

МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР  
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ВНИИЭТО

## ИНСТРУКЦИЯ

По монтажу и эксплуатации  
высокотемпературных нагревателей  
из дисилицида молибдена  
в электрических печах

г. Кировакан



МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ВНИИЭТО

ИНСТРУКЦИЯ

по монтажу и эксплуатации высокотемпературных  
нагревателей из дисилицида молибдена в электрических  
печах

Изготовитель: Кироваканский завод высокотемпературных нагревателей

г. Кировакан

Свойства нагревателей из дисилицида молибдена

Кироваканский завод высокотемпературных нагревателей в 1965 г. освоил промышленный выпуск высокотемпературных нагревателей из дисилицида молибдена для электропечей сопротивления с окислительной атмосферой.

Применение нагревателей из дисилицида молибдена позволяет достигать в электропечах с окислительной атмосферой температур до 1600°C, дает возможность заменить вакуумные печи и печи с защитной атмосферой, в которых вакуум и защитная атмосфера служит только для защиты нагревателей, создающих температуру в печи 1400°C и выше, с низким сроком службы.

Печи с нагревателями из дисилицида молибдена находят широкое применение в следующих технологических процессах: спекании и обжиге специальной керамики и металлокерамики, термообработке ферритов, выращивании монокристаллов, варке специального стекла.

Важным свойством дисилицида молибдена является высокая стойкость его против действия кислорода вплоть до температуры 1700°C эта стойкость обусловлена образованием при температуре 1300°C и выше защитной пленки из двуокиси кремния на его поверхности.

Механические свойства дисилицида молибдена сходны с механическими свойствами стекловидных материалов.

При температуре выше 1100°C дисилицид молибдена при первом нагреве становится пластичным и ковким, при более высоких температурах его можно легко согнуть и получить из него изделия желаемой формы.

Техническая характеристика

Твердость: 1100 по Виккерсу при 20°C.

Удельный вес: 5,6 г/см<sup>3</sup>—6,1 г/см<sup>3</sup>.

Сопротивление изгибу: 40 кг/мм<sup>2</sup>±30% при 20°C.

Удельное электрическое сопротивление

3,7  $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$  при 20°C—0,4  $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$



Удельное электрическое сопротивление нагревателей из дисилицида молибдена быстро возрастает по мере повышения температуры. Сопротивление нагревателей в процессе эксплуатации не меняется. Поэтому новые и ранее эксплуатировавшиеся элементы могут быть без ущерба соединены параллельно или последовательно.

Завод выпускает нагреватели четырех видов: прямые, У-образные, Г-образные и спиралеобразные следующих размеров (см. рис. 1, 2, 3, 4 и табл. 1).

Таблица 1.

Виды нагревателей	Условие обозначения нагревател.	Длина рабочей части, мм	Длина вывода, мм
1	2	3	4
Прямые	СМ 100/150	100	150
	СМ 100/180	100	180
	СМ 125/250	125	250
	СМ 150/150	150	150
	СМ 180/150	180	150
	СМ 180/185	180	185
	СМ 180/250	180	250
	СМ 200/200	200	200
	СМ 200/250	200	250
	СМ 200/350	200	350
У-образ.	СМ 200/400	200	400
	СМ 100/150	100	150
	СМ 150/150	150	150
	СМ 150/230	150	230
	СМ 150/300	150	300
	СМ 180/150	180	150
	СМ 180/185	180	185
	СМ 150/300	150	300
	СМ 150/400	150	400
	СМ 180/250	180	250
	СМ 180/300	180	300
	СМ 180/350	180	350
	СМ 180/400	180	400
	СМ 180/500	180	500
	СМ 200/200	200	200

1	2	3	4
Г-образ.	СМ 200/250	200	250
	СМ 200/350	200	350
	СМ 200/400	200	400
	СМ 225/560	225	560
	СМ 250/185	250	185
	СМ 250/250	250	250
	СМ 250/300	250	300
	СМ 250/400	250	400
	СМ 250/500	250	500
	СМ 300/300	300	300
	СМ 315/180	315	180
	СМ 315/250	315	250
	СМ 315/300	315	300
	СМ 315/350	315	350
	СМ 315/400	315	400
	СМ 315/500	315	500
	СМ 335/230	335	230
	СМ 400/250	400	250
Спиралеобразные	СМ 400/400	400	400
	СМ 400/500	400	500
	СМ 400/560	400	560
	СМ 50x2x150	390	150
	СМ 50x2x250	390	250
	СМ 50x2x300	390	300

ПРИМЕЧАНИЕ: спиралеобразные 50—внутренний диаметр спирали; 2—число витков.

По желанию потребителей завод может изготовить нагреватели, не входящие в типаж, с условием, что развернутая длина рабочей части нагревателя не более 830 мм (исключая прямые нагреватели, длина рабочей части которых не более 200 мм).

По желанию потребителя рабочие части У-образных нагревателей могут быть отогнуты под прямым углом (Г-образная форма рис. 3). Размеры и электрические характеристики этих нагревателей см. в табл. 2. Максимально допустимая температура нагревателя из  $\text{MoSi}_2$ —1700°C, но предпочтительная рабочая 1600—1650°C.



Для того, чтобы не была превышена максимально допустимая температура на нагревателе, важно правильно выбрать ваттную нагрузку. Необходимо всегда учитывать внешние условия, влияющие на ваттную нагрузку. Например, нагреватель при температуре 1500° и, свободно подвешенный вне печи, может иметь нагрузку 40—45 Вт/см², а нагреватель работающий в печи при той же температуре,—приблизительно 10 Вт/см².

Данные, приведенные в таблице 2 относительно нагрузок при разных температурах, можно рассматривать только как ориентировочные.

Испытания прямых нагревателей показали, что они исключительно неудобны в монтаже и эксплуатации, так как повышенная хрупкость дисилицида молибдена при низкой температуре не дает возможности на прямом нагревателе применять нужные усилия при зажиме токоведущей клеммы, а при высоких температурах эти нагреватели становятся пластичными, прогибаются под действием собственного веса, что требует применения поддерживающих полочек при горизонтальном расположении стержней.

