

КУДРЯВЦЕВ И. Ф.,  
кандидат технических наук;  
ГЕРАСИМОВИЧ Л. С.,  
инженер

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Метод косвенного электронагрева широко применяется в сельскохозяйственных нагревательных установках. В подавляющем большинстве нагревательные элементы при этом выполняются в виде спиралей или узких лент из жаропрочных дефицитных и дорогостоящих сплавов (нихром, фехраль и др.) и специальных кабелей (типа КСОП и др.).

Способ нагрева посредством проволочных элементов сопротивления имеет целый ряд недостатков. К их числу относятся: низкий коэффициент использования электроэнергии, малая скорость нагрева, значительный расход дефицитных металлов и другие.

При эксплуатации вследствие незначительной поверхности теплоотдачи нагревательного элемента и малой теплопроводности изоляции возникает его перегрев, что, во-первых, снижает срок службы нагревателей из-за большой температуры на его поверхности и, во-вторых, при необходимости затрудняет создание равномерного температурного поля на обогреваемой поверхности установки.

В настоящей работе рассматриваются вопросы, связанные с новым способом электронагрева — полупроводниковым пленочным обогревом, который еще не нашел применения в нагревательных установках сельскохозяйственного назначения, несмотря на его многие положительные качества.

В принципе полупроводниковый пленочный нагреватель представляет собой электронагреватель косвенного нагрева, в котором в качестве тепловыделяющего элемента применен материал с удельным сопротивлением, характерным для полупроводников ( $\rho = 10^{-4} \div 10^{11} \text{ ом} \cdot \text{см}$ ). Тепловыделяющий элемент сопротивления при этом наносится на жесткие изолированные металлические конструкции обогревателя в виде пленки толщиной до 0,2 мм.

Характерной особенностью такого типа электронагревателей является возможность создания равномерного теплового потока на значительных площадях, покрытых токопроводящей пленкой, а также возможность нанесения пленочного нагревателя непосредственно на обогреваемую установку, что уменьшает ее вес

и стоимость и повышает термический к. п. д. и скорость нагрева установки в целом.

Так, в СКБ-3 Минавтопрома разработаны составы и технология изготовления пленочных электронагревательных элементов [1], которые могут быть использованы для создания полупроводниковых пленочных электронагревательных установок.

Параметры элементов следующие:

- а) удельное сопротивление  $\rho = 1,32 \cdot 10^{-1}$  ом·см и выше;
- б) напряжение питания до 300 в переменного и постоянного тока;
- в) температура нагрева до  $250^{\circ}\text{C}$ ;
- г) удельная мощность на пленке до  $2$  вт/см<sup>2</sup>;

- д) температурный коэффициент сопротивления  $\alpha = 7,1 \cdot 10^{-4} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$ .

Напольный электрообогреватель с полупроводниковыми пленочными элементами сопротивления (рис. 1), предназначенный

