DOI: 10.29295/2311–7257–2019–98–4–255–259
УДК 697.4

**Болотских Н.Н.**
*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*
*(ул. Сумская, 40, Харьков, 61002; E-mail: tgvtver@gmail.com; orcid.org/000-0002-7756-6550)*

# ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛИ ПЛОСКИХ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Приведено описание принципа работы и устройства промышленных электрических нагревателей плоских и цилиндрических поверхностей; даны краткие сведения о резистивных и изоляционных материалах, используемых при их изготовлении; приведены технические характеристики наиболее распространенных электронагревателей; описаны особенности их монтажа и эксплуатации; даны рекомендации по их дальнейшему применению на промышленных предприятиях Украины.
**Ключевые слова:** электронагреватели, плоские нагреватели, ленточные электронагреватели, резистивный элемент.

**Введение.** На многих промышленных предприятиях при производстве продукции по технологическим соображениям нередко требуется нагрев изделий, изготовляемых из различных материалов (чаще всего из металлов). Например, в машиностроении для придания металлу необходимой пластичности перед обработкой изделий давлением (прокаткой, ковкой, штамповкой и др.) их подвергают высокотемпературному нагреву в специальных печах. Для размягчения (пластификации) термопластичных полимерных материалов и придания им необходимой формы путем продавливания через профилирующий инструмент (экструзионную головку) их подогревают с помощью специальных электрических нагревателей. Электрические нагреватели также широко используются для нагрева различного производственного оборудования. Ввиду большого разнообразия производств и, соответственно, неодинаковых требований к нагреву различного оборудования, а также различия его геометрических форм (плоские, круглые, квадратные, П или Г – образные, цилиндрические и др.) на практике используются различные по конструкции и назначению электрические нагреватели. Рядом зарубежных и отечественных компаний, например, ELCER (Польша), ИНТМАКС (Украина) [1] и др. выпускается значительное количество различных энергоэффективных электрических нагревателей [2-8].

Настоящая статья посвящается обобщению передового опыта создания и применения новых энергоэффективных промышленных электрических нагревателей.

Целью настоящего исследования является разработка научно-обоснованных рекомендаций по дальнейшему расширению области применения энергоэффективных электрических нагревателей в промышленных производствах Украины.

**Основное содержание.** Наибольшее распространение в различных производствах получили плоские керамические и металлические, а также керамические ленточные и металлические кольцевые (хомутовые) промышленные электрические нагреватели. В качестве резистивного элемента в этих нагревателях применяется чаще всего проволока фирмы «Rescal» (Франция), а для её изоляции используется керамика или миканит (изоляционная слюдовая бумага). Передача тепла от таких электрических приборов обогреваемым поверхностям оборудования осуществляется путем теплопроводности.

Для обогрева плоских поверхностей различного оборудования широкое распространение получили плоские керамические (обычные и наборные) и металлические электронагреватели. На рис. 1 представлен общий вид плоского керамического электронагревателя ЭНПлК [2].

Конструкция такого электрического нагревателя состоит из нагревательного элемента, проходящего по керамическим изоляторам, металлического защитного кожуха и электропровода для подключения к электросети.

*Рис. 1. Общий вид электрического плоского керамического нагревателя.*

Благодаря использованию керамических изоляторов температура нагрева таких электронагревателей достигает максимальных значений (до 500 °С). Керамические плоские изоляторы имеют несколько размеров, благодаря чему можно изготовлять электронагреватели сложных форм и размеров. Такие нагреватели обычно изготавливают по чертежам заказчика под конкретное оборудование. Разработка индивидуальных проектов плоских керамических нагревателей даёт возможность полностью повторять сложную форму нагреваемого оборудования.

Керамические плоские нагреватели ЭНПлК изготавливаются со следующими параметрами: минимальная и максимальная ширина, соответственно, 50 и 400 мм; минимальная и максимальная длина, соответственно, 120 и 1200 мм; толщина – 12 мм; максимальная удельная электрическая мощность – 6 Вт/см$^2$; напряжение питания – 110, 220/230, 380 и 400 В; максимальная рабочая температура нагревателя – 500 °С.

Плоский керамический электронагреватель устанавливается на ровные поверхности. При его монтаже следует обеспечивать полный контакт с нагреваемой поверхностью. Для устранения зазоров и неровностей при этом используется высокотемпературная монтажная паста.

По желанию заказчиков компания-изготовитель ДП «ИНТМАКС» [4] может поставлять плоские керамические электронагреватели формы П или Г, предусматривать сквозные отверстия в нагревательном устройстве, а также устанавливать датчики температуры.

