

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ БУНКЕРОВ ХРАНЕНИЯ ДРОБЛЕННОЙ РУДЫ ДЛЯ СЕКЦИИ №9 ОАО «ПОЛТАВСКИЙ ГОК»

**П**олтавский горно-обогатительный комбинат основан в 1970 г. как государственное предприятие, которое в 1994 г. было преобразовано в открытое акционерное общество, а в 1995–2001 гг. – полностью приватизировано. ОАО «Полтавский ГОК» расположен в г. Комсомольск Полтавской обл. и занимает территорию 5453 га, которая отведена комбинату в постоянное пользование.

Основной продукцией предприятия является железорудный концентрат, окатыши, щебень из вмещающих горных пород. ГОК имеет полный технологический цикл – от добычи сырой руды до производства железорудных окатышей – сырья для металлургических заводов.

В 2013 г. было принято решение провести реконструкцию существующей секции № 9 обогатительной фабрики № 1 с пристройкой галереи пульпопроводов, корпуса измельчения и сепарации, конвейерных галерей, перегрузочного узла подачи дробленой руды, что позволяло увеличить производственную мощность обогатительной фабрики по выпуску железорудного концентрата, сократить ремонтные простои, автоматизировать управление технологическими процессами, повысить качество и уменьшить себестоимость продукции.

В 2014 г. ОАО «Полтавский ГОК» заключил договор с проектным институтом ПАО «ДИОС» на разработку проектно-сметной документации стадии «проект» и «рабочая документация».

В рамках разработки рабочей документации по данному объекту, исходя из условий ведения технологического процесса, необходимо было разработать бункер хранения дробленой железной руды.

Параметры бункерного отделения были определены на стадии разработки технико-экономического обоснования, утвержденного ОАО «Полтавский ГОК». Хранение руды предусматривалось в двух металлических бункерах диаметром 10 м, на самостоятельных опорах, с общим объемом хранения 1440 м<sup>3</sup> (3888 т).

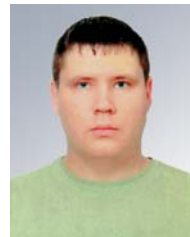
Однако после утверждения стадии «проект» заказчиком в целях обеспечения непрерывной работы фабрики были предъявлены дополни-



**А.Ю. Разумов**  
директор по производству  
ПАО «ДИОС», г. Донецк



**С.В. Каргаполов**  
главный инженер проектов  
ПАО «ДИОС», г. Донецк



**Д.А. Курочкин**  
главный специалист  
ПАО «ДИОС», г. Донецк



**Р.В. Олейник**  
главный инженер проектов  
ХКО ООО «Укринсталькон  
им. В.Н. Шимановского», г. Харьков



**И.К. Амелченя**  
главный инженер  
ДОФ ОАО «Полтавский ГОК»



**И.А. Ведмедь**  
начальник отдела управления  
проектами ОАО «Полтавский ГОК»

тельные требования по увеличению объема хранения дробленой руды не менее 10-часового запаса, что составило не менее 2593 м<sup>3</sup> (7000 т).

В связи со стесненными условиями площадки строительства проектируемое бункерное отделение корпуса измельчения и сепарации имеет ограниченные размеры в плане.

Разработка конструктивных элементов бункера усложнялась следующими факторами:

- значительным объемом бункера: физический объем – 3089,7 м<sup>3</sup>, полезный объем – 2787 м<sup>3</sup>;
- рядом конструктивных и технологических ограничений;
- отсутствием, по условиям эксплуатации, внутренних перегородок и связей;
- невозможностью установки колонн для опирания бункера в средней части для размещения и работы футеровочной машины мельницы;
- сложными условиями эксплуатации [2].

Исходя из этого, форма бункера была принята прямоугольной удлинённой в плане, размером 9,4×26,3 м, без внутренних перегородок, с шестью выгрузными воронками (рис. 1–4).

