

УДК [66.07+628.511]:669.187.2

**М. Н. ШВЕЦ**, начальник отдела, **Д. В. СТАЛИНСКИЙ**, канд. техн. наук, генеральный директор  
УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков

## УЛАВЛИВАНИЕ НЕОРГАНИЗОВАННЫХ ВЫБРОСОВ КРУПНОТОННАЖНЫХ И СРЕДНЕТОННАЖНЫХ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

УкрГНТЦ «Энергосталь» разработаны и внедрены высокоэффективные системы и конструкции крышных зонтов для улавливания неорганизованных выбросов крупнотоннажных и среднетоннажных электросталеплавильных печей; методики расчета тепловых пылегазовых потоков неорганизованных выбросов электропечей и оптимальных объемов отсоса газозооной смеси, удаляемой от крышных зонтов.

Системы улавливания неорганизованных выбросов с крышными зонтами конструкции УкрГНТЦ «Энергосталь» в ЭСПЦ-2 ОАО «Днепроспецсталь» и в ЭСПЦ ОАО «Северсталь» обеспечивают эффективное улавливание пылегазовыделений в процессе всех периодов плавки.

**пылегазовыделение печей, совмещенные системы, крышный зонт, тепловой поток, конвективные тепловыделения, коэффициент подсоса, раскрытие струи, объем отсоса**

В настоящее время улавливание и очистка пылегазовыделений крупнотоннажных и среднетоннажных электросталеплавильных печей является особенно актуальной проблемой в связи с увеличением производства стали в электродуговых печах на металлургических предприятиях Украины, России и стран СНГ, строительством новых и модернизацией действующих электродуговых печей по современным интенсивным технологиям.

Интенсификация выплавки электростали производится за счет увеличения электрической мощности трансформаторов, увеличения интенсивности кислородной продувки, применения мощных газокислородных горелок, вдувания через фурмы коксовой пыли, внепечной обработки стали, предварительного подогрева металлошихты и других мероприятий.

УкрГНТЦ «Энергосталь» разработаны и внедрены совмещенные высокоэффективные системы газоотво-

да, улавливания и сухой очистки технологических печных газов и неорганизованных выбросов крупнотоннажных и среднетоннажных электропечей, включающие водоохлаждаемый газоотвод горячих технологических газов от четвертого отверстия в своде, крышный зонт для улавливания потоков неорганизованных выбросов, рукавные фильтры с импульсной регенерацией, дымососы, систему газоходов, систему пылеуборки и окомкования пыли [1], (рис.1).

В совмещенной схеме горячие технологические печные газы и холодные неорганизованные выбросы от крышного зонта смешиваются перед очисткой.

Важнейшим элементом совмещенной системы является крышный зонт для улавливания потоков неорганизованных выбросов электропечи.

Опыт проектирования и работы первых крышных зонтов для 100-тонных электропечей в электростале-