### Инструкция по монтажу, пуску и эксплуатации печей с U-образными нагревателями из дисилицида молибдена

Нагреватели монтируются в зафутерованную печь перед ее пуском.

Поскольку материал нагревателей **ХРУПОК**, обращаться с ними необходимо **АККУРАТНО**.

1) инструкция относится к наиболее распространенному случаю вертикальной подвески U-образных нагревателей с прямыми выводами на своде печи.

Нагреватели устанавливаются в печь в следующей последовательности:

1. Прежде, чем монтировать нагреватели СД, на своде с помощью металлической модели, которая не требует осторожного обращения, необходимо проверить, свободно ли проходят выводы через фасоны, достаточен ли зазор между выводами и этими фасонами, нет ли перекосов фасонов при установке их в гнездо на своде с моделью нагревателя и не заклинивают ли при этом выводы.

Таблица 2.

Размеры и электрические характеристики U-образных нагревателей из дисилицида молибдена

Условное обозначение нагревателя	Развернутая длина рабочей части, м	Площадь рабочей части, см²	Сопротивление выводов при температуре на сводке печи, Ом	Сопротивление нагревателя при t=20°C	Сопротивление нагревателя при t=1700°C	Электрические характеристики									
						при температуре 1600° температуры печи					при температуре 1500° температуры печи				
						1400°		1500°		1650		1700°			
						P	U	P	U	P	U	P	U	P	U
ДМ-180/250	0,39	72,4	0,0068	0,0087	0,0612	1,53	9,6	0,86	7,08	0,507	5,48	0,944	7,60		
ДМ-180/400	0,53	99,4	0,0108	0,0096	0,0652	1,70	10,3	0,92	7,58	0,581	5,80	1,000	8,07		
ДМ-250/250	0,66	124,2	0,0068	0,0101	0,0808	2,08	1,6	1,04	8,55	0,649	7,1	1,245	10		
ДМ-250/400	0,83	156	0,0108	0,0112	0,0848	2,2	13,35	1,15	9,45	0,683	7,47	1,305	10,5		
ДМ-315/250	1,03	194	0,0068	0,0108	0,0990	2,54	15,5	1,38	11,4	0,803	8,77	1,52	12,3		
ДМ-315/400	1,03	194	0,0108	0,0116	0,1030	2,66	16,1	1,44	11,85	0,837	9,15	1,58	12,8		
ДМ-400/250	1,03	194	0,0135	0,0126	0,1080	2,73	16,6	1,48	12,2	0,856	9,37	1,68	13,1		
ДМ-400/400	1,03	194	0,0137	0,0098	0,1225	3,14	19,1	1,71	14,1	0,993	10,0	1,87	15,1		
ДМ-400/500	1,03	194	0,0142	0,0106	0,1266	3,25	19,8	1,77	14,6	1,03	11,2	1,93	15,9		
ДМ-500/250	1,03	194	0,0158	0,0111	0,1293	3,33	20,0	1,81	14,9	1,09	11,5	1,98	16,0		
ДМ-500/400	1,03	194	0,0068	0,0141	0,1508	3,86	23,4	2,10	16,3	1,23	13,4	2,32	17,8		
ДМ-500/500	1,03	194	0,0148	0,0148	0,1548	3,98	24,2	2,16	17,8	1,26	13,8	2,38	19,2		
ДМ-500/500	1,03	194	0,0135	0,0167	0,1575	4,09	24,6	2,20	18,1	1,26	14,00	2,43	19,6		

Примечание:

1. Диаметр рабочей части нагревателя 6 мм

2. Диаметр рабочей части 8,2 мм

3. Диаметр вывода 12 мм

4. Площадь поперечного сечения вывода 113 мм²

Обозначения: Д—дисилицид, М—молибден

цифры: числитель—длина рабочей части нагревателя, знаменатель—длина выводов нагревателя.

Данные по допустимым ваттным нагрузкам относятся к футерованным печам и вертикально подвешенным нагревателям

Р—мощность, кВт

U—ток, а

W—ваттная нагрузка рабочей части, Вт/см²

(сопротивление нагревателей при 20°C соответствуют измеренным данным завода-изготовителя, а остальные электрические характеристики—данные ВНИИЭТО).

U—рабочее напряжение, в

W—ваттная нагрузка рабочей части, Вт/см²

(сопротивление нагревателей при 20°C соответствуют измеренным данным завода-изготовителя, а остальные электрические характеристики—данные ВНИИЭТО).



2. После установки модели нагревателя с комплектом фасонов, на своде необходимо проверить вертикальность подвески и положение нагревателя в рабочем пространстве относительно боковых стен, перегородок ниши и пода. Расстояние при этом от нагревателя до указанных элементов печного пространства должно быть не меньше соответствующих размеров, указанных на рис. 5.

Приступать к монтажу нагревателей можно только после устранения дефектов фасонов, выявленных при сборке.

3. После распаковки нагревателя надо взять его за оба конца, во избежание изгибов и переключивания, и осторожно положить на место отведенное до сборки с фасонами.

Затем удалить с нагревателя распорную деревянную колодку, вставленную между выводами.

На нагреватель, с которого снята распорная колодка, осторожно надеть комплект из двух фасонов (или фасон-насадку, см. рис. 6а).

Для фасона-насадки наиболее подходящими материалами является высокоглиноземистый легковесный шамот с содержанием  $Al_2O_3$  60—70% или легковесный дианс. Эти материалы легко механически обрабатываются, и фасоны из них можно изготовить на месте. При отсутствии легковесных материалов насадку делают двухслойной: тяжелый высокоглиноземистый шамот—первый слой и ультралегковес—второй слой. Так как тяжелый шамот механически трудно обрабатывается, фасоны из него должны быть изготовлены непосредственно на огнеупорном заводе.

Фасон должен быть надет так, чтобы при установке его в гнездо на своде конусообразный переход от выводов к рабочей части нагревателя находился на уровне нижнего края футеровки (см. рис. 6в).

4. Уплотнить щели между выводами нагревателей и фасоном насадкой шнуровым асбестом или шлаковатой (см. рис. 6б).

