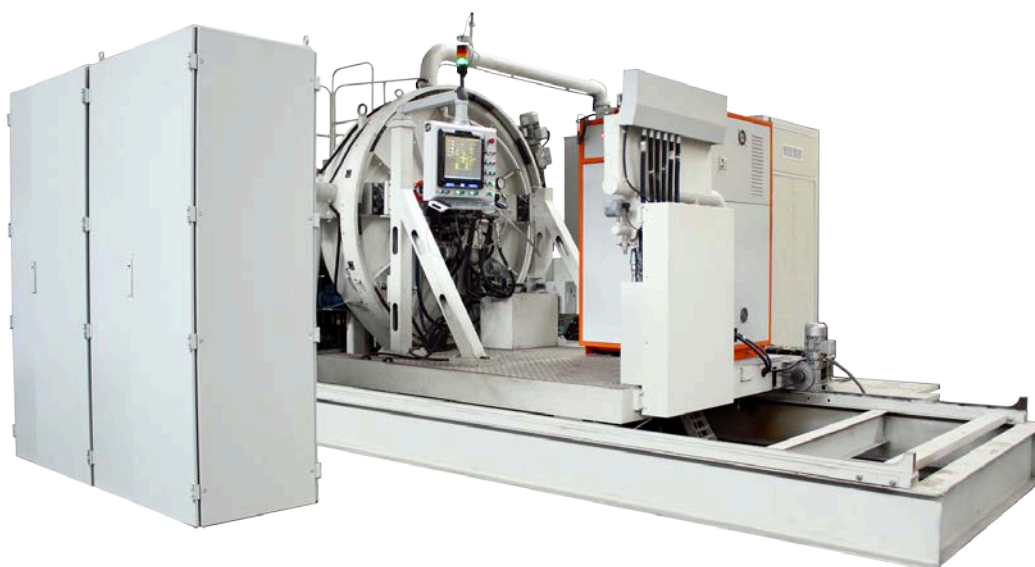


**Установка производства гранул «Гранула-2500»**





**Содержание:**

1. Назначение оборудования. Технологические процессы, в которых используется оборудование.
2. Особенности используемых физических процессов.
3. Техническое описание. Особенности конструкции. Преимущества оборудования.
4. Технические характеристики
5. Гарантийные обязательства, правила хранения и транспортировки. Срок службы. Сертификация.
6. Особенности эксплуатации.
  - 6.1. Меры безопасности.
  - 6.2. Требования к персоналу.
  - 6.3. Требования к производственной площадке и монтажу.
  - 6.4. Требования к коммуникациям и энергоресурсам.
7. Объем поставки. Особенности комплектации.
8. Возможные модификации. Сопутствующее оборудование.

## 1. Назначение оборудования. Технологические процессы, которые используются в оборудовании.

Установка производства гранул «Гранула-2500» предназначена для производства порошков жаропрочных никелевых сплавов и титановых сплавов методом плазменного распыления вращающейся заготовки в среде инертных газов с одновременной транспортировкой порошка в герметичную емкость.

Получение металлических порошков на установке «Гранула-2500» основано на методе центробежного распыления расплава с торца прутковой заготовки, оплавленной плазменной струей. Капли расплава, оторвавшиеся от вращающейся заготовки, перемещаясь в инертной среде, остывают со скоростью  $10^4 \div 10^7$  град/сек., образуя частицы металла – порошок, который из камеры распыления перемещается в приемный контейнер. В контейнере, металлический порошок в инертной среде, в которой был получен, герметизируется. Контейнер отсоединяется от камеры распыления и передается на дальнейшую обработку.



