

ТЕХНОЛОГИЧНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Здание доменной печи располагается вокруг печи и предназначено для организации производственного процесса разливки и транспортирования продуктов плавки, а также для размещения оборудования для управления и обслуживания доменной печи.

По длине здание условно делится на две части:

- боковую, называемую литейным двором (рис. 1), в котором и происходит разливка чугуна и шлака;
- центральную, непосредственно примыкающую к печи, называемую поддоменником (рис. 2).

Основным технологическим элементом здания является рабочая площадка, на которой располагаются желоба, принимающие из доменной печи расплавленный чугун и шлак и транспортирующие их в чугуновозы и шлаковозы.

Для укрытия рабочей площадки и расположенного на ней оборудования, а также для размещения мостового крана и вспомогательных помещений сооружается каркас самого здания.

Для обеспечения аэрации здание оборудовано продольным фонарем с ветроотбойными щитами.

В связи с большими тепловыделениями продуктов плавки и самой доменной печи, здание выполняется неотапливаемым. Рамы здания имеют ломаные очертания ригелей с уклоном 40–45° для самопроизвольного удаления производственной пыли с кровли и для увеличения внутреннего объема с целью улучшения его аэрации. Каркас поддоменника выполняется из двух полурам с опиранием центральной части на конструкции опорной системы печи.

Выбор проектных решений для выполнения реконструкции и ремонта существующего здания доменной печи и определение их технологичности производится на основании исходных данных, важнейшими из которых являются:

- проектные материалы по данному сооружению (проекты АР, КЖ, КМ, чертежи КМД);
- материалы по изменениям в сооружении в течение его эксплуатации;



Е.И. Гезенцев

начальник отдела строительного проектирования ООО «Метинвест Инжиниринг», действительный член Академии строительства Украины, г. Днепр



Е.С. Иосилевич

ведущий инженер отдела строительного проектирования ООО «Метинвест Инжиниринг», к.т.н., г. Днепр

- данные об изменении технологических процессов, нагрузок от оборудования и материалов;
- данные о климатических нагрузках и состоянии агрессивности среды, в которой эксплуатируется сооружение;
- прочие исходные данные согласно ДБН А.2.2-3-2014 «Состав и содержание проектной документации на строительство», Приложение А, п. 7.

Вне зависимости от наличия и объема исходных проектных материалов необходимо также выполнить обследование конструкций сооружения, в ходе которого выявляются:

- возможные отличия его конструктивной схемы и сечений элементов от проектных решений;
- наличие дефектов и повреждений, их размеры и локализация;
- реальные размеры сечений элементов с учетом возможного коррозионного износа;
- фактические толщины ребер, фасонки, длины и катеты швов в узлах.

Кроме того, для конструкций, которые предполагается демонтировать с последующим восстановлением (при наличии таких), необходимо проведение дополнительного обследования с выполнением обмерных чертежей с указанием линий реза и дефектов, которые могли возникнуть в процессе демонтажа.

