



ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ СТАЛЕВИХ БУНКЕРНИХ ЄМНОСТЕЙ

Д.О. Банніков, М.І. Казакевич

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту

імені академіка В. Лазаряна

вул. Ак.Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна.

E-mail: d2007@optima.com.ua

Отримана 15 червня 2007; прийнята 18 червня 2007

Анотація. В публікації розглянуто чотири основних сучасних конструктивних варіанти сталевих ємностей для сипучих матеріалів, у тому числі і конструктивне рішення на основі використання панельної схеми зі складених гофрованих елементів, який пропонується авторами. Виконано порівняльний аналіз їх напружено-деформованого стану на основі МСЕ із застосуванням проектно-обчислювального комплексу SCAD. В результаті досліджень встановлено, що застосування панельної конструктивної схеми зі складених гофрованих елементів не тільки дозволяє теоретично добитися зниження напружень на величину до 35 %, а й також істотно покращує рівномірність їх розподілу в конструкції. При цьому значно підвищується її просторова жорсткість, що є немаловажним фактором для споруд, призначених для роботи з сипучими матеріалами. Всі інші розглянуті конструктивні схеми дозволяють досягти подібних результатів лише частково. Найбільш переважним варіантом з них слід вважати варіант із застосуванням V-подібних ребер жорсткості замість традиційних профілів.

Ключові слова: бункер, бункерна ємність, панельна конструктивна схема, МСЕ, сипучі матеріали.

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ СТАЛЬНЫХ БУНКЕРНЫХ ЕМКОСТЕЙ

Д.О. Банников, М.И. Казакевич

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта

имени академика В. Лазаряна

ул. Ак.Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина.

E-mail: d2007@optima.com.ua

Получена 15 июня 2007; принята 18 июня 2007

Аннотация. В публикации рассмотрены четыре основных современных конструктивных варианта стальных емкостей для сыпучих материалов, в том числе и предлагаемое авторами конструктивное решение на основе применения панельной схемы из составных гофрированных элементов. Выполнен сопоставительный анализ их напряженно-деформированного состояния на основе МКЭ с применением проектно-вычислительного комплекса SCAD. В результате исследований установлено, что применение панельной конструктивной схемы из составных гофрированных элементов не только позволяет теоретически добиться снижения напряжений на величину до 35 %, но также существенно повышает равномерность их распределения в конструкции. При этом значительно возрастает и ее пространственная жесткость, что является немаловажным фактором для сооружений, предназначенных для работы с сыпучими материалами. Все иные рассмотренные конструктивные схемы позволяют добиться подобных результатов лишь частично. Наиболее предпочтительным вариантом из них следует считать вариант с применением V-образных ребер жесткости взамен традиционных профилей.

Ключевые слова: бункер, бункерная емкость, панельная конструктивная схема, МКЭ, сыпучие материалы.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF CONSTRUCTION DIAGRAMS OF STEEL BUNKER CAPACITIES

D.O. Bannikov, Kazakevych M.I.

Dnipropetrovs'k V. Lazaryan National University of Railway Transport

2, Acad. Lazaryana st., 49010 Dnipropetrovs'k, Ukraine.

E-mail: d2007@optima.com.ua

Received 15 June 2007; Accepted 18 June 2007

Abstract. In the paper there are considered four main modern constructive variants of steel capacities for bulk materials including a design concept on the base of using a panel scheme of the compound corrugated elements suggested by the authors. A comparative analysis of their stress-strain state on the base of FEM with the use of a design computer system SCAD was made. Following the investigations, it was found out that the use of the panel scheme of the compound corrugated elements not only theoretically allows decreasing stresses up to 35 %, but considerably increases a regularity of their arrangement in a structure. Its special rigidity increases considerably herewith, that being an important factor for structures intended for operating with bulk materials. Some other constructive schemes presented allow to obtain similar results only in part. The most preferable variant to be considered is the variant with the use of V-shaped stiffening rib instead of traditional ones.

Keywords: bunker, bin capacity, panel constructive scheme, FEM, granular materials.

1. Стальные бункерные емкости

Емкостные конструкции к настоящему времени получили достаточно широкое распространение и используются практически во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства. Это обусловлено их чрезвычайно широким функциональным разнообразием. Они предназначены для работы как с кусковыми твердыми материалами, сыпучими материалами, так и различного рода жидкими и газообразными веществами.

В технологическом плане все емкостные конструкции выполняют достаточно схожую функцию – хранение в течение определенного времени определенного количества одного из приведенных выше видов веществ. Как правило, хранимое вещество применяется в каком-либо технологическом процессе и при этом возникает необходимость компенсировать разрыв во времени между его поступлением и использованием. Поэтому емкостные

конструкции являются тем звеном-посредником, в котором применяемое в технологическом процессе вещество может накапливаться и храниться определенное время, до момента его востребования.