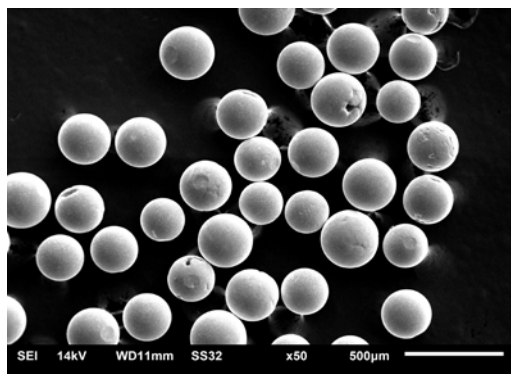
## 2. Особенности используемых физических процессов.

На первом этапе формирования частицы до момента её отделения от венца практически отсутствует взаимодействие частицы с газовой средой. Следовательно, исключается появление частиц с газовыми и прочими включениями. Охлаждение и кристаллизация в смеси инертных газов происходят на втором этапе. При скорости кристаллизации выше  $10^3 - 10^4$  град/с образуются частицы с мелкозернистой структурой. С увеличением скорости охлаждения повышается дисперсность микроструктуры порошковой частицы, что связано с изменением в условиях роста кристаллов. Гранулометрический состав получаемого порошка можно регулировать изменением частоты вращения заготовки.

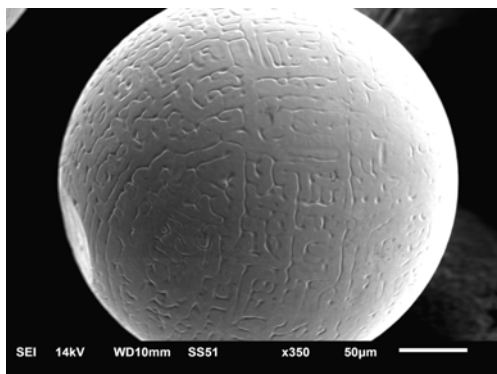
Важнейшими параметрами, влияющими на скорость охлаждения кристаллизующейся частицы порошка, являются диаметр частицы, теплопроводность газовой смеси, давление в камере распыления. Возможность регулирования этих параметров при центробежном распылении расплава и, следовательно, управления скоростью охлаждения металлов и сплавов открывает большие возможности для формирования частицы с прогнозируемой структурой и свойствами. Скорость зарождения кристаллов возрастает с ростом скорости охлаждения, что приводит к пропорциональному уменьшению размера зерен. При скорости отвода тепла выше  $10^2 - 10^4$  град/с резко измельчаются все структурные составляющие сплава, возрастает физическая плотность отдельной частицы по сравнению с литым металлом.

Распыление при скорости охлаждения частицы до  $10^4$  град/с, как правило, приводит к формированию микрокристаллических и дендритных структур. При переохлаждении капли можно получить порошок шарообразной формы с недендритной структурой. Скорость охлаждения частиц может быть увеличена за счёт дополнительного конвективного охлаждения. При охлаждении со скоростью выше  $10^3 - 10^4$  °C/с формируются частицы с дисперсной микрокристаллической и тонкой дендритной структурой.

На рисунке представлен порошок молибдена, полученный методом PREP.

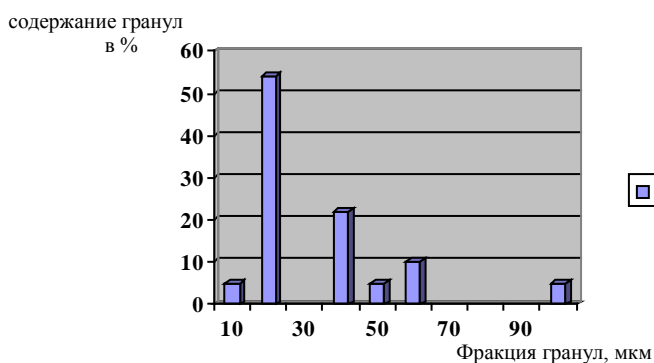


а)