Бункером называют крупноразмерную емкость, предназначенную для временного хранения сыпучих материалов. Как правило, бункеры в плане имеют круглую, квадратную или прямоугольную форму со специальными выпускными отверстиями в нижней части. Для улучшения условий выгрузки материалов бункеры обычно заканчиваются суженной частью – воронкой [7].

В конструктивном плане бункеры разделяют на: пирамидально-призматические, лотково-призматические, гибкие (параболические) и конусно-цилиндрические.

Призматические бункеры имеют плоские стенки и состоят из призматической верхней части с плоскими стенками и присоединенной к ней воронки с плоскими стенками. Вертикальные стенки бункеров образованы, как правило, бункерными несущими балками, которые одновременно являются стенками бункера, укрепляются вертикальными и горизонтальными ребрами жесткости. Обшивка воронки укрепляется обычно только горизонтальными ребрами жесткости. При значительной длине воронок укрепления выполняют продольными и поперечными ребрами жесткости.

В ряде случаев внутри бункеров предполагается футеровка, которая защищает оболочку

от истирания подвижными сыпучими материалами. В зависимости от материала засыпки она может выполняться из стали, чугуна, дерева, железобетона или из композитных материалов.

Элементы бункера рассчитывают по двум предельным состояниям.

Плоские стенки рассчитывают как пластины, находящиеся под действием растяжения от равномерно распределенной нагрузки от давления сыпучего материала. Нагрузка определяется для середины каждого отсека и считается постоянной по всему отсеку. Расчетные усилия в пластинах определяют исходя из предположения их шарнирного закрепления на неподвижных опорах (ребрах). Напряжение в стенке бункера определяется как сумма напряжений от изгиба и продольного растяжения. Такой расчет упрощенный, поскольку не учитывается упругопластичная работа материала стенки бункера в местах опирания ее на ребра.

Горизонтальные (вертикальные) ребра рассчитывают на совместное действие продольных растягивающих сил и равномерно распределенную поперечную нагрузку, возникающую от давления материала на примыкающую к ребрам часть обшивки. В зависимости от способов соединения ребер жесткости смежных граней, изгибающие моменты в них определяются как в шарнирно-опертых балках или замкнутых рамах с жесткими узлами [6].

Бункер измельченной руды, размещенный в бункерном отделении корпуса измельчения и сепарации секции № 9, принят лотково-призматическим с физическим объемом 3089,7 м<sup>3</sup> и полезным 2787 м<sup>3</sup> и предназначен для хранения железной руды с насыпным весом 2,7 т/м<sup>3</sup>, с фракцией 0...16 мм. Бункер, удлинённый в плане, размером 9,4×26,3 м и высотой призматической части 9,15 м. При расчете его конструкций были учтены следующие виды нагрузки:

- нагрузка от собственной массы конструкций;
- давление сыпучего материала;
- временная полезная нагрузка на перекрытие на отм. +27.400;
- нагрузка от перекатного конвейера [3].

Основной нагрузкой при этом является давление сыпучего материала, которое зависит от высоты столба; физико-механических свойств материала, хранящегося в бункере; угла наклона рассматриваемой поверхности к горизонту.