Сыпучие материалы являются одним из наиболее часто используемых видов материалов. Их современная номенклатура насчитывает свыше 1 000 активно и повседневно применяемых видов, начиная от достаточно распространенных, таких как песок или щебень, и заканчивая специфическими пылевидными материалами, применяемыми, например, в порошковой металлургии.

Соответственно, для сыпучих материалов используются и свои специфические виды строительных конструкций, отличающиеся от других видов емкостей, применяемых для жидких или газообразных материалов. В соответствии с действующим в Украине в настоящее время нормативным документом, регламентирующим основные особенности, связанные с

проектированием подобных сооружений [1]¹, все емкостные конструкции, предназначенные для работы с сыпучими материалами, делятся на 2 вида – бункера и силосы.

В конструктивном отношении они практически идентичны, и в “классическом исполнении” состоят из двух частей – верхней вертикальной, предназначенной для накопления хранимого материала, и нижней наклонной, предназначенной для его выгрузки из емкости. Основным количественным критерием различия между бункером и силосом является высота вертикальной части – силосы проектируют с более развитой вертикальной частью, а в бункерах она значительно меньше.

Между тем, как уже не раз подчеркивалось в ряде различных работ (см., например, [2, 3]), подобное количественное различие ведет к принципиальному качественному отличию в применяемых методах и технологии проектирования. Поэтому авторам данной публикации, занимающимся различными вопросами, связанными с созданием и эксплуатацией сооружений рассматриваемого типа уже в течение достаточно продолжительного периода времени, представляется более верным использовать терминологию “бункерная емкость” и “силосная емкость”. Это позволяет указать на имеющую место в действительности достаточно высокую степень схожести как физических процессов, протекающих при работе обоих видов емкостных сооружений, так и их конструктивных особенностей. При этом противопоставлять обе эти разновидности в

сущности одинаковых сооружений, по-видимому, не корректно.

Заметим, также, что подобная точка зрения является доминирующей в зарубежных школах проектирования емкостных конструкций, где даже существует специальный термин – bin, объединяющий понятия бункер и силос. В то же время используются и отдельные термины для каждого из этих сооружений – bunker и silos [4,5].

Придерживаясь далее указанной выше терминологии, отметим, что объектом рассмотрения в настоящей публикации является стальная бункерная емкость, т.е. емкость с невысокой вертикальной частью², хотя многое из сказанного далее вполне может быть отнесено и к силосной емкости.

2. Проблема совершенствования конструктивного решения

Несмотря на достаточно продолжительную историю создания и эксплуатации емкостных конструкций для сыпучих материалов в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства и транспорта, постоянно возникают различные аварийные ситуации, приводящие к частичному или полному выходу из строя таких конструкций. Достаточно подробный анализ их типов и причин, выполненный на основе доступных источников, выполнен авторами в работе [7]. Из него в частности следует, что примерно в 50 % случаев одной из определяющих причин возникновения и развития аварийной ситуации является несовершенство применяемого конструктивного решения.

В работе [8] авторами были выделены основные, по их мнению, направления, в которых следует проводить исследования относительно рассматриваемого класса емкостных конструкций. При этом, также, особо выделено направление, связанное с улучшением и модернизацией существующего конструктивного решения емкостей для сыпучих материалов. Подобные вопросы затрагиваются и другими авторами (см., например, работы одного из современных российских ученых в области бункеростроения Х Ягофарова, изложенные обобщенно в монографии [2]).

¹ Указанный нормативный документ ориентирован на проектирование емкостных конструкций, связанных с переработкой основных видов сельскохозяйственной продукции. Однако, за отсутствием каких-либо иных нормативных документов, предназначенных для других сфер производственно-хозяйственной деятельности, этот документ “по умолчанию” уже достаточно давно служит отправной точкой при проектировании всех видов емкостных конструкций для сыпучих материалов.

² В отношении количественного критерия того, что считать “невысокой вертикальной частью” среди специалистов в настоящее время нет единого мнения. По поводу этого более детально см. в монографии авторов [4].

Основными недостатками существующей конструктивной схемы, указываемыми при этом, являются:

1. Высокая неравномерность напряженно-деформированного состояния в различных зонах конструкции.
2. Повышенный расход материала и повышенная деформативность конструкции.
3. Большая протяженность сварных швов, ведущая к повышенной трудоемкости изготовления и пониженной надежности конструкции.
4. Низкая ремонтпригодность конструкции.
5. Затрудненность монтажа при значительных размерах конструкции.
6. Расположение и пространственная ориентация узлов и соединений элементов, способствующая появлению и развитию очагов интенсивной коррозии.

