

ТЕПЛОТЕХНИКА

А. Ф. МЕЛНИК-АХИЗАРЯН

МЕТОД РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТЕКЛОВАРЕННЫХ
ВАННЫХ ПЕЧЕЙ

В современном стекольном производстве все большее значение приобретает электротермическая варка стекла. По данным зарубежной печати варка стекла в электрических печах получила развитие не только в производстве тарного, но также в области производства электроколбоного, боросиликатного, а также других видов специальных стекол. В Советском Союзе электрические стекловаренные печи применялись в промышленном масштабе лишь в Армянской ССР. В настоящее время предусматривается сооружение их в различных районах Союза богатых гидроэлектроэнергией. В связи с этим расчет указанных печей приобретает большой интерес. Между тем данных по проектированию электрических стекловаренных печей имеется очень мало, как в Советском Союзе, так и в зарубежной печати. Лишь в последние годы появились первые статьи по вопросам расчета электрических стекловаренных печей опубликованные в Научно-техническом информационном бюллетене ВНИИС [1] и [2]. Приведенная ниже методика расчета основана на опыте проектирования и эксплуатации 4-х экспериментальных печей сооруженных в Химическом институте Академии наук Армянской ССР и 3-х производственных печей Ереванского электролампового завода. Методика расчета разработана для электрических стекловаренных печей с поперечно расположенными стальными охлаждаемыми электродами.

Настоящий метод расчета электрических печей ставит целью установление зависимости мощности и основных габаритов печи от ее производительности и осуществляется по отдельным зонам бассейна печи. В связи с рядом принятых упрощающих положений точность расчетов определяется пределами $\pm 5 : 10\%$. Печь принята с усредненной теплоизоляцией для стен, пола и свода, т. е. тепловые потери приняты одинаковыми для всех ограждающих поверхностей печи. На самом деле величины теплоизоляции этих поверхностей сильно отличаются. Свод и стены верхнего строения печи подлежат усиленной теплоизоляции и тепловые потери от этих поверхностей должны быть доведены до минимума. Что касается стен и пола бассейна, то в связи с тем, что в противоположность пламенным печам стекломасса здесь имеет более высокие температуры, рекомендуется стены и под, омы-

ваемые стеклом, не покрывать теплоизоляцией и тем самым обеспечить более длительный период кампании печи. Установлено, что стены бассейна с охлаждаемыми электродами имеют более длительный срок службы. В качестве примера можно привести печь № 6 Ереванского стеклотарного завода с длительностью кампании 4—5 лет, а также печь № 3 Химического института. В варочной зоне с охлаждаемыми электродами огнеупор за 8,5 месяцев имел износ 3—4 см. Принятая средняя величина теплопотерь дает возможность определения основных параметров печи с достаточной точностью. Однако, в дальнейшем при конструировании необходимо теплопотери дифференцировать по элементам печи. Толщина стен, пода, свода, принята условно одинаковой при определении геометрических размеров печи, равной 400 мм. Высота подсводового пространства принимается минимальной, обеспечивающей наблюдение и выполнение эксплуатационных мероприятий. Высоту подсводового пространства из этих соображений принимаем также 400 мм. Расчет печи производится как для печей с полным разделением на 3 зоны, так и с общим варочно-осветлительным бассейном. Основной трудностью при расчете электрических печей является определение электрического сопротивления. Величина этого сопротивления меняется в зависимости от конфигурации, количества, формы электродов и взаимного их расположения.

Расчет сопротивлений производится по формуле

$$R = \rho \frac{b}{lh} n n_1$$

где $n = \frac{R_0}{R}$ — коэффициент учитывающий увеличение сопротивления в зависимости от количества, формы и расположения электродов;

R_0 — сопротивление определяемое по ф-ле Лурье [1] или на основании электрического моделирования;

R — сопротивление определяемое из предположения, что обе противоположные стенки сплошные электроды;

n_1 — коэффициент учитывающий неоднородность стекломассы, колеблющийся в пределах 1,03 ÷ 1,05.

Принятый метод дает возможность связать электрические параметры стекломассы с геометрической характеристикой печи. В случае применения других формул для определения сопротивления методика остается неизменной, так как при всех случаях сопротивление является функцией геометрических размеров печи. Важной характеристикой печи является удельный съем стекломассы с единицы зеркала варочной зоны печи «а» в кг/м² час определяемый экспериментально. Принимая в основу эти положения переходим к определению основных параметров варочной и осветлительной зон печи.