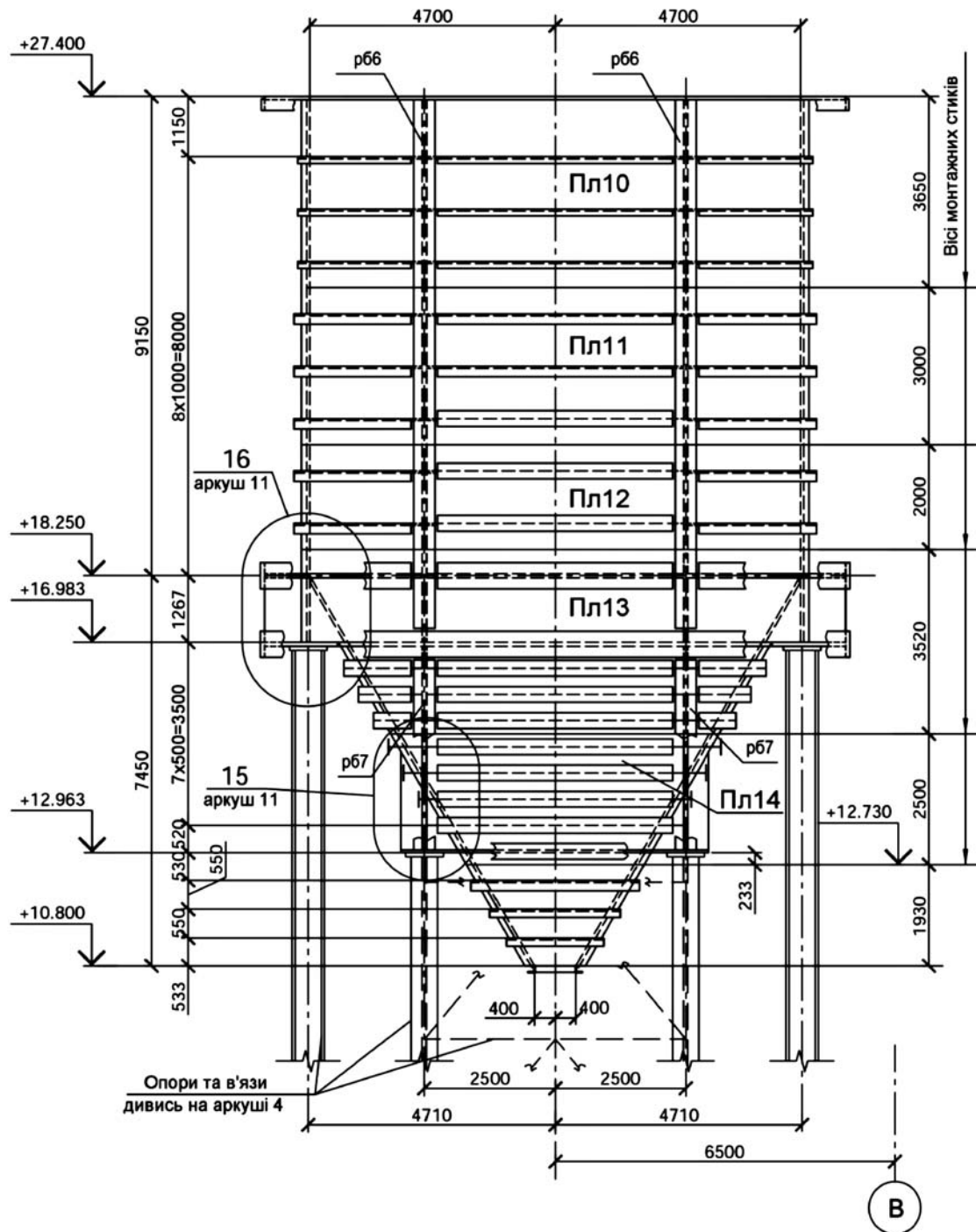


Рис. 3. Вид бункера сбоку

Перекрытие бункера – по стальным балкам. Настил вдоль стенок бункера выполнен из стального рифленого листа, в средней части – решетчатый с ячейкой 34,0×38,0 мм, между рельсами загрузочного перекатного конвейера настил отсутствует.

Из-за абразивности хранимого материала, предусмотрено выполнение футеровки внутренних поверхностей бункера.

Бункер через бункерные балки опирается на собственную опорную систему, которая представляет собой стальные колонны, соединенные вертикальными связями [4]. Опорная система опирается на железобетонный фундамент плитного типа, основой для которого служат водонасыщенные пески средней крупности, упрочненные грунтоцементными элементами. Ширина полков колонн опорной системы по торцам бункера не должна превышать 450 мм.