ДП «ИНТМАКС» [5] выпускает также керамические плоские наборные электрические нагреватели (рис. 2).

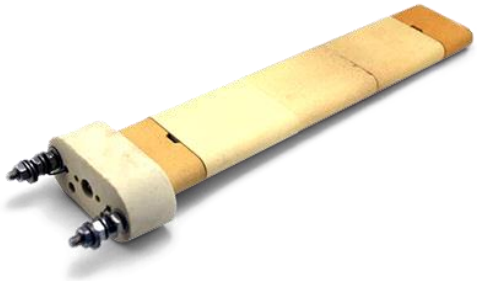

*Рис.2. Общие виды керамических плоских наборных электронагревателей.*

Такие электронагреватели изготавливаются из керамических пластин с высокой теплопроводностью. Их можно проектировать с зонами высокой мощности и холодными зонами. Уникальность теплового нагрева такими электронагревателями заключается в равномерном прогреве и правильном (необходимом) распределении тепловых потоков. Эти электронагреватели имеют следующую техническую характеристику: длина – от 65 до 3000 мм; ширина – 40 мм; толщина – 11 мм; удельная электрическая мощность – 9 Вт/см$^2$; температура нагрева – 500- 600 °С; напряжение питания – 110, 220 и 380 В. Плоские керамические электрические нагреватели обладают высоким КПД и имеют длительный срок эксплуатации.

Плоский металлический электронагреватель ЭНПлМ (рис. 3) [4] состоит из греющей проволоки (резистивного элемента), изолятора из миканита, металлического корпуса и провода для его подключения.

В таких нагревателях по миканиту (изоляционной слюдовой бумаге) равномерно распределена греющая проволока. От диаметра этой проволоки и частоты её намотки зависит мощность нагревателя. Металлический корпус нагревателя

изготавливается из нержавеющей стали толщиной 0,5 мм.

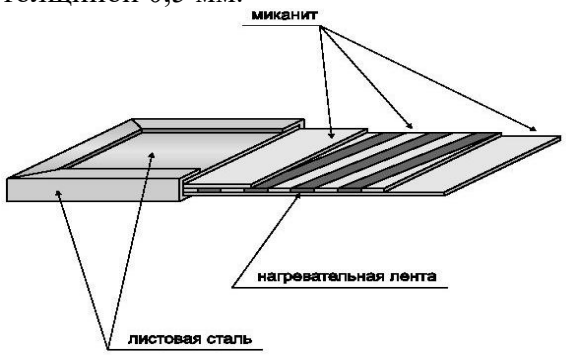


*Рис. 3. Устройство электрического плоского металлического нагревателя ЭНПлМ.*

Теплопередача такого нагревателя осуществляется только с одной стороны. Нагреватели изготавливаются по индивидуальным размерам, определяемым заказчиком. Нагреватели могут иметь произвольную форму, в том числе П и Г – образную. Кроме того, они могут иметь отверстия для креплений и специальные вырезы. Возможно, заранее заказывать тип электровыводов и их длину, а также установку датчика для контроля температуры.

Металлические плоские электронагреватели имеют следующую техническую характеристику: минимальная и максимальная ширина, соответственно, - 20 и 1000 мм; минимальная и максимальная длина, соответственно, - 40 и 1000 мм; толщина – 3 – 4 мм; максимальная удельная электрическая мощность – 4 Вт/см$^2$; напряжение питания – 12, 24, 48, 110, 220/230 и 400 В; максимальная рабочая температура – 350 °С.

Металлические плоские электронагреватели применяются в разных отраслях производства на металлических частях оборудования. Для улучшения их контакта с нагреваемыми поверхностями оборудования используются специальные прижимные пластины. За счет их применения улучшается теплоотдача и обеспечивается дополнительная защита от механических повреждений. Прижимные пластины крепятся с использованием имеющихся в нагревателе сквозных отверстий.

Для нагрева цилиндрических поверхностей промышленного оборудования широкое распространение получили керамические ленточные и металлические кольцевые (хомутовые) электрические нагреватели. На рис. 4. показан общий вид электрического ленточного керамического нагревателя ЭНЛК, а на рис. 5 – его устройство [6].

