

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ
ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 27-28.05.2014)

УДК 624.95.014.2.04

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ
И КОНСТРУИРОВАНИЮ СТАЛЬНЫХ БУНКЕРОВ
СОГЛАСНО ТКП EN 1993-4-1-2009**

ЛАЗОВСКИЙ И.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Бункеры – емкостные сооружения, предназначенные для хранения и перегрузки сыпучих материалов, – широко используются во многих отраслях экономики страны. Они распространены на предприятиях строительной индустрии, сельского хозяйства, химической промышленности. В основном при проектировании бункеров применяются рекомендации справочной литературы и действующие стандарты предприятий-изготовителей. С 1.01.2010 в Республике Беларусь прямым введением приняты европейские нормы проектирования конструкций, в т.ч. нормы по проектированию стальных бункеров – ТКП EN 1993-4-1-2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 4-1. Бункеры. В связи с этим, представляется актуальным выполнить анализ состояния и глубины проработки данного документа.

Часть 4.1 Еврокода 3 обеспечивает принципы и правила строительного проектирования стальных бункеров круглой или прямоугольной конфигурации. Бункеры могут устанавливаться свободно или на опорах. Данный документ распространяется на проектирова-

ние бункеров с плоскими стенками (жесткие конструкции, которые сохраняют постоянную геометрическую форму в процессе нагружения и разгрузки). Так, по конструктивной форме разделяются прямоугольные бункеры с плоскими боковыми стенками и конические бункеры-хопперы. Классификация бункеров на лотково-призматические и пирамидально-призматические не предусмотрена.

Разнообразие возможных проектных решений данных сооружений достигается за счет:

- а). Широкого диапазона вместимости бункера (10 – 10 000т);
- б). Возможности задания различной гибкости бункера (соотношения высоты к размеру поперечного сечения);
- в). Применения множества решений при проектировании элементов конструкции и узлов.

Например, при проектировании вертикальных стенок прямоугольного бункера, могут быть применены следующие варианты:

- плоские стальные листы с соединением встык;
- плоские стальные листы с соединением внахлестку;
- гофрированные листы с горизонтальными или вертикальными гофрами;
- стальные листы с ребрами жесткости с наружной стороны.

Воздействия на бункеры и резервуары определяются согласно ТКП EN 1991-4: 2006 Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 4. Бункеры и резервуары. В данном Еврокоде приведены указания по определению воздействий на бункеры (в т.ч. температурных) при соблюдении следующих ограничений:

- а) высота строения < 100м;
- б) наибольший размер поперечного сечения бункера < 60м;
- в) гибкость бункера < 10.

Дополнительное требование – переход от вертикальных стенок бункера к воронке должен осуществляться на одном горизонтальном уровне. Для работы с данным Еврокодом также необходимы Еврокоды EN 1991-1 (Воздействия на конструкции).

Основной принцип: воздействия должны определяться с учетом структуры бункера, свойств хранимого сыпучего материала и профилей течения, которые устанавливаются при разгрузке бункера. Воздействия определяются после установления класса требований,

предъявляемых к конструкциям, что приводит к появлению нагрузок с принципиально одинаковым уровнем безопасности.

Общая классификация воздействий:

- нагрузки от хранимого сыпучего материала (симметричные и ассиметричные);
- частичные поверхностные нагрузки для учета ситуаций частичного заполнения;
- эксцентрические нагрузки для учета характера процессов заполнения и разгрузки;
- взрыв пыли;
- вес элементов конструкций;
- вес футеровки;
- вес надбункерного перекрытия;
- снеговая нагрузка;
- ветровая нагрузка.

Особенный интерес вызывает определение нагрузок от хранимого сыпучего материала. Для этого устанавливают следующие параметры:

1. Гибкость бункера (отношение h/d , где h – высота, d – наибольший размер поперечного сечения бункера). Возможны следующие варианты:

- 1.1. $h/d < 0,4$ – бункер с опорной стенкой;
- 1.2. $0,4 < h/d < 1$ – низкий бункер;
- 1.3. $1 < h/d < 2$ – бункер средней гибкости;
- 1.4. $h/d > 2$ – гибкий бункер.

2. Характеристики сыпучего материала – Удельный вес γ , кН/м^3 ; коэффициент трения о стенки μ ; максимальная крупность зерен материала d , мм; сцепление материала c ; угол внутреннего трения ϕ . В данном Еврокоде устанавливаются специальные требования к определению этих характеристик.

3. Устанавливается профиль течения сыпучего материала бункера при его разгрузке. Основные категории профиля течения:

- 3.1 массовый поток;
- 3.2 поток в трубе;
- 3.3 смешанное течение.

Массовый поток устанавливается, когда весь материал в бункере находится в состоянии движения при разгрузке одновременно; смешанное течение – когда движется только материал вблизи во-

ронки, а материал у стенки неподвижен. У каждой категории определены подвиды, например, концентрическое смешанное течение. Профиль течения материала при разгрузке – неотъемлемая характеристика действительного режима работы элементов бункера.

Далее устанавливаются эксцентриситеты давления сыпучего материала на конструкцию бункера, которое в большинстве случаев распределено неравномерно.

После выполнения описанных выше этапов возможно определение нагрузок и воздействий на элементы конструкций, после чего рассматриваются следующие расчетные ситуации работы бункера:

- а). Давление ветра на пустой бункер;
- б). Загрузка/разгрузка бункера (с обязательным учетом профиля течения материала и эксцентриситеты приложения нагрузок);
- в). Давление ветра на полный бункер;
- г). Статические нагрузки от полностью заполненного бункера и др.

Для каждой расчетной ситуации и для каждого элемента определяется сочетание воздействий. Например, для воронки (хоппера) это разгрузка; заполнение бункера; трение о стенки.

После определения нагрузок и воздействий на конструкции бункера составляется расчетная модель. В бункерах класса требований 3 (емкостью до 10 000т) внутренние силы и моменты в элементах конструкций определяются методом конечных элементов на ЭВМ с учетом реально возможных расчетных ситуаций. Модель конструкций должна включать все элементы жесткости, отверстия и оснастку. Для бункеров класса 2 может применяться мембранная теория оболочек при осесимметричной нагрузке. В расчетной модели должны учитываться асимметричность нагрузки, сдвиговые напряжения, совместимость деформаций конструктивных элементов бункера.

При проектировании и проверке элементов бункера по предельным состояниям учитываются частные факторы, влияющие на сопротивление элементов сооружения путем введения коэффициентов γ_{mi} .

Как правило, проверка элементов конструкций сводится к обеспечению условия $S_d < R_d$ для различных предельных состояний несущей способности, где S_d – значение расчетного параметра (напряжения), R_d – расчетное сопротивление элемента конструкции.

Проверка стенки бункера осуществляется по следующим предельным состояниям: LS1 – состояние предела пластичности; LS2 – состояние циклической пластификации; LS3 – состояние потери устойчивости (при осевом сжатии, при сдвиге в зоне колонн, при давлении ветра, в результате асимметричных нагрузок, сопротивление прогибу и др.); LS4 – сопротивление усталостному разрушению.

ЛИТЕРАТУРА

1. EN 1993-4-1:2007 Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций — Часть 4-1. Бункеры/ подготовлен РУП «Стройтехнорм», 2010. —197с.

2. EN 1991-4:2007 Еврокод 1: Воздействия на конструкции — Часть 4. Бункеры и резервуары/ подготовлен РУП «Стройтехнорм», 2010. —185с.