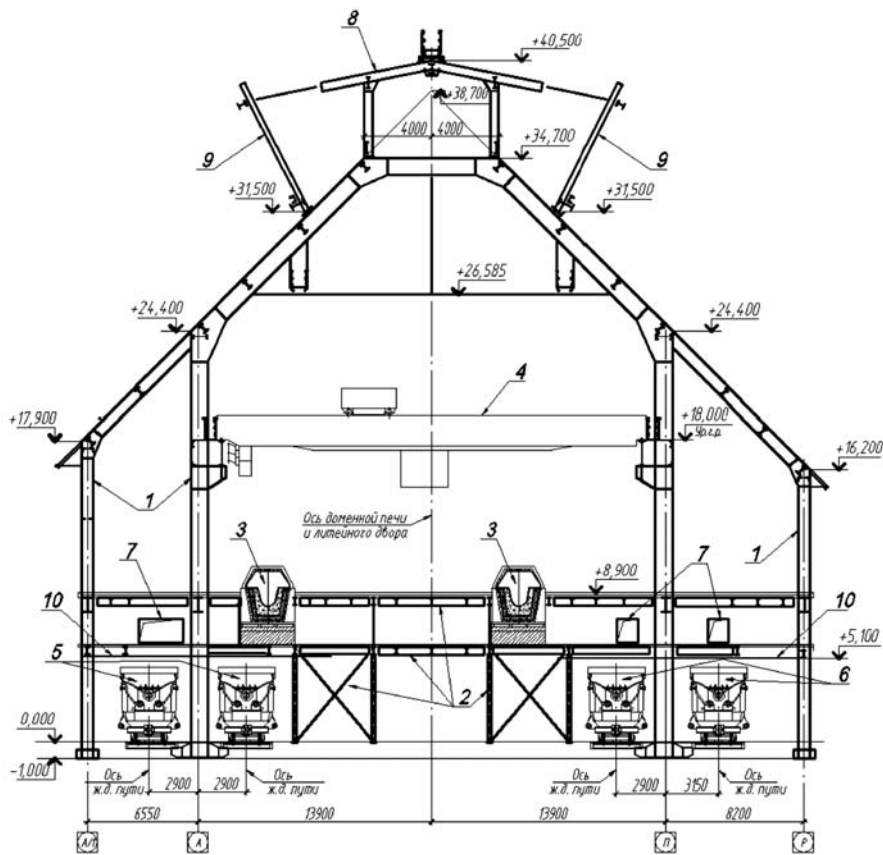


Рис. 1.
Поперечный разрез
литейного двора:

- 1 – конструкции каркаса;
- 2 – конструкции рабочей площадки;
- 3 – желоб;
- 4 – мостовой кран;
- 5 – чугуновозы;
- 6 – шлаковозы;
- 7 – воздуховоды аспирации;
- 8 – аэрационный фонарь;
- 9 – ветроотбойные щиты;
- 10 – конструкции экранирования

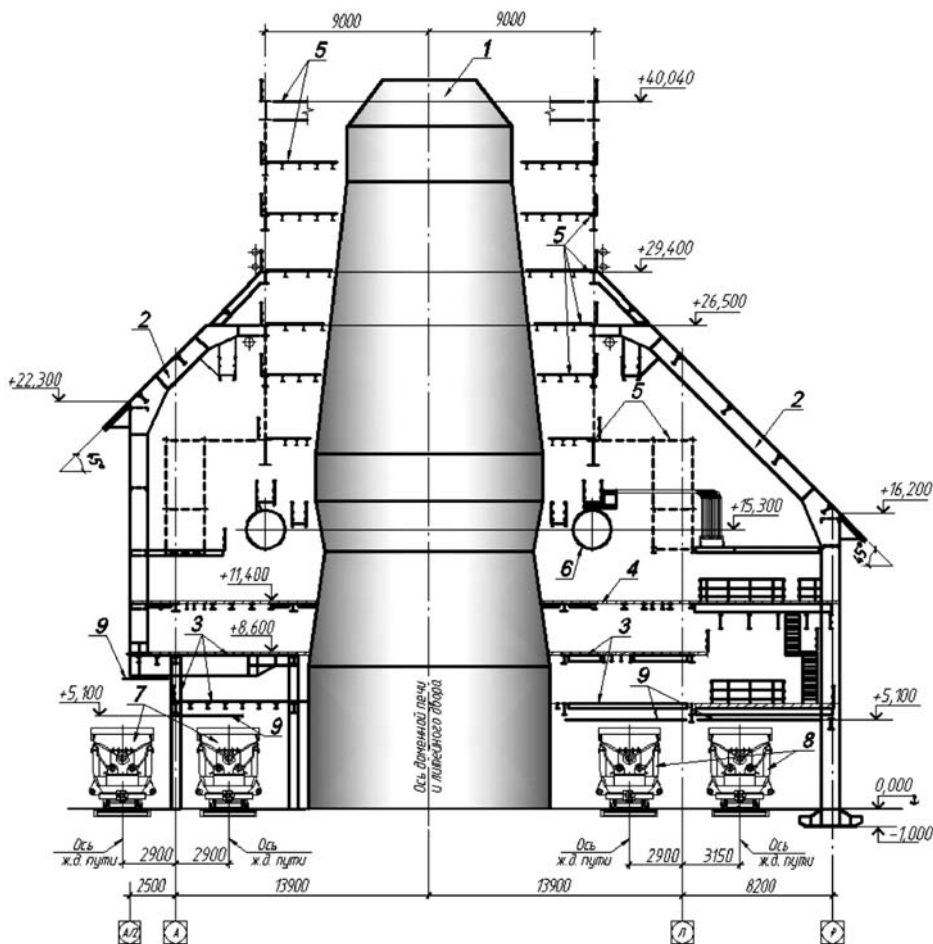


Рис. 2.
Поперечный разрез
поддоменника:

