

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО УЗЛА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ЗАМЕНЕ КОЖУХА ШАХТЫ

Современное промышленное развитие невозможно без надежной, высокоразвитой металлургической базы, основу которой составляет доменное производство. Среди объектов доменного комплекса собственно доменная печь – конструкция шахтного типа – является сооружением, определяющим возможность непрерывного ведения технологического процесса и общую технологическую безопасность металлургического предприятия.

Стальной кожух доменной печи, представляющий собой совокупность цилиндрических и конических сопряженных оболочек, выполняет целый ряд технологических, строительных и конструктивных функций (рис. 1). Основная технологическая функция кожуха – обеспечение герметичности доменной печи при воздействии всех внутренних нагрузок. Его основная строительная функция – восприятие внутреннего давления футеровки, газовой среды, давления шихтовых материалов и жидких продуктов плавки, создание условий для ведения технологического процесса. Основная конструктивная функция кожуха – опирание холодильных плит, оборудования и механизмов, а также обеспечение прочности, общей пространственной устойчивости и геометрической неизменяемости всего центрального узла доменной печи.

При этом кожухом воспринимается весь комплекс вертикальных и горизонтальных нагрузок, в том числе от распора системы «доменная печь – газопроводы грязного газа – пыле-

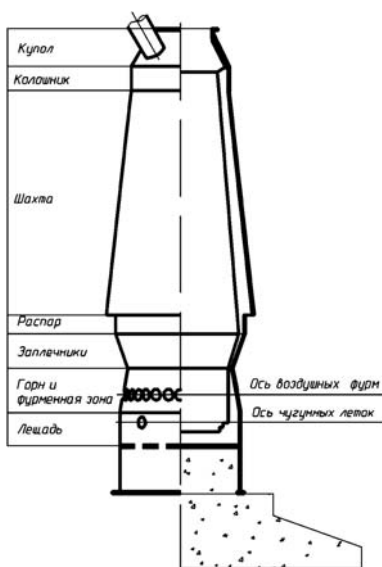


Рис. 1. Общий вид кожуха доменной печи



А.Е. Любин

генеральный директор корпорации «Промстальконструкция», к.т.н., г. Днепропетровск



Е.С. Иосилевич

главный инженер проекта «Промстальконструкция», к.т.н., г. Днепропетровск

уловитель», ветровые воздействия, нагрузки, возникающие при работе монтажной балки и пр.

Наиболее распространенная схема конструкций центрального узла доменной печи показана на рис. 2. Опорная система печи здесь выполнена в виде колонн горна и шахты. С помощью кольцевой системы связей, т.н. «звездочки», колонны шахты прикреплены к кожуху печи, и все горизонтальные нагрузки передаются на кожух, который в данном случае является ядром жесткости сооружения.

В связи с этим при капитальном ремонте доменной печи, предусматривающем частичную или полную замену кожуха, возникает необходимость в создании временной опорной системы, которая выполняла бы роль ядра жесткости и обеспечивала пространственную устойчивость конструкций.

На одном из металлургических предприятий Украины для доменной печи объемом 2002 м³ предполагается выполнение капитального ремонта II разряда с заменой охлаждаемой части кожуха шахты высотой ~18 м.

В соответствии с проектом замена кожуха производится путем поэтапного демонтажа вертикальных элементов оболочки и установки на их месте новых участков. Высота монтажных марок соответствует высоте заменяемой части кожуха, ширина составляет ~3,5 м (~1/12 длины окружности). Эти участки по мере установки свариваются между собой и привариваются к верхней и нижней кромке сохраняемых частей

