**ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ДИНАМИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ**

Бурков И.А., Пономарев Д.Е., Цыганов, Д.И.

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.* [*bauman@bmstu.ru*](mailto:bauman@bmstu.ru)

В настоящее время развивается использование низких температур в медицине. Задачи, встающие на пути криомедицины, являются междисциплинарными. Так для создания и разработки нового оборудования необходимо рассчитывать процессы теплообмена, протекающие в биологических тканях. Для этого необходимо знать теплофизические свойства объектов воздействия и устанавливать их зависимости от самого воздействия на всем необходимом диапазоне температур, с учетом скорости её изменения. Однако на данный момент существует недостаток такой информации. Таким образом, разработка биофизических моделей тканей и определение их теплофизических свойств является актуальным направлением развития науки о жизни.

При исследовании взаимодействия «холода» и биологической ткани в первую очередь рассматривают: плотность, теплопроводность и теплоемкость. Источником информации о теплофизических свойствах являются результаты независимых теплофизических измерений, которые возможно получить только тогда, когда они производятся в условиях, максимально приближенных к реальным тепловым процессам [1].

Теплофизические свойства биологических тканей не являются постоянными величинами и зависят от множества факторов, что усложняет их измерение. Среди этих факторов стоит в первую очередь отметить разницу между тканью *in vivo* и *in vitro*, а также влияние влагосодержания на характеристики биотканей.

В тканях *in vivo*, характерной особенностью является наличие достаточно интенсивного кровотока и метаболизма. Одной из моделей учета особенностей ткани *in vivo* является так называемая эффективная теплопроводность [2]. Удобство заключается в том, что в расчетах можно использовать теплопроводность, посчитанную вне живого организма (*in vitro*), с учетом некоторой поправки. Очевидно, что эксперименты *in vitro* являются менее достоверными, чем *in vivo*, и в большинстве своем бывают лишь необходимой предварительной стадией для оценки возможности и необходимости последующих исследований *in vivo*.

Следующей особенностью биологических тканей является влагосодержание. У большинства из них основным компонентом является вода, что в значительной степени определяет их теплофизические свойства. Так, для биотканей с низким содержанием воды значительных изменений теплопроводности при температурах, соответствующих интервалу фазового перехода, не наблюдалось. Однако в биологических тканях с высоким влагосодержанием наличие фазового перехода приводит к особой нестабильности свойств биологических тканей, поэтому только при одновременном и всестороннем исследовании образца удается улавливать взаимосвязь между совокупностью его тепловлажностных характеристик. Следовательно, возникает необходимость одновременно измерять как равновесные тепловые характеристики, т.е. теплоемкость, так и переносные, т.е. теплопроводность и температуропроводность.

Из выше сказанного следует, что для измерения теплофизических свойств биотканей целесообразно применять комплексные динамические методы измерения, в которых образец в процессе опыта монотонно изменяет свою температуру. Одновременно все три теплофизические характеристики образца могут активно проявлять себя только в нестационарных нелинейных температурных полях [3]. Для таких целей предложено использовать экспериментальную установку ИТС-λс-10, разработанную в лаборатории кафедры физики Санкт-Петербургского НИУ ИТМО.

Согласно техническому паспорту прибора ИТС-λс-10 среднеквадратичная погрешность по трем опытам для теплопроводности составляет 7-8%, для теплоемкости 5-7%. Охлаждение в экспериментах проводилось с использованием ПКХМ на смесях хладагентов, с минимально достижимой температурой около минус 110 °С. Проводятся эксперименты с калибровочным образцом из полиметилметакрилата, аттестованного ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». При выходе на режим максимальная погрешность не превышает 10 %, однако проявляется нестабильность результатов.

Проводятся работы по оптимизации данного прибора и программного обеспечения для целей измерения теплофизических свойств. В дальнейшем предполагается продолжить внедрение данного прибора для измерения теплофизических свойств различных образцов биологической ткани *in vitro*.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Платунов Е.С., Баранов И.В., Буравой С.Е., Курепин В.В. *Теплофизические измерения: учеб, пособие/ под ред. Е.С. Платунова*. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 738 с.

2. Цыганов Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2011. 304 с.

3. Choi J., Bischof J.C. Review of biomaterial thermal property measurements in the cryogenic regime and their use for prediction of equilibrium and non-equilibrium freezing applications in cryobiology // *Cryobiology*, vol. 60, Issue 1, №2 2010, pp. 52–70.