

А.С. Базилевич

Криптоловые печи

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621.3
ББК 31.352
А11

А11 **А.С. Базилевич**
Криптоловые печи / А.С. Базилевич – М.: Книга по Требованию, 2023. –
70 с.

ISBN 978-5-458-51239-8

ISBN 978-5-458-51239-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

роли не играет вследствие слабой теплопроводности азота и окиси углерода, составляющих атмосферу печи. Она может иметь значение только в тех случаях, когда разделяющая газовая прослойка весьма тонка.

3. Теплопередача лучеиспусканием играет доминирующую роль в криптовых печах. Интенсивность ее определяется законом Стефана-Больцмана:

$$Q = c \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (2)$$

где T_1 и T_2 — температуры двух обменивающихся теплом поверхностей, считаемые от абсолютного нуля, т. е. от $-273,2^\circ\text{C}$, c — коэффициент лучеиспускания и Q — количество тепла, передаваемое в единицу времени. Нетрудно убедиться, что интенсивность лучеиспускания при одной и той же разности температур сильно зависит от абсолютной температуры. Пусть например разность температур теплоизлучающего и теплопоглощающего тел равна 10° . Если принять интенсивность лучеиспускания при 0° равной единице, то с повышением температуры она будет возрастать следующим образом:

0°	— 1
500°	— 32
1000°	— 141
1500°	— 379
2000°	— 795

Количество тепла, передаваемое нагреваемому телу, зависит не только от разности температур.

Если в стенках муфеля имеются более и менее нагретые участки, то первые будут передавать нагреваемому телу тепло, а вторые в некоторых случаях могут сами поглощать тепло от нагреваемого тела. Таким образом условия нагревания тела с разных сторон будут не одинаковы. То же самое имеет место, если в муфеле находится несколько предметов. Неравномерность нагрева является характерной чертой теплопередачи лучеиспусканием. Поэтому при обжиге тел, обладающих низкой теплопроводностью, необходимо принимать меры, чтобы вблизи нагреваемого тела не было холодных частей.

4. Теплопередача конвекцией. Явление конвекции состоит в том, что холодный воздух или газ, соприкасаясь с нагретой поверхностью, нагревается и, становясь легче, поднимается вверх. При соприкосновении нагретого газа с холодной поверхностью происходит обратное явление. Если помещение, в котором имеются горячие и холодные поверхности, замкнуто, то в нем происходит непрерывная циркуляция газа, вызывающая перенос тепла от более нагретых мест к менее нагретым. Однако для осуществления этого необходимо, чтобы более нагретые поверхности находились ниже менее нагретых или хотя бы на одном уровне с ними. При обратном расположении конвекция невозможна.

Благодаря тому, что движение газовых струй может происходить по извилистым линиям, тепло может передаваться и тем частям нагреваемого тела, которые не обращены к нагретым поверхностям. При наличии в печи нескольких предметов струя газа, попадая в промежутки между ними, быстро опускается вниз вследствие охлаждения и дает место новым порциям горячего газа. Таким образом уменьшенный приток лучеиспускаемого тепла здесь восполняется конвекцией.

Конвекционная теплопередача способствует выравниванию температуры внутри печи и поэтому является наиболее выгодным типом теплопередачи при обжиге различных керамических изделий или других материалов, обладающих низкой теплопроводностью. Поэтому усилия конструктора должны быть направлены к тому, чтобы создать в печи условия, способствующие возникновению конвекции. В некоторых случаях однако конвекция может играть также отрицательную роль. Это происходит тогда, когда она захватывает нерабочие участки печи или сопровождается обменом с наружным воздухом. Кроме связанной с этим потерей тепла такое явление сопровождается также усиленным выгоранием криптола и выделением ядовитой окиси углерода в помещении.

В зависимости от преобладания того или другого вида теплопередачи печи можно разделить на три основных типа: печи с теплопередачей соприкосновением, печи лучеиспускающего типа и лучеиспускающе-конвекционные.

Прежде чем перейти к описанию различных типов печей, рассмотрим некоторые общие для них принципы конструкции.

