой стопы. При дальнейшей обработке этих показателей для определения состояния иммунной системы погрешность измерения вносит значительную неточность. Исходя из этого, точность результата автоматизированных расчётов становится нестабильной.

Во время практической апробации данного алгоритма анализа состояния иммунной системы в медицинских учреждениях г. Кременчуга (Украина, 2003-2008 гг.) было произведено 4650 измерений и определений расчётных показателей. Результаты измерений сохранялись в базе данных системы, раз-

работанной для автоматизации процесса (авторское свидетельство № 26718 от 01.12.2008 г.). Статистические данные, полученные в ходе апробации, адекватно отражают процесс проведения измерений, т.к. охватывают длительный период времени, получены различными специалистами от различных измерительных приборов одного класса в идентичных условиях. Для обработки результатов и входных величин внутрилабораторных испытаний был выбран эмпирический подход, т.к. он позволяет не только учесть неадекватность модели объекту и реальным условиям измерения при оценивании неопределённости измерений, но и оценить систематическую составляющую (правильность) получаемых результатов [7]. Поскольку данные были получены с градуированных измерительных приборов, то был применён метод наименьших квадратов для оценки неопределённости входных величин, а также оценка расширенной неопределённости измерений.

Для определения расширенной неопределённости были выбраны следующие параметры: воздействие окружающей среды (как случайный эффект при измерениях), нестабильность температурных показателей при отклонении измерительного пятна пирометра от точки измерения, предел погрешности измерительного прибора [8].

По результатам обработки данных, учитывая расчёт расширенной неопределённости проведённых измерений, была разработана система устранения погрешности измерений (уточнения данных), которая внедрена в основной алгоритм обработки исходных данных тепловизионного анализа.

Эта система применяется для увеличения точности расчёта интегрального температурного показателя по каждому виду измерений и заключается в линейно-логическом выборе контрольных точек измерений перед расчётом каждого температурного показателя. Контрольные точки ( $T_k$ ) определяются по следующей аналитической схеме. Маршрут измерений температур начинается с точек измерения ( $t_1, t_2, t_3$  рис. 1)  $T_{v1} \rightarrow T_{v2} \rightarrow T_{v3}$ , после чего по результатам аналитического исследования находится температурный минимум потенциально контрольных точек среди  $T_{v_j}$

$$T_{v_j} = \min(T_{vk}), k = \overline{1,3}.$$

Если точка, определённая таким образом, расположена на границе области измерений ( $T_{v1}, T_{v3}$ ), то парной контрольной точкой является точка ( $T_{v2}$ ). Аналогично рассчитываются маршруты дальнейших измерений.

В расчётной составляющей реализовано вычисление интегральных температурных показателей по каждой области измерений исходя из алгоритма тепловизионной экспресс-диагностики. Предварительно определённые параметры ( $T_{v1}-T_{v3}$  и

Tk1, Tk2) и составленный маршрут измерений используются в расчётах интегральных показателей.

Расчет интегрального показателя  $\Delta T$  для стопы осуществляется следующим образом.

Определяется средняя температура для трех точек измерений:

$$T_1 = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}.$$

Второй T2 выбирается контрольная точка:

$$\Delta T_{st} = T_1 - T_2.$$

По данному алгоритму рассчитываются интегральные показатели  $\Delta T$  для правой и левой стопы отдельно (если они не исключены из анализа из-за нарушения кровообращения).

Аналогичным способом проводится расчет интегрального показателя  $\Delta T$  по точкам грудной клетки.

Определяется средняя температура для трех точек измерений:

$$T_1 = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}.$$

Определяется средняя температура для двух контрольных точек:

$$T_1 = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}; \quad T_2 = \frac{t_1 + t_2}{2};$$

$$\Delta T_{gr} = T_1 - T_2.$$

На основе этих показателей определяется общий интегральный показатель одним из следующих методов в зависимости от маршрута измерений:

$$\Delta T_{int} = \frac{\Delta T_{gr} + \Delta T_{strg} + \Delta T_{stlf}}{3}$$

или 
$$\Delta T_{int} = \frac{\Delta T_{gr} + \Delta T_{stlf}}{3};$$

или 
$$\Delta T_{int} = \frac{\Delta T_{gr} + \Delta T_{strg}}{3};$$

или 
$$\Delta T_{int} = \Delta T_{gr}.$$

После вычисления общего интегрального показателя ( $\Delta T_{int}$ ) управление передается экспертной составляющей. В ней определяется уровень активности иммунной системы, её функциональные и количественные параметры.

## Выводы

После проведения анализа результата измерений и оценки их неопределённости сделаны следующие выводы относительно уменьшения погрешности измерений.

Для уменьшения погрешности измерений необходимо, чтобы измерительные приборы имели точность измерений  $0.01^{\circ}\text{C}$ . с диаметром измерительного пятна не более 5 мм.