5. Надеть и тщательно затянуть при помощи стягивающего болта асбоцементную колодку.

Хорошая затяжка—одно из необходимых условий для

нормальной работы нагревателя. Плохая затяжка колодки может привести к опусканию одного или двух выводов и привариванию нагревателя к подовому кирпичу при высоких температурах.

6. Собранный комплект фасона с нагревателем и асбоцементной колодкой поддерживая снизу, устанавливают в гнездо на своде.

7. После установки фасона с нагревателем в гнездо вставляют по бокам распорные кирпичи.

8. По окончании монтажа всех нагревателей и проверки правильности положения их рабочих частей в нишах приступают к сборке схемы соединения нагревателей в следующей последовательности.

а) устанавливают сборные шины и укрепляют на электроизоляторах;

б) надевают токоподводы и алюминиевые наконечники выводов нагревателей и затягивают стягивающие болты зажимов. При затягивании стягивающего болта зажима во избежание создания изгибающего усилия выводов и их поломки необходимо пользоваться двумя гаечными ключами: одним придерживать приваренную к зажиму гайку, а другим затягивать болт.

в) присоединяют гибкие токоподводы из алюминиевой оплетки к сборным шинам.

9. Нагреватели должны соединяться через сборные шины, так как при замене поврежденных нагревателей могут быть сломаны соседние.

10. При креплении на выводах нагревателей токоподводящих зажимов с гибкими шинами следить, чтобы не было скручивания и изгибания выводов, что может привести к поломке нагревателей.

11. Рекомендуемая конструкция токоподводов дана на рис. 7.

12. Рекомендуемая схема двухпозиционного регулирования температуры печи с защитным прибором дана рис. 7.

13. Печи с нагревателями из дисилицида молибдена комплектуются многоступенчатым понизительным печным транс-



форматором. Перечень трансформаторов, рекомендуемых для печей с нагревателями ДМ, дан в табл. 3.

14. При проверке правильности электрических соединений особое внимание обратить на направление токов в нагревателях. U-образные нагреватели, как правило, располагаются по одному в нише. Для получения большей мощности печи в каждой нише подвешиваются по два нагревателя так, чтобы плоскость петли нагревателя была перпендикулярна боковой стенке. Если нагреватели расположены слишком близко друг к другу, то возникающие при прохождении через них тока магнитные силы вызывают взаимодействия рабочих частей нагревателей. При расстоянии между нагревателями 120 мм и более, взаимодействия магнитных полей соседних нагревателей не наблюдается.

Если же расстояние между нагревательными элементами от 50 (это минимально допустимое расстояние) до 120 мм то магнитные силы могут вызвать прогибы и соприкосновения рабочих частей нагревателей, а следовательно, и выход их из строя. Чтобы избежать подобных явлений, нагреватели должны быть соединены при последовательном соединении, как показано на рис. 9а, при параллельном, как показано на рис. 9.

#### Пуск и остановка печи

Включать печь следует в два приема: сначала в течение 15—20 мин. поддерживать пусковое напряжение, равное 1/3 рабочего, во избежание перегрузки сети из-за низкого сопротивления нагревателей при низких температурах, затем переключить на рабочее напряжение.

После нескольких часов работы нужно подтянуть гайки токоподводящих зажимов и асбоцементных колодок. Хороший контакт между клеммами выводов и выводами—основное условие надежной работы.

Перед пуском печи с нагревателями, у которых произошло отслаивание защитного слоя в результате длительной работы при высоких температурах и охлаждения печи или разрушения слоя при работе в восстановительных атмосферах, должен быть восстановлен защитный слой повторным

окислением нагревателей при температуре в печи 1500—1600° с доступом воздуха к нагревателям.

Необходимо иметь в виду, что разогреть нагреватели до указанной температуры следует на полном напряжении, после 15—20-минутной выдержки—на пусковом напряжении. Быстрый разогрев нагревателей до температуры выше 1000°С необходим, так как в интервале температур от 500 до 1000°С кварцевая пленка еще не образуется и может начаться распадение дисилицида с поверхности.



Таблица 2.

## Трансформаторы, рекомендуемые для печей с нагревателями ДМ.

Тип трансформатора	Основные параметры				Год исполнения головного образца	Завод-изготовитель	Примечание
	мощность кВА	напряженье, В первичное	напряженье, В вторичное	число ступеней			
1	2	3	4	5	6	7	8
Однофазные							
ТПО-10А			12-40		По мере поступления заказов	Раменский электромеханический завод	1. Трансформаторы одной мощностью в исполнении «А», «Б», «В», с различными вторичными напряжениями идентичны по конструкции, исполняются на одном магнитопроводе с однаковыми первичными обмотками отличаются исполнением или соединением групп вторичной обмотки произвольной на заводе-изготовителе.
ТПО-10Б	10	380	24-80				
ТПО-10В			48-160				
ТПО-16А			12-40		»	»	2. Трансформаторы должны выпускаться в следующих исполнениях: Исп. I — с клеммной панелью без кужуха и переключателя;
ТПО-16Б	16	380	24-80	8			
ТПО-16В			48-160				
ТПО-25			12-40		1964	ЗЭТО Приволжского (МЭТП)	
ТПО-25Б	25	380	24-80	2			
ТПО-25В			48-160				
ТПО-40А			12-40		1964	Раменский электромеханический завод	
ТПО-40Б	40	380	24-80	8			
ТПО-40В			48-160				

