

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

13-85-102

**В.И.Данилов, Г.А.Кононенко**

**СИСТЕМА ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО МАГНИТНОЙ БИОЛОГИИ**

**1985**

В биофизических исследованиях, связанных с изучением влияния переменных магнитных полей на живые организмы /1,2/, возникает необходимость в термостатировании, при котором требуется поддерживать температуру в пределах  $+35 \div 42^\circ\text{C}$  в объеме  $0,5 \text{ дм}^3$  с точностью  $\sim 0,3^\circ\text{C}$  в течение длительного времени /несколько десятков часов/.

Наиболее подходящими для этой цели являются электрические термостаты, обладающие малой потребляемой мощностью, простотой конструкции и высокой надежностью /3/. Однако специфика биофизических исследований, связанных с исследованием влияния переменных магнитных полей напряженностью от единиц до сотен эрстед, не позволяет использовать хорошо отработанную традиционную конструкцию термостатов, нашедших широкое применение, например, в радиоэлектронике.

Основным элементом таких термостатов является металлический кожух, на котором размещается обмотка нагревателя. Высокая теплопроводность металла позволяет создать изотермическую поверхность и обеспечивает хороший тепловой контакт между термодатчиком, включенным в цепь обратной связи, и обмоткой нагревателя, что позволяет перейти от регулирования температуры в точке расположения термодатчика к регулированию температуры по всей поверхности, окружающей термостатируемый объем, и существенно снижает выбеги температуры, неизбежные вследствие запаздывания сигнала обратной связи от нагревателя к термодатчику. Однако в металлическом кожухе термостата, при помещении его в переменное магнитное поле, возникают наведенные токи, которые приводят к изменению электромагнитной обстановки в термостатируемом объеме, в результате чего невозможно обеспечить необходимые условия проведения эксперимента.

В настоящей работе описано термостатирующее устройство со спиральным нагревателем без металлического кожуха с совмещением функций нагревателя и измерителя температуры в одном элементе.

#### ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМОСТАТА

На рис. 1 представлена принципиальная схема устройства управления. Обмотка нагревателя сопротивлением  $R_H = 50 \text{ Ом}$  совместно с резисторами  $R_1 - R_3$  образует термочувствительный мост, в диагональ которого включен прецизионный операционный усилитель /ОУ/ К551УД1А. Резисторы моста выбраны таким образом, чтобы основная мощность, подводимая к мосту, выделялась на сопротивлении обмотки нагревателя.

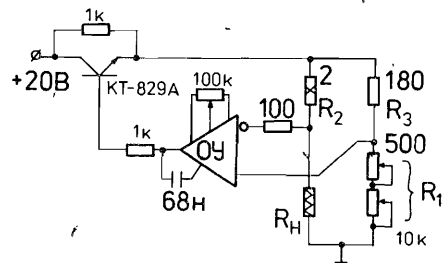


Рис. 1. Принципиальная схема устройства управления термостата: ОУ - К551УД1А.

В исходном состоянии мост разбалансирован и напряжение на неинвертирующем входе выше, чем на инвертирующем. ОУ насыщен, транзистор открыт и практически все напряжение источника питания прикладывается к сопротивлению обмотки нагревателя /подводимая мощность ~4,5 Вт/. По мере разогрева обмотки ее сопротивление повышается вплоть до наступления баланса моста:  $R_1 \cdot R_2 \approx R_3 \cdot R_H$ . Коэффициент усиления ОУ влияет на точность выполнения этого равенства, и чем выше он, тем данное соотношение будет точнее. Если положить  $R_1 = R_2 = R_3 = R_H = 50 \text{ Ом}$  для коэффициента усиления по цепи обратной связи  $K = 5 \cdot 10^5 / 4$ , при условии, что входное сопротивление ОУ  $R_{вх} = \infty$  /для ОУ этого типа  $R_{вх} = 1,5 \text{ МОм}$  /, то погрешность установки сопротивления нагревателя составит  $\sim 10^{-4} \text{ Ом}$ .

Сопротивление медного провода и его температура связаны соотношением <sup>1/5</sup>:

$$R'_H = R_H \cdot \frac{\tau + t'}{\tau + t}, \quad /1/$$

где  $t(t')$  - начальная /конечная/ температура нагревателя,  $R_H(R'_H)$  - начальное /конечное/ значение сопротивления нагревателя,  $\tau$  - константа, равная для меди 234.

$$\text{Тогда } \Delta R_H \approx R'_H - R_H = R_H \cdot \frac{t - t'}{\tau + t} = \frac{R_H \cdot \Delta t}{\tau + t} \quad \text{или}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta R_H}{R_H} \cdot (\tau + t). \quad /2/$$

Для  $\Delta R_H = 10^{-4} \text{ Ом}$ ,  $R_H = 50 \text{ Ом}$  и  $t = +36^\circ\text{C}$  получим  $\Delta t \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таким образом, большой коэффициент усиления ОУ позволяет с высокой точностью поддерживать заданное сопротивление обмотки и связанную с ним температуру.

Однако вследствие конструктивных особенностей камеры термостата, температурной зависимости характеристик ОУ, конечных значений ТКС резисторов моста ( $R_1 - R_3$ ) и соединительных проводов, идущих к термостату, точность термостатирования будет заметно ниже. Соответствующими целями термокомпенсирования влияние этих факторов может быть существенно снижено. Так как термостаты пред-

назначены для использования при комнатной температуре, колебания которой незначительны, и в большинстве случаев достаточна точность термостатирования  $\sim 0,3^\circ\text{C}$ , то оказалось возможным применение в качестве  $R_1 \div R_3$  прецизионных резисторов.

## КОНСТРУКЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОСТАТА

Рабочий объем термостата представляет собой прямоугольную коробку размерами 140x50x70 мм с перфорированными боковыми стенками и дном, выполненную из стеклотекстолита толщиной 1 мм. Внутри нее размещен съемный столик, который позволяет жестко закреплять образцы. На расстоянии 10 мм от внешних стенок перфорированной коробки размещена обмотка нагревателя, намотанная на каркасе, жестко закрепленном на этой же коробке. Нагреватель выполнен из медной проволоки ПЭВ-2 диаметром 0,2 мм. Намотка осуществлялась скрученным бифиляром виток к витку в несколько слоев по боковой поверхности и нижней плоскости перфорированной коробки. Коробка с нагревателем обклеена стеклотекстолитом толщиной 1 мм. Сверху объем закрывается крышкой, на которой размещена часть обмотки. Эта конструкция помещена в кожух из органического стекла толщиной 8 мм с размерами 210x115x170 мм; который закрывается съемной крышкой, притягиваемой двумя винтами и уплотняющей нижнюю крышку с обмоткой через поролоновую прокладку. Между стенками внутренней камеры и стенками кожуха, включая дно и верхнюю крышку, проложен пенопласт.

В боковой стенке внешнего кожуха установлен разъем для подключения обмотки нагревателя и термодатчика, служащего для измерения температуры внутри термостатируемого объема. Термодатчик выполнен из медной проволоки /ПЭВ-2, диаметр 0,06 мм/ и имеет сопротивление 50 Ом при  $+20^\circ\text{C}$ . Он размещается на столике непосредственно у флаконов с культурами. Регистрация температуры осуществляется шестиканальным прибором КСМ-4, который был перестроен на работу в диапазоне  $+25 \div 45^\circ\text{C}$ .

Система термостатирования включает четыре одинаковые камеры термостатов, устройство управления, состоящее из блоков питания и четырех блокочков управления, собранных по схеме, представленной на рис.1, и прибор КСМ-4. Установка необходимой температуры в камере термостата осуществляется многооборотным потенциометром со шкалой /500 Ом на рис.1/. Схема управления обеспечивает практически линейную зависимость между величиной этого сопротивления и устанавливаемой температурой.

На рис.2 представлена кривая разогрева термостата. Время выхода термостата на режим термостабилизации, как видно из рисунка, составляет 60 мин. Для биологических объектов требуется, чтобы они все время находились при определенной температуре. Поэтому после приготовления образцы с культурой помещаются сразу же в термостат, который при этом должен быть уже выведен на рабочий

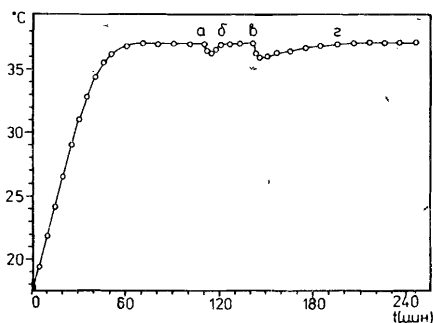


Рис. 2. Характеристика разогрева термостата. Участок "а-б" — переходный процесс при полной разгерметизации термостата на 20 с. Участок "в-г" — переходной процесс при загрузке термостата.

режим. Отсюда неизбежна разгерметизация термостата в процессе работы, которая приведет к понижению температуры в его объеме. Величина снижения температуры и длительность переходного процесса будут определяться рядом причин: характером загружаемых объектов, степенью загрузки /полная или частичная/, разницей температур между объектом и температурой внутри термостата и т.д.

На рис. 2 /участок "а-б"/ показан переходный процесс при полной разгерметизации термостата на 20 с без загрузки. Температура в термостате была +37°C, а в помещении +19°C. В результате разгерметизации температура в рабочем объеме упала на 0,7°C и полностью восстановилась через 10 мин. Участок "в-г" соответствует переходному процессу при полной загрузке термостата. Загрузка осуществлялась тремя /по 20 мл/ пенициллиновыми флаконами, наполненными водой /по 15 мл в каждом/ с температурой +36°C. Таким образом, разница температур в один градус между образцами и камерой термостата, при полной его загрузке, дает переходной процесс ≈ 50 мин.

Непрерывная работа термостатов в течение 58 ч показала, что температура в камере отклоняется от установленной +37°C не более чем на +0,1°C при изменении температуры в пределах +18 ÷ 25°C.

Измерение магнитного поля внутри камер при максимальном значении тока, который может быть в обмотке нагревателя, показало, что его значение не превышает  $1,5 \cdot 10^{-6}$  Т. В режиме термостатирования ток в обмотке нагревателя остается практически постоянным. Его изменения незначительны и носят очень медленный характер, что связано с дрейфом температуры в помещении. Поэтому изменения магнитного поля, связанного с током в обмотке нагревателя, также носят очень медленный характер и составляют 10% от его максимальной величины при изменении температуры в помещении в интервале +19 ÷ 25°C.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Было изготовлено четыре установки описанного типа, отличающиеся диапазонами рабочих температур, системами вывода показаний термодатчиков и количеством термостатируемых камер. Эксплуатация установок в течение двух лет показала их высокую надежность и эффективность.

Авторы благодарны П.Т.Шишлянникову и Д.Л.Новикову за помощь при измерении магнитных полей и Т.Е.Фоменковой за полезный обсуждение в процессе подготовки работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Говорун Р.Д. и др. ОИЯИ, Р19-83-906, Дубна, 1983.
2. Говорун Р.Д. и др. ОИЯИ, 19-83-905, Дубна, 1983.
3. Венгеровский А.В., Ванштейн А.Х. Системы термостатирования в радиоэлектронике. "Энергия", Л., 1969.
4. Шило В.А. Линейные интегральные схемы. "Сов.радио", М., 1979.
5. Турчин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин. "Энергия", М., 1966.