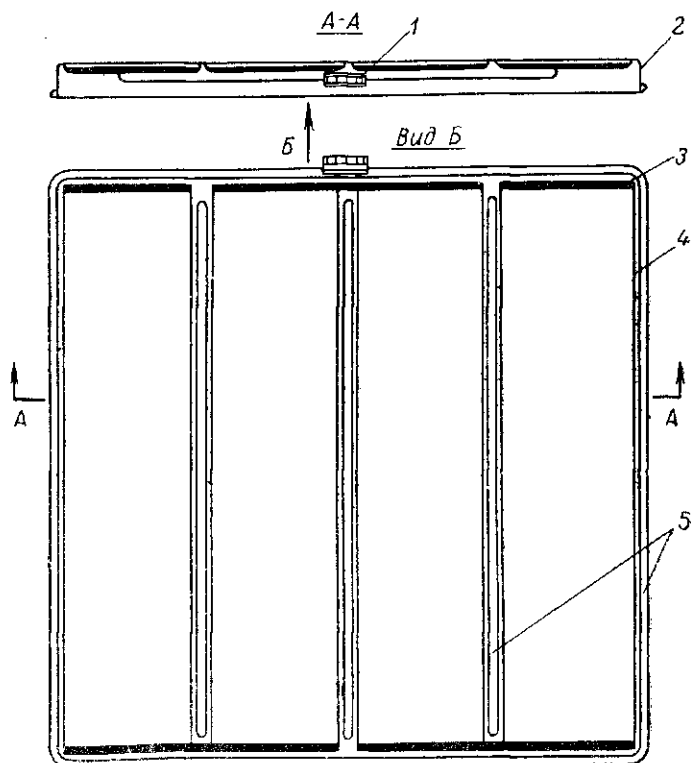


Рис. 1. Напольная электронагревательная панель с полупроводниковым пленочным обогревом:  
1 — нагревательный разъем; 2 — корпус панели; 3 — контактная шина; 4 — полупроводниковая пленка; 5 — ребра жесткости.

для обогрева молодняка птицы, выполняется в виде панели, штампованной из тонколистовой стали толщиной  $0,5 \div 0,8$  мм и покрытой с обеих сторон химически стойкой электроизоляционной стеклоэмалью толщиной  $0,4 \div 0,6$  мм [2]. На нижней стороне панели непосредственно на стеклоэмаль наносится полупроводниковая пленка толщиной  $0,1 \div 0,15$  мм, изготовленная из ферросилиция и раствора силиката натрия. В требуемых местах пленки методом металлизации наносятся контактные шины (медные, латушные и др.), к которым припаиваются подводящие провода, соединяемые со штепсельным разъемом.

При такой конструкции рабочей поверхностью обогрева является верхняя эмалированная поверхность панели. При этом обогрев молодняка птицы производится путем соприкосновения птицы с рабочей поверхностью.

Отличительной особенностью таких панельных электрообогревателей являются:

- а) равномерное температурное поле на рабочей поверхности;
- б) небольшой вес и стоимость на единицу рабочей площади обогрева;
- в) возможность дезинфекции рабочей поверхности термическим путем при помощи нагрева той же полупроводниковой пленкой.

Вес нагревательной панели можно приближенно определить по формуле

$$G = k_F F (h_1 \gamma_1 + 2 h_2 n \gamma_2),$$

- где  $G$  — вес панели, кг;
- $F$  — рабочая площадь,  $см^2$ ;
- $h_1$  — толщина металла, из которого изготовлена панель,  $см$ ;
- $\gamma_1$  — удельный вес металла,  $кг/см^3$ ;
- $h_2$  — толщина одного покрытия эмали,  $см$ ;
- $n$  — количество слоев эмалевых покрытий;
- $\gamma_2$  — удельный вес обожженной эмали,  $кг/см^3$ ;
- $k_F$  — коэффициент неучтенной площади,  $1,15 \div 1,2$ .

При принятых условиях вес  $1 м^2$  рабочей площади обогрева колеблется от 5 до 7 кг.

Практически рабочая площадь  $F$  нагревательной панели может достигать  $1 м^2$  и ограничивается габаритами обжигательных печей, деформацией панели во время обжига эмали в печах и некоторыми другими технологическими особенностями эмалирования [2]. При принятых условиях вес  $1 м^2$  рабочей площади обогрева колеблется от 5 до 7 кг.

Общая электрическая мощность  $P$  нагревательной установки определяется на основании основной формулы электронагрева [3]

$$P = \frac{\alpha \cdot F(t - t_0)}{1 - \epsilon - \tau} \text{ вт.}$$

Заменяв  $\alpha := k_T \alpha_1$  и  $t \approx t_{\text{раб. пов.}}$ , электрическую мощность панели можно представить в виде

$$P = \frac{k_T \alpha_1 F (t_{\text{раб. пов.}} - t_{\text{возд.}})}{1 - T/\tau} \text{ вт}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — общий коэффициент теплоотдачи панели,  $\text{вт/см}^2$ ;  
 $\alpha_1$  — коэффициент теплоотдачи рабочей поверхности панели,  $\text{вт/см}^2$ ;  
 $t_{\text{раб. пов.}}$  — необходимая температура на рабочей поверхности,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $t_{\text{возд.}}$  — температура окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $T$  — необходимое время разогрева поверхности панели,  $\text{час}$ ;  
 $\tau$  — постоянная времени панели,  $\text{час}$ ;  
 $k_T$  — коэффициент неучтенных теплопотерь в грунт и через боковые стенки панели.