1. Варочная зона

В соответствии с основными параметрами и эскизом печи (рис. 1, 2) принимаем следующие обозначения:

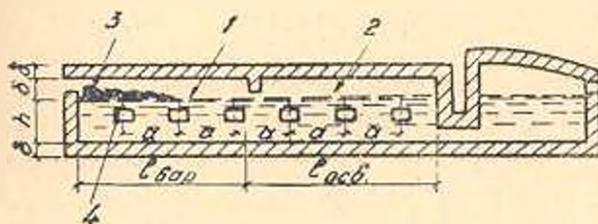


Рис. 1. Схема печи с общим варочно-осветительным бассейном. 1—зона варки; 2—зона освещения; 3—шлахта; 4—электроды.

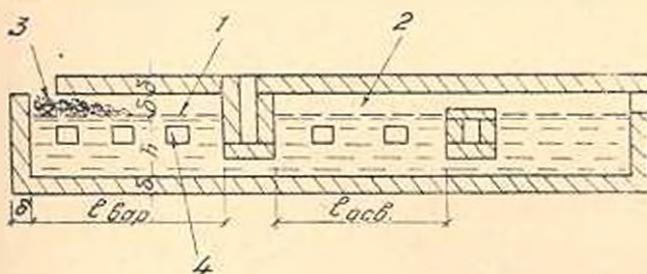


Рис. 2. Схема печи с отдельными варочной и осветительной зонами. 1—зона варки; 2—зона освещения; 3—шлахта; 4—электроды.

- $l_{вар}$ — длина варочной зоны печи;
- b — ширина печи;
- h — глубина;
- δ — толщина ограждений;

$\delta_1 = \delta$ — высота подсводового пространства;

P — производительность печи кг/час;

a — удельный съем в ккал с 1 м² зеркала варочной части печи в час;

K — средние теплопотери в ккал на кв. м наружной поверхности печи в час.

1. *Поверхностные теплопотери.* Расчет производится для печи с общей варочно-осветлительной ванной.

Величина теплопотерь определяется в соответствии с приведенным эскизом по формуле:

$$Q_n^0 = 2K [(l_{\text{вар}} + b + 3\delta) (h + 2\delta) + (l_{\text{вар}} + \delta) (b_{\text{вар}} + 2\delta)]. \quad (1)$$

После преобразований формула принимает вид

$$Q_n^0 = 2K [(h + 3\delta) (l_{\text{вар}} + b + 3\delta) + \delta l_{\text{вар}} - \delta^2 + lb]. \quad (2)$$

Выражая производительность печи — P через удельный съем и площадь зеркала стекломассы, получим:

$$P = a l_{\text{вар}} b. \quad (3)$$

Обозначим $\frac{l_{\text{вар}}}{b} = \lambda$,

тогда
$$l_{\text{вар}} = \sqrt{\frac{\lambda P}{a}}. \quad (4)$$

$$b = \sqrt{\frac{P}{a\lambda}}. \quad (5)$$

Подставив эти значения в формулу (2) получим:

$$Q_n^0 = 2K \left[(h + 3\delta) \left(\frac{\lambda + 1}{\sqrt{a\lambda}} \sqrt{P} + 3\delta \right) + \frac{P}{a} + \sqrt{\frac{\lambda}{a}} \sqrt{P} \delta - \delta^2 \right]. \quad (6)$$

Удельные теплопотери на 1 кг съема стекла

$$q_n^0 = 2K \left[(h + 3\delta) \left(\frac{\lambda + 1}{\sqrt{a\lambda P}} + \frac{3\delta}{P} \right) + \frac{1}{a} + \sqrt{\frac{\lambda}{aP}} \delta - \frac{\delta^2}{P} \right]. \quad (7)$$

На рис. 3 приведена кривая зависимости удельных теплопотерь от производительности для варочно-осветлительной зоны печи.

Как это следует из рис. 3 удельные поверхностные теплопотери резко падают с увеличением производительности печей до 1000 кг в час. В дальнейшем эта величина изменяется мало. С увеличением λ потери увеличиваются.

2. *Теплопотери через электроды.* В настоящем разделе приводится метод расчета теплопотерь через металлические пристенные электроды с воздушным охлаждением.