1	2	3	4	5	6	7	8
ТПО-63А			12-80		1963	Раменский электромеханический завод	Исп. II—с клеммной панелью, с кожухом, без переключателя. Исп. III—с переключателем и кожухом.
ТПО-63Б	63	380	48-160	8			
ТПО-63В							
ТПО-100А			24-80		1964	ЗЭТО Приволжского (МЭТП)	
ТПО-100Б	100	380	24-80	8			
ТПО-100В							
ТО-2Г <sub>2</sub>	2	220	5,10	2	Изготавливается в настоящее время	»	Без переключате. я.
ТО-ВД <sub>2</sub>	8	220	60,75	2			
ТО-ВД <sub>3</sub>	8	380	50,76	2			
ТО-10А <sub>2</sub>	10	220	11,7-14,5	5			
ТО-20А <sub>3</sub>	20	220	3-12	7			
ТО-10А <sub>3</sub>	10	380	11,4-15	5			
ТО-20А <sub>3</sub>	20	380	37,3-120,8	7			
АО-35А <sub>2</sub>	35	220	7-19,6	7			С переключателем.
ТО-50А <sub>3</sub>	50	220	6,3-18,35	7			
ТО-50А <sub>3</sub>	50	380		7			
ТО-35А <sub>2</sub>	35	220		7			
АНО-40А <sub>2</sub>	40	220	86,5-132	7			
АНО-40А <sub>2</sub>	40	380	87,5-182	7			
ТО-17Б <sub>2</sub>	17	220	60,75	8			
ТО-17Б <sub>3</sub>	17	380	60,75	8			
ТО-35Б <sub>2</sub>	35	220	14,39,3	7			
ТО-35Б <sub>3</sub>	35	380	13,8-40	7			
					Изготавливается в настоящее время	По мере поступления заказов	»
ТО-100А <sub>2</sub>	100	380	12,6-36,2	14			
ТО-100Б <sub>3</sub>	100	380	25,2-72,4	14			
ТО-150КА <sub>3</sub>	150	380	14-42,2	14			



1	2	3	4	5	6	7	8
ТО-150КБ <sub>3</sub>	150	380	28-84,4	14	»	»	»
ТО-190КА <sub>3</sub>	190	380	14-42,2	7	»	»	»
ТО-190КБ <sub>3</sub>	100	380	36-168,8	14	»	»	»
АО-200А <sub>3</sub>	200	380	108-241	8	»	»	»
АО-360А <sub>3</sub>	360	380	210-501	8	»	»	»
1. Трехфазные							
ТПТ-10Д	10	220/380	По мере поступления				
ТПТ-16Д	16	220/380	12-90	12	»	»	»
ТПТ-25Д	25	220/380	12-150	12	»	ЗЭТО Привольжского (МЭТП)	Исп. I—с клеммной панелью без ко- жуха переключателя.
ТПТ-40Д	40	220/380	20-240	12	1964	Раменский электроме- ханический завод	Исп. II—с клеммной панелью с ко- жухом без переключателя.
ТНТ-35АО	35	220/380	6,5-30,5	7	»	»	Исп. III—с переключателем и кожу- хом.
ТНТ-60АО	60	220/380	6,5-30,5	7	Изготавливается в	Раменский электроме- ханический завод	Исп. IV—с переключателем и без ко- жуха.
АНТ-35А <sub>3</sub>	35	380	93,5-238	14	»	»	С переключателем.
АНТ-50А <sub>2</sub>	50	380	93,5-238	14	»	»	»
АНТ-50А <sub>3</sub>	50	380	93,5-238	14	»	»	»
АНТ-50А <sub>3</sub>	50	220	93,5-238	14	»	»	»
АНТ-75А <sub>3</sub>	75	380	96-328	15	»	»	»
АНТ-75А <sub>2</sub>	75	220	96-238	15	»	»	»
АТ-100А <sub>3</sub>	100	380	99-237	16	»	Наманганский трансфор- мальный завод	»
АТ-190А <sub>3</sub>	190	380	99-237	16	»	»	»
ТНТ-60АО	60	220/380	6,3-30,5	7	»	Раменский электроме- ханический завод	»
ТНТ-60Б0	60	220/380	13-61	7	»	»	»
ТНТ-100АО	100	220/380	6,5-31,7	7	»	Наманганский трансфор- мальный завод	»

1	2	3	4	5	6	7	8
ТНТ-60В0	60	220/380	26-122	7	»	Раменский электро- механический завод.	»
ТНТ-100Б0		220/380	129-63,4	7	»	Наманганский трансфор- мальный завод	»
ТНТ-100Б0		220/380	25,8-126,8	7	»	»	С переключателем.
ТТ-140КА0	140	220/380	6,35-35	7	»	»	»
ТТ-140КА0	140	220/380	6,35-35	8	»	»	»
ТТ-140КБ0	140	220/380	12,7-71,2	8	6	»	»



При температуре выше  $1000^{\circ}$  образование защитного слоя произойдет за счет полного окисления дисилицида молибдена с поверхности, что может привести к значительному утоньшению нагревателей в рабочей части, если процесс разложения успел пройти достаточно глубоко.

Рекомендуемое повторное окисление целесообразно проводить на печах, которые в дальнейшем будут работать с восстановительными и нейтральными атмосферами или согласно заданной технологии медленно греться в интервале температур  $500-1000^{\circ}$ . Если технология обработки изделий не требует замедленного нагрева печи, повторное окисление может специально не проводиться и произойдет при первом нагреве печи до температур выше  $1000^{\circ}$  на полном или форсированном напряжении.

Перед пуском новой печи ее необходимо высушить, чтобы не повредить футеровку при нагреве и дообжечь нагреватели... Сушку печи рекомендуется проводить следующим образом:

А. Включить нагреватели на пусковое напряжение, приоткрыть дверцу на 100 мм, довести температуру печи до  $100^{\circ}\text{C}$  в течение семи часов. В течение восьми часов выдерживать печь при  $100^{\circ}\text{C}$ .

Б. Включить нагреватели на полное напряжение, уставку регулирующего прибора поставить на  $500^{\circ}\text{C}$ . Дверцу открыть на 200 мм, а по достижении  $500^{\circ}\text{C}$  закрыть ее и печь выдерживать при этой температуре в течение пяти часов.

В. Уставку поднять до  $1300^{\circ}\text{C}$  и нагрев вести на рабочем напряжении при закрытой дверце. Температуру печи с постоянной скоростью поднимать от  $500^{\circ}\text{C}$  до  $1300^{\circ}\text{C}$ .