1. Если рассечь печь плоскостью, параллельной течению тока, то окажется, что толщина слоя криптола изменяется на разных участках пути тока. Этот слой толще у электродов и утончается в местах, прилегающих к нагреваемому пространству. Согласно формуле (1) количество тепла, выделяемое током пропорционально сопротивлению проводника, а последнее обратно пропорционально его сечению. Поэтому при последовательном чередовании узких и широких участков криптола узкие нагреваются сильнее. Благодаря этому имеется возможность сконцентрировать выделяемое тепло в нагреваемом пространстве и предохранить электроды от чрезмерного нагревания.

2. Если рассечь печь плоскостью, перпендикулярной к направлению тока, то толщина слоя криптола должна быть везде одинаковой. По закону Кирхгофа при параллельном соединении проводников сила тока в них обратно пропорциональна сопротивлению. Поэтому при неодинаковости слоя криптола в упомянутых частях получился бы более сильный нагрев, влекущий за собой неравномерность распределения температуры в печи.

3. При прохождении через криптол ток стремится идти по кратчайшему пути между электродами. Поэтому при устройстве печи необходимо избегать мертвых пространств, лежащих в стороне от кратчайшего пути тока, острых углов и выдающихся частей в очертаниях криптоловместности. При несоблюдении этого

правила возрастает расход криптола, увеличиваются размеры печи и тепловые потери.

В дальнейшем изложении мы будем придерживаться следующего обозначения различных частей печи:

1. Муфель — более или менее замкнутая коробка из огнеупорной массы; служащая для помещения нагреваемых предметов и окруженная с боков криптоловой засыпкой.

2. Криптоловместилище — пространство, заполняемое криптолом, внутри которого помещается муфель.

3. Футеровка — огнеупорные фасонные части, ограничивающие криптоловместилище.

4. Изоляция — части кладки, примыкающие к футеровке и служащие для удерживания тепла в печи.

§ 2. Вертикальные трубчатые печи

Криптоловместилище этого типа печей представляет цилиндрическую трубу, расширенную в торцевых частях (рис. 1). Обычно криптоловместилище делается разборным из трех частей: расширенные части, служащие для помещения кольцеобразных электродов из полосового железа, носят название контактных чаш *a*, а средняя, суженная часть носит название криптольника *б*. В центре криптоловместилища устанавливается цилиндрическая жаровая труба, исполняющая роль муфеля *в*.

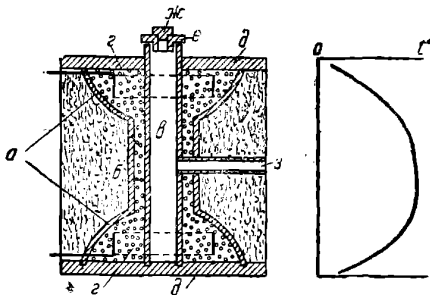


Рис. 1. Схематический чертеж вертикальной трубчатой печи.

Снаружи печь окружена изоляционной засыпкой и заключена в кожух из листового железа. Нижние края жаровой трубы и контактной чаши опираются на керамическую плиту *д*, в которой проделаны для этого концентрические канавки. Верхний конец жаровой трубы несколько выдается за край контактной чаши и проходит через отверстие, проделанное в крышке печи *г*. Последняя для удобства разборки печи обычно делается разборной из двух или трех секторов. Отверстие жаровой трубы закрывается втулкой *е*, в которой оставляется узкое отверстие *ж*, так называемая гляделка, закрываемая керамической пробкой или тампоном из асбестовой ваты.

Наблюдение за нагреваемым образцом и замеры температуры производятся обычно через гляделку *ж*. Это однако не совсем удобно, так как при таком способе лицо наблюдателя постоянно подвергается опасности ожога вырывающимися из печи горячими газами. Кроме того наблюдение через верх делается совершенно невозможным, когда печь установлена не на полу, а на высоком столе. В этом случае устраивают боковую гляделку *з*. Она пред-

ставляет трубку из огнеупорного материала диаметром 25—30 мм, проходящую сквозь боковую стенку печи в жаровое пространство. Конец ее в тех случаях, когда гляделка предназначена только для измерения температуры, делается глухим. Открытая трубка представляет то неудобство, что через нее в печь поступает холодный воздух.