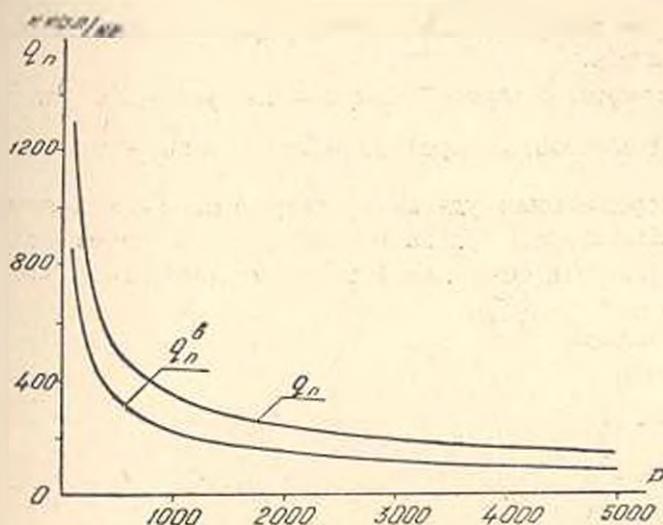


Рис. 3. График зависимости удельных поверхностных теплотерь от производительности печи. $q_n^в$ — удельные поверхностные теплотери варочной зоны, q_n — удельные поверхностные теплотери парочно-осветлительной зоны.

Величина теплотерь пропорциональна поверхности электрода:

$$Q_s = Sm, \quad (8)$$

где S — поверхность электрода в $см^2$;

m — теплотери с одного $см^2$ (согласно проведенным нами исследованиям величина эта равна от 5 до 7 $ккал/см^2$ час).

Величину поверхности электрода выразим через электрические параметры, т. е. плотность тока и силу тока. Плотность тока отнесена к проекции поверхности электродов на плоскость стены и принимается исходя из данных исследований от 1 до 1,5 $амп/см^2$. Величина допустимой плотности тока в значительной степени зависит от теплового состояния стекломассы и удельного сопротивления.

Для стекол имеющих большое омическое сопротивление и большую крутизну кривой сопротивления плотность тока на электроде должна быть взята меньше. В формуле (8):

$$S = \frac{2I}{j} = \frac{2V}{Rj} = \frac{2VI_{нар}h100}{\rho j b} = \frac{2Vh\lambda 100}{\rho j P}, \quad (9)$$

и величина потерь на один кг съема стекла

$$q_s = \frac{200 Vh\lambda m}{\rho j P}, \quad (10)$$

где I — сила тока всех электродов в $амп$;

j — плотность тока на 1 $см^2$ проекции поверхности электродов в $а/см^2$;

R — сопротивление стекломассы между двумя электродами в $омах$.

ρ — удельное электрическое сопротивление стекломассы в Ом·см.

Из формулы следует, что величина удельных теплотерь на охлаждение электродов пропорциональна отношению $\lambda = \frac{I_{\text{нагр}}}{b}$ и обратно пропорциональна удельному сопротивлению и производительности печи. Зависимость удельных теплотерь через электроды от производительности печи для варочно-осветлительной зоны приведены на рис. 4.

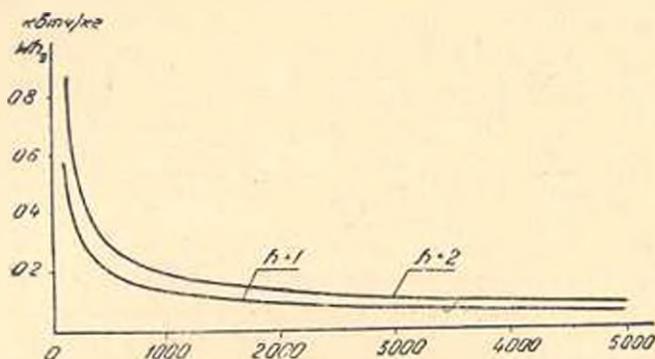


Рис. 4. График удельных теплотерь на охлаждение электрода в зависимости от производительности печи. W_h — суммарные удельные теплотери варочно-осветлительной зоны на охлаждение электродов.

3. *Полезный расход тепла.* Полезное тепло определяется из термохимических расчетов в зависимости от состава шихты. Для промышленных известково-натриевых стекол расход энергии на варку одного кг стекла содержащего от 25 до 40% стеклобоя колеблется в пределах 580—640 ккал/кг.