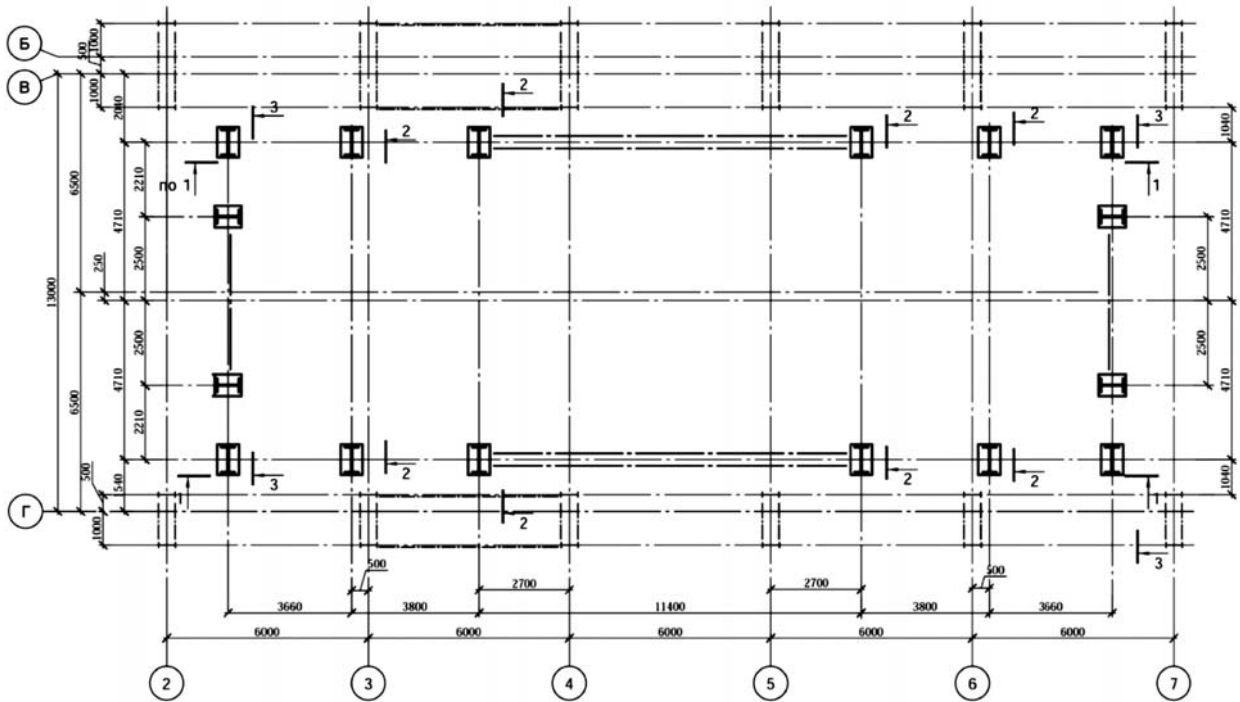


Рис. 4. Схема расположения колонн бункера

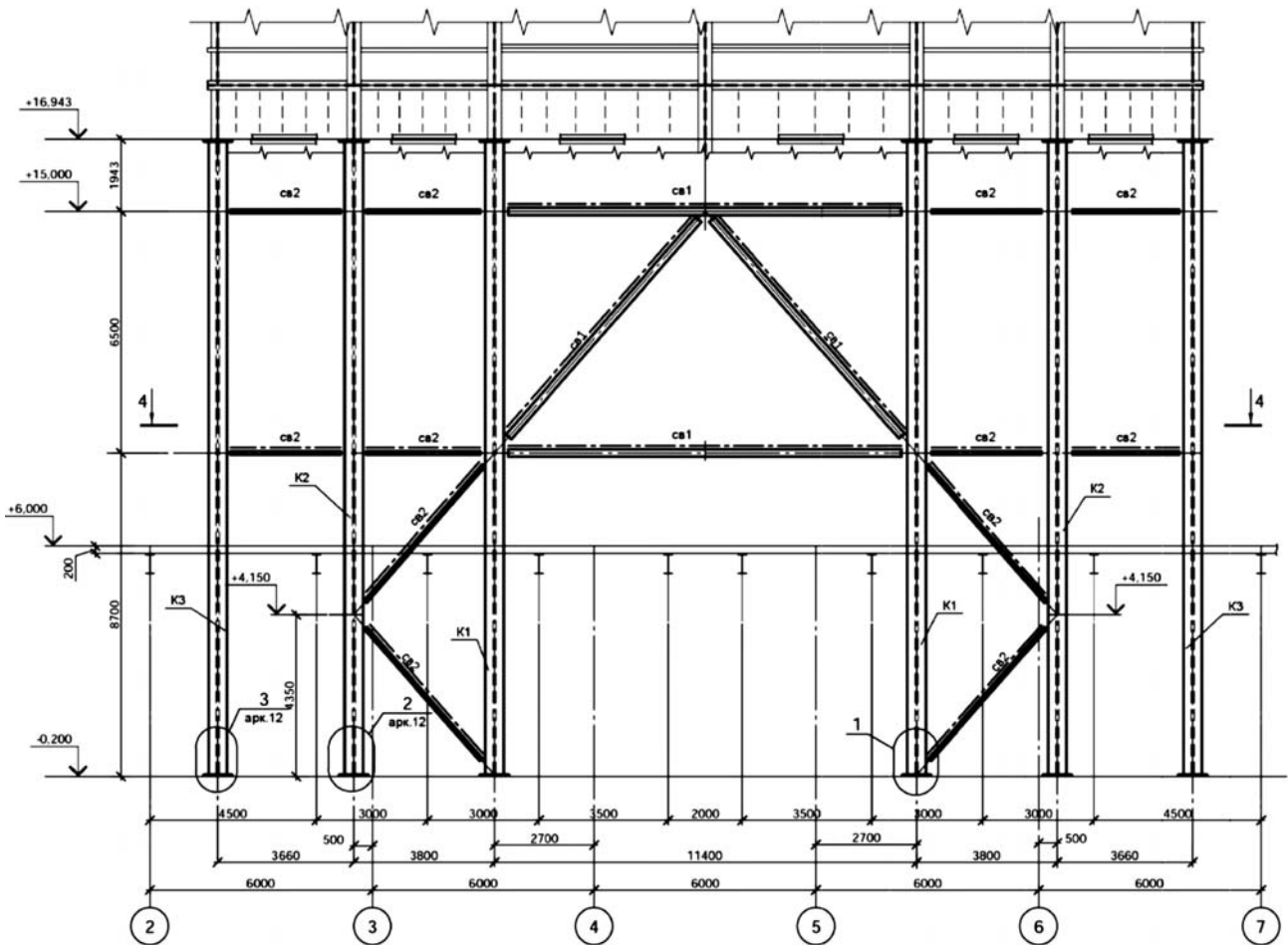


Рис. 5. Продольные связи опорных колонн бункера

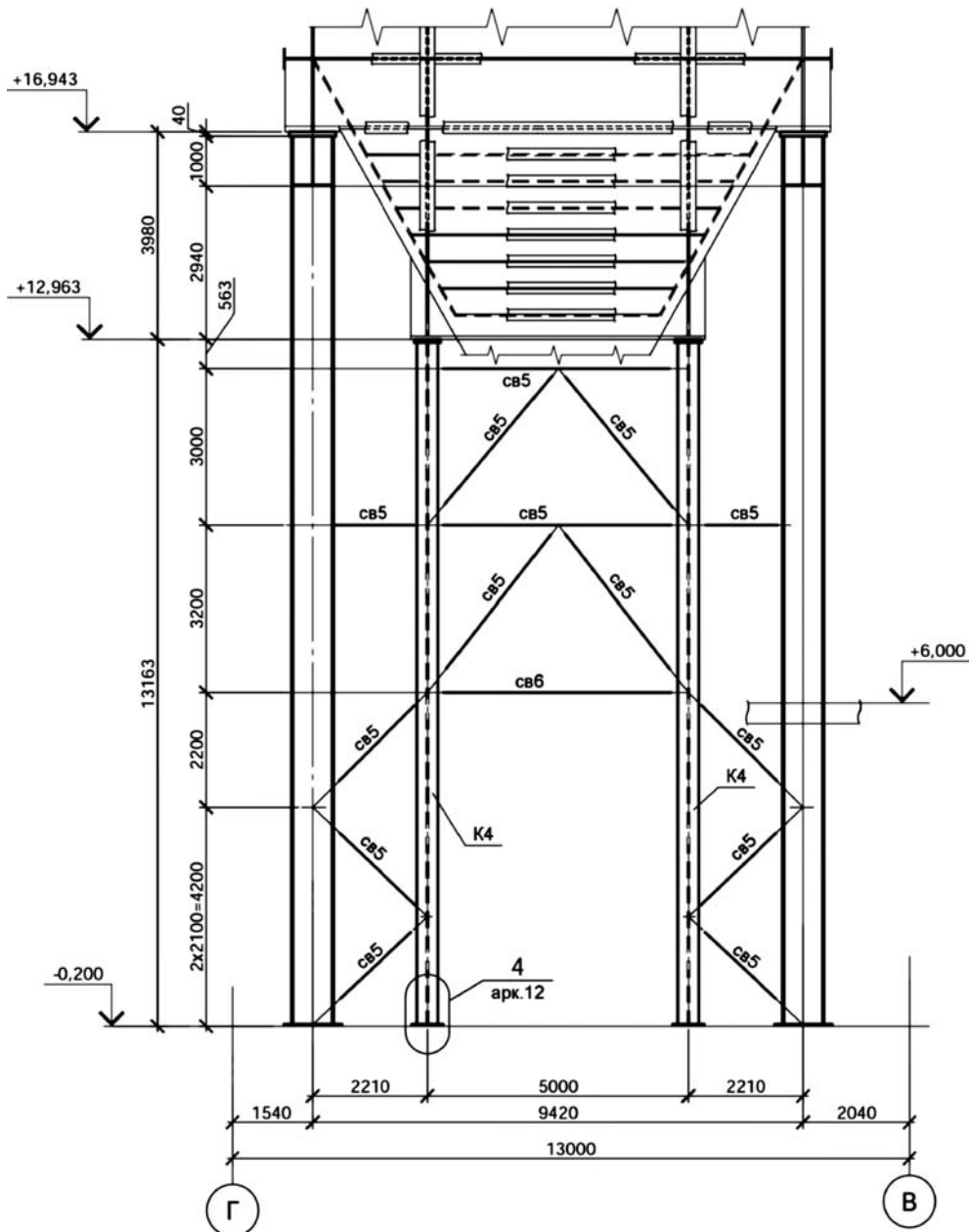


Рис. 6. Поперечные связи опорных колонн бункера

Бункер измельченной руды запроектирован с плоскими стенками, укрепленными вертикальными и горизонтальными ребрами жесткости. Опорами горизонтальных ребер служат вертикальные ребра жесткости, которые, в свою очередь, передают нагрузку на бункерные балки. В нижней части между выгрузными воронками выполняются поперечные бункерные балки. Вертикальные ребра, балки перекрытия бункера и поперечные бункерные балки соединены между собой в статически неопределенные рамы, которые обеспечивают геометрическую неизменяемость бункера в поперечном нап-

равлении. Обшивка воронки закреплена к вертикальным стенкам и нижнему поясу бункерных балок. В месте примыкания воронки к стенке бункерной балки предполагается продольное ребро, которое воспринимает горизонтальную составляющую усилия от давления засыпки на воронку и вертикальную стенку бункера.

