

**О НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ТЕРМОСТАТА  
С ТОЧНОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ**

***К. П. Флоренский***

*(Биогеохимическая лаборатория Академии Наук СССР)*

Для определения плотностей воды флотационным методом с точностью до  $2-3 \cdot 10^{-7}$  d весьма удобен метод с произвольным изменением температуры измеряемой жидкости, находящейся при постоянном давлении.

Термостат, применяемый для этой цели, должен держать точно заданную температуру до  $\pm 0,001^\circ \text{C}$  лишь во время производства самого измерения, т. е. всего в течение 10–20 мин., но быть достаточно чувствительным, допуская быстрое произвольное и точное изменение температуры на несколько тысячных градуса в ту и другую сторону во время производства одного опыта и в пределах нескольких десятых градуса при производстве серии опытов. Это несколько необычное сочетание высокой точности термостата с большой мобильностью его привело нас к новой схеме терморегулятора, отвечающего этим условиям.

Обычный ртутный или ртутно-толуоловый регулятор с ртутно-платиновым или ртутно-вольфрамовым контактом в капилляре, замыкающим цепь реле, имеет ряд существенных недостатков в интересующих нас условиях: открытый ртутный контакт способствует образованию на поверхности ртути окисной пленки, от которой трудно избавиться и которая затрудняет движение ртути; уже при небольшом загрязнении в тонком капилляре начинается некоторое прилипание ртути к контактной проволочке, вследствие чего замыкание и размыкание контакта происходит при различной температуре. Даже при употреблении весьма тонких контактных проволочек из Pt, Mo или W при перегреве термостата капелька ртути легко задерживается между стенкой капилляра и проволочкой и отрывается при обратном движении ртути. Во избежание этого явления надо применять капилляр диаметром порядка 0,8–1,0 мм, причем вряд ли целесообразно уменьшать его до 0,5 мм. Применение же капилляров такого диаметра для получения терморегулятора надлежащей чувствительности заставляет значительно увеличивать объем жидкости в терморегуляторе (до 1000 мл), что связано с большими конструктивными неудобствами.

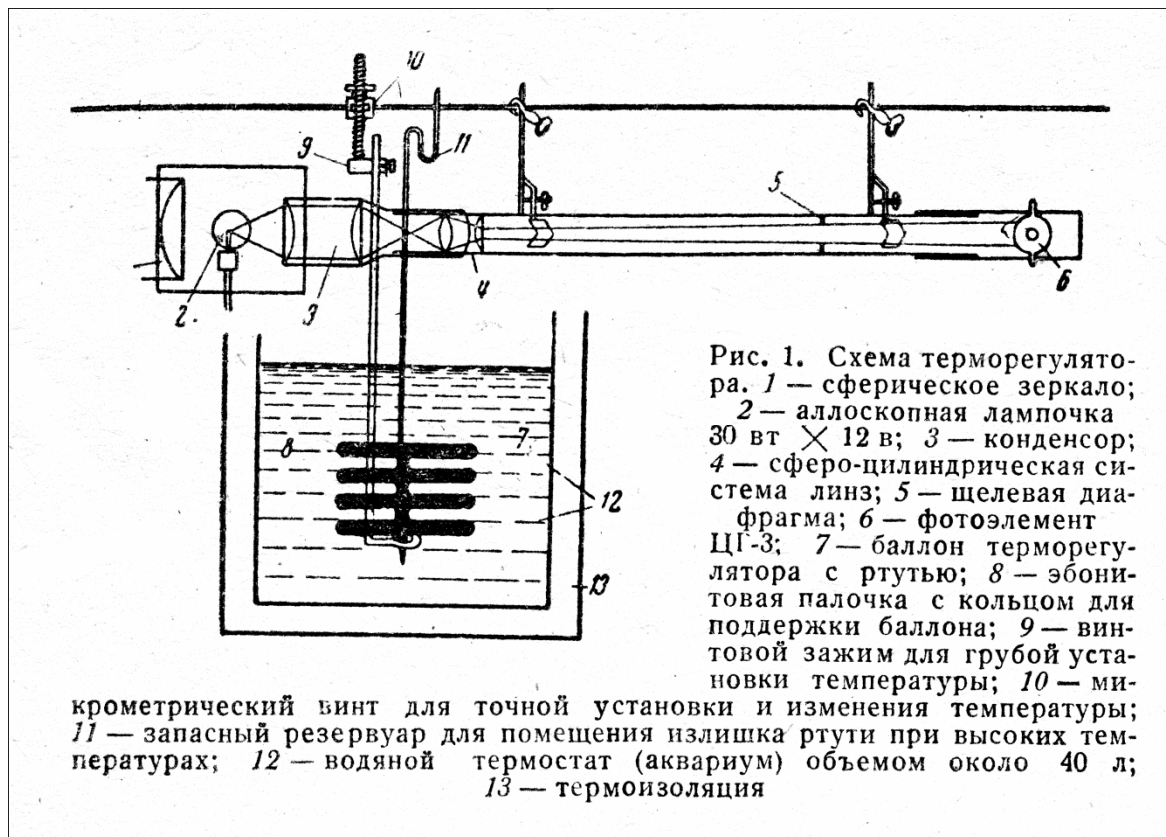
Изменение температуры таким терморегулятором достигается обычно изменением давления на ртуть в широком колене U-образной трубки, узким коленом которой служит контактный капилляр. Давление на ртуть производится либо металлическим поршнем или винтом, вытесняющим ртуть, либо изменением давления воздуха над ртутью. Первым способом трудно получить небольшое изменение температуры на заданную величину, так как ртуть не всегда равномерно заполняет зазоры винта или поршня. Второй способ, вероятно, точнее, но связан с газонепроницаемой установкой и насосом.