Указанные недостатки отмечаются и инженерами-специалистами, ответственными за создание и эксплуатацию таких конструкций (см., например, [9, 10]), а также, рядом зарубежных исследователей (см., например, [11]).

Таким образом, следует признать, что существующее конструктивное решение емкостей для сыпучих материалов не является достаточно совершенным и требует внесения каких-либо изменений для повышения как уровня надежности и безопасности сооружений такого типа, в целом, так и улучшения их эксплуа-

тационных характеристик, в частности. Подобная проблема не позволяет, также, рационализировать процесс проектирования емкостных конструкций и приводит к неоправданному расходованию материальных и технических ресурсов при их эксплуатации.

3. Основные подходы к модернизации существующей конструктивной схемы

В современном виде существующая конструктивная схема емкостных сооружений для сыпучих материалов окончательно оформилась примерно в середине прошлого века. Она представляет собой выполнение емкости необходимого размера из плоских стальных листов относительно небольшой толщины (6-12 мм), которые подкрепляются для возможности восприятия давления от загружаемого сыпучего материала ребрами жесткости из прокатных или сварных профилей типа швеллер, уголок, тавр или двутавр (рис. 1). Внутренняя часть конструкции футеруется специальным образом, что снижает ее абразивный износ при движении сыпучего материала внутри емкости. Опирается конструкция на основание осуществляется через расположенные по углам или в иных местах колонны. Подробное описание такой конструктивной схемы можно найти в работе [3] или [12-14].

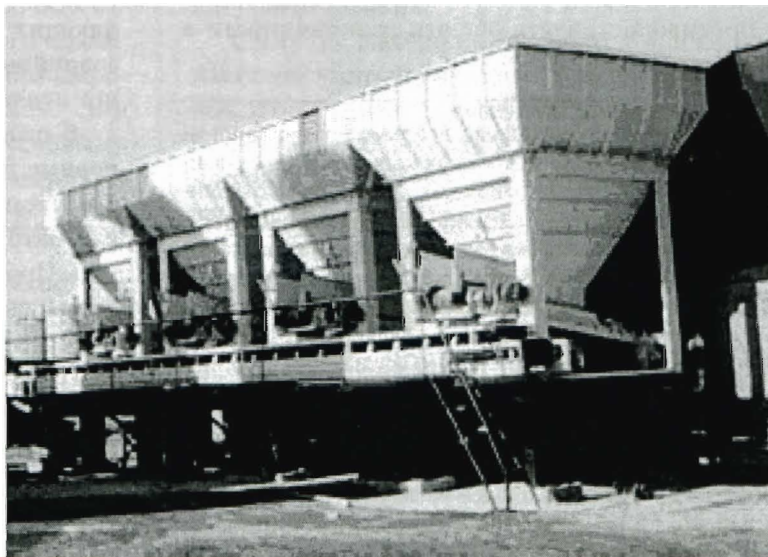
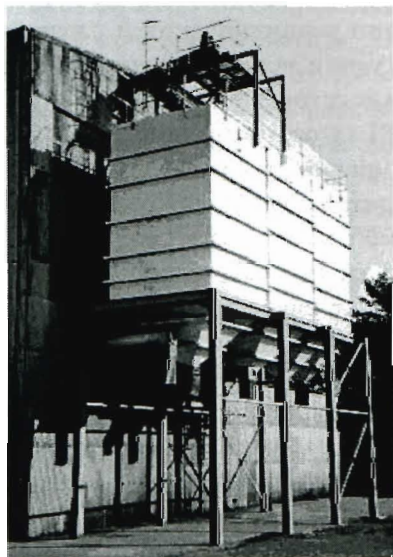


Рис. 1. Бункерные емкости.

Нельзя утверждать, что попыток улучшить такую конструктивную схему совсем не предпринималось. Ее основные слабые места, постепенно выявляемые в ходе эксплуатации емкостных конструкций для сыпучих материалов, заставляли инженеров искать возможные пути улучшения ситуации. Однако этот процесс продвигался не достаточно эффективно, что обусловлено целым рядом объективных сложностей, связанных с проектированием подобных сооружений. К их числу, в первую очередь, относится сложность аналитического расчета такой конструкции, представляющей собой пространственную систему. Также, не последнюю роль сыграли в этом и известные сложности, связанные с прогнозированием поведения сыпучей среды в замкнутых объемах. Поэтому, практически до конца XX века вопрос о модернизации применяемой конструктивной схемы емкостей для сыпучих материалов обсуждался лишь на уровне специализированных отделов тех проектных организаций, которые были непосредственно связаны с созданием и эксплуатацией подобных сооружений и не выходил далее.