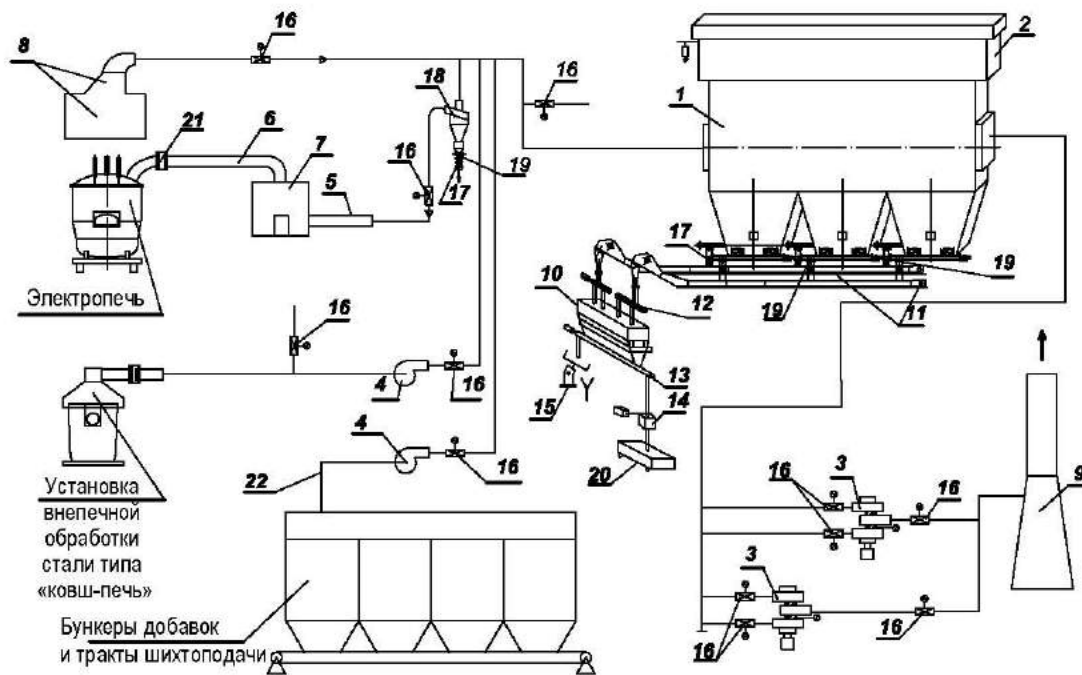


Рис. 1. Схема совмещенной системы газоудаления и газоочистки крупнотоннажной электропечи:

1 – фильтр рукавный; 2 – шатер рукавного фильтра; 3 – основной дымосос; 4 – бустерный дымосос; 5 – водоохлаждаемый газозвод; 6 – камера дожигания; 7 – водоохлаждаемая пылесадительная камера; 8 – крышный зонт; 9 – дымовая труба; 10 – сборный бункер пыли; 11 – скребковый конвейер; 12 – винтовой конвейер; 13 – реверсивный винтовой питатель; 14 – телескопическое пылевывозное устройство; 15 – окомкователь – гранулятор пыли; 16 – клапан; 17 – шлюзовый питатель; 18 – циклон – искроуловитель; 19 – задвижка пылевая; 20 – прицеп самосвальный; 21 – накатная муфта; 22 – аспирационная система бункеров добавок и трактов шихтоподачи.

плавильных цехах (ЭСПЦ) Донецкого и Узбекского металлургических заводов, Орско-Халиловского и Кузнецкого металлургических комбинатов, в ЭСПЦ металлургического завода «Энергомашспецсталь» и других ЭСПЦ оказался неудачным. В большинстве случаев зонты проектировались без расчетов, либо расчеты и конструкции зонтов основывались, исходя из неверных предпосылок.

К недостаткам большинства существующих нереконструированных крышных зонтов относятся, в частности, неоправданно большие размеры зонтов в плане при малой глубине (ёмкости) и боковом газоотводе.

Проектировщики таких зонтов необоснованно считали, что чем больше зонт в плане, тем он эффективнее.

В подобных зонтах в боковой газоотвод поступают только расположенные рядом со всасывающим отверстием части теплого потока неорганизованных выбросов, которые могут захватываться быстро затухающим всасывающим факелом бокового газоотвода. Большая же часть потока неорганизованных выбросов попадает в зоны зонта, на которые боковой всасывающий факел газоотвода не влияет; интенсивные тепловые потоки неорганизованных выбросов быстро заполняют неглубокую неёмкую часть зонта, неохваченную всасывающим факелом, и беспрепятственно выходят за пределы зонта

в атмосферу цеха даже при больших объемах отсоса – 0,8–1 млн м<sup>3</sup>/час.

При неоправданно больших размерах крышного зонта при малой глубине и емкости и тем более при боковом газоотводе скорость всасывания во всасывающем проеме зонта значительно уменьшается (рассредотачивается) и не влияет на возможность захвата потока неорганизованных выбросов.

Для эффективного улавливания потоков неорганизованных выбросов размеры всасывающего проема крышного зонта должны быть оптимальными, близкими к расчетному сечению теплового потока неорганизованных выбросов. Зонт должен проектироваться максимально глубоким, ёмким, с учетом строительных конструкций кровли. Конструкция зонта в значительной степени зависит от конкретных условий, которые имеют особое значение при реконструкции или устройстве новых систем улавливания неорганизованных выбросов в действующих ЭСПЦ.