На рис. 1 рядом с печью графически представлено распределение температуры по длине жаровой трубы.

Вследствие сильной наружной теплоотдачи и более слабого нагрева со стороны контактных чаш температура в торцевых частях жаровой трубы сильно падает. На среднем участке она остается приблизительно постоянной. Если в печи нагревается какой-нибудь образец из материала, плохо проводящего тепло, то высота его должна быть меньше высоты криптольника примерно на диаметр печи для того, чтобы его торцевые части нагрелись до одной температуры с серединой.

Боковая гляделка представляет известное препятствие для создания равномерной температуры в рабочем пространстве печи. Благодаря ей в боковой поверхности жаровой трубы создается участок площадью в 8—12 см², на котором тепло не только не выделяется, но еще теряется вследствие наружного излучения. Кроме того гляделка отклоняет ток от прямого пути, вследствие чего во всей вертикальной полосе, соответствующей гляделке, нагрев значительно ослабляется. Во избежание неравномерности бокового нагрева следует сильнее уплотнять криптол со стороны гляделки или же ставить жаровую трубу немного эксцентрически, чтобы со стороны гляделки был более толстый слой криптола.

Если оставить открытыми верхний и нижний концы жаровой трубы, то в ней установится непрерывная циркуляция воздуха: холодный воздух будет поступать через нижнее отверстие и, нагревшись, выходить через верхнее. Во избежание этого печь должна быть насколько возможно защищена от притока воздуха, в особенности снизу.

Торцевые части жаровой печи, находящиеся на уровне чаш, не могут быть использованы для помещения нагреваемых предметов. Поэтому наиболее выгодной печью в смысле использования объема будет такая, у которой высота жаровой трубы во много раз больше ее диаметра. Чем шире жаровая труба, тем труднее достичь в ней равномерности нагрева. Для устранения этого недостатка и получения большей компактности устраивают печи с переменным сечением жаровой трубы. Последняя делается состоящей из трех частей: двух узких патрубков и средней, расширенной части. Благодаря такому устройству уменьшается наружная теплопотеря через торцы жаровой печи. Диаметр чаш может быть уменьшен, вследствие чего уменьшается габарит печи.

По характеру теплопередачи вертикальные печи относятся к лучеиспускательному типу.

Приводим несколько образцов конструкции вертикальных печей.

1. Печь системы Рике-Симониса, усовершенствованная ВНИИК (рис. 2). Отличительными чертами этой печи являются составная жаровая труба и жаровое кольцо *Е*. Последнее можно вынуть и заменить новым, совершенно не трогая корпуса печи; вместе с тем благодаря этому изменению уменьшается расход дорогой высокоогнеупорной массы, идущей только на кольцо *Е*, тогда как часть *С* может быть сделана из простого шамота. Та же цель достигается делением жаровой трубы на три части, из которых только средняя делается из высокоогнеупорной массы. Некоторая вогнутость жарового цилиндра обуславливает концентрацию зоны наивысшего нагрева. Если же такой концентрации не требуется, может быть вставлен и прямой цилиндр.

Предельная рабочая температура печи 1500—1550°. В керамических лабораториях описанная печь может найти применение для обжига пробных пластинок при определении усадки и температуры спекания для испытания плавкости различных материалов до 1500°, для опытных плавок тугоплавких шихт и т. п. Печь потребляет 40—50 а при напряжении в 50—60 в. Недостатком ее является отсутствие специальной изоляции, вследствие чего потеря тепла наружу весьма велика. На рис. 3 представлен расход электроэнергии в зависимости от температуры.

