

наблюдается при использовании одинарной проволоки в исходном состоянии ее поверхности. Применение свитой пилы без модифицирования ее поверхности приводит к возрастанию значения  $i$ , при этом с уменьшением шага свития интенсивность распиливания образца возрастает. Так, при  $S = 8,1$  мм значение  $i$  составило  $1,59$  мм<sup>2</sup>/мин, при  $S = 4,2$  мм –  $i = 1,79$  мм<sup>2</sup>/мин и при  $S = 3,7$  мм –  $i = 1,94$  мм<sup>2</sup>/мин.

На рисунке 4 приведены значения параметра  $Ra$  шероховатости распиленной поверхности образца при использовании испытываемых проволочных инструментов в исходном состоянии их поверхности и после ее модифицирования.

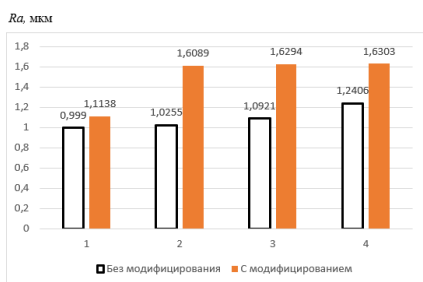


Рисунок 4 – Значения параметра  $Ra$  шероховатости распиленной поверхности образца при использовании испытываемых проволочных инструментов в исходном состоянии их поверхности и после ее модифицирования:

1 – одинарной проволокой; 2 – свитой проволокой с  $S = 8,1$  мм; 3 – свитой проволокой с  $S = 4,2$  мм; 4 – свитой проволокой с  $S = 3,7$  мм

Из анализа этих данных следует, что наименьшее значение параметра  $Ra = 0,99$  мкм шероховатости распиленной поверхности образца имеет место при использовании одинарного проволочного инструмента в исходном состоянии его поверхности. Применение свитого инструмента приводит к некоторому увеличению значения параметра  $Ra$ , наибольшее значение которого  $Ra = 1,24$  мкм имеет место при шаге свития проволок равном  $3,7$  мм.

На рисунке 5 представлены значения ширины пропила в образце при его распиливании испытываемыми инструментами.

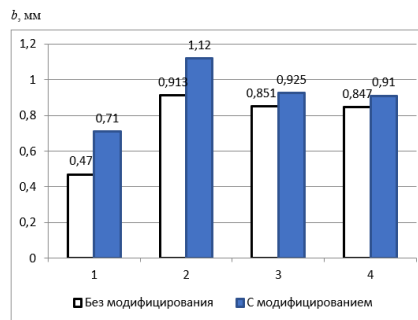


Рисунок 5 – Значения ширины пропила в образце при его распиливании испытываемыми инструментами в исходном состоянии их поверхности и после ее модифицирования:

1 – одинарной проволокой; 2 – свитой проволокой с  $S = 8,1$  мм; 3 – свитой проволокой с  $S = 4,2$  мм; 4 – свитой проволокой с  $S = 3,7$  мм

Как видно, наименьшему значению  $b = 0,47$  мм соответствует распиливание образца одинарной проволокой. При использовании свитого инструмента на ширину распила оказывает влияние шаг свития. Так наибольшему значению  $b = 0,91$  мм соответствует применение инструмента с  $S = 8,1$  мм, а при  $S = 4,2$  мм и  $3,7$  мм ширина пропила остается практически одинаковой и составляет  $0,85$  и  $0,84$  мм.

#### Литература

1. Королев, А.В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. Часть 2. Взаимодействие инструмента и заготовки при абразивной обработке / А.В. Королев, Ю.К. Новоселов // Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1989. – 160 с.
2. Киселев, М.Г. Теоретическое обоснование рациональных параметров режима электроконтактной обработки проволочного инструмента / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, А.В. Москаленко, П.С. Богдан // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого № 3. – 2012. – С. 3–10.
3. Киселев, М.Г. Модификация исходной поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности путем применения электроконтактной обработки / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, А.В. Москаленко, П.С. Богдан // Вестник Белорусско-Российского университета № 1(34). – 2012. – С. 13–22.