УкрГНТЦ «Энергосталь» разработаны и проверены в промышленных условиях методики расчета тепловых пылегазовых потоков неорганизованных выбросов электропечей, методики проектирования и определения оптимальных конструкций и размеров крышных зонтов, объемов отсоса газовойоздушной смеси от зонта для

конкретных рабочих условий работы электропечей. При этом учитывалось следующее:

- максимальные теплогазовыделения определяют мощность потока пылегазовых выбросов в такие периоды плавки, как кислородная продувка и расплавление при максимальной мощности трансформатора, а не в периоды завалки металлошихты и выпуска металла;
- при расчете вертикального теплового потока пылегазовых выбросов от электропечи использованы методики и формулы расчета тепловых струй, образующихся над горячими источниками с учетом ряда специфических условий работы электропечей [2, 3];
- конвективные тепловыделения с горячими печными газами, выбивающимися через электродные зазоры, на порядок больше конвективных тепловыделений от нагретых поверхностей свода и стен электропечи и являются определяющими при формировании тепловой вертикальной струи от электропечи;
- величина конвективных тепловыделений в тепловой струе с выбивающимися через электродные зазоры газами определяется эффективностью технологиче-

ского газоотсоса и долей печных газов, выбивающихся с неорганизованными выбросами; при отсутствии газоотсоса от четвертого отверстия все образующееся тепло печных газов переходит в конвективную тепловую струю;

- диаметр теплового источника должен приниматься по наружному диаметру распада электродов, а не по диаметру свода, так как горячие печные газы, несущие конвективное тепло, выходят из электропечи в зоне электродов;
- конвективные тепловыделения от наружной поверхности свода, особенно для электропечей современных конструкций с водоохлаждаемыми сводами, незначительны по сравнению с теплосодержанием выбивающихся через электродные зазоры печных газов.

Ранее считалось, что необходимый объем отсоса от крышного зонта равен определенному расчетом расходу газозооной смеси на уровне всасывающего проема крышного зонта. Это положение ошибочно и приводит к занижению объемов отсоса неорганизованных выбросов от крышного зонта и производительности газоочистки.

Для определения требуемого оптимального объема отсоса необходимо расчетный расход газозооной смеси в тепловой струе умножить на «коэффициент подсоса» (3), который зависит от целого ряда факторов (размеры и аэродинамическая характеристика зонта, скорость всасывания, высота цеха и другие факторы).

Практический опыт улавливания крышными зонтами конструкции УкрГНТЦ «Энергосталь» неорганизованных выбросов 50-тонных электропечей в ЭСПЦ-2 ОАО «Днепроспецсталь» и 125-тонных электропечей фирмы «Фукс Системтехник» в ЭСПЦ ОАО «Северсталь» подтвердил правильность проектных решений и расчетов.

На рис. 2 показана конструкция установленных по проекту УкрГНТЦ «Энергосталь» крышных зонтов для улавливания неорганизованных выбросов 50-тонных электропечей в ЭСПЦ-2 ОАО «Днепроспецсталь» [4]. Данные зонты в течение длительного времени обеспечивают эффективное улавливание неорганизованных выбросов в диапазоне производительностей от 300 тыс. м<sup>3</sup>/час до 500 тыс. м<sup>3</sup>/час в зависимости от эффективности газоотвода технологических газов от четвертого отверстия в своде.

На рис. 3 показано устройство крышного зонта, созданного по проекту УкрГНТЦ «Энергосталь» с размерами в плане 15x18 м из реконструированного аэрационного фонаря над сверхмощной интенсифицированной 145-тонной шахтной электропечью № 1 в ЭСПЦ ОАО «Северсталь» [5, 6].