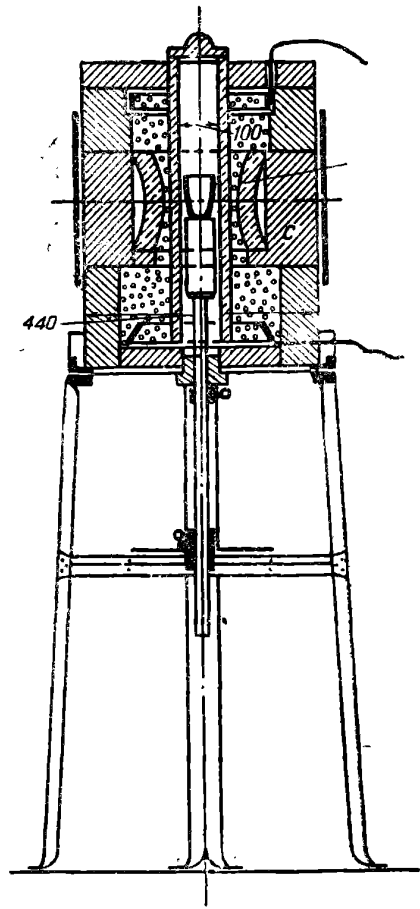


Рис. 2. Печь системы Рике-Симониса.

2. Печь системы Э. Келера (ВНИИК). Всесоюзным научно-исследовательским институтом керамики изготавливаются стандартные печи трех типов: ЭК-6, ЭК-10 и ЭК-15. Печи построены по одному и тому же принципу и отличаются только величинами диаметра жаровой трубы и некоторых других деталей. На рис. 4 показана печь ЭК-6.

1) Тип ЭК-6. Конструкция печи ясна из чертежа. Вогнутое жаровое кольцо дает равномерное распределение температуры в

ставляет трубку из огнеупорного материала диаметром 25—30 мм, проходящую сквозь боковую стенку печи в жаровое пространство. Конец ее в тех случаях, когда гляделка предназначена только для измерения температуры, делается глухим. Открытая трубка представляет то неудобство, что через нее в печь поступает холодный воздух.

На рис. 1 рядом с печью графически представлено распределение температуры по длине жаровой трубы.

Вследствие сильной наружной теплоотдачи и более слабого нагрева со стороны контактных чаш температура в торцевых частях жаровой трубы сильно падает. На среднем участке она остается приблизительно постоянной. Если в печи нагревается какой-нибудь образец из материала, плохо проводящего тепло, то высота его должна быть меньше высоты криптольника примерно на диаметр печи для того, чтобы его торцевые части нагрелись до одной температуры с серединой.

Боковая гляделка представляет известное препятствие для создания равномерной температуры в рабочем пространстве печи. Благодаря ей в боковой поверхности жаровой трубы создается участок площадью в 8—12 см², на котором тепло не только не выделяется, но еще теряется вследствие наружного излучения. Кроме того гляделка отклоняет ток от прямого пути, вследствие чего во всей вертикальной полосе, соответствующей гляделке, нагрев значительно ослабляется. Во избежание неравномерности бокового нагрева следует сильнее уплотнить криптол со стороны гляделки или же ставить жаровую трубу немного эксцентрически, чтобы со стороны гляделки был более толстый слой криптола.

Если оставить открытыми верхний и нижний концы жаровой трубы, то в ней установится непрерывная циркуляция воздуха: холодный воздух будет поступать через нижнее отверстие и, нагревшись, выйдет через верхнее. Во избежание этого печь должна быть насколько возможно защищена от притока воздуха, в особенности снизу.

Торцевые части жаровой печи, находящиеся на уровне чаш, не могут быть использованы для помещения нагреваемых предметов. Поэтому наиболее выгодной печью в смысле использования объема будет такая, у которой высота жаровой трубы во много раз больше ее диаметра. Чем шире жаровая труба, тем труднее достичь в ней равномерности нагрева. Для устранения этого недостатка и получения большей компактности устраивают печи с переменным сечением жаровой трубы. Последняя делается состоящей из трех частей: двух узких патрубков и средней, расширенной части. Благодаря такому устройству уменьшается наружная теплопотеря через торцы жаровой печи. Диаметр чаш может быть уменьшен, вследствие чего уменьшается габарит печи.