При эксплуатации печи необходимо иметь в виду следующее:

Нагреватели СМ имеют большие рабочие токи (100 — 130а), поэтому для их нормальной работы очень важно, чтобы контакты между алюминиевыми наконечниками выводов, токоподводов были всегда в хорошем состоянии. Для этого рекомендуется периодически подтягивать гайки зажима токоподвода и обязательно после нескольких часов работы печи на максимальной температуре. В то же время необходимо сле-

дить, чтобы токоподводящие зажимы и алюминиевые наконечники не нагревались слишком сильно, так как это может вызвать окисление контактной поверхности, увеличение контактного сопротивления, дальнейший перегрев наконечников вплоть до оплавления.

После разогрева печи и во время ее работы необходимо периодически подтягивать гайки асбоцементных колодок. Следует регулярно контролировать градуировку термопар, особенно при работе печи с контролируемыми или загрязненными выделениями из изделий атмосферами. При наличии двух термопар (регулирующей и защитной) это можно осуществлять непосредственно в печи.

Вышедшие из строя нагреватели можно заменить новыми при наличии запасных фасонов не дожидаясь охлаждения печи. Нагреватели, бывшие в употреблении, вынимать из печи и ставить на новое место не рекомендуется из-за их повышенной хрупкости.

Наиболее продолжительный срок службы нагревателей при соблюдении всех правил конструирования, монтажа и эксплуатации обеспечивается при непрерывной работе печи или работе длительными циклами. Поэтому в тех случаях, где это возможно с практической и экономической точек зрения, рекомендуется оставлять печь, включенной на период простоя при температуре около  $400^{\circ}\text{C}$ .

Однако и периодическая работа нагревателей вполне допустима и дает удовлетворительные результаты.

Остановку печи следует произвести отключением нагревателей при закрытых дверях печи. Двери печи открыть только после достижения температуры в печи около  $200^{\circ}\text{C}$ , во избежание притока холодного воздуха к нагревателям.

### Влияние атмосферы печи, режима работы и разброс

#### сопротивлений на срок службы нагревателей

Более продолжительный срок службы нагревателей может быть получен при использовании их в окислительных средах, таких как воздух, кислород, водяной пар или углекислота. Но они также могут работать и в различных атмосферах при определенных условиях.

Чистый водород вступает в реакцию с поверхностным



слоем нагревателей и вызывает постепенную коррозию, но добавление небольших количеств газа, содержащего кислород, например, водяного пара, делает нагреватели более устойчивыми.

Сера и ее соединения разрушают нагреватели. Металл и эмали, имеющие тенденцию образовывать с кремнием или с двуокисью кремния легкоплавкие составы или силикаты также не должны входить в контакт с нагревателями.

При работе нагревателей в восстановительных атмосферах после каждой остановки печи необходимо возобновлять защитный слой на нагревателях за счет нагрева их в атмосфере воздуха до температуры 1500—1550°C (в печи 1400—1500°) и часовой выдержки при этих температурах.

При работе печи с температурой на нагревателях свыше 1500°C необходимо предусмотреть автоматическую блокировку, обеспечивающую отключение печи при открывании дверцы, так как при открывании дверцы в случае подсыхания температуры может быть перегрев нагревателей.

Когда загрузка печи требует осторожного нагрева, рекомендуется применять плавно регулируемые трансформаторы или трансформаторы с относительно большим числом ступеней (см. табл. 3).

Разброс сопротивлений заметно уменьшают срок службы нагревателей. Поэтому завод-изготовитель поставляет партии нагревателей с одинаковым сопротивлением (разброс  $\pm 5\%$ ).

#### Футеровка печи

Конструкция печи и футеровка должны обеспечивать возможность нагревательным элементам из дисилицида молибдена свободное расширение и сжатие. Вертикально подвешенные нагреватели не должны касаться футеровки.

Особенно это важно при температурах на нагревателе выше 1600°C, так как защитное покрытие из двуокиси кремния будет вызывать прилипание нагревателя к футеровке, в результате нагреватели при охлаждении могут ломаться.

В качестве огнеупорного слоя электропечей можно применять любой материал, способный работать при температуре 1600°C и выше. Однако фасоны, непосредственно соприкасаю-

щиеся с нагревателями должны иметь определенный химический состав, для того, чтобы избежать химической реакции, которая может повредить нагреватели.

Наиболее подходящими являются высокоглиноземистые материалы с содержанием  $Al_2O_3$ —60—70%, а также материалы с высоким содержанием  $SiO_2$ , например пенодинас с  $SiO_2$ —93%.

Для снижения аккумулированного тепла, которое теряется во время охлаждения печи, и уменьшения времени охлаждения печи, а также во избежание чрезмерного увеличения габаритов печей рекомендуется использовать в качестве огнеупорного слоя легковесные материалы типа высокоглиноземистого легковеса, пенодинаса, вторым слоем—шамот ультралегковес.

Данные с материала, рекомендуемых для футеровки печей с нагревателями ДМ, приведены в табл. 4.



Футеровочные материалы, рекомендуемые для печей с нагревателями ДП Таблица 4

Название материала	Максимальная температура применения		Разрабатывающие и выпускающие предприятия
1	2	3	
Высокоглиноземистый легковес	1600	Разработан УНПО; промышленного выпуска нет	
Высокоглиноземистый легковес	1600	Разработан Спиревским огнеупорным заводом. Промышленный выпуск — 1964 г.	
Динас легковесный		Краснознаменский огнеупорный завод.	
Динас тяжелый	1700		
Высокоглиноземистый тяжелый шамот	1650	Семилюкский огнеупорный завод	
Шамот нормальный	1350-1450	Внуковский огнеупорный завод.	

1	2	3
Шамот легковесный АЛ-1,3	1300	
Шамот БЛ-1,0	1250	Спиревский огнеупорный завод.
Шамот БЛ-0,8	1200	
Ультралегковес БЛ-0,4	1200	
Перлит	900	Апрелевский термозавод.
Диатомит.	950	Инзенский комбинат легковесных изделий.