Активизировался процесс поиска улучшенного конструктивного решения лишь к концу XX века, когда в распоряжении инженеров оказались обширные возможности, связанные с применением компьютерной техники. И практически сразу, все накопившиеся идейные решения начали подвергаться всестороннему теоретическому анализу.

Одними из первых подобные идеи были высказаны инженерами проектного института “Днепрпроектстальконструкция”, который имеет огромный опыт в данной сфере. Их суть заключалась в изменении ориентации подкрепляющих горизонтальных ребер жесткости с целью возможного улучшения работы конструкции.

Примерно в это же время в России Х. Ягофаровым была обоснована возможность постановки подкрепляющих ребер жесткости вертикально [2].

Немного позже, специалистами того же института “Днепрпроектстальконструкция” были высказаны соображения по поводу разрывного размещения ребер жесткости на соседних стенках емкости.

После многолетнего изучения данного проблемного вопроса авторами была также пред-

ложена несколько иная нетрадиционная концепция конструирования подобных емкостей на основе панельных гофрированных элементов [15], на которые были получены декларационные патенты Украины [16, 17].

Таким образом, к настоящему времени были накоплены несколько принципиальных предложений, эффективность каждого из которых недостаточно ясна. Поэтому авторами настоящей публикации была поставлена задача выполнить сопоставительный анализ этих конструктивных решений и сформулировать рекомендации по их эффективности, что изложено ниже.

4. Метод и технология проведения сопоставительного анализа

Для проведения сопоставительного анализа эффективности имеющихся вариантов конструктивного решения бункерных емкостей для сыпучих материалов было использовано компьютерное моделирование на основе метода конечных элементов (МКЭ). Применялся один из наиболее мощных современных строительно-ориентированных проектно-вычислительных комплексов – комплекс SCAD разработки коллектива киевских специалистов [18]. Его возможности позволили всесторонне рассмотреть работу бункерной емкостной конструкции и указать все особенности напряженно-деформированного состояния для каждого из рассматриваемых конструктивных вариантов.

Всего сопоставлялось 4 конструктивных решения с примерно близкими массовыми показателями. В качестве базового был принят вариант бункерной емкости, рассмотренный в примере проектирования в работе [3]. Размеры емкости в плане 6х6 м, высота вертикальной части 2 м, высота наклонной части 4,6 м. Нагрузка – статическое давление угла. В ходе проводимого сопоставительного анализа базовый вариант конструктивного решения емкости изменялся в соответствии с предлагаемым конструктивным решением.

Результаты выполненных авторами ранее исследований позволили сформулировать ряд рекомендаций относительно выбора КЭ-сетки и проведения расчета на различные виды нагрузок. Обобщенно они изложены в монографии [6]. Здесь же указано, что по результатам

выполненных исследований размеры самой емкостной конструкции мало влияют на характер и количественные показатели параметров напряженно-деформированного состояния конструкции при условии конструктивного соответствия размера емкости и схем расположения несущих элементов. Поэтому, все полученные в ходе дальнейших исследований результаты и сформулированные на их основе выводы и рекомендации могут быть экстраполированы на емкости иных геометрических размеров.

Вариант № 1 представлял собой емкость с горизонтальной ориентацией ребер жесткости. Такой вариант является наилучшим по данным выполненных ранее авторами исследований [6]. Толщина стенки была принята 6 мм, подкрепляющие ребра выполнялись из уголка 140х140х9 мм. Масса емкости - 9020 кг. Именно с этим конструктивным вариантом выполнялось в дальнейшем сопоставление иных решений.

Вариант № 2 представлял собой емкость с расположением ребер жесткости независимо на каждой из стенок с разрывом в угловой зоне. Толщина стенки была принята 6 мм, подкреп-

ляющие ребра выполнялись из тавра 20ШТ1 по ТУ 14-2-685-86. Масса емкости - 9220 кг.

Вариант № 3 представлял собой емкость с ребрами, выполненными в виде V-образного профиля размерами 250х250х4 мм. Толщина стенки была оставлена равной 6 мм. Масса емкости - 8920 кг.

Вариант № 4 представлял собой емкость из составных гофрированных панельных элементов. Внутренний лист был принят толщиной 4 мм, а внешний – гофрированный с размерами гофра 450х100х4 мм. Масса емкости - 9220 кг.

Таким образом, были сопоставлены основные конструктивные предложения, изложенные ранее в разделе 3. Что касается варианта емкости с вертикальным расположением подкрепляющих ребер жесткости, то его эффективность выяснялась в ходе проводимых ранее авторами исследований и его анализ изложен в работе [6]. В целом, такое конструктивное решение оказывается более предпочтительным для бункерных емкостей небольших размеров – примерно до 4-4,5 м в плане.

