

**«Системы автоматического управления технологическими процессами  
стекольных и базальтовых производств.  
Система дополнительного электроподогрева (ДЭП) в стекловарении»**

Филин С.В.,  
заместитель генерального директора  
ООО НПЦ «Стекло-Газ»

Интенсификация технологических процессов и повышение качества продукции является основным направлением в развитии современного стекольного производства. Одним из основных инструментариев интенсификации процесса стекловарения в стекловаренной печи является дополнительный электроподогрев стекломассы.

КПД стекловаренных печей, отопление которых осуществляется за счет сжигания газа, низок, достигает порядка 35%. Большая часть тепла уходит вместе с отходящими газами в окружающую атмосферу. И именно электроподогрев позволяет вводить дополнительную мощность непосредственно в расплав стекла. КПД превращения электрической энергии в тепловую составляет порядка 85-90%, потери происходят только на холодильниках-электрододержателях, наружной (непогруженной части молибденового электрода), кабельных линиях и трансформаторе.

Перспективы применения электроэнергии в стекловарении обуславливаются прежде всего тем, что расплав стекла является электролитом, то есть проводником электрического тока. Необходимое тепло, согласно закону Джоуля-Ленца, выделяется при непосредственном пропускании через него переменного электрического тока. Постоянный ток недопустим, т.к. при его протекании начинается процесс электролиза стекломассы. Расплав стекла обладает ионной проводимостью, причем переносят электрические заряды, в основном, ионы щелочных металлов.

При проектировании электроподогрева необходимо исходить из количества и состава стекломассы, которую нужно получить дополнительно. В каждом случае исходят из предпосылок, что для варки 1,0 тонны стекломассы в сутки требуется дополнительный расход электрической мощности печи. Эта мощность лежит в диапазоне от 25 кВт для бесцветного тарного стекла до 35 кВт для боросиликатного. При расчете мощности источника энергии для электроподогрева, можно исходить из теоретических потребностей в энергии, необходимой для варки стекла рассматриваемого типа. Это объясняется тем, что при использовании

электроподогрева практически не увеличиваются тепловые потери от печи.

Основные схемы размещения электродов в печи подразумевают вертикальную и горизонтальную установку.

Путем соответствующего размещения электродов можно наилучшим способом оказывать влияние на выделение энергии, распределение температур, а также на потоки стекломассы в бассейне.

Потоки стекломассы, возникающие между электродами, образуют замкнутые циклы локального характера между электродами, электродами и стеной. Также способствуют организации и усилению необходимых конвективных потоков стекломассы сыпчного и выработочного циклов. Т.е. усилению обмена стекломассы поверхностных и придонных слоев.

### **Обзор ДЭП по функционалу.**

Все применяемые системы электроподогрева отличаются количеством электродов и источников питания — трансформаторов. Большое значение для нормальной работы подогрева имеет схема соединений источников питания и их фазировка. Чаще всего электроды объединяются в силовые группы. Каждая силовая группа предназначается для выполнения конкретной технологической задачи.

**Электроподогрев барьерный** организуется для усиления сыпчного цикла печи. Особенностью электродов, установленных вертикально в дне печи, является образование мощных восходящих потоков вокруг каждого из них. Это связано с сильным искривлением электрического поля вокруг электрода. Поскольку плотность силовых линий у электродов максимальная, то и плотность выделяемой энергии, а, следовательно, и температура расплава максимальные. В межэлектродном пространстве тоже имеют место восходящие потоки, но они менее интенсивные, чем у непосредственно электродов. Благодаря такому воздействию электроподогрева, температура и интенсивность конвективного вала стекломассы в квельпункте значительно возрастают. Расплав, движущийся от квельпункта в сторону заспыки, приобретает дополнительную температуру, за счет чего повышается скорость провара шихты, а также ускоряется осветление свежесваренной стекломассы. Интенсификация сыпчного цикла приводит к повышению температуры придонных слоев всего варочного бассейна, что, несомненно, улучшает качество вырабатываемой стекломасы.

Как известно, придонные слои варочного бассейна под шихтой представляют

собой насыщенный растворенными газами холодный расплав, который при малейшем изменении общего технологического режима способен поступать на выработку, загрязняя стекломассы свиллями и мошкой. Повышение температуры под шихтой достигается за счет восходящих потоков из глубины расплава.

**Электроподогрев в заглубленной предпроточной зоне** имеет небольшую мощность, т. к. он предназначен для выравнивания температуры расплава и улучшения его однородности. Electroды могут устанавливаться как в дне печи, так и в торцевой стене.

**Электроподогрев протока** необходим в процессе наварки печи стеклобоем или при низких съемах стекломассы с печи (когда возможна заморозка стекла в протоке), например, при остановке выработки. Т.е. этот способ применяется эпизодически в редких случаях.

Молибденовый электрод устанавливается в специальном водоохлаждаемом холодильнике, который предохраняет молибден от окисления на воздухе при высоких температурах, т.е. внутри печи и огнеупорного блока электрод защищен расплавом стекла, его обволакивающим, а внутри холодильника — низкой температурой.

Холодильник-электрододержатель устанавливается, в свою очередь, в специальном блоке, выполненном из электроплавленного огнеупора повышенного качества и выступающим из дна печи.

В качестве источников питания применяются электропечные трансформаторы — однофазные и трехфазные с первичным напряжением 380 В и величиной вторичного напряжения от 80 до 200 В.

ДЭПом стекломассы управляет система автоматического управления на базе программируемого контроллера. Это позволяет нам:

- реализовывать алгоритмы стабилизации вводимой электрической мощности;
- осуществить контроль токов и напряжений на электродах;
- температур головок холодильников и охлаждающей воды;
- величин расхода охлаждающей воды;
- управление и архивирование всего технологического процесса и аварийных ситуаций.

В нашей организации имеется программа расчета параметров системы как ДЭП стекломассы, так и электропечей. Позволяет рассчитывать токи и напряжения в группах электродов, подключенных к разным трансформаторам. Количество

электродов, участвующих в расчетах может доходить до 20 шт. В качестве исходных данных задается химсостав стекла, габариты печи и электродов, пространственное положение электродов, желаемые вводимые электрические мощности, количество трансформаторов, состав электродов, подключенных к каждому трансформатору, фазировки питания. На выходе мы получаем ожидаемые значения токов и напряжения на электродах для выбора соответствующего трансформатора.

В заключение хочу сказать, что сотрудники ООО НПЦ «Стекло-Газ» имеют 30-летний опыт проектирования, изготовления и внедрения на предприятиях стекольной промышленности систем электроподогрева стекломассы и электропечей. За эти годы был накоплен богатый опыт (запущены десятки электропечей для различных видов стекол, десятки систем электроподогрева стекломассы), приобретена достаточная компетенция для внедрения современных систем в производство.

Наша организация осуществляет комплексную поставку:

- проектно-конструкторскую документация;
- молибденовые электроды в комплекте с холодильниками-электрододержателями, трансформаторы;
- силовые щиты с тиристорными регуляторами мощности;
- система автоматического управления, реализованная на программируемом контроллере;
- система обратного водоснабжения в составе:
  - станции умягчения;
  - узел водораспределительный;
  - насосная группа;
  - градирни;
  - обвязка холодильников (запорной и регулирующей арматуры, высокотемпературных силиконовых шлангов).