Суммарный удельный расход тепла на 1 кг стекломассы составит:

$$q = q_n + q_s + q_r \quad (12)$$

здесь q_n — величина поверхностных теплотерь.

С другой стороны

$$q = \frac{W_b}{P} \cdot 0,86 \text{ ккал/час}, \quad (13)$$

где W_b — мощность печи в *вт* при съеме стекломассы в количестве P кг/час;

$$q = \frac{W_b \cdot 0,86}{P} = \frac{V^2 \cdot 0,86}{P \cdot R}, \quad (14)$$

где

$$R = \frac{nb}{100 I_{\text{нагр}} h} = \frac{nb}{\lambda h 100} \quad (15)$$

Подставив величину R в формулу (14) имеем:

$$q = \frac{100 V^2 \lambda h}{P n_p} \cdot 0,86. \quad (16)$$

После подстановки соответствующих величин формула принимает вид:

$$\left(0,86 V^2 - 2V \frac{m}{j}\right) = (q_0 + q_0^0) \frac{P \cdot n_p}{\lambda h 100}. \quad (17)$$

Для электрических печей с общим варочно-осветлительным бассейном уравнение принимает вид:

$$\begin{aligned} \left(0,86 V^2 - 2V \frac{m}{j}\right) \frac{100 \lambda h}{P n_p} = q_0 + 2K \left[(h + 3\delta) \left(\frac{\lambda + 1}{\sqrt{a \lambda P}} + \frac{3\delta}{P} \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{a} + \sqrt{\frac{\lambda}{a P} \delta - \frac{\delta^2}{P}} \right]. \quad (18) \end{aligned}$$

Это уравнение является общим уравнением для зоны варки, связывающее все основные параметры печи.

Для электрических печей с разделенными зонами варки и освещения удельные теплотери q_0^0 в формуле (17) следует принять равными

$$q_0^0 = 2K \left[(h + 4\delta) \left(\frac{\lambda + 1}{\sqrt{a \lambda P}} + \frac{4\delta}{P} \right) + \frac{1}{a} - \frac{4\delta^2}{P} \right]. \quad (19)$$

Уравнения (17), (18) являются выражением теплового баланса, поэтому называем их *уравнениями баланса*. На основании этих уравнений определяются напряжения между электродами в зависимости от габаритов печи и технологических параметров, а затем и остальные величины характеризующие печь как то: сила тока, мощность, удельный расход, к. п. д. печи и пр.

II. Осветлительная зона

При расчете осветлительной зоны печи рассматриваются следующие статьи расхода тепла.

1. *Расход тепла на подогрев стекломассы.* а) Стекломасса поступающая из варочной зоны имеет среднюю температуру 1300°C и должна быть подогрета для лучшего освещения до температуры 1400°C . При производительности печи P кг/час и теплоемкости C_p ккал/кг $^\circ\text{C}$ имеем расход тепла:

$$q = P \Delta t_1 C_p.$$

б) К этой же статье расходов относится подогрев стекломассы циркулирующей в виду разности температуры из выработочной зоны в осветлительную. Разность температур достигает здесь до $200-250^\circ\text{C}$. Коэффициент потока для печей с протоком для пламенных печей (3)

достигает 2—2,5. Для электрических печей циркуляция будет больше, так как стекло в глубинных слоях имеет более высокие температуры и менее вязко. Об этом свидетельствует также быстрое разъедание протока. Расход тепла на подогрев циркулирующей стекломассы выражается формулой:

$$q_2 = n_2 \rho \Delta t_2 C_p.$$

2. Расход тепла на покрытие поверхностных теплопотерь.

В основу расчета теплопотерь от поверхностей пола, свода и стен печи принимаются средние величины их на один кв. м площади.