На рисунках 2-5 приведены полученные с помощью комплекса SCAD картины напряженно-деформированного состояния для всех четырех

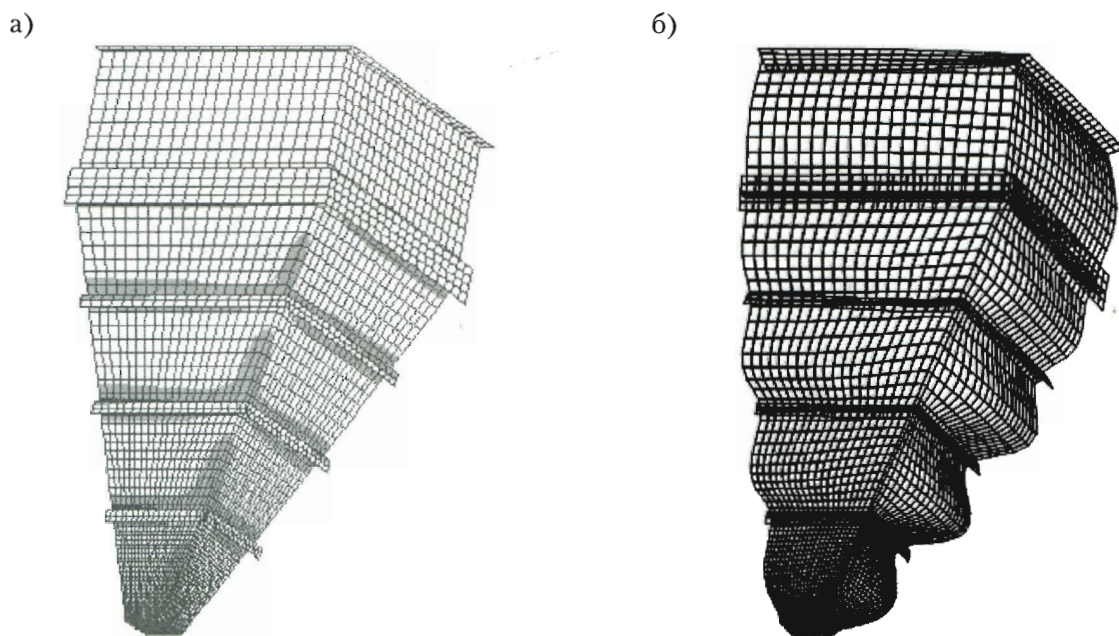


Рис. 2. Распределение напряжений (а) и картина деформаций (б) в бункерной емкости с горизонтальными ребрами жесткости.

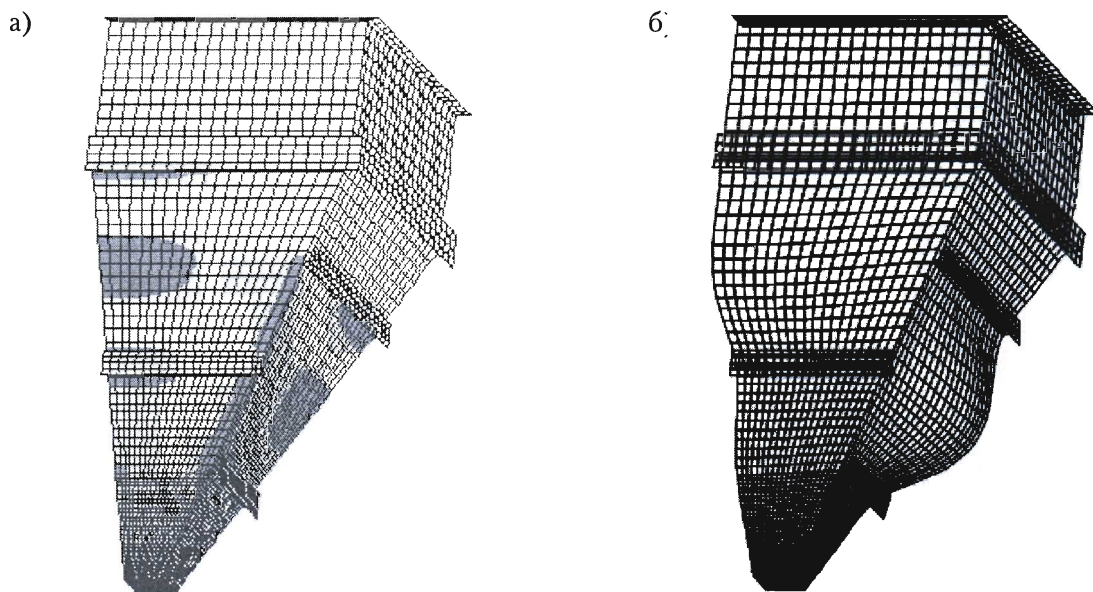


Рис. 3. Распределение напряжений (а) и картина деформаций (б) в бункерной емкости с разрывными ребрами жесткости.