Шахтная электропечь оборудована шахтой с удерживающими пальцами для предварительного подогрева

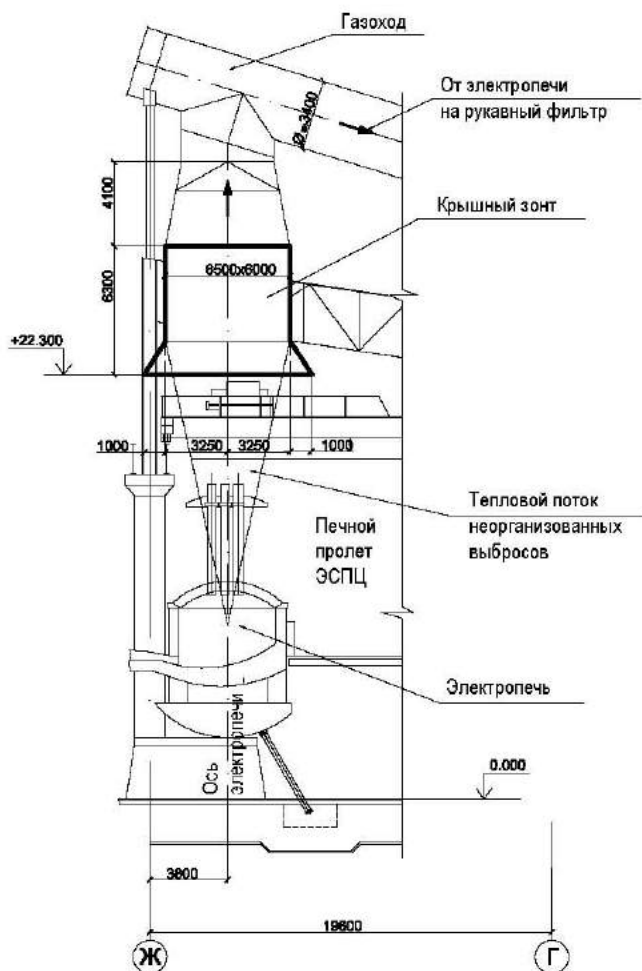


Рис. 2. Крышный зонт над 50-тонной электропечью в ЭСПЦ-2 ОАО «Днепроспецсталь»



100 % металлолома отходящими печными газами от четвертого отверстия в своде электропечи.

Шахтная электропечь № 1 выдает 25 плавков в сутки при годовой производительности 1,1 млн т стали в год и часовой – до 145 т/час. В течение нескольких лет указанный зонт обеспечивает эффективное улавливание неорганизованных выбросов во все периоды плавки при объеме отсоса от зонта 1÷1,2 млн м<sup>3</sup>/час. Такой же крышный зонт установлен и эффективно работает над шахтной электропечью № 2 в ЭСПЦ ОАО «Северсталь», введенной в эксплуатацию в 2005 году.

Ниже приведен пример расчета улавливания пылегазовых выбросов для условий 50-тонной электропечи в ЭСПЦ-2 ОАО «Днепрспецсталь».

При расходе кислорода в окислительный период 2200 нм<sup>3</sup>/час и коэффициенте усвоения кислорода в печи 0,7 теплосодержание (физическое и химическое тепло) образующихся в печи газов составляет, ккал/час:

$$Q = Q_{\text{хим}} + Q_{\text{физ}} = 3080 \times 3016 + 3080 \times 563,5 = 11,025 \times 10^6,$$

где 3080 нм<sup>3</sup>/час – количество образующегося в печи оксида углерода (СО) при расходе кислорода на кислородную продувку – 2200 нм<sup>3</sup>/час и коэффициенте усвоения кислорода в печи, равном 0,7;

$Q_{\text{хим}}$  (ккал/час) – «химическое» теплосодержание газов, т. е. количество тепла от дожигания СО;

3016 (ккал/нм<sup>3</sup>) – теплотворная способность оксида углерода, (СО);

$Q_{\text{физ}}$  (ккал/час) – количество физического тепла СО, выделившегося из ванны печи;

563,5 (ккал/нм<sup>3</sup>) – теплосодержание печных газов при температуре оксида углерода 1600 °С, равной температуре металла в печи.