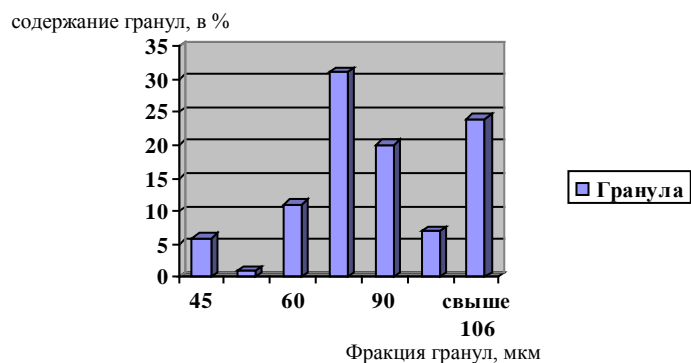


б)

Рис. 1. Порошок молибдена, полученный методом распыления вращающейся заготовки:  
а – общий вид частиц, б – форма и поверхность одной частицы  
Фракционный состав порошка, полученных при распылении на «Гранула-2500»



Inconel 718



VT6

### 3. Особенности конструкции. Техническое описание. Преимущества оборудования.

#### 3.1. Конструкция установки.

- Камера распыления
- Дверь откатная
- Устройство загрузочное
- Блок приводов
- Система вакуумная
- Затвор байонетный
- Пути рельсовые
- Металлоконструкция
- Прямок с опорной металлоконструкцией
- Система газовая
- Система водоохлаждения
- Выпрямитель "ВПУ-250"
- Контейнер
- Система управления
- Механизм сбора огарков
- Электроразводка
- Бункер некондиционных гранул
- Система пневматическая



Рис. 2 . Установка производства гранул «Гранула-2500»

### Камера распыления.



Камера распыления имеет каплеобразную форму. Камера выполнена из коррозионностойкой стали с рубашкой охлаждения. Корпус камеры устанавливается на колоннах. К одному из наружных торцов камеры распыления герметично крепится блок приводов. С противоположной стороны установлена дверь откатная.

Камера оснащена иллюминаторами для наблюдения за процессом распыления и реализации системы технического зрения, а также имеет фланцы и отверстия для технологического присоединения к пересыпному устройству, загрузочной камере, механизму сбора огарков и к блоку приводов.

Рисунок 2 . Камера распыления

**Дверь откатная.**

Дверь откатная представляет собой конструкцию, состоящую из водоохлаждаемой дискообразной крышки, смонтированной на подвижной тележке, имеющей электромеханический привод. В центре двери откатной устанавливается плазмотрон.



Рисунок 3. Дверь откатная

**Устройство загрузочное.**

Устройство загрузочное состоит из прямоугольной сварной камеры, с открывающейся верхней крышкой. Крышка открывается двумя пневмоцилиндрами. Прижим крышки осуществляется с помощью четырех пневматических замков.

В камере имеется траверса, перемещающаяся вверх-вниз с помощью механического привода.

На траверсе устанавливается кассета – накопитель электродов. Подача партии электродов под загрузку осуществляется за счет перемещения накопителя вдоль вертикальной оси.



Рисунок 4. Устройство загрузочное

**Блок приводов.**

Камера блока приводов одним фланцем соединена с камерой распыления, сбоку к ней крепится загрузочное устройство. В камере установлен привод вращения заготовки, состоящий из опорной плиты и двух барабанов, которые приводятся во вращение двумя электрошпинделями. Камера оснащена также разделителем электродов, подающим на барабаны поштучно заготовки и толкателем, осуществляющим перемещение заготовки в зону распыления.

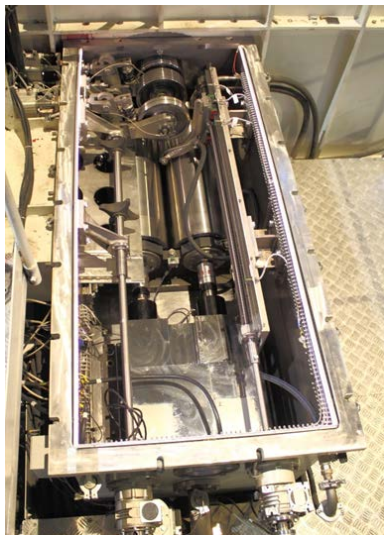


Рисунок 5. Блок приводов

**Система вакуумная**

Система вакуумная расположена над настилом на рабочей площадке и крепится к патрубку камеры устройства загрузочного. Система предназначена для создания вакуума в камерах установки.