По характеру теплопередачи вертикальные печи относятся к лучеиспускательному типу.

Приводим несколько образцов конструкции вертикальных печей.

1. Печь системы Рике-Симониса, усовершенствованная ВНИИК (рис. 2). Отличительными чертами этой печи являются составная жаровая труба и жаровое кольцо *E*. Последнее можно вынуть и заменить новым, совершенно не трогая корпуса печи; вместе с тем благодаря этому изменению уменьшается расход дорогой высокоогнеупорной массы, идущей только на кольцо *E*, тогда как часть *C* может быть сделана из простого шамота. Та же цель достигается делением жаровой трубы на три части, из которых только средняя делается из высокоогнеупорной массы. Некоторая вогнутость жарового цилиндра обуславливает концентрацию зоны наивысшего нагрева. Если же такой концентрации не требуется, может быть вставлен и прямой цилиндр.

Предельная рабочая температура печи 1500—1550°. В керамических лабораториях описанная печь может найти применение для обжига пробных пластинок при определении усадки и температуры спекания для испытания плавкости различных материалов до 1500°, для опытных плавков тугоплавких шихт и т. п. Печь потребляет 40—50 а при напряжении в 50—60 в. Недостатком ее является отсутствие специальной изоляции, вследствие чего потеря тепла наружу весьма велика. На рис. 3 представлен расход электроэнергии в зависимости от температуры.

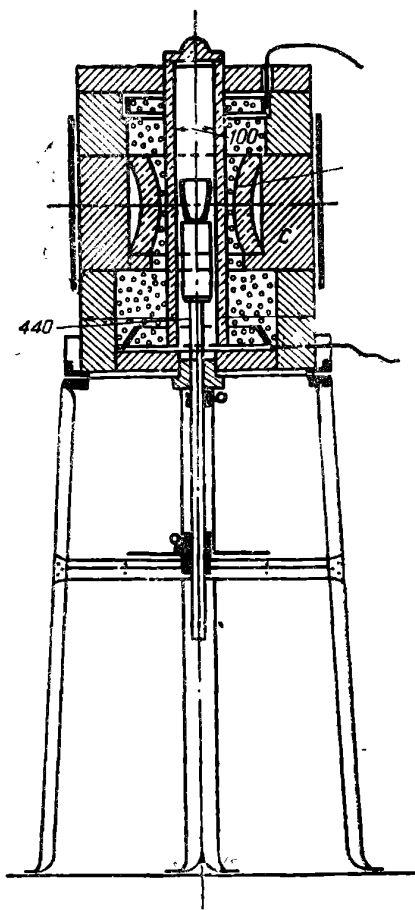


Рис. 2. Печь системы Рике-Симониса.

2. Печь системы Э. Келера (ВНИИК). Всесоюзным научно-исследовательским институтом керамики изготавливаются стандартные печи трех типов: ЭК-6, ЭК-10 и ЭК-15. Печи построены по одному и тому же принципу и отличаются только величинами диаметра жаровой трубы и некоторых других деталей. На рис. 4 показана печь ЭК-6.

1) Тип ЭК-6. Конструкция печи ясна из чертежа. Вогнутое жаровое кольцо дает равномерное распределение температуры в

зоне наивысшего нагрева и способствует бесперебойной работе печи, предотвращая образование местных перегревов и связанного с ними прогорания жаровой трубы. Диаметр жаровой трубы 60 мм.