- 1 – доменная печь;
- 2 – конструкции каркаса;
- 3 – конструкции рабочей площадки;
- 4 – конструкции фурменной площадки;
- 5 – конструкции опорной системы доменной печи (четырёхколонника);
- 6 – кольцевой воздуховод горячего дутья;
- 7 – чугуновозы;
- 8 – шлаковозы;
- 9 – конструкции экранирования

Также следует учитывать, что, поскольку несущие металлоконструкции каркаса литейного двора и поддоменника эксплуатируются в течение длительного периода времени в условиях среднеагрессивной среды, в структуре металла могут произойти необратимые изменения. В связи с этим в ходе обследования может возникнуть необходимость проведения лабораторных исследований с целью определения фактических физико-механических и прочностных характеристик стали.

Обследование здания литейного двора связано с работой на высоте до 40 м в труднодоступных местах без возможности подхода по существующим площадкам цеха, что, видимо, требует выполнения временных подмостей, площадок и т.п. для доступа персонала. Также весьма затруднен контроль выполненных операций. Очевидно, что проведение такого цикла работ требует значительных ресурсов и времени.

По результатам обследования выполняются обмерные чертежи с указанием всех выявленных дефектов и повреждений и выдаются рекомендации по дальнейшей эксплуатации сооружения. Эти рекомендации являются основанием для принятия оптимальных проектных решений по реконструкции (усилению), удовлетворяющих не только формальным условиям прочности, но и требованиям фактической реализации этих решений в той конкретной ситуации, в которой находится реконструируемый объект, т.е. проектные решения должны быть технологичными.

В настоящей статье освещены основные этапы, обосновывающие принятые проектные решения по реконструкции здания литейного двора и поддоменника одной из доменных печей ЧАО «Металлургический комбинат «Азовсталь».

В ходе принятия решений по реконструкции объекта учитывались:

Результаты обследования. Согласно дате завершения проекта существующего каркаса литейного двора и поддоменника (1969 г.), металлоконструкции эксплуатируются в течение почти 50 лет.

В соответствии с [1], [2] и др. источниками металлоконструкции доменных цехов подвергаются коррозионному износу со скоростью в среднем 0,2–0,3 мм/год, т.е. коррозия конструкций может составить 9,4–14,1 мм (для листа t_{20} , например, это составляет ~20 % поперечного сечения).

В проведенном обследовании были отмечены следующие дефекты каркаса:

- общая коррозия стенок колонн достигает 10 % поперечного сечения;
- коррозия стенок отдельных колонн составляет до 30–50 %, местами наблюдаются участки сквозной коррозии.

Предварительный расчет для определения необходимости и объема усиления каркаса.

Определение расчетных характеристик материалов и соединений. Материал существующих металлоконструкций каркаса по материалам обследования – сталь ВМСтЗпс по ГОСТ 380-60*, $R_y = 2300$ кг/см².

Согласно п. 2.18 [3], коэффициент надежности по материалу для конструкций, изготовленных в период с 1932 по 1982 гг. из сталей с пределом текучести ниже 380 МПа (3850 кгс/см²), следует принимать $\gamma_m = 1,1$.

Исходя из п. 2.19 [3], для элементов конструкций, имеющих коррозионный износ с потерей более 25 % площади поперечного сечения, расчетное сопротивление снижается путем умножения на коэффициент $\gamma_d = 0,9$ (табл. 3 [3] для среднеагрессивной среды).

Класс ответственности сооружения в соответствии с [4] – СС3. Коэффициент ответственности согласно ДБН В.1.2-14-2009 – $\gamma_n = 1,25$.

Таким образом, расчетное сопротивление материала рамы составляет:

$$R_y = 2300 * 0,9 / 1,1 / 1,25 = 1505 \text{ кг/см}^2.$$

Нагрузки на каркас здания существенно отличаются от нагрузок, принятых при его проектировании, в связи с:

- устройством двухуровневого литейного двора современной конструкции (вместо одного уровня рабочей площадки устраиваются два уровня с полезной нагрузкой 3 т/м² и 1 т/м²);
- установкой качающихся желобов, предназначенных для разливки расплавленных продуктов плавки из транспортных желобов в чугуновозы и шлаковозы, в других пролетах и связанным с этим изменением схемы опирания рам;
- установкой дополнительного грузоподъемного оборудования замены качающихся желобов;
- заменой мостового крана на кран большей грузоподъемности;
- опиранием на каркас литейного двора отсутствовавших ранее аспирационных воздуховодов с площадками обслуживания;
- увеличением климатических нагрузок по современным нормам проектирования;

- необходимостью учета сейсмических воздействий, что оговорено в современных нормах проектирования и не учитывалось ранее и т.п.