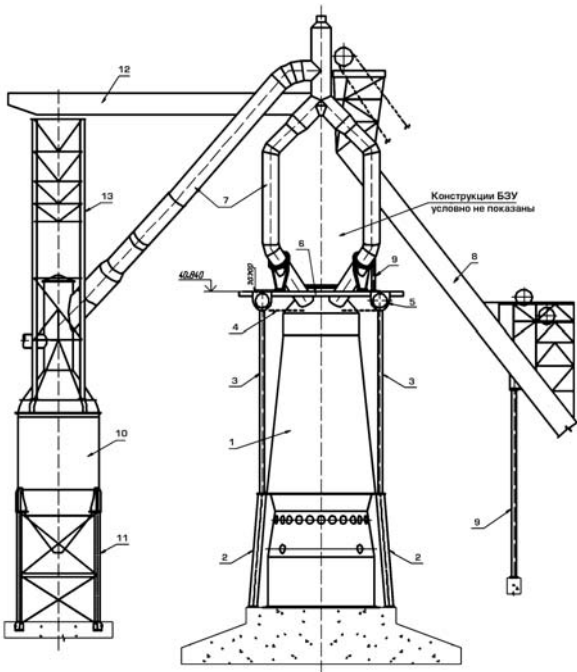


Рис. 2. Наиболее распространенная схема конструкций центрального узла:

1 – сохраняемые участки кожуха доменной печи; 2 – заменяемая часть кожуха шахты доменной печи; 3 – четырехколонник; 4 – сохраненные участки колонн шахты; 5 – кольцевая опорная балка колошниковой площадки; 6 – колошниковая площадка; 7 – плоскость горизонтальных связей («звездочка»); 8 – газопроводы грязного газа; 9 – наклонный мост; 10 – пилон наклонного моста; 11 – пылеуловитель; 12 – опора пылеуловителя; 13 – монтажная балка; 14 – опора монтажной балки

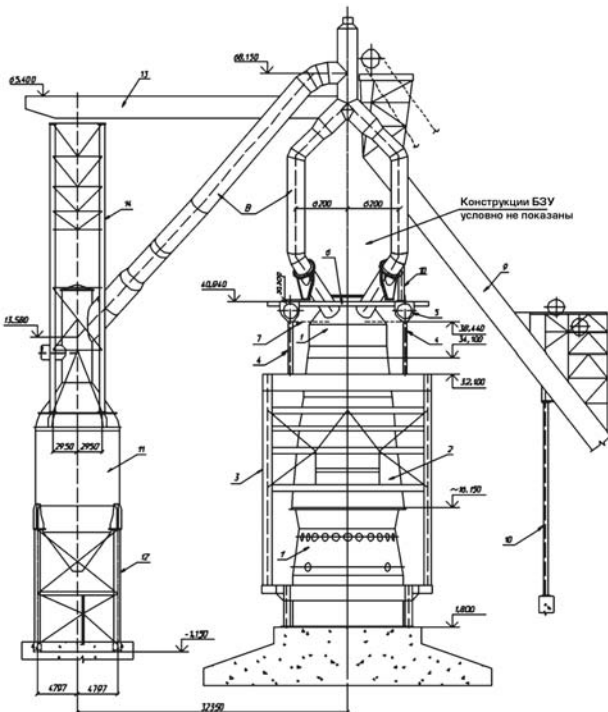


Рис. 3. Общий вид центрального узла реконструируемой доменной печи:

1 – кожух доменной печи; 2 – колонны горна; 3 – колонны шахты; 4 – плоскость горизонтальных связей («звездочка»); 5 – кольцевая опорная балка колошниковой площадки; 6 – колошниковая площадка; 7 – газопроводы грязного газа; 8 – наклонный мост; 9 – пилон наклонного моста; 10 – пылеуловитель; 11 – опора пылеуловителя; 12 – монтажная балка; 13 – опора монтажной балки

кожуха. После монтажа последнего вертикального элемента он соединяется с установленным ранее первым элементом и «закрывает» кожух в единое целое. Таким образом, на протяжении всего периода выполнения работ кожух печи остается не замкнутым.

Кроме того, в кожухе лещади, фурменной зоны, горна и колошника предполагается выполнение большого количества монтажных проемов, в том числе значительных размеров (шириной до 5 м, что составляет 1/7 длины окружности, при высоте от 3 до 4,8 м), предназначенных для выгребки лещади, оконтуривания «козла», демонтажа защитных плит колошника, а также для доступа персонала во внутреннее пространство печи.