Учитывая расширенную неопределённость, погрешность алгоритма тепловизионного анализа ис-

ключается путем внесения контрольных точек и соответствующего маршрута измерений, которые корректируют влияние на результат неточность выбора положения точек измерения.

Поскольку точность расчетов составляет  $10^{-8}$ , а необходима точность результата  $10^{-3}$ , то погрешности расчетов не влияют на конечный результат анализа.

При сравнении полученных результатов разработанной компьютерной системы экспресс-диагностики с результатами лабораторных клинических исследований была обнаружена полная идентичность. Этот факт подтвердили многочисленные практические исследования в клиниках г. Кременчуга, в частности в ЛДЦ «ВИКОМ».

В связи с трудоемкостью и значительной стоимостью клинических лабораторных тестов в настоящее время продолжается сбор данных параллельной диагностики информационно экспертной системой и лабораторными исследованиями для статистически значимого сравнения полученных результатов.

## Список литературы

1. *Возралик М.В. Экологический СПИД. Возможности и перспективы его тепловизионной рефлексодиагностики и пунктурной рефлексотерапии / М.В. Возралик, Г.Г. Расторгуев // Аллергология и иммунология. – 2003. – Т. 4, № 2.*
2. *Воробьев Л. Опыт применения физиорефлексотерапии в диагностике и коррекции иммунодефицитных состояний / Л. Воробьев // Аллергология и иммунология. – 2003. – Т. 4, № 2.*
3. *Першин Б.Б. Антигеннеспецифическая иммунопрофилактика, иммунокоррекция и иммунореабилитация вторичных иммунодефицитных состояний / Б.Б. Першин, С.Н. Кузьмин, В.В. Чиркин // International Journal on Immunorehabilitation. – 1997. – № 6.*
4. *Тарасов В.В., Якушенко Ю.Г. Тенденции развития тепловизионных систем второго и третьего поколений и некоторые особенности их моделирования: [по материалам зарубежной печати].*
5. *Fruatt A. Spannungsanalys durch Warmestrahlung / A. Fruatt // PEM Process Eng. Mag. – 1983. – 23, N 5-6. – P. 122-123.*
6. *Воробьев Л.В. Иммунная недостаточность у населения и организационные проблемы иммунологии // По материалам НИК «Новые медицинские технологии в клинической и курортной практике» КМАПО. – Киев, май 2004.*
7. *Захаров И.П. Оценка неопределенности измерений: эволюция нормативной базы и основных подходов / И.П. Захаров, С.В. Водотыка // Системы обработки информации: сб. науч. пр. – Х.: ХУПС, 2009. – Вып. 5 (79).*
8. *Рекомендация 1 (CI-1981) Международного комитета мер и весов Руководство по выражению неопределённости измерения / ГП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». – СПб., 1999.*
9. *Nechepurenko O. Computer technologies for diagnostics and prevention of immunity system status / O. Nechepurenko // X International PhD Workshop OWD, Gliwice: Silesian University of Technology. – 2008. – С. 113-116.*
10. *Нечепуренко О.І. Розробка інтерактивної інфо-*

рмацийної системи визначення імунного стану людини /  
О.І. Нечепуренко // "Computer Science & Engineering  
2009" (CSE-2009). – Львів: НУ «Львівська політехніка»,  
2009. – С. 76-78.

Поступила в редколлегию 11.12.2010

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. А.И. Елизаров, Кре-  
менчугский национальный университет им. Михаила  
Остроградского, Кременчуг.

### ВИКОРИСТАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ РОЗРОБКИ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ

О.І. Нечепуренко, Т.А. Григорова

*На основі метод тепловізійної діагностики розглядається автоматизована система аналізу функціонального стану імунної системи організму. Для підвищення точності вхідних даних автоматизованої системи експрес-діагностики проводиться аналіз вимірювань за допомогою оцінки невизначеності вимірювання. Розроблено алгоритм розрахунку інтегрального показника температурних відхилень по кожному виду вимірювань, який полягає в лінійно-логічному виборі контрольних точок вимірювань перед розрахунком кожного температурного показника.*

**Ключові слова:** експрес-діагностика, невизначеність вимірювань, метод усунення похибки.

### USE OF UNCERTAINTY OF MEASUREMENT FOR THE TEMPERATURE INDICATORS CALCULATING METHOD DEVELOPMENT

O.I. Nechepuenko, T.A. Grigorova

*Based on the method of thermal diagnostics the computer-based analysis system of the functional state of the immune system is considered. Analysis of measurements by evaluation of measurement uncertainty is held for data input accuracy increase of express-diagnostics computer-based system. The temperature variations integral indicator calculating algorithm developed for each measurement. It is linearly logical choice of the measurement control points to calculate each of the temperature indicator.*

**Keywords:** rapid diagnosis, measurement uncertainty, eliminate errors method.