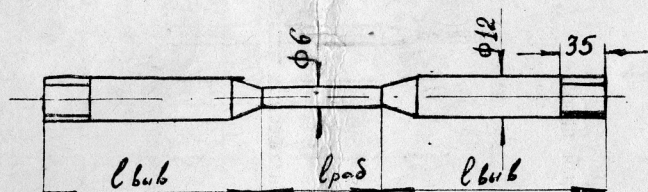


Рис. 1 Прямой нагреватель

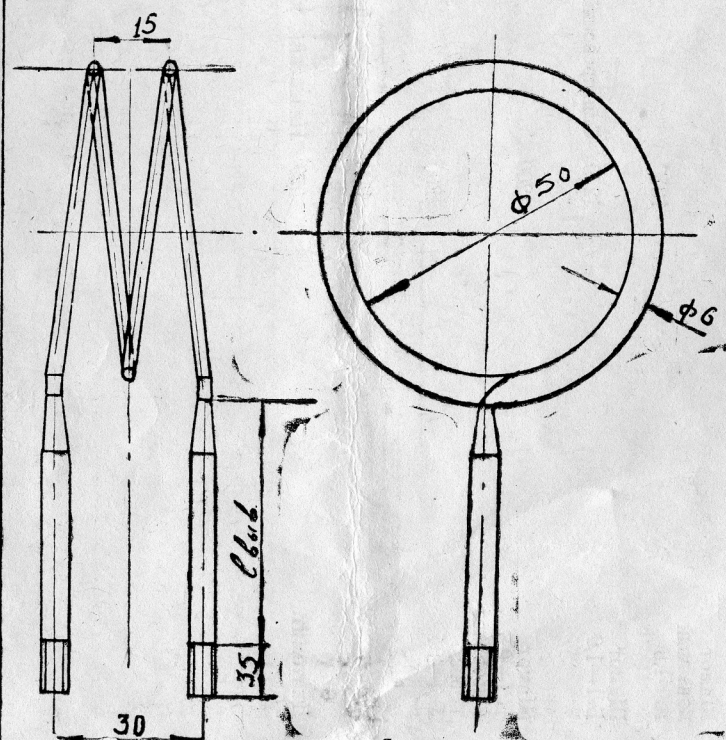


Рис. 4 Спиралевобразный нагреватель

чтобы ток

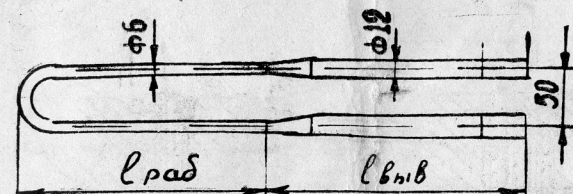


Рис. 2 U-образный нагреватель

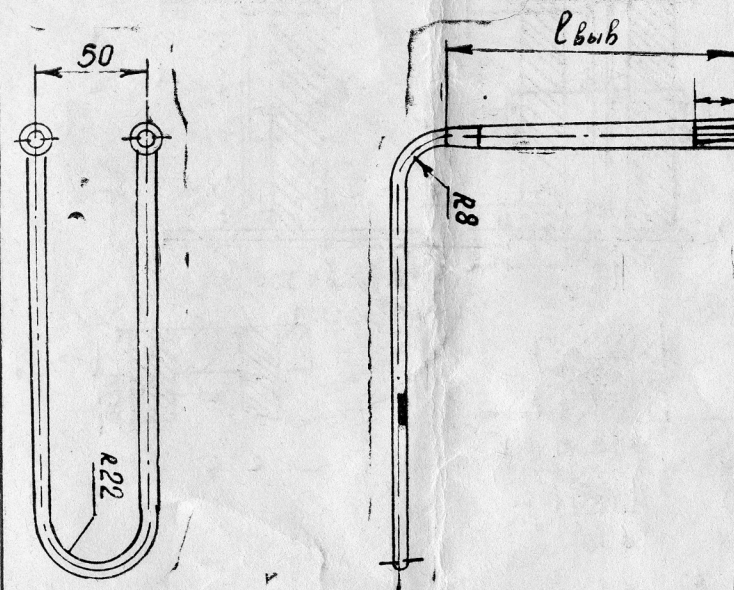


Рис. 3

U-образный нагреватель с отогнутыми под  $90^\circ$  выводами.



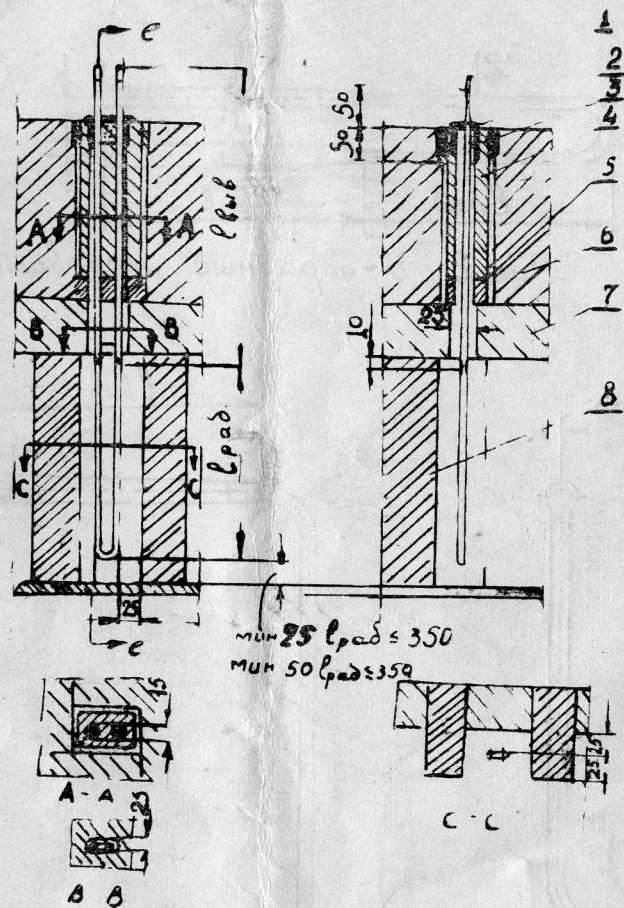


Рис 5 Узел вертикальной подвески нагревателя на воде

1—алюминиевая насадка на выводе нагревателя; 2—асбоцементная колодка; 3—уплотнение из шнурового асбоцемента; 4, 5, 7—фасоны-насадки; 6—распорный кирпич; 8—перегородки ниши.