В терморегуляторе нашей конструкции мы постарались избавиться от большинства вышеуказанных недостатков. В основу конструкции положен принцип закрывания точечного пучка света, падающего на фотоэлемент, поднимающимся столбиком ртути. Таким образом, мы освобождаемся от всякого материального контакта с ртутью, помещенной в запаянный сосуд. Это позволило уменьшить диаметр капилляра до 0,25 мм, а при тщательном изготовлении терморегулятора этот диаметр можно еще значительно уменьшить.

Благодаря этому весь терморегулятор без уменьшения чувствительности обладает весьма небольшим объемом. Это дает ряд значительных преимуществ, из которых надо отметить резкое уменьшение тепловой инерции прибора, особенно при переходе к чисто ртутному терморегулятору.

Рассчитывая терморегулятор по соответствующей формуле, получаем, что при употреблении капилляра диаметром 0,25 мм и резервуара с ртутью в 60 мл подъем ртути при изменении температуры на  $0,001^{\circ}\text{C}$  составляет 0,23 мм, т. е. величину вполне достаточную. Вес такого терморегулятора около 800 г, что не представляет неудобств в обращении. Для увеличения воспринимающей поверхности резервуар терморегулятора сделан из нескольких стеклянных трубок. Поверх ртути мы наливаем 10% раствор серной кислоты (как в электрометре Липпмана и как это делали Дюкло и Гамелен для точного метастатического термометра) для облегчения небольших передвижений ртути. Этот раствор, имеющий показатель преломления, близкий к показателю стекла, способствует правильному прохождению света через капилляр и обеспечивает более четкую проекцию ртути на фотоэлемент. Таким образом наш терморегулятор (рис. 1) представляет собой весьма точный метастатический термометр, лишенный шкалы. Пучок света, пройдя через капилляр, попадает в систему линз, дающих увеличенную в 50 раз проекцию на фотоэлемент. Удобно включать в систему сферо-цилиндрические линзы, чтобы ширина проекции капилляра покрывала все светочувствительное поле фотоэлемента. Перед фотоэлементом установлена диафрагма в виде горизонтальной щели, что значительно увеличивает чувствительность прибора. Наиболее удобным фотоэлементом для такой конструкции сейчас можно считать ЦГ-3 (чувствительностью 250–500  $\mu\text{a/lk}$ ), имеющий весьма компактные размеры. В качестве

источника света мы применили осветитель для фотоэлемента звукового киноаппарата, снабженный сферическим зеркалом и конденсором и дающий почти точечное изображение нити 30 Вт лампочки накала, питаемой от сети городского тока через понижающий 12 В трансформатор. Вся эта система заключена в трубу, состоящую из нескольких раздвижных колен, что позволяет добиться достаточной резкости изображений.



Капилляр терморегулятора легко включается в оптическую часть системы, так как труба в этом месте сделана составной с продольной щелью по диаметру, в которую вставляется капилляр и зажимается при вдвигании второго колена трубы.

Изменение температуры термостата в пределах нескольких десятых градуса достигается подниманием и опусканием терморегулятора посредством микрометрического винта, благодаря чему луч света пересекает капилляр на различной высоте<sup>1</sup>.

Фотоэлемент соединен с реле, питаемым от сети (рис. 2). Приходится учитывать возможность значительного падения напряжения в сети в часы нагрузки и поэтому несколько усложнять устройство реле. Сконструированное реле имеет два кенотрона ВО-230 и две металлические лампы 6Ф5 и 6Ф6, что обеспечивает достаточное усиление схемы. Для выпрямления можно ограничиться и одним кенотроном, но устройство с двумя кенотронами

<sup>1</sup> Если необходимы значительные изменения температуры, верхняя часть терморегулятора снабжается добавочным резервуаром для ртути, как в термометре Бекмана.

позволяет легче изменить схему (например, перейти к другим усилительным лампам, появившимся в продаже, и т. д.).