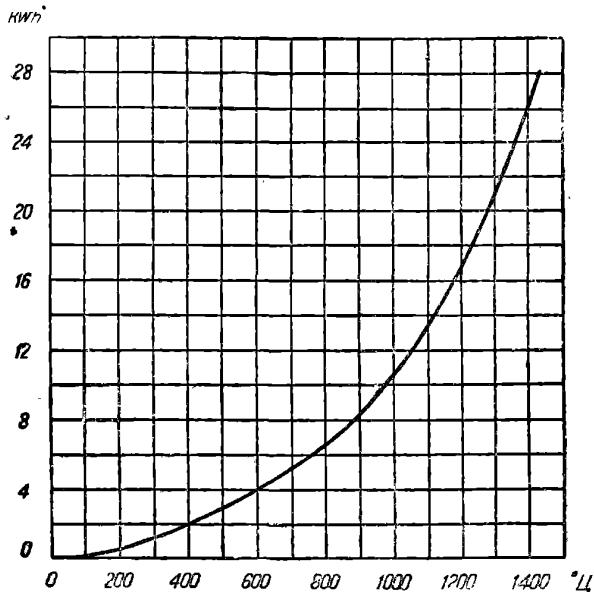


Рис. 3. Кривая расхода электроэнергии для печи Рике-Симониса.

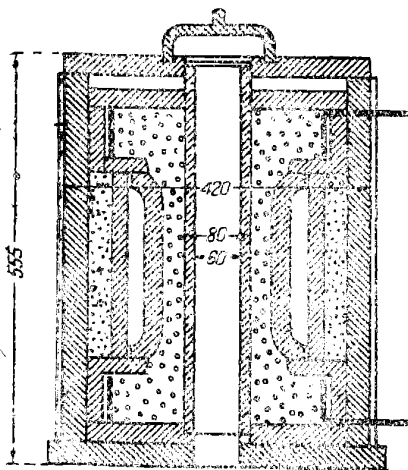


Рис. 4. Печь системы Э. Келера тип ЭК-6.

Назначение печи:

- а) Определение огнеупорности.
- б) Обжиг мелких образцов.
- в) Опытные плавки в тигле емкостью до 75—100 см³.

Максимальная температура — КЗ 36 (1790°).

Потребление тока 150 а при напряжении в 60 в. Расход электроэнергии представлен на кривой рис. 5.

2) Тип ЭК-10. Диаметр жаровой трубы 100 мм.

Назначение:

- а) Опытные обжиги керамических черепков и иных материалов и изделий на различные температуры.

б) Опытные плавки различного назначения в тиглях емкостью до 300—350 см³.

Максимальная температура 1700°.

Потребление тока 170 а при напряжении в 70 в. Расход электроэнергии представлен на рис. 6.

3) Тип ЭК-15. Диаметр жаровой трубы 150 мм.

Назначение:

а) Опытные обжиги керамических черепков и иных материалов и изделий на различные температуры.

б) Опытные плавки различного назначения в тиглях емкостью до 750—1000 см³.

Максимальная температура 1600—1650°. Потребление тока 220 а при напряжении в 60 в. Расход электроэнергии представлен на рис. 7.

Как эта печь, так и предыдущие, в зависимости от той работы, для которой они предназначаются, могут быть установлены на подставках различной величины и очертаний. Для обычных работ наиболее удобен металлический круглый стол высотой около 80—85 см на четырех ножках с подвижной подставкой, закрепляемой в своей направляющей стопорным винтом. Такое устройство дает возможность установить пробы на подставку вне печи

с последующим вдвиганием ее в печь, что во многих случаях значительно облегчает работу по установке пробы.

3. Вертикальная печь системы Илютовича (рис. 8). Печь предназначена для определения деформации огнеупорных материалов под нагрузкой. Жаровая труба печи, как видно из

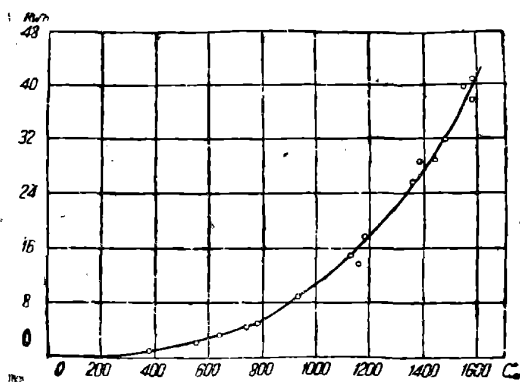


Рис. 5. Кривая потребления электроэнергии для печи ЭК-6.