Конвективные тепловыделения от нагретых поверхностей свода и стен электропечи составляют примерно 0,12×10<sup>6</sup> ккал/час, что на два порядка меньше, чем тепловыделения с горячими печными газами.

Дальнейшие расчеты теплового потока электропечных газов, выбивающихся через электродные зазоры, выполняются по методике [3].

Определяем расход теплового потока на уровне всасывающего проема крышного зонта при 50-процентном выбивании печных газов через электродные зазоры электродуговой печи, то есть при эффективности газоотвода технологических печных газов, равном 0,5 (50 %):

$$H = h + cd = 12,3 + 2,2 = 14,5 \text{ м,}$$

где h – расстояние от свода электропечи до всасывающего проема крышного зонта = 12,3 м;

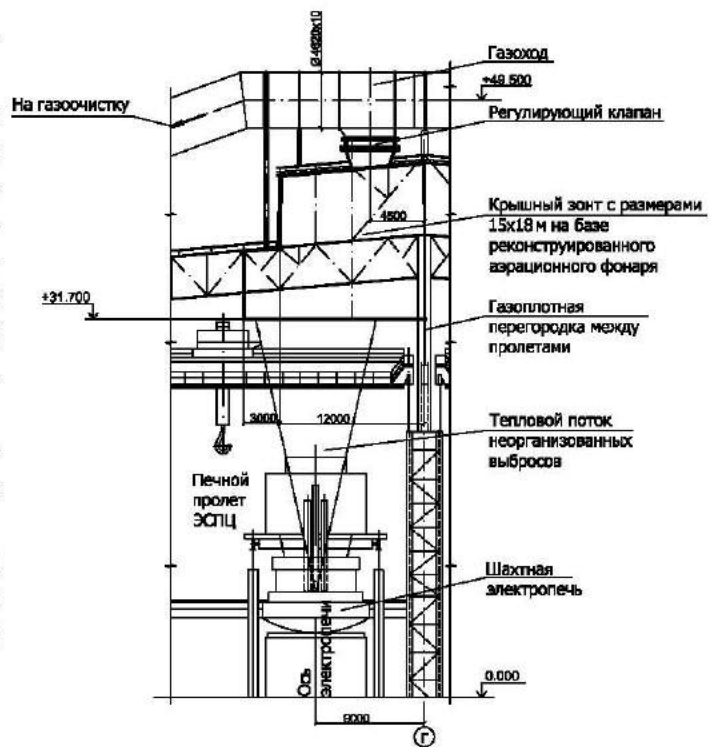


Рис. 3. Крышный зонт для улавливания неорганизованных выбросов над 145-тонной электропечью в ЭСПЦ ОАО «Северсталь»

D – внешний диаметр распада электродов = 2,2 м; c=1 для теплоисточника, расположенного на уровне подстилающей поверхности;

H – расстояние от полюса теплового потока до всасывающего проема крышного зонта = 14,5 м.

Скорость теплового потока на уровне всасывающего проема крышного зонта, м/с:  $W_T = 0,5 \sqrt[3]{Q(1 - 0,5) \times H^{-0,29}}$ , где Q – тепловыделения, кВт/час:

$$Q = \frac{11025000}{860} = 12819,6;$$

$$H^{0,29} = 14,5^{0,29} = 2,125;$$

0,5 – эффективность газоотвода технологических печных газов, м/с:

$$W_T = \frac{0,5 \sqrt[3]{12819,6 \times 0,5}}{2,125} = 4,37.$$

Определяем расход теплового потока на уровне всасывающего проема зонта, м<sup>3</sup>/час:

$$V_T = 279,2 \times [Q(1 - 0,5)]^{0,33} \times H^{1,47} = 279,2 \times 6409,8^{0,33} \times 14,5^{1,47} = 265000.$$

Определяем диаметр теплового потока на уровне всасывающего проема зонта, м:

$$D = 0,44 \times H^{0,88} = 0,44 \times 14,5^{0,88} = 4,62.$$

Средняя скорость теплового потока на уровне всасывающего проема зонта составляет:

$$W_{cp} = \frac{265000 \times 4}{3,14 \times 4,62^2 \times 360} = 4,39,$$

что соответствует величине, определенной по формуле  $W_T = 0,5 \times \sqrt[3]{Q(1 - 0,5) \times H^{-0,29}}$ .