Ширину и глубину ванны принимаем такие же как и для варочной

$$h_{\text{осв}} = h_{\text{вар}}.$$

$$b_{\text{осв}} = b_{\text{вар}}.$$

Длина ванны в осветлительной части бассейна определяется в зависимости от требуемого времени для дегазации стекломассы. При постоянном сечении ванны скорость производственного потока на различных участках по длине и по глубине различна. На величину скорости оказывают влияние: разница вязкости стекломассы по глубине и по ширине (особенно у электродов), продольные и поперечные конвекционные потоки, ширина печи и пр. Наличие конвекционных потоков вызывает условия затрудняющие осветление как по причине заноса непроваренной стекломассы из варочной части быстрыми поверхностными потоками, так и по причине возможности появления вторичных пузырей из-за температурной неоднородности стекломассы. Поэтому формула Стокса для определения площади осветлительной зоны в данном случае неприемлема, в связи с чем при конструировании печи исходят из опытных данных. Во всяком случае можно принять, что длина осветлительной зоны пропорциональна площади варочной зоны определяемой в соответствии с производительностью печи. Надо иметь в виду, что эта пропорциональность не линейная — чем длиннее печь, тем большая часть стекла осветлена уже в варочной зоне и тем меньшая неосветленная часть поступает в осветлительную. Следовательно, площадь последней по мере увеличения варочной зоны должна быть относительно меньшей. Фактически осветление стекломассы в варочной зоне происходит в глубине по мере погружения проваренной более холодной стекломассы в горячие ее слои в зоне электродов. Величина α может быть определена лишь на основании экспериментальных данных.

Величина поверхностных теплопотерь осветлительной зоны определяется по формуле:

$$Q_n^0 = 2K(l_{\text{осв}} + 2\delta)(h + b + 4\delta) + (b + 2\delta)(h + 2\delta). \quad (22)$$

Подставив соответствующие значения для $l_{\text{осв}}$ и h получаем величину удельных теплопотерь на 1 кг стекломассы

$$q_n^0 = 2K \left\{ \sqrt{\frac{\lambda}{a}} \left[(h + 4\delta) + \left(\alpha + \frac{1}{\lambda} \right) \right] \frac{1}{\sqrt{\rho}} + \frac{4\delta(h + 3\delta)}{\rho} + \frac{\alpha}{a} \right\}. \quad (23)$$

Это общее уравнение теплового баланса осветлительной части для случая радикального разделения варочной и осветлительной зон.

В случае общего варочно-осветлительного бассейна величина поверхностных теплопотерь осветлительной зоны с достаточной точностью определяется по формуле:

$$q_n^0 = 2K \left[\frac{\alpha}{\sqrt{\rho}} \right] \sqrt{\frac{\lambda}{a}} (h + 4\delta) + \frac{\alpha}{a} + \frac{h + 3\delta}{\sqrt{a\rho}}. \quad (24)$$

Величина удельных теплопотерь на охлаждение электродов определяется также как и в варочной зоне по формуле (8). Подставив вместо $l_{\text{осв}}$ и h их значения получим:

$$q_n^0 = \frac{2 V h m \alpha \lambda}{n \rho_0 j \rho}. \quad (25)$$

Удельная мощность, необходимая для покрытия всех теплопотерь расхода на нагрев стекломассы, определится по формуле:

$$W_{\text{осв}} = \frac{0,86 V_1^2 h l_{\text{осв}}}{n \rho_0 j \rho}.$$

или

$$W_{\text{осв}} = 86 \frac{V_1^2 h \alpha \lambda}{n \rho_0 j \rho}. \quad (26)$$

Уравнение баланса для осветлительной зоны примет вид

$$\left(0,86 V_1^2 - \frac{2V_1 m}{j} \right) \frac{100 \cdot h \alpha \lambda}{n \rho_0 j \rho} = C_p (n_2 \Delta t_2 + \Delta t_1) + q_n^0. \quad (27)$$

Величина V_1 с достаточной точностью определяется по формуле:

$$V_1 = \frac{m}{0,86 \cdot j} + \sqrt{\frac{[(n_2 \Delta t_2 + \Delta t_1) C_p + q_n^0] \rho j \rho n}{86 h \alpha \lambda}}. \quad (28)$$

На основании приведенных формул составлены кривые основных параметров электровечи в зависимости от ее производительности. В основу расчетов приняты результаты исследований проведенных на промышленном печах Химического института АН Армянской ССР, опытной печи Ереванского электролампового завода и эксплуатационных данных других печей: $a = 50 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ — съем стекломассы с одного кв. м площади зеркала варочной части в час;

$j = 1 \text{ амп/см}^2$ плотность тока на поверхности электрода;

$\rho = 3-3,5 \text{ ом.см}$ удельное сопротивление определяемое по кривым $\delta = f(t)$ для электроколбоного стекла.