Система вакуумная состоит из линии форвакуумной откачки и линии создания высокого вакуума. В составе форвакуумной линии имеется насос Рутса и пластинчато-роторный насос.

Линия создания высокого вакуума состоит из вакуумного диффузионного насоса и механического насоса. Система вакуумная имеет необходимое количество датчиков для измерения вакуума. Все клапаны системы имеют пневматический привод.



Рисунок 6. Система вакуумная

**Затвор байонетный**

Байонетный затвор обеспечивает герметичное соединение камеры распыления с дверью откатной. Байонетная конструкция запорного устройства позволяет повысить абсолютное давление инертного газа в камере до 1,3 атм.

Рисунок 7. Затвор байонетный

***Пути рельсовые***

Один путь рельсовый расположен в приямке и служит для перемещения по нему тележки с контейнером. Другой путь рельсовый расположен на нулевой отметке установки и необходим для перемещения тележки двери откатной.

***Металлоконструкция***

Металлоконструкция служит опорой рабочей камеры на фундаменте и выполняется сварной из стандартных стальных профилей, исключаяющей повышенную вибрацию установки..

***Приямок с опорной металлоконструкцией***

Приямок с опорной металлоконструкцией с креплением к фундаменту не поставляется в комплекте к установке (по представленным чертежам выполняется Заказчиком).

***Система газовая.***

Газовая система установки структурно состоит из трех основных частей, выполняющих функции заполнения рабочего объема установки защитной средой - инертным газом; отвод тепла от порошка в процессе циркуляции газа в камерах установки; подачи газа в плазмотрон для образования плазмы при плавлении. В качестве газовой среды используется смесь сверхчистых газов Ag+He в объемном отношении ~ 1/9.

Система подачи инертного газа включает баллонную станцию, ресиверы, фильтр циклон, охладитель, газонагнетательную установку, блок компрессоров и оснащается устройством для контроля температуры газа на входе в плазмотрон и выходе из камеры распыления.





Рисунок 8. Система газовая

**Система водоохлаждения.**

Система водоохлаждения – замкнутая, двухконтурная. Теплоноситель – дистиллированная вода.

Первый контур охлаждения включает в себя:

- Бак с запирающей арматурой и контролем уровня воды;
- Теплообменники;
- Циркуляционные насосы;
- Напорно-сливные коллекторы;
- Проточный водонагреватель.

Второй контур охлаждения включает в себя:

- Охладитель (чиллер).

Система водоохлаждения предназначена для подачи воды к охлаждаемым элементам установки, которая в различные периоды рабочего цикла обеспечивает различные цели. В начальный период работы установки (при вакуумировании), вода, подаваемая в водяные рубашки установки, должна быть нагретой и обеспечить подогрев стенок камеры распыления до  $45^{\circ}\text{C}$  для улучшения процессов десорбции газа с внутренних поверхностей откачиваемого пространства. В течение всего остального времени рабочего цикла, вода подается в установку холодной ( $18^{\circ}\text{C}$ ).



Рисунок 9. Система водоохлаждения

**Выпрямитель «ВПУ-2500М».**

Выпрямитель «ВПУ-2500М» располагается на платформе тележки двери откатной и служит источником питания узла горения дуги (плазмотрона).

Технические характеристики «ВПУ-2500М».