При 100-процентном выбивании электропечных газов через электродные зазоры электропечи расход теплового потока, определенный по приведенной выше методике, составляет ~ 315000 м<sup>3</sup>/час. В отличие от других методик расчета тепловых потоков методика [3] предполагает раскрытие тепловой струи под углом 16° вместо 23°, что наиболее близко соответствует условиям формирования тепловых потоков неорганизованных выбросов от электродных зазоров электропечей.

Исходя из конструктивных условий и с учетом улавливания пылегазовыделений при завалке скрапа и заправке электропечи (т. е. при открытом своде), размеры всасывающего проема зонта приняты 6х6,5 м (рис. 2).

Оптимальный объем отсоса газов от крышного зонта равен расходу теплового потока, умноженному на коэффициент подсоса. По практическим данным при оптимальных конструкциях крышных зонтов коэффициент подсоса составляет 1,3–2.

При практически полученных в ЭСПЦ-2 ОАО «Днепропетсталь» объемах отсоса от крышного зонта при разных технологических режимах коэффициент подсоса составляет 1,3–1,6.

Опыт УкрГНТЦ «Энергосталь» по оптимизации конструкций и основных параметров крышных зонтов может быть использован при реконструкции существующих и строительстве новых газоулавливающих систем крупнотоннажных и среднетоннажных электродуговых печей в электросталеплавильных цехах.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Швец М. Н. Улавливание и очистка технологических газов и неорганизованных выбросов электросталеплавильных печей // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов: Сборник научных статей XI Международной научно-технической конференции / УкрГНТЦ «Энергосталь». В 2-х т. Том 2. – Харьков: Курсор, 2003. – С. 170–176.
2. Гилязов Д. Расчет вытяжных зонтов // Литейное производство. – 1979. – № 6. – С. 26.
3. Pfeiffer Wolfgang. Absaugluftmengen von Erfassungseinrichtungen offener Bauart // Staub Reinhaltung der Luft. – 1982 – В. 42. № 8. – S. 303–308.
4. Швец М. Н., Гошмер В. Е., Ерохин А. В. Система улавливания пылегазовых выбросов электропечей // Сталь. – 1992. – № 1. – С. 88–90.
5. Швец М. Н., Велецкий Р. К., Щербинин В. П. и др. Реконструкция газоотводящих трактов 100-т электропечей для установки новой шахтной печи // Сталь. – 2001. – № 12. – С. 74–77.
6. Зибров А. В. и др. Реконструкция сталеплавильного цеха ОАО «Северсталь» // Сталь. – № 10. – 2005. – С. 68–70.

*Поступила в редакцию 25.01.06*

УкрДНТЦ «Енергосталь» розроблені і впроваджені високоефективні системи і конструкції дахових зонтів для уловлювання неорганізованих викидів великотоннажних і середньотоннажних електросталеплавильних печей, розроблені методики розрахунку теплових пилегазових потоків неорганізованих викидів електропечей і оптимальних обсягів відсмоктувача газоповітряної суміші, яка видаляється від дахових зонтів.

Системи уловлювання неорганізованих викидів з даховими зонтами конструкції УкрДНТЦ «Енергосталь» у ЕСПЦ-2 ВАТ «Дніпропетсталь» і у ЕСПЦ ВАТ «Северсталь» забезпечують ефективне уловлювання пилегазовиділення електропечей протягом всіх періодів плавки.

UkrSSEC «Energostal» has developed and introduced highly effective systems and designs of hoods for catching unorganized emissions from large- and medium-capacity electric steel-melting furnaces. Design techniques of thermal gas flows of unorganized emissions from electric furnaces and optimum volumes of air-gas mix exhaust removed from hoods.

Systems for catching unorganized emissions with hoods designed by UkrSSEC «Energostal» provide effective catching of gas emissions during all periods of a melting at the experimental steel-melting shops of JSC «Dnepropetsstal» and JSC «Severstal».