Для получения расчетной мощности  $P$  при заданном напряжении  $U$  необходимо определить требуемый состав пленки нагревателя при принятой конфигурации нанесения. При этом для упрощения расчета принимаем следующие допущения:

а) ввиду весьма малого температурного коэффициента сопротивления сопротивление пленки принимаем независимым от температуры;

б) удельное сопротивление и толщина пленки постоянны.

С учетом сделанных допущений удельное сопротивление пленки можно определить из выражения:

$$\rho = \frac{U^2 b h}{10^{-4} P L} \text{ ом} \cdot \text{см}, \quad (2)$$

где  $U$  — напряжение питания,  $\text{в}$ ;  
 $P$  — мощность нагревателя,  $\text{вт}$ ;  
 $b$  — ширина нагревателя,  $\text{см}$ ;  
 $h$  — толщина нагревателя,  $\text{см}$ ;  
 $L$  — длина нагревателя,  $\text{см}$ .

Подставляя в уравнение (2) данные в соответствии со схемой расположения и электрического соединения участков пленки на заданной площади обогрева  $F = L \times B$  (рис. 2), получаем

$$\rho = \frac{U^2 [B - t(k - 1)] h}{10^{-4} P L k^2} \text{ ом} \cdot \text{см}, \quad (3)$$

где  $U$  — напряжение питания,  $\text{в}$ ;  
 $P$  — расчетная мощность панели;  
 $L$  — длина обогреваемой поверхности,  $\text{см}$ ;

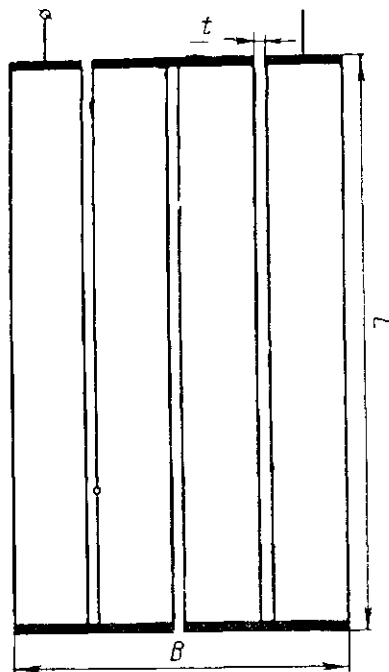


Рис. 2. Расчетная схема расположения и электрических соединений плечочных элементов на панели.

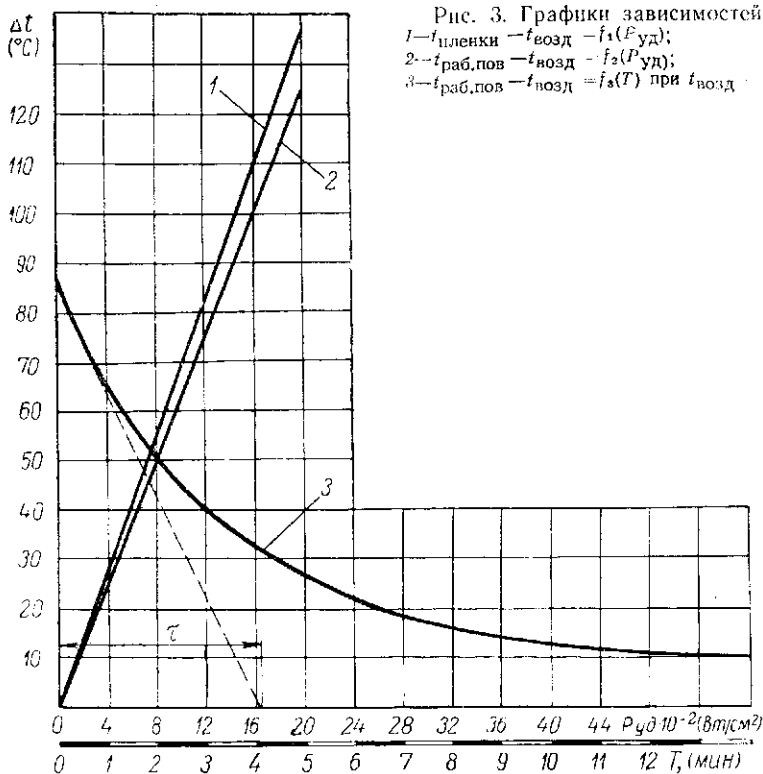
- $B$  — ширина обогреваемой поверхности, см;  
 $t$  — пробивной промежуток между соседними полосами панели, см;  
 $h$  — толщина пленки, см;  
 $k$  — количество последовательно соединенных полос пленки (при делении полосы пленки на  $n$  параллельно соединяемых участков  $k = \frac{1}{n}$ ).