Номинальный рабочий ток, А	1600
Диапазон регулирования тока плавки, А	50 – 2000
Напряжение холостого хода, В не менее	120
Номинальное рабочее напряжение, В	80
Напряжение возбуждения, В	250
Потребляемая мощность, кВА, не более	220
Номинальное напряжение трехфазной питающей сети частотой 50 Гц, В	380±10%
Расход охлаждающей воды, л/мин, не менее	30
Габаритные размеры, мм, (Д*Ш*В) не более	1100*1000*1840
Масса, кг, не более	1500



Рисунок 10. Выпрямитель «ВПУ-2500М».

**Контейнер.**

Контейнер представляет собой герметичный сосуд, предназначенный для сбора, хранения и транспортировки гранул в среде инертного газа. Контейнер оснащен запорной арматурой и изготовлен из коррозионностойкой стали.

**Система управления.**

Система управления (СУ) реализована на базе программируемого контроллера (PLC) и панельного компьютера (монитора оператора). СУ, в соответствии с программой пользователя, выполняет следующие задачи:

- установку заданных цифровых значений регулируемых параметров с монитора оператора и воспроизведение на мониторе цифровой информации контролируемых параметров;
- автоматический контроль зазора между торцом сопла и распыляемой заготовкой;
- представление на экране монитора графических объектов (мнемосхем) и функциональных объектов типа «сенсорные кнопки» и цветные индикаторы, позволяющие оператору менять режимы управления и непосредственно с монитора вмешиваться в работу СУ, корректируя течение процесса распыления.



Рисунок 11. Система управления

**Механизм сбора огарков.**

Механизм сбора огарков представляет собой сварной корпус, герметично соединенный с камерой распыления. В корпусе размещен контейнер для сбора и выгрузки огарков. В механизме имеется заслонка – уловитель огарков. Для поворота заслонки использован электромеханический привод.



Рисунок 12. Механизм сбора огарков.

**Электроразводка.**

Электроразводка предназначена для обеспечения подвода электропитания к электродвигателям и приводным устройствам, а также цепей управления от блоков, пульта плавильщика, шкафа управления и состоит из ошиновки, жгутов с электропроводами, защитных кожухов и коробов. Электроразводка по схеме подключения связана, соответственно, с электрошкафами и пультом плавильщика управления механизмами.

**Бункер некондиционных гранул.**

Бункер некондиционных гранул является герметичной емкостью и служит для сбора гранул, получаемых от распыления первого электрода от каждой загружаемой партии. Бункер устанавливается на подвижной тележке. Тележка укомплектована каркасной конструкцией с рольгангом для транспортировки контейнера с огарками из механизма сбора огарков.

**Система пневматическая.**

Система пневматическая включает в себя блок подготовки воздуха, панели пневмораспределителей и трубопроводы. Система предназначена для управления пневмоприводами вакуумных клапанов, пневмоприжимов и пневмозатворов.

**3.2 Описание работы установки**

Процесс получения порошков ведется в следующей последовательности:

- партия специально подготовленных электродов загружается в накопитель электродов, который переносится в загрузочное устройство
- из загрузочного устройства электроды поочередно через разделитель электродов подаются на барабаны и прижимаются к ним прижимными роликами
- продольное перемещение заготовки выполняет узел перемещения толкателя.
- вращающийся электрод подается в камеру распыления, где его торцевая часть нагревается до температуры плавления специальным плазменным источником нагрева
- расплавленный металл распыляется под действием центробежных сил, возникающих при вращении электрода.
- инертный газ, подаваемый через трубопровод в объём камеры блока приводов, способствует быстрой кристаллизации распыленных капель. Кристаллизованный порошок попадает в устройство пересыпное, где происходит его дополнительное охлаждение, производится отбор проб, либо он попадает в контейнер, который после окончания технологического процесса герметизируется вакуумным затвором.

Оставшаяся нерасплавленная часть электрода сбрасывается в специальный бункер с помощью механизма сбора огарков.

**3.3 Преимущества установки производства гранул**

Метод центробежного распыления относится к основным технологиям получения порошков для 3D-печати. От качества производимого порошка зависит качество деталей, получаемых методом 3D-печати.