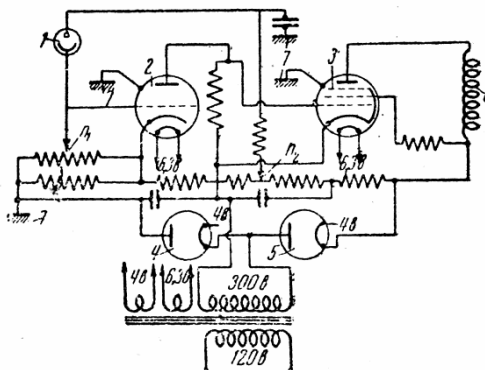


Рис. 2. Схема фото-реле. 1 — фотоэлемент ЦГ-3; 2 — триод 6Ф5; 3 — пентод 6Ф6; 4 и 5 — кенотроны ВО-230; 6 — катушка соленоида, размыкающая цепь нагрева; 7 — заземления;  $n_1$  и  $n_2$  — переменные сопротивления

Для настройки реле имеются две ручки управления, соединенные с переменными сопротивлениями  $n_1$  и  $n_2$ ; одна из них меняет напряжение тока, подаваемое на фотоэлемент, т. е. по существу меняет чувствительность последнего, а вторая дает смещение тока на сетке лампы.

Катушка соленоида намотана 20 тыс. витков проволоки ПЭ Ø 0,12 и окружена толстой железной рамкой для усиления действия электромагнита.

Помимо регулирования силы действия электромагнита посредством настройки реле удастся значительно смещать ток действия его простым поднятием катушки соленоида на различную от якорька высоту.

При наличии фототока лампы запираются и в катушке соленоида ток отсутствует; якорек вакуум-разрядника опущен и цепь грелки замкнута. При затемнении поля фотоэлемента поднявшейся в капилляре ртутью якорек втягивается в соленоид под влиянием проходящего через лампы тока порядка 20 мА и размыкает контакт в цепи грелки. Ток поднятия якорька в вакуум-разряднике у нас около 13 мА, а ток опускания около 10 мА. Получаемый нами значительный перепад тока обеспечивает правильную работу реле, несмотря на колебания тока в сети. Реле имеет ряд заземлений для повышения стационарности в работе.

Вакуум-разрядник представляет собою стеклянную эвакуированную колбочку, в которую налита ртуть, разделенная стеклянной перегородкой на две части, не имеющие контакта друг с другом. Контакт замыкается железной вилочкой, которая опускается при отсутствие тока в цепи соленоида. Такой разрядник свободно позволяет пропускать ток в

цепи грелки до 3 А. Весьма удобен также качающийся вакуум-разрядник, в котором контакт замыкается переливающейся ртутью и который позволяет пропускать ток в 5–10 А.

Так как разница в температуре термостата и комнаты, в которой он работает, весьма непостоянна и колеблется от 0,5 до 10° С, в цепь грелки необходимо включать реостат и для заданной разности температур подбирать необходимую силу тока, что достигается в несколько минут установкой реостата таким образом, чтобы период включения и выключения грелки был приблизительно одинаков. Для скорейшего доведения термостата до желаемой температуры или вовсе выключают реостат, или пользуются дополнительной грелкой, прекращая усиленное нагревание тогда, когда температура термостата на несколько десятых градуса не дойдет до необходимой величины.

В качестве водяного термостата нами использован аквариум емкостью около 40 л, помещенный в фанерный ящик. Пространство между стеклами термостата и ящиком засыпано пробковыми опилками, что дает достаточную термоизоляцию.

В стенках фанерного футляра с противоположных сторон имеются два прореза, один из которых служит для наблюдения, а второй для освещения внутренности термостата.

Если в процессе работы не требуется быстрых изменений температуры, то в термостат дополнительно устанавливается тонкостенная стеклянная пробирка около 6 см диаметром, также наполненная водой и служащая для окончательного сглаживания колебаний температуры.

Весьма существенное внимание следует обратить на интенсивность перемешивания воды в термостате. У нас оно осуществляется посредством роторной металлической мешалки с наклонной осью вращения и соединенной с мотором в 125 Вт с большим числом оборотов. Скорость вращения регулируется посредством реостата и подбирается максимальной, при которой не происходит расплескивания воды. В качестве мешалки нами успешно использован диск роторного насоса от пылесоса. Перемешивание воды в центральной пробирке достигается посредством пробулькивания пузырьков воздуха, который сначала принимает температуру термостата, проходя по длинному стеклянному змеевичку, погруженному в воду.

В заключение приводим несколько данных, характеризующих работу термостата: температура комнаты около 20° С; температура термостата около 26,5° С. Измерения сделаны через отсчетную трубу с окуляр-микрометром, по термометру Бекмана с делениями в 0,01° С. Термометр помещен не в дополнительную пробирку, а непосредственно над грелкой, в 10 см от нее, так, что воспринимает максимальные отклонения температуры. Измерения производились с интервалом в 3 мин.; отсчеты: 2,853°; 2,853°; 2,853°; 2,852°; 2,853°. После поворота винта терморегулятора на один оборот наблюдаем температуру,

установившуюся через 5 мин.: 2,838°; 2,838°; 2,837°; 2,837°. Проверяем постоянство температуры через большие промежутки времени<sup>2</sup>: 2,622°; 2,621° через 10 мин.; 2,622° через 20 мин.; 2,623° через 60 мин.; 2,622° через 120 мин.

Работа с термостатом этой конструкция в течение года показала полную пригодность его для вышеуказанных целей и позволяет рекомендовать его для работы в аналогичных условиях.

---

<sup>2</sup> Для увеличения точности прибора необходимо оптическую трубу помещать близко к поверхности воды, уменьшая влияние выступающего столбика ртути.