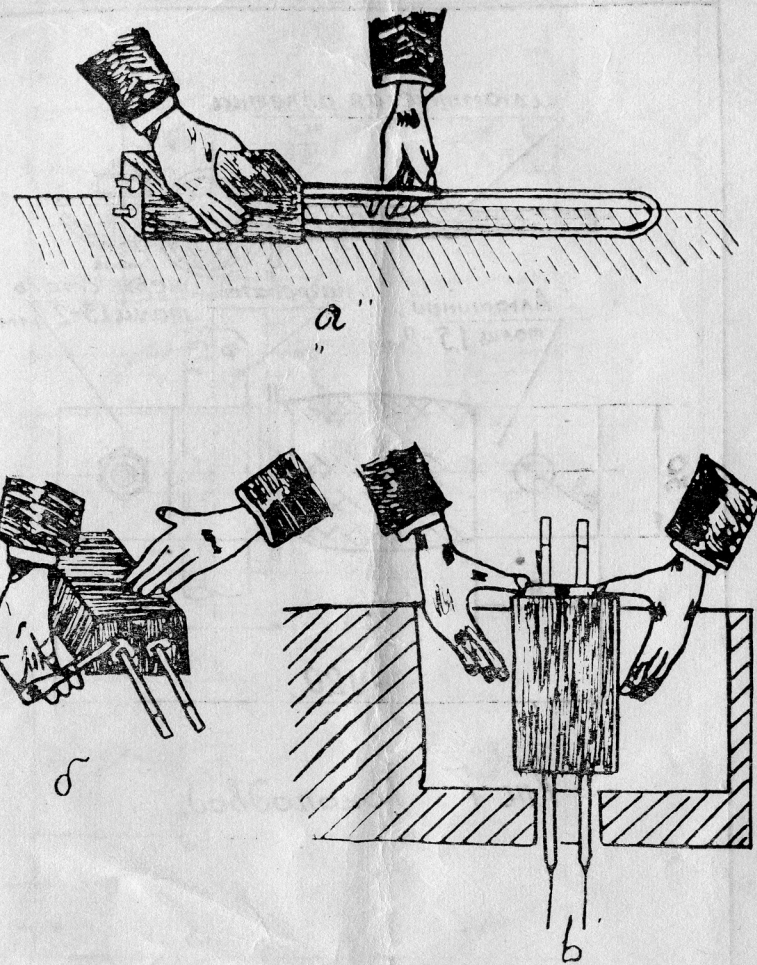
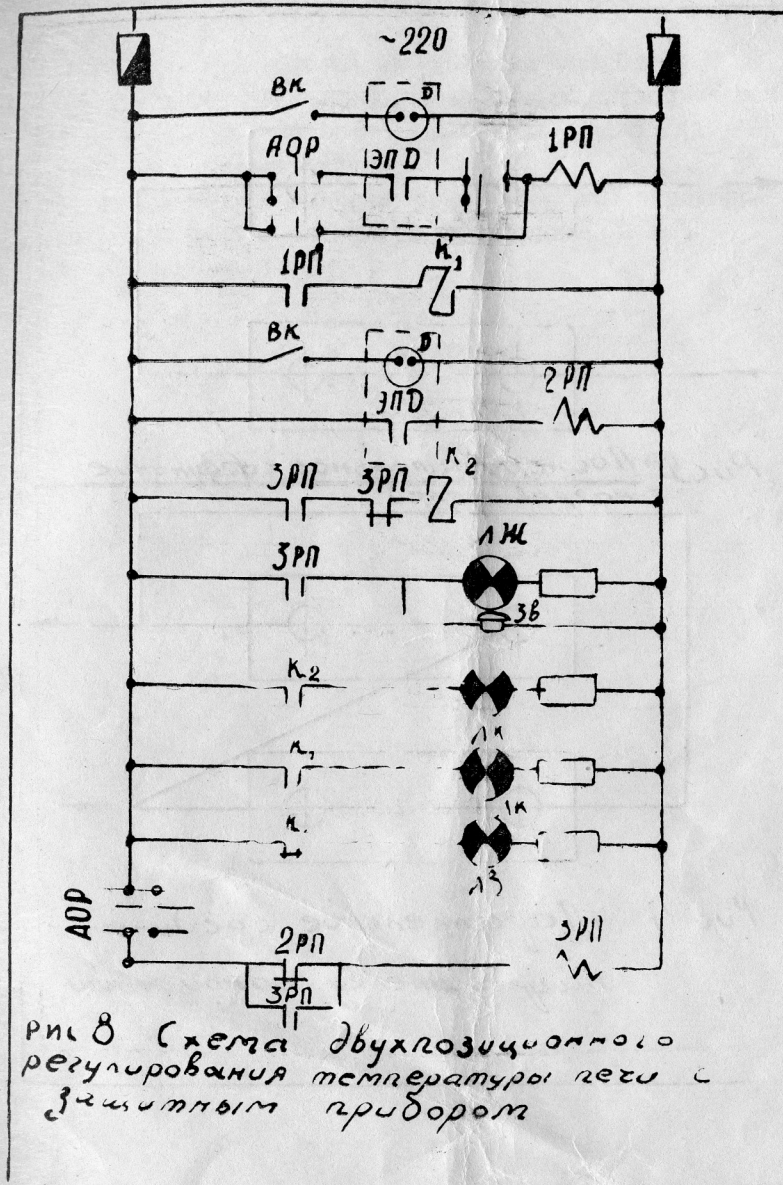
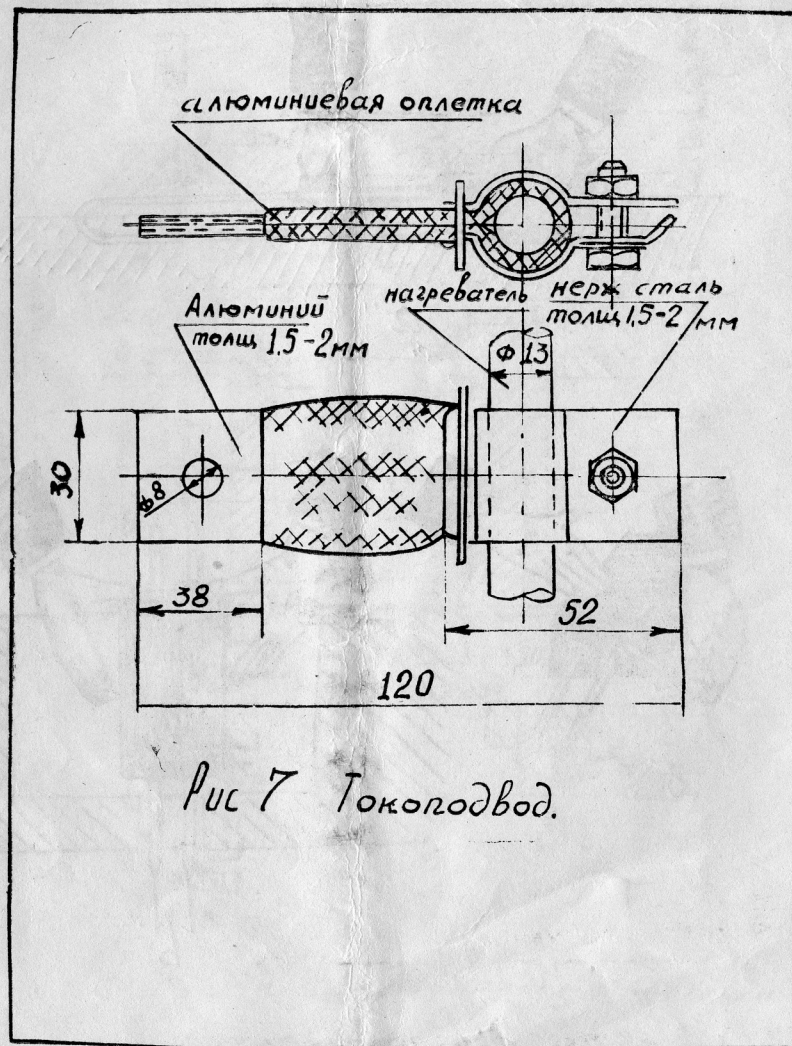
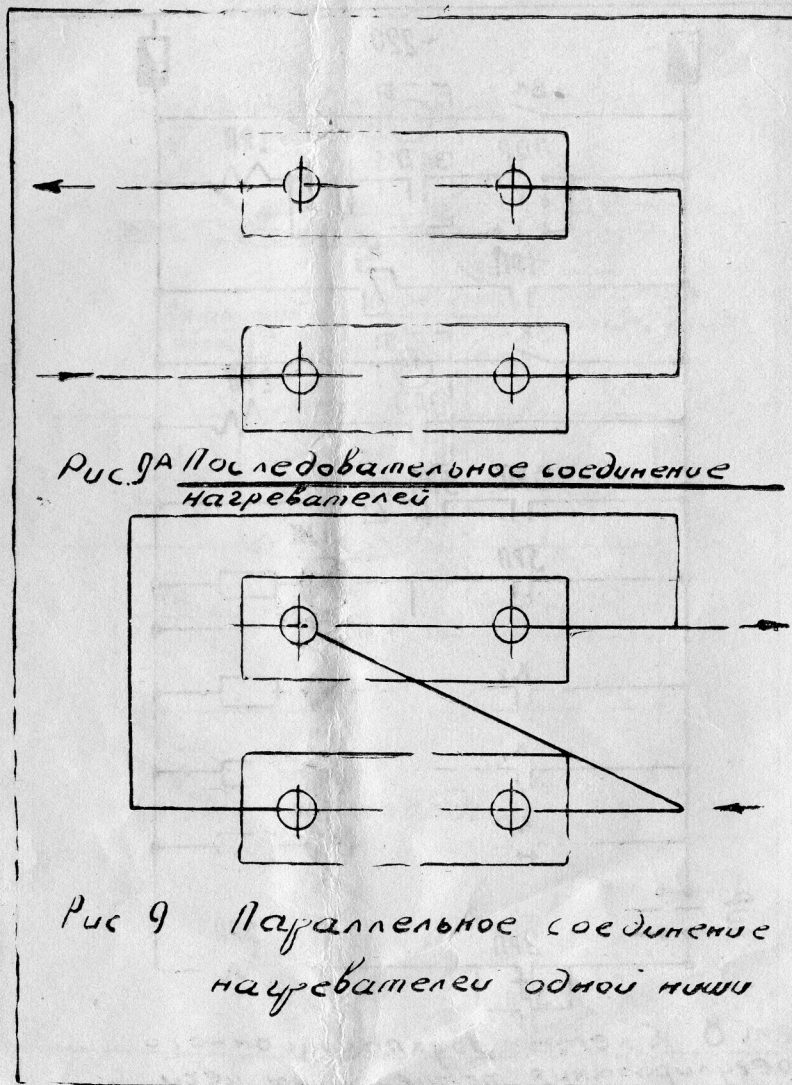


Рис 6 Последовательность монтажа нагревателей









## СОДЕРЖАНИЕ

Свойства нагревателей из силицида молибдена	
Инструкция по монтажу, пуску и эксплуатации печей с U-образными нагревателями из силицида молибдена	
Пуск и остановка печи	
Влияние атмосферы печи, режима работы и разброс сопротивлений на срок службы нагревателей	
Футеровка печи	



Заказ 4392

Тираж 1000/16

Типография № 5 Главного управления издательств и полиграфической промышленности Министерства культуры  
Арм. ССР, г. Кировакан.

Министерство электротехнической промышленности СССР

КИРОВАКАНСКИЙ

ЗАВОД ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

# УПАКОВОЧНЫЙ ЛИСТ

## ПАСПОРТ

ДИСИЛИД

молибдена

Наименование материала

Вес нетто 8640 кг.

Количество нагревателей 29 шт.

Дата упаковки 29 III 79г.

Нач. ОТК Д. С. С.

Упаковщик Борис

КОНТРОЛЬ

№ 2