В конструкции установки заложены прогрессивные технические решения, благодаря которым достигается высокое качество порошка, низкое содержание кислорода и других вредных примесей. Основные преимущества:

- исключение влияния субъективных факторов на процесс получения гранул посредством закрепления отлаженного нормативного технологического процесса в управляющей программе и возможности блокировки несанкционированного изменения программы;
- управление скоростью охлаждения позволяет получать прогнозируемые свойства и структуры частиц.
- высокая стабильность технологических параметров;
- повышение комфортности условий работы оператора за счет интегрирования на рабочем месте органов управления установкой;
- улучшение ремонтпригодности за счет автоматического диагностирования и тестирования оборудования средствами контроллера и компьютера.
- высокая производительность – до 90 кг/ч (по плавлению).
- возможность настройки для различных материалов.
- преимуществом центробежного метода распыления является низкое содержание газовых примесей (кислорода, азота, водорода), сферичность и узкий фракционный состав порошка, высокая плотность утряски, пригодность для высококачественных процессов прямого напыления, возможность получения шаровидных частиц тугоплавких металлов и сплавов диаметром менее 50-100 мкм для реализации аддитивных технологий.

- получение порошка из титановых и жаропрочных никелевых сплавов размерами от 30 до 100 мкм, способных обеспечивать высокий уровень механических свойств заготовок ответственного назначения;
- высокое качество порошка с плотной мелкозернистой структурой без усадочных раковин, вакуумных или газовых пустот. Сферичность, отсутствие каплеобразности в форме порошка.
- порошки сертифицированы для использования в установках EOS, ARCAM.

#### 4. Технические характеристики

Напряжение питающей сети, В	380±10%	
Номинальная частота, Гц	50±1	
Число фаз, шт.	3	
Установленная мощность, кВт	300	
Диаметр камеры, мм	2500JS18	
Производительность установки, кг/час по плавлению	90	
Максимальное количество загружаемых заготовок, шт.	70	70
Материал заготовки	Титановые сплавы	Жаропрочные никелевые сплавы
Размеры распыляемой заготовки (Диам.*Дл.), мм	(55 - 1)*(700 - 1)	(80 - 1)*(700 - 1)
Максимальная скорость вращения заготовки, об/мин	40000	30000
Привод вращения барабанов	от электрошпинделей на барабаны	
Количество барабанов, шт.	2	
Рабочий вакуум, мм рт.ст.	5×10 <sup>-5</sup>	
Натекание, л.мкм.рт.ст/с	15	
Время откачки до рабочего остаточного давления при подготовленном диффузионном насосе, мин.	45	
Газовая среда	смесь газов Ar+He в соотношении ~1:9	
Система водоснабжения	Двухконтурная замкнутая	
Давление воды в теплообменниках установки, МПа	0,2- 0,4	
Используемая вода внутреннего контура	Умягченная, дистиллированная	
Давление воздуха в пневматической системе, МПа	0,4 – 0,6	
Тип источника питания	«ВПУ-2500М»	
Габаритные размеры, мм, (Д*Ш*В)	9400*8000*6260	
Масса, кг	24000	

#### 7. Объем поставки. Особенности комплектации.

Комплект поставки установки представлен в таблице

Наименование	Кол.
Установка для получения порошка «Г гранула-2500»	1
Комплект запасных частей согласно ведомости ЗИП	1

#### Эксплуатационная документация

Руководство по эксплуатации	1
Ведомость ЗИП	

## **5. Гарантийные обязательства, правила хранения и транспортировки. Срок службы. Сертификации.**

### **5.1 Гарантийные обязательства.**

Гарантийные обязательства ПАО «Электромеханика» при соблюдении условий транспортирования, хранения и эксплуатации изделия действуют в течение 12 месяцев со дня сдачи изделия в эксплуатацию, но не более 18 месяцев с момента отгрузки изделия Заказчику.