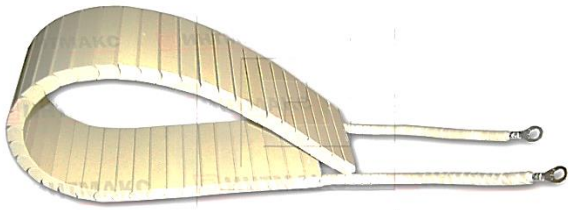

*Рис.4. Общий вид электрического ленточного керамического нагревателя ЭНЛК.*

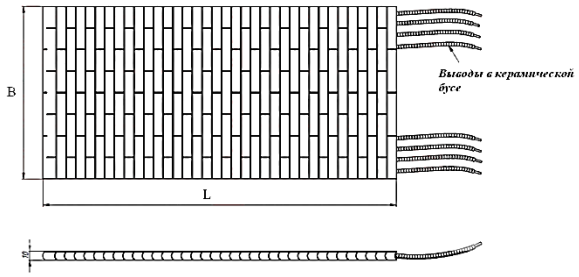


*Рис.5. Устройство электрического ленточного керамического нагревателя ЭНЛК.*

Керамические ленточные электронагреватели обеспечивают нагрев не только цилиндрических, но и плоских поверхностей. Нагревательным элементом таких нагревателей служит резистивная проволока фирмы RESKAL [9], расположенная внутри керамических изоляторов. Такая конструкция позволяет нагревателям иметь высокую удельную мощность и температуру. Нагреватели ЭНЛК могут изготовляться на базе различных нагревательных элементов в зависимости от условий работы и поставленной задачи в следующих исполнениях: без кожуха; с кожухом из листовой нержавеющей стали (имеют повышенную защиту от механических воздействий, а также прекрасно держат необходимую форму нагревающей плоскости); с кожухом из листового алюминия. Выводы таких нагревателей обычно состоят из термостойких проводов, изолированных керамическими изоляционными бусами (рис. 6), которые выдерживают высокие температурные нагрузки [11, 12].

Ленточные керамические электронагреватели ЭНЛК имеют следующую техническую характеристику:

минимальная и максимальная ширина (B, рис. 5), соответственно, - 15 и 500 мм; минимальная и максимальная длина (L, рис. 5), соответственно, 50 и 1500 мм; толщина – 10-14 мм; максимальная удельная электричес-кая мощность – 9 Вт/см$^2$; напряжение питания – 110, 220/230, 400 В; максимальная рабочая температура – 500 °С. Ленточные керамические электронагреватели с кожухом из листовой стали или алюминия изготавливаются с различными типами подключения, характерными плоским металлическим.

*Рис. 6. Общий вид изоляционной керамической бусы*

У металлических кольцевых электрических нагревателей (рис. 7), выпускаемых компанией ИНТМАКС [7], нагревательным элементом служит резистивная лента, изолированная слоем термоупорного миканита. Корпуса таких электронагревателей изготавливаются из нержавеющей листовой стали.

*Рис. 7 Общий вид электрического кольцевого металлического нагревателя ЭНКМ.*

Металлические кольцевые электрические нагреватели ЭНКМ имеют следующую техническую характеристику: минимальный и максимальный внутренний диаметр, соответственно, 25 и 380 мм; минимальная и максимальная ширина, соответственно, 20 и 300 мм; толщина – 3-4 мм; максимальная удельная электричес-кая мощность – 4 Вт/см$^2$; напряжение питания – 12, 24, 48, 110, 220/230 и 400 В; рабочая температура нагревателя – 350 °С; максимальная кратковременная температура нагревателя – 400 °С.

Нагреватель ЭНКМ является электрическим прибором контактного типа, поэтому для его длительной эффективной работы необходимо обеспечивать плотный контакт греющей части нагревателя с нагреваемой поверхностью. Это достигается с помощью монтажной пасты. Нагреватели ЭНКМ широко применяются для нагрева различного промышленного оборудования, например, пресс-форм, литейных форм, головок экструдеров, гранулятоpов и др.

Кроме кольцевых нагревателей на практике используются полукольцевые металлические электронагреватели ЭНпКм. Их устройство показано на рис. 8.

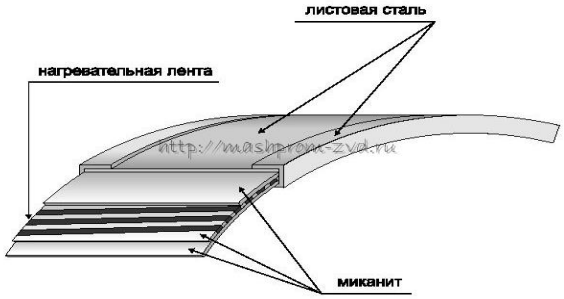


*Рис. 8. Устройство электрического полукольцевого металлического нагревателя ЭНпКм.*

Нагреватели ЭНКм и ЭНпКм оснащаются выводами в виде термостойких проводов (250 ÷ 600 °С), изолированных керамическими бусами (рис. 6) или силиконовыми кембриками, либо в металлической оплетке. В зависимости от конкретных условий подключение нагревателя может быть и другим, индивидуальным по заявкам заказчиков.