Необходимо также отметить, что использование известных практических рекомендаций относительно возможности безопасного удаления участка кожуха с длиной дуги, не превышающей 1/6 длины окружности [4], неприемлемо. В данном случае речь идет не о вырезке одного участка кожуха размером 1/6 длины окружности, а о том, что на протяжении всего периода ремонта кожух остается не замкнутым и, практически, размер удаленного участка значительно превышает указанную величину.

Жесткость кожуха доменной печи в таком состоянии значительно уменьшается, что не позволяет рассматривать его в качестве ядра жесткости всего центрального узла. Кроме того, передача на кожух в ослабленном состоянии значительных нагрузок (как вертикальных, так и горизонтальных) может привести к деформации поперечных сечений его остающихся частей, что осложнит проведение строительно-монтажных работ по реконструкции кожуха и может повлечь за собой снижение его несущей способности и уровня промышленной безопасности при дальнейшей эксплуатации сооружения.

В практике выполнения ремонтов кожухов доменных печей в случае наличия опорной системы, способной воспринимать весь комплекс нагрузок, передаваемых на центральный узел, эта проблема решается путем переопирания газопроводов грязного газа (после их остывания) на колошниковую площадку, что позволяет снять загрузки с кожуха и передать их на конструкции опорной системы.

Однако, конструктивная форма центрального узла рассматриваемой доменной печи имеет существенные отличия от традиционных форм (см. рис. 3).

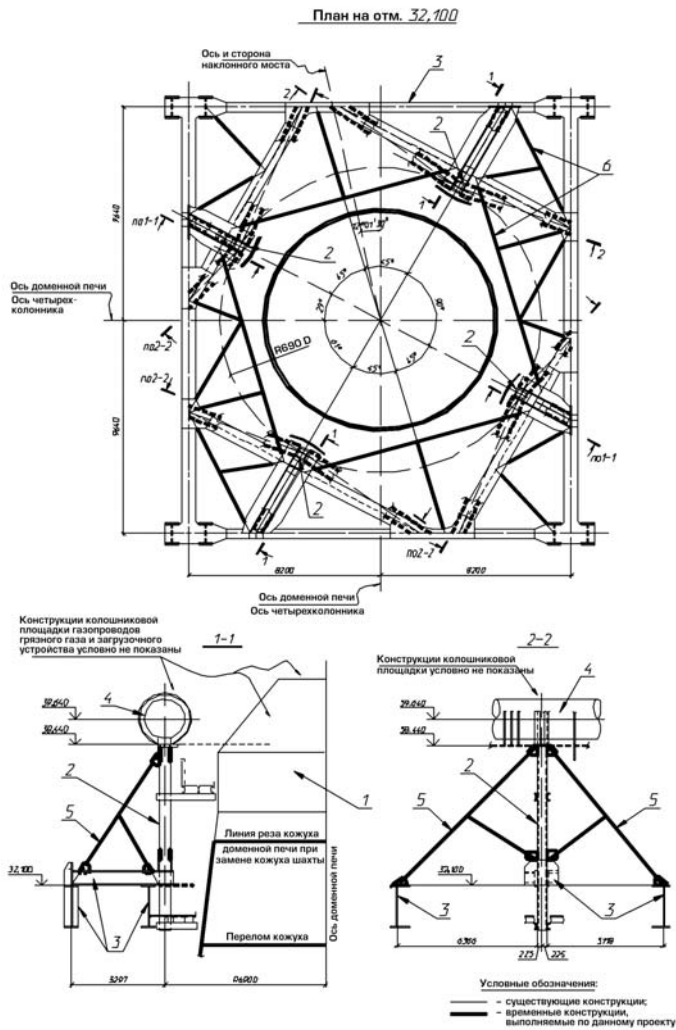


Рис. 4. Схема дополнительных временных связевых систем:

1 – кожух доменной печи; 2 – сохраненные участки колонн шахты; 3 – элементы верхнего четырехколонника; 4 – кольцевая опорная балка колошниковой площадки; 5 – вертикальные элементы дополнительной связевой системы; 6 – горизонтальные элементы дополнительной связевой системы

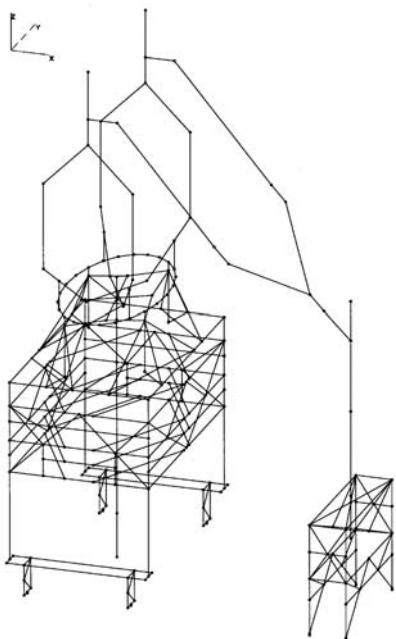


Рис. 5. Расчетная схема конструкций центрального узла реконструируемой доменной печи

Возведенный при капитальном ремонте в 1990-х г. четырехколонник доведен до отм. 32,100. Все расположенные выше этой отметки конструкции, в том числе колошниковая площадка и пилон наклонного моста, переоперты на четырехколонник путем закрепления на уровне его верхних сохраненных участков существующих колонн шахты. При этом пространственная жесткость сооружения выше отметки верха четырехколонника обеспечивается путем привязки колонн шахты к кожуху доменной печи, воспринимающему в данном случае весь комплекс горизонтальных нагрузок.

Анализ схемы центрального узла показал, что конструкции существующей опорной системы выше отм. 32,100 не имеют привязки к кожуху печи и не обладают необходимой пространственной жесткостью для автономного восприятия всего комплекса нагрузок и воздействия и передачи их на четырехколонник.

Таким образом, оказалась необходимой разработка специальных мероприятий по обеспечению промышленной безопасности центрального узла в период замены кожуха шахты печи.

Роль жесткого ядра, обеспечивающего устойчивость всех конструкций центрального узла, перенесена на четырехколонник. На него передан весь комплекс вертикальных и горизонтальных нагрузок, возникающих при реконструкции кожуха доменной печи, в том числе и от переопертых на колошниковую площадку газопроводов грязного газа.

Для возможности включения четырехколонника в работу колонны шахты раскреплены в кольцевом и радиальном направлениях дополнительными временными связевыми системами, обеспечивающими передачу усилий на элементы верхнего уровня четырехколонника на отм. 32,100, в связи с чем в этом уровне выполнена система горизонтальных связей (рис. 4).

Расчеты выполнены с помощью программного комплекса SCAD Structure на весь комплекс действующих нагрузок, приведенных в таблице. Классификация нагрузок выполнена в соответствии с [1].

Для учета распора системы «доменная печь – газопроводы грязного газа – пылеуловитель», возникающего как от вертикальных нагрузок на газопроводах, так и в результате расширения системы от температурных климатических воздействий, в расчетную схему включены восходящие и нисходящие газопроводы грязного газа, конструкции опоры и кожуха пылеуловителя (рис. 5).