УДК 535.317

## ТЕРМОГРАФИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КАК СОВРЕМЕННОЕ СРЕДСТВО ОБНАРУЖЕНИЯ ПАТОЛОГИЙ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Муравьев А.В.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
Киев, Украина

**Современное состояние медицинской термографии.** Как известно, все тела, находящиеся при температуре выше абсолютного нуля, излучают в инфракрасном (ИК) диапазоне электромагнитных волн. Регистрация этого излучения на

определенном участке оптического спектра является основой работы тепловизионной техники, которая на сегодняшний день широко применяется в различных сферах жизни человека. Одним из стремительно развивающихся сегодня нап-

равлений тепловидения, является медицинская термография – диагностический метод, основанный на анализе тепловой картины организма пациента. Уникальность этого метода по сравнению с другими способами исследования патологий в первую очередь заключается в его абсолютной неинвазивности: термографическое обследование безопасно для человека благодаря анализу в процессе диагностики исключительно собственного излучения тела пациента.

Применение современной тепловизионной техники позволяет диагностировать более 200 заболеваний, причем многие из них на ранних стадиях, что значительно ускоряет лечение и выздоровление пациента [1]. С каждым днем список патологий, которые можно обнаружить с помощью медицинской термографии, расширяется. Тенденция обусловлена не только совершенствованием тепловизионной техники, температурная разрешающая способность которой сегодня уже достигает сотых долей градуса, но и разработкой новых методов обработки и анализа изображений.

Тепловизионное оборудование, которое применяется на сегодняшний день в медицинских учреждениях, позволяет получить качественную термограмму определенного участка тела пациента, однако анализом полученного изображения занимается непосредственно врач, самостоятельно оценивая отклонение тепловой картины от нормы (рис. 1).



Рисунок 1 – Процедура проведения термографической диагностики пациента в медицинском учреждении

К сожалению, при таком подходе высока вероятность ошибки, обусловленной человеческим фактором: субъективностью суждения и низкой компетентностью медицинского работника. Следовательно, одной из наиболее актуальных задач развития данного направления диагностики в настоящее время является автоматизация анализа термограммы и методик выявления патологий на основе алгоритмов обработки изображений.

Одними из самых известных концепций диагностики патологий организма человека на основе термограммы являются сравнение температур симметричных участков тела и анализ изменения температурного градиента в определенных зонах организма. Первый метод имеет несколько исключений, наиболее существенным из которых является область сердца: температура на этом участке, конечно же, выше по сравнению с симметричной областью на правой стороне грудной

клетки. Следовательно, такой подход не всегда возможен, особенно если патология связана с кардиологическим аспектом. Однако, сравнение температур симметричных участков на основе термограммы в других зонах тела человека позволяет с высокой вероятностью выявить очаги воспалительных процессов или, например, опухоли. Последнее широко используется в онкологии, причем установлено, что если температура новообразования выше по сравнению с нормальной температурой симметричного участка тела, то опухоль относится к злокачественной, если ниже – к доброкачественной. Кроме онкологии медицинская термография получила применение в отоларингологии, маммологии, стоматологии и даже хирургии, где в процессе проведения некоторых операций (например, при открытых операциях на сердце) необходимо строго выдерживать определенную температуру тела пациента.

Сложность применяемых подходов анализа термограмм связана с разницей нормальной температуры у разных людей. Также различные участки тела имеют существенное отличие по температуре и хотя общая закономерность существует, все же унифицировать значение нормальной температуры для всех участков тела различных пациентов не представляется возможным в связи с индивидуальными особенностями организма.

Современный уровень развития технологии искусственных нейронных сетей позволяет полностью автоматизировать процесс анализа тепловой картины и добиться достоверности поставленного без участия врача диагноза с вероятностью до 95 процентов. Для этого достаточно сформировать электронную базу из нескольких тысяч термограмм пациентов, оценка которых привела к идентичным диагнозам двух-трех высококвалифицированных врачей. Такого количества данных более чем достаточно при использовании самообучающейся нейросети для её успешного функционирования.

**Влияние температуры на оптическую систему термографа и его компенсация.** Температурная зависимость характеристик материалов объектива ИК прибора существенно влияет на качество получаемого изображения, что, в свою очередь, снижает информативность и адекватность оценки патологических состояний пациента по термограмме.

Для термостабилизации качества изображения термографа на этапе синтеза конструктивных параметров оптической системы прибора целесообразно применять метод пассивной оптической атермализации, который предусматривает использование при проектировании объектива нескольких ИК материалов с различными по значению и знакам термооптическими постоянными [2].