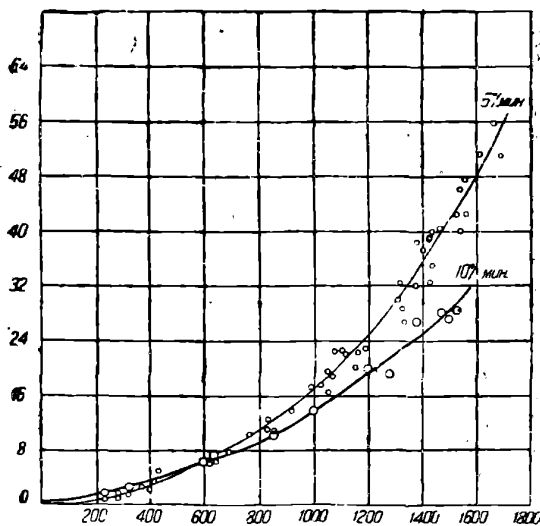


Рис. 6. Кривая потребления электроэнергии для печи ЭК-10.

рис. 8, состоит из трех частей: двух патрубков, снабженных фланцами, и средней, расширенной части. Криптоловместилище также состоит из трех частей: двух контактных чаш и криптольника. В расширенной части жаровой трубы и в криптольнике имеются отверстия, через которые проходит визирная трубка с глухим концом, служащая для измерения температуры в печном пространстве. Как показали наши наблюдения, такой способ замера дает несколько пониженные результаты, и для устранения этого недостатка нами применялась открытая трубка, позволяющая непосредственно визуировать образец. Печь монтируется в железном кожухе. Промежуток между стенками криптоловместилища и кожуха заполнен кусками специальной пористой изоляционной массы размером от куриного яйца до лесного ореха. Печь потребляет 50—70 а при напряжении в 40—60 в. Расход электроэнергии представлен на рис. 9. Предельная рабочая температура 1750°.

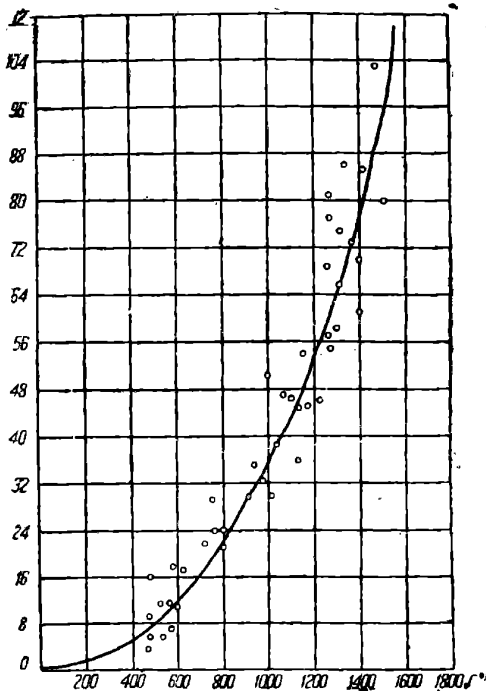


Рис. 7. Кривая потребления электроэнергии для печи ЭК-15.

По тому же принципу устроена печь для определения огнеупорности (рис. 10). Она отличается от предыдущей тем, что верхний патрубок у нее отсутствует, а верхняя часть широкого цилиндра закрыта. Печь устанавливается на треножнике, снабженном подвижным стержнем, на который насажен корундовый цилиндр,двигающийся в печь и служащий для установки подставки с образцами. Предельная рабочая температура печи 1750°. Расход электроэнергии такой же, как и у предыдущей. Печи описанных типов изготавливаются керамической мастерской ВЮК.

4. Вертикальная печь с вертикальными электродами (рис. 11). Существенным недостатком вертикальных печей описанных выше конструкций является неравномерность распределения температуры по длине жаровой трубы. Недостаток этот обусловлен расширением криптоловместилища в торцевых частях печи. Для получения достаточно длинной рабочей зоны приходится устраивать весьма высокую и громоздкую печь. Представленная на рис. 11 печь была сконструирована в кера-

12