Устойчивость стальных колонн опорной системы в продольном направлении обеспечивается вертикальными связями, в поперечном направлении – устройством поперечных ферм (см. рис. 6). Расчетная схема опорной системы в поперечном направлении представляет собой

шарнирно опертые колонны с бесконечно жестким ригелем (см. рис. 5).

Расчет бункера дробленой руды, учитывая сложность конструкции, а также ряд технологических ограничений, выполнялся в две стадии. На первой предварительно определялись усилия и сечения конструктивных элементов в соответствии с «Руководством по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров» [5]; на второй стадии осуществлялся проверочный расчет с помощью программного комплекса SCAD.

Была смоделирована объемная расчетная схема бункера с учетом поперечных сечений элементов, определенных при предварительном расчете. Элементы вертикальной и наклонной обшивки задавались в виде пластинчатых элементов. Ребра жесткости моделировались из пластинчатых элементов соответствующего сечения. Размер измельчения элементов подбирался таким образом, чтобы получить растягивающие и изгибающие усилия, которые будут возникать при эксплуатации конструкций. Вертикальные ребра жесткости, а также горизонтальные в пределах вертикальной стенки бункера моделировались как условно шарнирные. Горизонтальные ребра в пределах разгрузочных воронок моделировались с жестким соединением в углах.

Нагрузка на пластинчатые элементы задавалась в местной системе координат, в направлении, нормальном к элементам. Величина нагрузок принята как среднеарифметическая в пределах каждой пластины.

Усилия в пластинчатых элементах получены в виде напряжений, в стержневых элементах – в виде сил.

При разработке рабочей документации рассматривались и моделировались три варианта исполнения бункера:

1-й – с двумя распорками по высоте между вертикальными ребрами стенки бункера;

2-й – без распорок, с передачей горизонтальных составляющих усилий от давления засыпки на колонны каркаса;

3-й – без распорок, с восприятием горизонтальных составляющих усилий от давления засыпки колоннами опорной конструкции.

В результате проведенных расчетов по трем вариантам были определены недостатки и преимущества каждого из них.

*Вариант 1* – горизонтальная составляющая усилий от давления засыпки воспринимается распорками. Вертикальные ребра жесткости рассчитываются как трехпролетная балка, вследствие чего расчетные моменты меньше по сравнению с однопролетной схемой. Колонны опорной системы рассчитываются на вертикальные усилия от бункера. Горизонтальные составляющие усилий от бункера на элементы опорной системы, а также на колонны каркаса цеха не передаются, а воспринимаются распорками внутри бункера.

*Вариант 2* – горизонтальная составляющая усилий от давления засыпки воспринимается нижним поясом бункерной балки и передается через распорки на колонны каркаса. Вертикальные ребра жесткости рассчитываются как однопролетная шарнирно-опертая балка. Колонны опорной системы рассчитываются на вертикальные усилия от бункера. Горизонтальные составляющие усилий от бункера передаются на колонны каркаса.

*Вариант 3* – горизонтальная составляющая усилий от давления засыпки воспринимается нижним поясом бункерной балки и передается на колонны опорной системы бункера. Вертикальные ребра жесткости рассчитываются как однопролетная шарнирно-опертая балка. Горизонтальные составляющие усилий от бункера передаются на колонны опорной системы бункера, которые рассчитываются на восприятие вертикальных и горизонтальных усилий от бункера.

В результате проведенного математического моделирования трех вариантов конструкции бункера, выполнения расчетов и их анализа можно сделать следующие выводы.