Требуемый состав пленки для получения расчетного удельного сопротивления  $\rho$  находится по диаграммам зависимостей от состава пленки.

При принятом составе пленки требуемая мощность может быть обеспечена за счет подбора количества полос и их электрического соединения, а также изменением толщины пленки, что следует из уравнения (4).

Для проведения исследований изготовлен опытный образец электронагревательной панели, имеющей площадь  $F = 80 \times 60 = 48000 \text{ см}^2$ .

Панель имеет четыре полосы пленки. Сопротивление одной



полосы  $R_1 = 245 \text{ ом}$ , толщина: пленки  $h = 0,1 \text{ мм}$ ; металла  $h_1 = 0,7 \text{ мм}$ ; стеклоэмали  $h_2 = 0,3 \text{ мм}$ .

На рис. 3. представлены зависимости превышения температуры на рабочей поверхности и на пленке от удельной мощности нагревателей, а также дана кривая остывания панели.

Анализ результатов исследований показал, что для обеспечения рабочей температуры от  $19$  до  $35^\circ\text{C}$  на панели необходима максимальная удельная электрическая мощность пленочного нагревателя, равная  $0,05 \text{ Вт/см}^2$ , а для дезинфекции при температуре  $100 \div 110^\circ\text{C}$  —  $0,2 \text{ Вт/см}^2$ . Переход от одной удельной мощности к другой осуществляется переключением электрического соединения нагревательных элементов.

При принятых условиях и температуре окружающего воздуха  $t_{\text{возд}} = 19^\circ\text{C}$  время разогрева до рабочей температуры  $35^\circ\text{C}$  —  $7 \text{ мин}$ , до температуры дезинфекции  $110^\circ\text{C}$  —  $6 \text{ мин}$ . Частота включений нагревателей в час при поддержании температур:  $35 \pm 1,2^\circ\text{C}$  —  $84$ ,  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  —  $49$ .

Удельный расход электроэнергии в рабочем режиме составляет около  $0,01 \text{ Вт-ч/см}^2$ , в то время как в лучших существующих

электронагревательных установках для обогрева молодняка птицы удельный расход электроэнергии составляет не менее  $0,04 \text{ вт-ч/см}^2$  [4], т. е. в 4 раза больше.

Удельный расход электроэнергии в режиме дезинфекции составляет около  $0,15 \text{ вт-ч/см}^2$ .

Вес установки по сравнению с существующими переносными устройствами для обогрева молодняка птицы уменьшается более чем в 2 раза.

Стоимость одной опытной панели составляет около 7 руб., т. е. в 2—3 раза дешевле по сравнению с существующими электрообогревателями.

Таким образом, анализ приведенных технических характеристик напольных полупроводниковых плочных электронагревательных установок показывает значительные преимущества этих установок перед существующими электрообогревателями молодняка птицы и позволяет ставить вопрос о применении их в сельском хозяйстве.

Расчетно-аналитические и экспериментальные зависимости, приведенные выше, могут быть использованы для расчета и конструирования подобных установок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Варгин В. В. и др. Технология эмали и эмалирования металлов. М., Госиздат, 1958.
2. Михеев М. А. Основы теплопередачи. М.—Л., ГЭИ, 1956.
3. Рубцов П. А., Осетров П. А., Бондаренко С. П., Савинов К. П. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве. М., Изд-во «Колос», 1964.