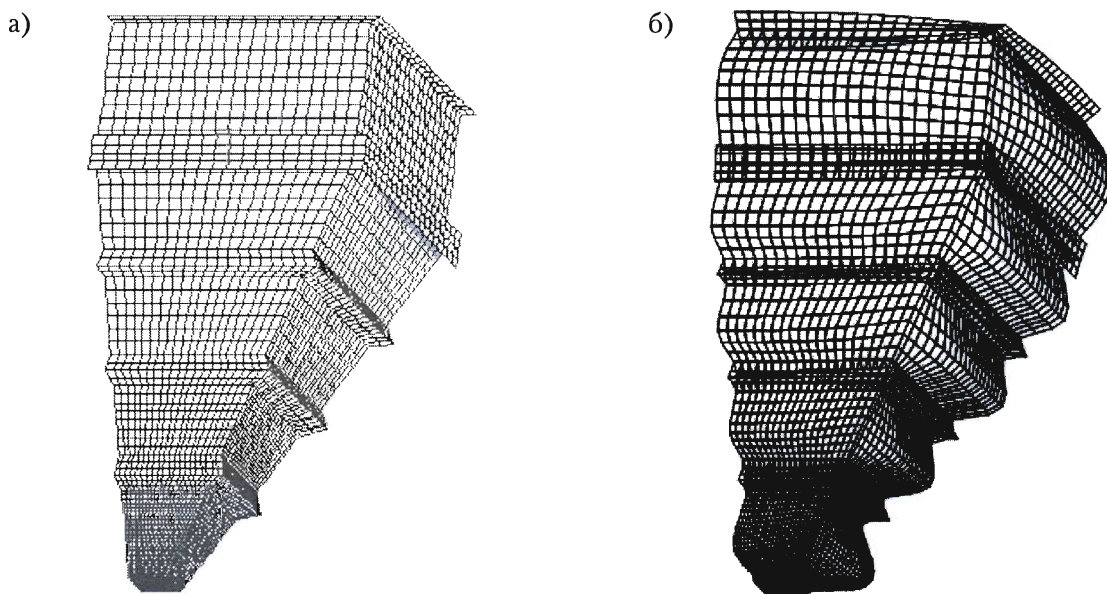


Рис. 4. Распределение напряжений (а) и картина деформаций (б) в бункерной емкости с V-образными ребрами жесткости.

рассматриваемых конструктивных вариантов бункерной емкости. В ходе расчетов рассматривалась четверть модели емкости с заданием соответствующих граничных условий симметрии деформаций по краям. Опираение емкос-

тей моделировалось для всех конструктивных вариантов однотипно – постановкой в угловой зоне шарнирной опоры, имитировавшей угловой опорный элемент. Расчет выполнялся в геометрически нелинейной постановке.