- Расчетная толщина обшивки бункера (вертикальных стенок, выпускных воронок) и расчетное поперечное сечение горизонтальных ребер жесткости вертикальных стенок аналогичны для всех трех вариантов конструкции.
- Расчетное поперечное сечение вертикальных ребер наименьшее в варианте с использованием внутренних затяжек. В вариантах с передачей горизонтальных составляющих усилий на каркас цеха или на собственную опорную систему поперечное сечение вертикальных ребер больше в 1,5–1,6 раза.

- Найбільше економічний варіант з точки зору расхода стали на бункер (включаючи опорну систему) з внутрішніми распорками в двох ярусах. Варіант з передачею горизонтальних зусиль від бункера на каркас потребує меншого расхода металу на бункер, однак при цьому значительно збільшується расход металу на посилення каркаса корпусу бункерного відділення. В даному випадку на порядок збільшуються поперечні сили в колоннах, які передаються на фундаментну плиту в вигляді розтягиваючих зусиль і потребують значительного армування. Варіант з передачею горизонтальних зусиль на опорну конструкцію викликає збільшення поперечного сечення колонн опорної конструкції, але не потребує посилення конструкцій каркаса.

Для проектування був прийнятий варіант з передачею горизонтальних зусиль на власну опорну конструкцію бункера.

Ураховуючи абразивність матеріалу зберігання (залізна руда), виконана футеровка випускних воронки композитним резино-керамічним матеріалом, стійким до истира-

ню. Для вертикальних стінок бункера прийнята футеровка, аналогічна конструкції футеровки воронки бункера.

В відповідності з Приложением В к ДБН В.1.2-5:2007 «Науково-технічний супровід будівельних об'єктів» [1] об'єкт будівництва (бункер) підлягає обов'язковому науково-технічному супроводженню. В якості наукової організації для виконання даної роботи була привлечена спеціалізована організація ООО «ІПС-Харків», перед якою були поставлені наступні задачі: аналіз конструктивних рішень і розрахункових моделей бункера; формування гіпотез, передположень, обмежень для формування теоретических моделей бункера; формування локальних розрахункових моделей, які враховують особливості основи, вузла з'єднання елементів конструкції, знаходяться в різних типах напружено-деформованого стану.

На основі виконаного звіту про науково-технічне супроводження етапу проектування № 5359 були прийняті остаточні рішення по проектуванню бункера.

[1] ДБН В.1.2-5:2007 Науково-технічний супровід будівельних об'єктів.  
 [2] ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.  
 [3] ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи.  
 [4] ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування.

[5] Руководство по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров. – М.: Стройиздат, 1983.  
 [6] Справочник проектировщика. Металлические конструкции (под ред. Н.П. Мельникова). – М.: Стройиздат, 1980.  
 [7] Е.Н. Лессиг, А.Ф. Лилев, А.Г. Соколов Листовые металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1970.

Надійшла 10.11.2015 р.

### ОФІЦІЙНА ІНФОРМАЦІЯ

#### МІНРЕГІОНОМ УКРАЇНИ ПРИЙНЯТІ НАСТУПНІ НАЦІОНАЛЬНІ СТАНДАРТИ УКРАЇНИ У ГАЛУЗІ МЕТАЛОБУДІВНИЦТВА, що набувають чинності з 01.01.2017 р.:

- ✓ ДСТУ Б В.2.6-210:2016 «Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються», розроблені ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського». Одночасно з введенням ДСТУ відміняється ДБН 362-92 «Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будинків і споруд, що експлуатуються» (наказ від 25.04.2016 р. № 99)
- ✓ ДСТУ Б Д.1.2-3:2016 «Порядок визначення вартості робіт з обстеження металевих конструкцій будівель і споруд», розроблений ПП «Металомонтаж» за участі ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського» (наказ від 29.06.2016 р. № 187). Одночасно з введенням ДСТУ відміняється дія «Цінника на роботи з оцінки технічного стану і розробки робочої документації на підсилення будівельних металевих конструкцій будівель і споруд промислових підприємств» (наказ ДК «Укрмонтажспецбуд» від 24.07.2000 р. № 01/100-15)