Предварительный расчет был выполнен для оценки объема усиления конструкций наиболее нагруженной рамы.

В качестве нагрузок на раму принимаются:

- 1) нагрузки от собственного веса;
- 2) технологические нагрузки:
 - полезная нагрузка на рабочую площадку на отм. 5.800 – 1 т/м²;
 - полезная нагрузка на рабочую площадку на отм. 8.900 – 3 т/м²;
 - нагрузка от транспортных желобов вместе с футеровкой – 2,85 т/м;
 - нагрузка от крышек транспортных желобов вместе с футеровкой – 1,2 т/м;
 - нагрузки от качающихся желобов;
 - нагрузки от мостового крана;
 - нагрузки от кран-балок для замены качающихся желобов;
- 3) нагрузки от аспирационных воздуховодов аспирации литейного двора;
- 4) нагрузки от трубопроводов химически очищенной и морской воды системы охлаждения;
- 5) нагрузки от вспомогательных помещений;
- 6) климатические нагрузки – по ДБН В.1.2-2:2006;
- 7) сейсмические воздействия – по ДБН В.1.1-12:2014.

Расчет рамы выполнялся с учетом коррозионного износа металлоконструкций в 3 этапа:

- 1-й – расчет существующей рамы;
- 2-й – расчет существующей рамы с учетом коррозионного износа и необходимого усиления;
- 3-й – расчет новой рамы.

Результаты предварительного расчета. В результате расчета на 1-м этапе в элементах рамы получено перенапряжение, достигающее в отдельных элементах до 60 %; на 2-м этапе в элементах рамы получен вес необходимого усиления, который составил 29,5 т (при общем ориентировочном весе рамы ~72 т, т.е. вес усиления – 41 % от общего проектного веса рамы); на 3-м этапе установлено, что при выполнении новой рамы для обеспечения прочности и устойчивости металлоконструкций достаточно выполнить ее с проектными сечениями из стали С440, т.е. ориентировочный вес новых металлоконструкций составляет 68,6 т.

Анализ эффективности усиления.

Анализ конструктивных факторов. В результате проведенного предварительного расчета наиболее нагруженной рамы здания определены элементы, подлежащие усилению (рис. 3), а также состав усиления.

Из приведенной схемы видно, что усиление конструкций связано с работой на значительной высоте (до 35 м) в труднодоступных местах без возможности доступа по стационарным площадкам, что, как отмечено выше, потребует выполнения подмостей, временных площадок и т.п. для доступа персонала.

Усиление потребует большого объема сварочных работ, выполняемых непосредственно на монтаже (в т.ч. на высоте), с предварительной зачисткой существующих металлоконструкций до металлического блеска для возможности прокладки сварных швов. Длина сварных швов приварки усиления для одной рамы составляет ~630 м.

Кроме того, учитывая выполнение конструкций усиления непосредственно на монтаже, возможно снижение качества строительных конструкций по сравнению с конструкциями, изготовленными на заводе металлоконструкций.

Технико-экономическая оценка элементов усиления выполняется на основании [4], стоимость «в деле» усиления путем увеличения поперечных сечений приведена в [4], табл. 1:

- 1) для балочных конструкций в нижнем положении (вес усиления 4600 кг):
 $337,9 \cdot 0,9 \cdot 46 = 13988 \text{ у.е.}$
- 2) для балочных конструкций в потолочном положении (вес усиления 4600 кг):
 $478,71 \cdot 0,9 \cdot 46 = 19816 \text{ у.е.}$
- 3) колонны (вес усиления 23300 кг):
 $390,1 \cdot 0,9 \cdot 233 = 81800 \text{ у.е.}$

Итого стоимость усиления одной поперечной рамы равна 115504 у.е.

Стоимость изготовления и монтажа новой рамы из стали С440: $68,6 \cdot 30000 / 26,1 = 78858 \text{ у.е.}$ (ориентировочно, по средней рыночной цене).