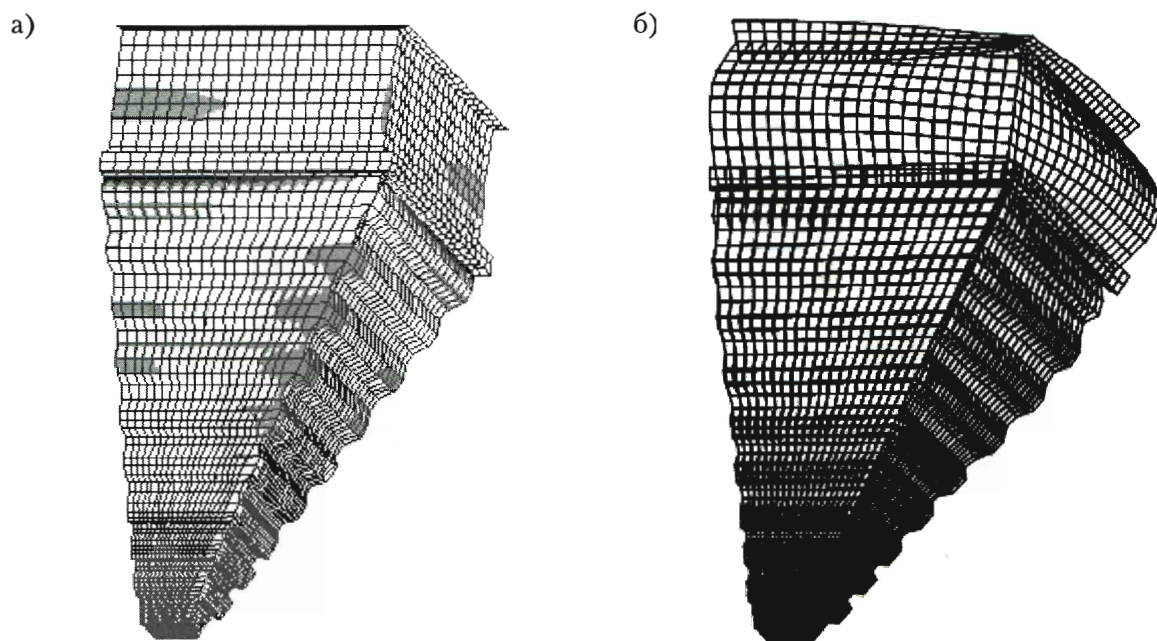


Рис. 5. Распределение напряжений (а) и картина деформаций (б) в бункерной емкости с гофрированной стенкой.

Под буквой “а” на рисунках приведены поля распределения эквивалентных напряжений по 4-й теории прочности. Для удобства их визуального сопоставления они представлены в черно-белой шкале с 4-мя оттенками, где более темному оттенку соответствует большее значение напряжения. Картины деформации в каждом случае приведены с одинаковым коэффициентом увеличения деформаций, принятым равным 5.

В таблице 1 приведены значения полученных напряжений и деформаций в наиболее характерных точках для каждого из конструктивных вариантов.

5. Анализ полученных результатов

Приведенные в таблице данные по результатам выполненных расчетов для различных конструктивных вариантов бункерной емкости позволяют утверждать:

- вариант № 2, в котором реализована идея разрывности подкрепляющих ребер жесткости для снижения в них и в угловой зоне уровня концентрации напряжений, не оправдывает себя. Хотя в пролете и наблюдается почти двукратное понижение напряжений, благодаря постановке более мощных ребер жесткости, однако, в угловой зоне уровень концентрации напряжений, наоборот,

Таблица 1. Параметры напряженно-деформированного состояния конструктивных вариантов бункерной емкости.

Конструктивный вариант	Эквивалентные напряжения (МПа) в				Наибольший прогиб стенки, мм
	ребре в пролете	ребре в угловой зоне	стенке в пролете	стенке в угловой зоне	
№ 1	205	360	105	145	32
№ 2	135	470	270	245	45
№ 3	65	155	80	135	20
№ 4	-		40	75	12

- увеличивается, что означает на практике проявление на этих участках значительных пластических деформаций. При этом общая деформативность конструкции возрастает;
- вариант № 3, в котором подкрепляющие ребра жесткости имеют V-образное поперечное сечение, позволяет снизить общий уровень напряжений и деформаций конструкции, в среднем, примерно на 25-30 %. При этом все же заметна достаточно высокая неравномерность распределения напряжений в различных местах емкости и не удастся полностью избежать их концентрации в угловой зоне сооружения;
 - для варианта № 4, в котором реализована идея использования составных гофрированных панелей, оказывается возможным получить не только снижение напряжений в конструкции на 30-35 %, но и добиться гораздо более равномерной работы самой стенки и практически полного отсутствия концентрации напряжений в угловой зоне. При этом деформативность емкости снижается по сравнению с исходным вариантом примерно в 3 раза. Это оказывает позитивное влияние на характер ее работы с точки зрения возникновения и развития усталостных деформаций. Следует отметить, что в месте стыковки вертикальной и наклонной частей емкости, где гофрированная стенка переходит в вертикальную часть, выполненную по традиционной конструктивной схеме, заметен повышенный уровень концентрации напряжений.

6. Выводы и практические рекомендации

На основе проведенного сопоставительного анализа различных конструктивных схем стальных бункерных емкостей можно заключить, что применение панельной схемы из составных гофрированных элементов не только позволяет теоретически добиться снижения напряжений на величину до 35 %, но также существенно повышает равномерность их распределения в конструкции. При этом значительно возрастает и ее пространственная жесткость, что является немаловажным фактором для сооружений, предназначенных для работы с сыпучими материалами.

Иные конструктивные схемы, являющиеся по сути небольшой модернизацией традиционной реберной конструктивной схемы, позволяют добиться подобных результатов лишь частично. Наиболее предпочтительным вариантом следует считать вариант с применением V-образных ребер жесткости взамен традиционных профилей.