$n = \frac{R_0}{R}$ определена по номограммам, составленным на основании формул Лурье;

δ — толщина стен свода, дна бассейна, а также высота подсводового пространства приняты для упрощения расчета одинаковыми, равными 400 мм;

$m = 7 \text{ ккал/см}^2$ — величина теплопотерь с одного см^2 поверхности электрода;

$K = 2500 \text{ ккал/см}^2$ — средняя теплопотеря с одного квадратного метра поверхности печи (принимается из условия теплоизоляции только поверхности печи не омываемой стекломассой, с учетом износа огнеупора).

Расчеты приведены для $\lambda = 1,0$;

$$h = 0,7 \text{ м.}$$

Из приведенных диаграмм рис. 5 следует, что к. п. д. варочной осветлительной зоны резко меняется для печей небольших габаритов.

Для печей производительностью больше 100 кг/час изменение

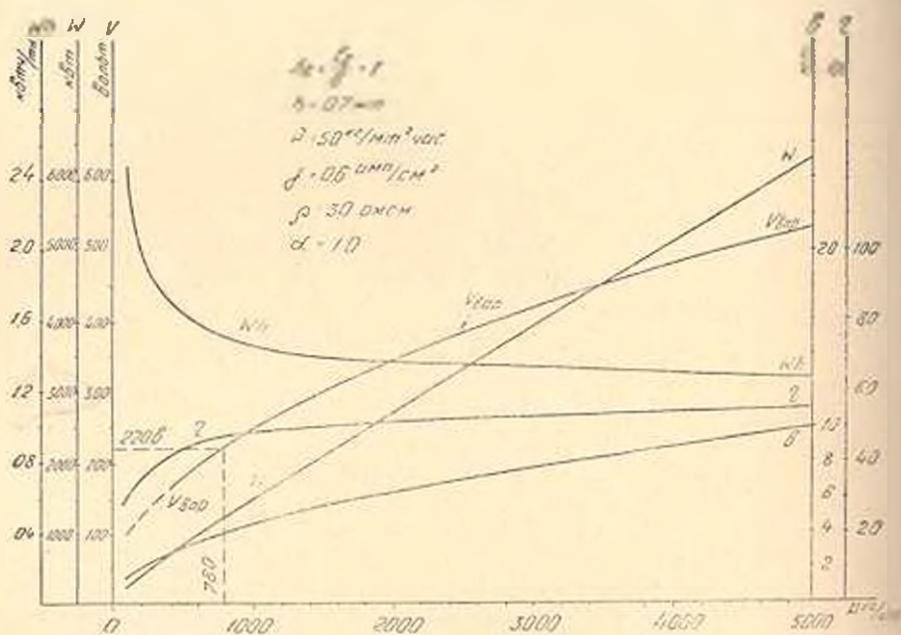


Рис. 5. Типовая диаграмма для расчета электрических стекловаренных печей.

к. п. д. относительно небольшое, а именно от 41 до 55%, тоже в отношении и других основных параметров. Ширина печи при увеличении производительности печи от 1000 кг/час до 5000 кг/час меняется лишь в 2—2,5 раза. Тоже самое можно отметить в отношении напряжения. Производительность печи ограничивается допустимым напряжением, которое из условия техники безопасности принимается не выше 220 в. Однако за рубежом известны печи работающие на на-

пряжении 380 в. и выше. При заданном напряжении увеличение производительности печи возможно лишь путем увеличения λ , т. е. длины печи. На рис. 5 основные параметры печи для максимально допустимого напряжения 220 в. отмечены пунктирной линией.

Производительность при той же ширине печи увеличивается с 780 до 1800 кг/час при увеличении длины печи с 8 до 16 м. Приведенные кривые свидетельствуют о целесообразности сооружения более мощных печей.

Исходя из вышензложенного можно сделать следующие выводы:

1. Приведенные формулы дают возможность установить зависимость между производительностью, геометрическими размерами и электрическими параметрами варочно-осветлительной зоны печей с охлаждаемыми пристенными электродами.

2. Принятые в основу формулы экспериментальные величины должны уточняться на основании данных эксплуатации производственных печей и лабораторных исследований.

3. Основные параметры электрических печей могут определяться по номограммам составленным на основании приведенных формул, что значительно упрощает расчет и конструирование электрических стекловаренных печей.

4. Вышеописанную методику можно применять для расчета электрических стекловаренных печей различных конструкций.