Пассивная оптическая атермализация ИК триплетов базируется на синтезе оптической

системы, конструктивные параметры и термооптические характеристики материалов которой должны быть подобраны таким образом, чтобы при изменении температуры баланс оптических сил компонентов объектива оставался неизменным [3].

Результатом применения вышеуказанного метода является ИК трехкомпонентный объектив, схема которого приведена на рис. 2. Предложенная оптическая система имеет следующие характеристики: относительное отверстие 1:1, угловое поле зрения  $2\omega = 20^\circ$ , фокусное расстояние  $f' = 38,2$  мм, спектральный диапазон работы 8-12 мкм.

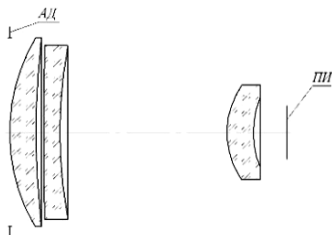


Рисунок 2 – Схема атермализованного ИК объектива:  
АД – апертурная диафрагма диаметром 38 мм.  
П – плоскость изображения

Высокое качество изображения объектива подтверждается уровнем модуляционной передаточной функции 50% на пространственной частоте  $20 \text{ мм}^{-1}$  и уровнем функции концентрации энергии 66% в размере пятна рассеяния 25 мкм для края поля зрения системы. Конструктивные параметры триплета содержит табл. 1. С другими комбинациями и схемами термостабилизированных ИК объективов, синтезированных на основе метода пассивной оптической атермализации, можно ознакомиться в работе [4].

Таблица 1 – Конструктивные параметры объектива

№	Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Материал компонента	Световой диаметр, мм
1	48,13	4,74	ИКС25	41,66
2	144,24	1,89		40,96
3	557,74	2,59	ZnSe	40,31
4	99,18	36,62		38,74
5	23,33	6,58	Ge	25,51
6	22,88	8,02		20,18

Величина заднего фокального отрезка данного объектива остается практически неизменной в

УДК 621.179.14

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ

Счастный А.С., Осипов А.А.

Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики НАН Беларуси»  
Минск, Республика Беларусь

В современном производстве используются различные технические решения, обеспечивающие повышение долговечности и надежности выпускаемой продукции. Одним из таких подходов

диапазоне температур окружающей среды от  $0^\circ \text{C}$  до  $+50^\circ \text{C}$ . Таким образом, предложенный светосильный атермализованный объектив для ИК области спектра можно применять с матричными фотоприемниками с размером пикселя  $25 \times 25$  мкм, сохраняя при этом высокое качество изображения и неизменные характеристики за счет отсутствия терморасфокусировки в оптической системе.

**Выводы.** Тепловидение удачно сочетает в себе эффективный поиск патологий и абсолютную неинвазивность для пациента и медицинского персонала. Достоверность диагностики основана на стабильности тепловизионной симптоматики, главным параметром которой является постоянство и предсказуемость изменения относительных температур. Это позволяет успешно применять термографию, как метод объективного контроля за ходом патологических процессов в организме, для различных сфер медицинской деятельности.

Термография получила признание относительно недавно и еще не получила массового внедрения, поэтому на сегодняшний день это направление в медицине требует совершенствования алгоритмов работы, модернизации техники, автоматизации анализа результатов диагностики с применением передовых технологий, а также проведение исследований по развитию самого метода, на что и должны быть направлены основные научные усилия.

### Литература

- Иваницкий Г.Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине / Г.Р. Иваницкий // Успехи физических наук. – 2006. – № 12. – С. 1294–1320.
- Муравьев А.В. Термостабилизация качества изображения оптической системы термографа / А.В. Муравьев, Е.А. Назарчук // Вісник інженерної академії України. – 2016. – вип. № 4. – С. 195–199.
- Кучеренко О.К. Методы пассивной атермализации и ахроматизации двухкомпонентных оптических систем / О.К. Кучеренко, А.В. Муравьев // Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування. – 2012. – вип. № 43. – С. 46–53.
- Муравьев А.В. Композиции атермализованных трехкомпонентных инфракрасных объективов / А.В. Муравьев, О.К. Кучеренко // Наука и техника. – 2015. – № 4. – С. 32–37.

является использование разнообразных упрочняющих слоев [1]. Важной задачей остается контроль толщины упрочненного слоя. Для этого предлагается ряд магнитных методов контроля,