Литература

1. ДБН В.2.2-8-98. Підприємства, будівлі та споруди по зберіганню та переробці зерна. – Введ. 01.07.98. – Вид. офіц. – К.: Держбуд України, 1988. – 41 с. – Укр. та рос. мовами.
2. Ягофаров Х., Собакин Н.Н. Основы теории проектирования листовых металлических конструкций. Пирамидально-призматический бункер. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – 234 с.
3. Руководство по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров / Ленпромстройпроект. – М.: Стройиздат, 1983. – 200 с.
4. Structural Engineering Handbook / Edited by Edwin H. Gaylord, Jr., Charles N. Gaylord, James E. Stallmeyer. – 4th ed. – McGraw-Hill, 1997. – 624 p.
5. ESDEP WG: Vol. 15: Structural Systems. Bins: Lecture 15C.2. – 31 p.
6. Банников Д.О., Казакевич М.И. Расчет пирамидально-призматических бункеров методом конечных элементов. – Днепропетровск: Наука и образование, 2003. – 150 с.
7. Банников Д.О., Казакевич М.И. Основные причины аварий жестких стальных бункеров и низких силосов. – Журнал “Металеві конструкції”, 2002. – Том 5, номер 1. – С. 59-66.
8. Банников Д.О., Казакевич М.И. Направления совершенствования современной концепции проектирования жестких стальных бункеров. – Вісник ДНУЗТ. – Дніпропетровськ: вид-во ДНУЗТ. – 2003. - Вип. 1. – С. 130-136.
9. Совершенствование конструктивных решений бункеров горно-обогатительных предприятий черной и цветной металлургии. Предложения по улучшению использования емкости бункеров: Отчет о НИР по теме № 469-1-68 / Ленинград. отдел. центр. н.-и. ин-та промзданий. – Л., 1968. – 138 с.
10. Криворожский государственный горно-металлургический комбинат “Криворожсталь”. Доменная печь №9. Бункерная эстакада. Обследование и оценка технического состояния металлоконструкций: Отчет о НИР, в 3 т. / ОАО “Проектный институт “Днепрпроектстальконструкция”. – Днепропетровск, 1997.

11. Wichtowski B., Nazarko W. Service life of steel coke bin – non-destructive testing (NDT) // Proc. of 6th International Conf. “Modern Building Materials, Structures and Techniques”. – Vilnius (Lithuania). – 1999. – P. 155-159.
12. Справочник проектировщика. Металлические конструкции / Под ред. Н.П. Мельникова. – М.: Стройиздат, 1980. – 776 с.
13. Справочник проектировщика инженерных сооружений / Под ред. Д.А. Коршунова. – К.: Будівельник, 1988. – 352 с.
14. Справочник проектировщика. Металлические конструкции: В 3 т. / Под ред. В.В. Кузнецова. – Т. 2: Стальные конструкции зданий и сооружений. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 526 с.
15. Банников Д.О. Модернизация конструктивной схемы стальных емкостей. – Наук.-техн. зб.: Автомобільні дороги та дорожнє будівництво. – К.: Нац. трансп. ун-т, 2006. – № 73. – С. 30-35.
16. Банніков Д.О., Казакевич М.І. Металева ємність для сипучих матеріалів із окремих панелей. – Деклараційний патент 69817 А від 15.09.2004. – Бюл. № 9, 2004. – 2 с.
17. Банніков Д.О., Казакевич М.І. Вузол з'єднання стінових панелей металевих ємностей для сипучих матеріалів. – Деклараційний патент 70576 А від 15.10.2004. – Бюл. № 10, 2004. – 3 с.
18. SCAD для пользователя / Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Трофимчук А.Н. – К.: ВВП Компас, 2000. – 332 с.

Банніков Дмитро Олегович – к.т.н., доцент кафедри “Будівельні конструкції” Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Наукові інтереси: проектування сталевих тонкостінних конструкцій; чисельні методи в теорії проектування конструкцій; питання застосування системного аналізу в сфері будівельних конструкцій.

Казакевич Михайло Ісаакович, заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри “Мости” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. Дійсний член Транспортної академії України. Член Української Асоціації з металевих конструкцій. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, динаміка і аеродинаміка будівельних конструкцій.

Банников Дмитрий Олегович – к.т.н., доцент кафедры “Строительные конструкции” Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Научные интересы: проектирование стальных тонкостенных конструкций; численные методы в теории проектирования конструкций; вопросы применения системного анализа в сфере строительных конструкций.

Казакевич Михаил Исаакович, заслуженный деятель науки и техники Украины, профессор кафедры “Мосты” Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Действительный член Транспортной академии Украины. Член Украинской Ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, динамика и аэродинамика строительных конструкций.

Bannikov Dmytro Olegovych is an Ph.D. (Eng), an Associated Professor of Building Structures Department at Dnipropetrovsk V. Lazaryan National University of Railway Transport. His research interests include design of steel thin-walled structures; numerical methods in the theory of structure designing; questions of using the system analysis in the sphere of building constructions.

Kazakevych Mykhaylo Isaakovych is an Honored worker of science and engineering of Ukraine, professor of “Bridges” Department at Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. He is a member of the Transport academy of Ukraine, a member of the Ukrainian Association of Metal Structures. His scientific interests are an operational reliability of metal structures, dynamics and aerodynamics of structures.