Экономия средств – 36646 у.е. на одной раме.

Выводы.

Выполнение усиления несущих конструкций каркаса литейного двора требует значительного количества ресурсов и времени:

- на проведение дополнительных обследований и составление обмерных чертежей;

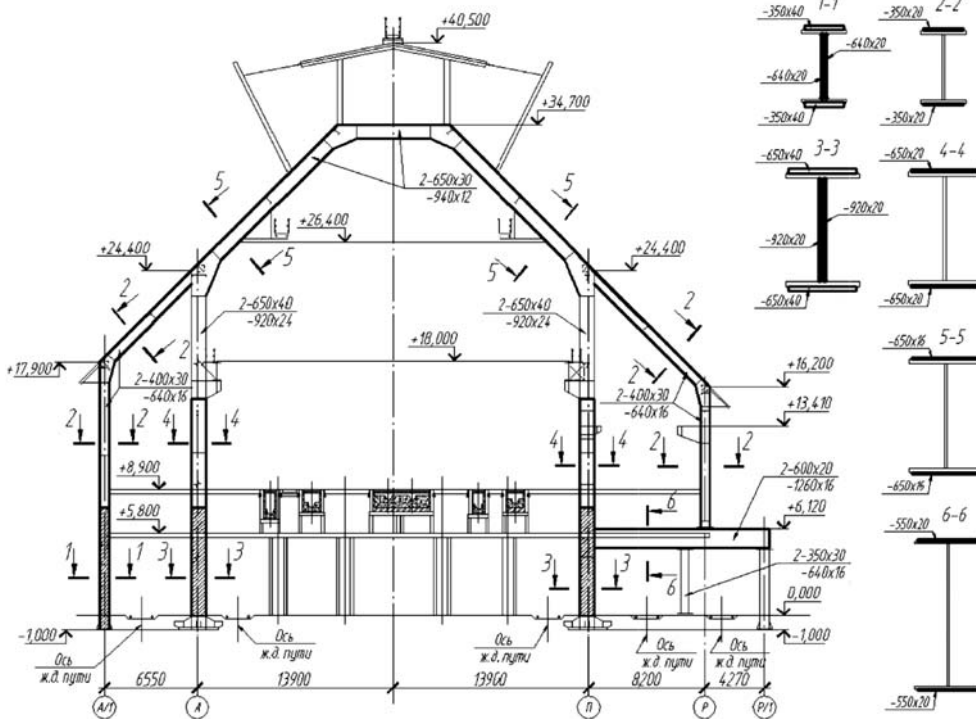


Рис. 3. Элементы нагруженной рамы здания, подлежащие усилению



Рис. 4. Монтаж металлоконструкций здания литейного двора ДПЗ «ЧАО Азовсталь»

Выполнение каркаса литейного двора из новых металлоконструкций позволяет сократить количество расчетов рам за счет проведения унификации.

Выполнение каркаса литейного двора и поддоменика из новых металлоконструкций с применением высокопрочной стали класса С440 при некотором увеличении стоимости металлопроката позволяет снизить его массу и, по сравнению с реконструкцией существующего здания, значительно сократить временные и человеческие ресурсы, т.е. более экономически целесообразно. Кроме того, выполнение нового каркаса является более технологичным, что сокращает сроки его изготовления, а также такое решение повышает качество конструкций за счет их заводского изготовления, что позволяет продлить общий срок службы сооружения.

- на проведение лабораторных исследований с целью определения фактических физико-механических и прочностных характеристик стали;
- на устранение дефектов металлоконструкций по результатам обследования;
- на проведение расчетов 100 % рам литейного двора, поскольку все рамы, зачастую, имеют различные друг от друга сечения несущих элементов и по-разному нагружены;
- на выполнение усиления рам.

- [1] Байшев Ю.П. Доменные печи и воздухонагреватели. Научное издание. – Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 1996.
- [2] Любин А.Е. Металлические конструкции сооружений комплекса доменной печи. Проектирование. Эксплуатация. Диагностика технического состояния. – К: Издательство «Сталь», 2010.
- [3] Пособие по проектированию усиления стальных конструкций. – М.: Стройиздат, 1989.
- [4] Методические рекомендации по технологии усиления металлических конструкций на реконструируемых объектах. – К.: 1984.

Надійшла 11.10.2018 р.