Химический институт
АН Армянской ССР

Поступило 15 X 1956

Ա. Յ. ՄԱՐԻՔ-ՀԱՆՆԱԶԱՐՅԱՆ

ԱՊԱԿՈՒ ՀԱՄԱՆ ՎԱՆՆԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱՎԱՌՐՅԱՆՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՄԱՆ
ՄԵԹՈԴԸ

Ի մ ֆ ո փ ո ւ փ ո ւ մ

Ապակու էլեկտրահալման վառարանների հաշվման և նախադիման մեթոդները ներկայումս ինչպես սովորական, այնպես էլ արտասահմանյան գրականության մեջ չլսա թույլ են յուսարանված: Եւրկա հոդվածում բերված է սեղգանկյուն հատվածքով բնդպատյա օստեցլոց էլեկտրոդներով ապակու հալման էլեկտրական վաննային վառարանների հաշվման եղանակը էլեկտրոդների յայտական դատարանի վեպքում: Հաշվարկի հիմքում ընկած է վառարանի պարզեցված սխեման (նկ. 1 և 2), մակերեսային կուրուստների նայասարտչով բաշխամբ:

Ստացված ապակու մեկ կիրպրամի նամար տեսակարար մակերեսային շերտային կուրուստները կարելի է սրոշել 7, 19, 23, 24 ֆորմուլաների օգնությամբ: Այդ ֆորմուլաներում վառարանի երկման մասի հիմնական երկրաչափական չափերը՝ երկարությունը և յայտությունը՝ արտահայտված են նրանց հարաբերությամբ-ը, ապակու տեսակարար հանույթը երկման

զոնայի հայելուց նշանակված է Ա-ով և վառարանի արտադրողականությունը՝ Բ-ով:

Վառարանի մակերեսային ջերմային կորուստների կախումը նրա արտադրողականությունից բերված է նկ. 3-ում:

էլեկտրոդի սասեցման տեսակարար ջերմային կորուստները արտահայտվում են 10 ֆորմուլայով, որտեղ էլեկտրոդի մակերևան արտահայտված է էլեկտրական պարամետրերով: Նկ. 4-ից հետևում է, որ այդ կորուստները վառարանի արտադրողականության մեծացման նեա կտրուկ կերպով վաճառվում են:

Գիտենալով 1 կլ ապակու հալման համար անհրաժեշտ էլեկտրաէներգիայի ծախսը, վառարանի ելման և մաքրման զոնաների համար կազմվում է ջերմային բալանսի հավասարումը, որը ննարափորություն է տալիս արտածել վառարանի հիմնական երկրաչափական և էլեկտրական պարամետրերի կախումը նրա արտադրողականությունից:

Այդ հավասարումներում էլեկտրոդների միջև եղած դիմադրությունն արտահայտված է որպես Ֆունկցիոնալ ալադանի երկրաչափական չափսերից և գործակցի օգնությամբ, որը հաշվի է առնում գիմադրության փոփոխությունը՝ կախված էլեկտրոդների քանակից, չափսերից և անդադրումից: Ուի մեծությունը որոշվում է համապատասխան ֆորմուլաների օգնությամբ կազմված կորերով կամ վառարանի էլեկտրական մոդելավորումով:

17 և 28 հավասարումների հիման վրա կառուցված կորերի դանազան լ-ներին և վառարանի խորություններին օգնությամբ, սվյալ արտադրողականության վառարանի համար հեշտությամբ կարելի է որոշել վառարանի հզորությունը, էներգիայի տեսակարար ծախսը, լարվածությունը, ՕԳԳ-ն և վառարանի չափսերը, պրակտիկ հաշվարկների համար բավարար ճշտությունը:

Հոգվածում բերված են կորեր (նկ. 5), որոնք վերաբերվում են էլեկտրակոլրային ապակու ելման վառարաններին, որոնցից բխում է, որ սառեցման էլեկտրոդներով վառարանները նպատակահարմար է կառուցել 12 տոննա արտադրողականությունից բարձր: Ստացված բանաձևերից նույնպես հեշտում է, որ տրված լարվածության գեղքում վառարանի արտադրողականության մեծացումը կարելի է կատարել լ-ի մեծացման հաշվին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М. Г. Степаненко. Научно-техн. информ. бюллетень, № 1, 1954, стр. 1.
2. М. Г. Степаненко, А. А. Пахлеваник. Научно-техн. информ. бюллетень, № 3, 1954, стр. 31.
3. Д. Б. Гинзбург. Стекловаренные печи. Гизлегпрол, 1948.