**Выводы**

1. Одним из эффективных способов нагрева плоских и цилиндрических поверхностей различных изделий и

оборудования в современном промышленном производстве является электрический с использованием специальных керамических и металлических электронагревателей.

2. Наиболее эффективными нагревателями плоских поверхностей являются керамические ЭНПлК и металлические ЭНПлМ, а цилиндрических – керамические ЭНЛК и металлические кольцевые ЭНКМ.

3. Область применения керамических и металлических электрических нагревателей плоских и цилиндрических поверхностей различных изделий и оборудования в промышленном производстве Украины целесообразно расширять.

ЛИТЕРАТУРА:


1. *О компании ИНТМАКС*. URL: https://elcer.com.ua
2. *Керамические плоские нагреватели ЭНПлК*. URL: https://elcer.com.ua/.
3. *Керамический плоский наборной ТЭН*. URL: https://elcer.com.ua/products/keramicheskie-teny/.
4. *Металлические плоские нагреватели*. URL: https://elcer.com.ua/products/promychlennye-nagrevateli/flat/flat-metal.
5. *Керамические тены*. URL: https://elcer.com.ua/products/keramicheskie-teny/.
6. *Керамические ленточные тены ЭНЛК*. URL: https://elcer.com.ua/
7. *Металлические кольцевые нагреватели ЭНКм*. URL: https://elcer.com.ua/products/promychlennye-nagrevateli/manjet/metal-ring-heaters/.
8. *Керамические тены для печей отжига*. URL: https://elcer.com.ua/products/keramicheskie-teny/.
9. *Резистивные элементы*. URL: https://elcer.com.ua/quality-and-materials/nagrev-prov.pht.
10. *Сухие тены*. URL: https://elcer.com.ua/.
11. *Техническая керамика. Изоляционные керамические бусы*. URL: https://elcer.com.ua/komplektuyshie/tekhnicheskaya-keramika/busy.
12. *Керамические материалы*. URL: https://elcer.com.ua/quality-and-materials/keramic-materials.php/.



**Болотських М.М. ПРОМИСЛОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ НАГРІВАЧІ ПЛОСКИХ І ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ.** Наведено опис принципу роботи і облаштування промислових електричних нагрівачів плоских і циліндричних поверхонь; дані короткі відомості про резистивних і ізоляційних матеріалах, використовуваних при їх виготовленні; наведені технічні характеристики найбільш поширених електронагрівачів; описані особливості їх монтажу і експлуатації; надано рекомендації щодо їх подальшого застосування на промислових підприємствах України.


**Ключові слова:** електронагрівачі, плоскі нагрівачі, стрічкові електронагрівачі, резистивний елемент.



**Bolotskykh N.N. INDUSTRIAL ELECTRIC HEATERS FOR FLAT AND CYLINDRICAL SURFACES.** The principle of operation and device design of industrial electric heaters of flat and cylindrical surfaces is given; brief information on resistive and insulating materials used in their manufacture is given; the technical characteristics of the most common electric heaters are given; features of their installation and operation are described; recommendations are given for their further application at industrial enterprises of Ukraine.


**Key words:** electric heaters, flat heaters, tape electric heaters, resistive element.



DOI: 10.29295/2311–7257–2019–98–4–259–266
УДК 624.152.61



**Болотских Н.С.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ХНУСА)*
*(ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: mbp.khnuba@ukr.net; orcid.org/000-0003-0756-7264)*


## КАВИТАЦИЯ В УСТАНОВКАХ СТРОИТЕЛЬНОГО ВАКУУМНОГО ВОДОПОНИЖЕНИЯ


В статье изложена сущность явления кавитации в гидравлических машинах и ее влияние на их работу; кратко описаны устройство установок строительного вакуумного водопонижения и условия появления в них кавитации в период их эксплуатации; указаны наиболее характерные места износа и разрушений за счет кавитационной эрозии в проточной части водоструйных насосов; приведены аналитические зависимости для определения допустимых давлений в смесительной камере водоструйного насоса при докавитационном режиме его