### **5.2 Правила хранения.**

Условия хранения установки в части воздействия климатических факторов по группе 1 (Л) по ГОСТ 15150-69.

### **5.3 Транспортировка.**

Транспортирование установки возможно любым видом транспорта в упаковке завода-изготовителя. Транспортирование в пределах цеховых помещений возможно без упаковки. Условия транспортирования в части воздействия механических факторов – средние (С) по ГОСТ 23216-78, а в части воздействия климатических факторов по группе 1 (Л) по ГОСТ 15150-69.

### **5.4. Сертификация.**

Товар сертифицирован. Документом, который гарантирует качество и безопасность продукции, является Сертификат соответствия ТРТС (сертификат соответствия техническому регламенту Таможенного союза). Дополнительной регистрации в Ростехнадзоре не требуется.

## **6. Особенности эксплуатации.**

### **6.1. Меры безопасности при использовании установки.**

Необходимо соблюдать общие правила безопасности труда при выполнении электросварочных работ ОСТ 1.42095-80 и ГОСТ 12.3.003-86.

Заземление установки должно быть выполнено в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок ГОСТ 12.2.007.8-75.

Провода от электропитания должны быть надежно изолированы и защищены от механических повреждений и действия высоких температур.

### **6.2. Требования к персоналу.**

К работе на установке допускается лишь персонал, прошедший специальную подготовку по обслуживанию и наладке установки, аттестованный на электробезопасность, не ниже II группы и прошедший медицинскую комиссию.

### **6.3. Требования к производственной площадке и монтажу оборудования.**

Монтаж оборудования производится согласно предоставляемой заводом-изготовителем монтажной схемы (фундаментного чертежа) с указанием точек подвода энергоресурсов, занимаемой площади и т.д.

Требования к фундаменту:

Фундамент производит завод-потребитель на основании данного задания и местных условий: состояния грунта, уровня грунтовых вод и т.д.

### **6.4. Требования к коммуникациям и энергоресурсам.**

Установка рассчитана на работу с питанием от электрической сети переменного трехфазного тока напряжением  $400\text{ В} \pm 10\%$  и частотой  $50\text{ Гц} \pm 1$ , отвечающей по показателям качества электроэнергии требованиям ГОСТ 13109-97, с заземленной нейтралью.

Условия эксплуатации печи должны соответствовать климатическому исполнению УХЛ, категории размещения по ГОСТ 15150-69 при производственных условиях потребителя:

- наличии вытяжной вентиляции;

- наличия сжатого воздуха с давлением не менее 0,4 МПа (4 кгс/см<sup>2</sup>).
- наличия охлаждающей воды с давлением в подводящей магистрали не менее 0,25 МПа (2,5 кгс/см<sup>2</sup>).

Требования к качеству охлаждающей воды должны соответствовать ГОСТ 16323-79 (ОСТ 16.0.801.399-87):

Взвешенные вещества, мг/л, не более	10
Жесткость общая, мг-экв/л, не более	3,5
Удельное электросопротивление, Ом×см, не менее	4000
Сульфаты (SO <sub>4</sub> ), мг/л, не более	3
Железо общее (Fe), мг/л, не более	0,2

*Примечание.* Содержание в охлаждающей воде масел, смолообразных продуктов, нитритов не допускается. Температура подаваемой воды должна быть не более +20 ± 3 °С.

#### 7. Объем поставки. Особенности комплектации.

Наименование	Количество
Установка в сборе	1
Комплект ЗИП согласно ведомости	1
Эксплуатационные документы	
Руководство по эксплуатации	1
Монтажный чертеж	1
Ведомость ЗИП	1

#### 8. Возможные модификации. Сопутствующее оборудование.

В настоящее время ПАО «Электромеханика» производит установки производства гранул «Гранула - 2000» и «Гранула-2500», чьи параметры отличаются друг от друга диаметром камеры и скоростью вращения электрода в зависимости от распыляемого материала.