**Нагрузки, действующие на металлоконструкции центрального узла
в период проведения реконструкции кожуха доменной печи**

| Характер нагрузки | | Наименование нагрузки | |
|-------------------|----------------|---|---|
| Основ- ные | Постоянные | Собственный вес металлоконструкций. Собственный вес футеровки. Вес постоянного оборудования (холодильные плиты, амбразуры и т.п.) | |
| | Времен- ные | Длительные | Нагрузки оборудования, в том числе и динамические с предельными или эксплуатационными расчетными значениями, при его перегрузках, связанных с технологическим процессом, монтажом, ремонтами и пр. Вес отложений внутри газопроводов, сосудов. Вес отложений производственной пыли на поверхности металлоконструкций. Вертикальные нагрузки при работе монтажной балки с квазипостоянными расчетными значениями. Полезная нагрузка на площадках с квазипостоянными расчетными значениями. Температурные климатические воздействия, ветровые, и снеговые нагрузки с квазипостоянными расчетными значениями. |
| | | Кратко- временные | Вес оборудования, действующего в период ремонта. Нагрузки от подвижного подъемно-транспортного оборудования с предельными или эксплуатационными расчетными значениями. Полезная нагрузка на площадках с предельными или эксплуатационными расчетными значениями. Температурные климатические воздействия, ветровые, и снеговые нагрузки с предельными или эксплуатационными расчетными значениями. |

Монтажная балка, ее опора на пылеуловитель и наклонный мост в расчетную схему не вводятся. Их влияние учитывается нагрузками, передаваемыми на конструкции центрального узла.

Для повышения степени надежности сохраняемых конструкций, с учетом кратковременности проведения ремонта, было принято ограничение ряда действующих нагрузок, исходя из чего применены следующие дополнительные коэффициенты, учитывающие особенности работы конструкций в этот период:

1. Коэффициент $K = 0,8$ для нагрузок, возникающих при работе монтажной балки, учитывающий ограничение ее грузоподъемности на период проведения работ по реконструкции кожуха доменной печи.

Указанный коэффициент принимается как соотношение грузоподъемности монтажной балки $Q = 100$ т к максимальному весу поднимаемого узла существующего кожуха $P = 80$ т (в соответствии с материалами проекта производства работ).

2. Коэффициент $K = 0,5$ для полезной нагрузки на колошниковой площадке, учитывающий запрещение складирования материалов и скопления пыли на ней на период проведения работ по реконструкции кожуха.

3. Коэффициент $K = 0,5$ для предельного расчетного значения ветровой нагрузки в период работы монтажной балки, учитывающий запрещение ее работы при скорости ветра более 12 м/с.

С учетом этого и в соответствии с [2] расчет существующих и вновь устанавливаемых конструкций выполнен, как для переходной расчетной ситуации, для класса ответственности сооружения СС3 категории ответственности А с применением коэффициентов надежности:

- для первой группы предельных состояний $\gamma_n = 1,05$;
- для второй группы предельных состояний $\gamma_n = 0,975$.

Проверка несущей способности существующих конструкций (опорной кольцевой балки колошниковой площадки, сохраняемых колонн шахты и элементов четырехколонника), выполненная в соответствии с [3], показала, что при соблюдении рекомендаций по ограничению нагрузок на период реконструкции кожуха доменной печи и выполнения приведенных конструктивных мероприятий уровень расчетных напряжений в указанных конструкциях не превышает предельно допустимых величин.

Разработанные мероприятия по обеспечению прочности и пространственной устойчивости центрального узла доменной печи при исключении роли кожуха печи как ядра жесткости позволяют проводить автономную замену кожуха шахты и обеспечивают промышленную безопасность сооружения на весь период реконструкции кожуха.

[1] Нагрузки и воздействия [Текст]: ДБН В.1.2-2:2006. – Введ. 2007-01-01. – К.: Минстрой Украины, 2006. – 78 с. – (Система обеспечения надежности и безопасности строительных объектов; Государственные строительные нормы Украины).

[2] Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений и оснований [Текст]: ДБН В.1.2-14:2009. – Введ. 2009-12-01. – К.: Минрегионстрой Украины, 2009. – 41 с. – (Система обеспечения надежности и безопасности строительных объектов; Государственные строительные нормы Украины).

[3] Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]: ДБН В.2.6-163:2010. – Введ. 2011-12-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 202 стр. – Конструкції будівель і споруд. (Державні будівельні норми України).

[4] Любин А.Е. Металлические конструкции комплекса доменной печи. Проектирование. Эксплуатация. Диагностика технического состояния [Текст]: монография / А.Е. Любин. – К.: Сталь, 2010. – 472 с. – Библиогр.: с. 459–465.

Надійшла 07.04.2014 р.