



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2011, ТОМ 17, НОМЕР 2, 97–104

УДК 624.954

(11)-0235-0

ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ БУНКЕРНИХ ЄМНОСТЕЙ ЗА ПАНЕЛЬНОЮ КОНСТРУКТИВНОЮ СХЕМОЮ

Д. О. Банніков

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,
вул. Ак. В. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010.*

E-mail: bdo2010@rambler.ru

Отримана 3 квітня 2011; прийнята 22 квітня 2011.

Анотація. Існуюча традиційна конструктивна схема сталевих бункерних ємностей для сипучих матеріалів відрізняється низкою недоліків, які знижують надійність та довговічність таких споруд. В теперішній час продовжується пошук та розробка більш досконалих та сучасних конструктивних рішень. Одним з них є запропонована автором панельна конструктивна схема на основі використання сталевих гофрованих листів. В публікації наведено співставлення конструкції бункерної ємності, запроєктованої у відповідності до традиційного підходу та у відповідності до панельної схеми. Приводиться порівняння основних конструктивних показників для обох розглянутих варіантів. Показано, що використання панельної конструктивної схеми дозволяє суттєво покращити основні конструктивні показники бункерних ємностей для сипучих матеріалів, отримати більш рівномірну картину напружено-деформованого стану, зменшивши при цьому матеріаломісткість приблизно до 1,5 разів.

Ключові слова: бункер, бункерна ємність, традиційна конструктивна схема, панельна конструктивна схема, сипучий матеріал.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ БУНКЕРНЫХ ЕМКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПАНЕЛЬНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ

Д. О. Банников

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
ул. Ак. В. Лазаряна, 2, г. Днепропетровск, Украина, 49010.*

E-mail: bdo2010@rambler.ru

Получена 3 апреля 2011; принята 22 апреля 2011.

Аннотация. Существующая традиционная конструктивная схема стальных бункерных емкостей для сыпучих материалов отличается рядом недостатков, которые снижают надежность и долговечность таких сооружений. В настоящее время продолжается поиск и разработка более совершенных и современных конструктивных решений. Одним из них является предложенная автором панельная конструктивная схема на основе использования стальных гофрированных листов. В публикации приведено сопоставление конструкции бункерной емкости, запроектированной в соответствии с традиционным подходом и в соответствии с панельной схемой. Приводится сравнение основных конструктивных показателей для обоих рассмотренных вариантов. Показано, что использование панельной конструктивной схемы позволяет существенно улучшить основные конструктивные показатели бункерных емкостей для сыпучих материалов, получить более равномерную картину напряженно-деформированного состояния, снизив при этом материалоемкость приблизительно до 1,5 раз.

Ключевые слова: бункер, бункерная емкость, традиционная конструктивная схема, панельная конструктивная схема, сыпучий материал.

DESIGN OF STEEL BUNKER CAPACITIES ON THE BASE OF THE PANEL CONSTRUCTION DIAGRAM

Bannikov Dmitry

*Dnepropetrovsk National University of Railway Transport,
2, Acad. V. Lazaryan Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010.
E-mail: bdo2010@rambler.ru*

Received 3 April 20011; accepted 22 April 2011.

Abstract. An available traditional construction diagram of bunker capacities for bulk materials has some disadvantages which decrease reliability and longevity of these structures. Nowadays, they are searching and developing more perfect and up-to-date constructive decisions. One of them is the panel construction diagram based on the use of steel corrugated plates suggested by the author. In the article the author compares the design of a bunker capacity worked out in accordance with the traditional approach and in accordance with the panel diagram. There are compared the principal design characteristics of the both variants under study. It is shown that the use of the panel construction diagram makes it possible to considerably improve the basic design characteristics of bunker capacities for bulk materials, to obtain a more uniform picture of the deflected mode, materials consumption being decreased up to 1.5 times.

Keywords: bunker, bunker capacity, traditional construction diagram, panel construction diagram, bulk material.

Формулювання проблеми

В теперішній час проектування сталевих бункерних ємнісних конструкцій для сипучих матеріалів проводиться за традиційною конструктивною схемою на основі використання оребрених плоских сталевих листів. Така конструктивна схема відома досить давно і без принципових змін використовується вже на протязі майже півстоліття [1, 2]. Проте, як показують численні дослідження вітчизняних та закордонних науковців [3–6], звіти проектних організацій [7], а також дослідження автора [8, 9], традиційна конструктивна схема відрізняється схильністю до аварійності, а також має низьку принципових недоліків, таких як висока нерівномірність напружено-деформованого стану, підвищена неекономічність, підвищена деформативність, значна довжина зварних швів, складність монтажу та понижена ремонтпридатність. У сукупності всі ці недоліки суттєво знижують рівень надійності та довговічності бункерних ємнісних споруд, призводячи до підвищених витрат матеріальних та технічних ресурсів при їх експлуатації. Тому існує проблема вдосконалення традиційної конструктивної схеми розглянутих споруд.

Аналіз останніх досліджень

Така ситуація спонукала інженерів, винахідників та науковців працювати над вдосконаленням існуючого конструктивного рішення. Одним з таких напрямків стала розробка легкозбірних конструкцій ємностей із застосуванням гнучких елементів (як наприклад [10, 11]). Однак, як констатують самі автори розробок, такі конструкції виявляються непридатними для промислових підприємств з важкими сипучими матеріалами та агресивними середовищами, на яких переважно використовуються бункерні ємності.

Іншим напрямком є покращення роботи окремих вузлів сталевих ємнісних конструкцій (як наприклад, [12, 13]). При цьому основні недоліки, притаманні традиційному конструктивному рішенню сталевих бункерних ємностей в цілому, залишаються практично без змін.

Третій напрямок досліджень пов'язаний із обґрунтуванням вибору орієнтації розташування ребер жорсткості. Основні теоретичні дослідження належать Х. Ягофарову [5]. Досить цікавими є пропозиції ряду інженерів проектних організацій (ВАТ «Дніпропроектстальконструкція», ДП «Укрдіпромез», ПП «Ленпроект-

стальконструкція») щодо використання ступінчастої схеми розташування ребер жорсткості або встановлення замкнених профілів. Проте, як показують порівняльні дослідження автора, виконані з використанням комп'ютерного моделювання [9, 14, 15], всі такі підходи лише частково покращують ситуацію, ліквідуючи тільки деякі із вказаних вище недоліків конструктивної схеми.

З цього випливає необхідність більш радикальних розробок, які б дозволили суттєво покращити конструктивно-технологічні показники бункерних ємнісних конструкцій. Тому автором розроблено та запропоновано нову панельну конструктивну схему [16, 17], основні принципи рішення якої було запатентовано [18, 19]. Вона має багат шарову складну конструкцію та передбачає використання сталевих гофрованих листів. Ефективність використання такої схеми обумовлена не тільки самими конструктивними рішеннями, а й комплексним підходом до проектування сталевих бункерних ємностей в цілому. Сутність та зміст цього підходу викладений в роботах автора [16, 17, 20, 21], на основі яких була представлена та захищена дисертаційна робота [16].

Основним питанням при цьому є оцінка ефективності запропонованої панельної конструктивної схеми у порівнянні з існуючою традиційною реберною конструктивною схемою. Проведення подібного співставлення і є **метою даної публікації**.

Основний матеріал

Для проведення співставлення в якості базового конструктивного варіанту бункерної ємності, спроектованого відповідно до рекомендацій традиційного підходу, була використана ємність для зберігання вугілля за прикладом в роботі [1].

Вона має наступні геометричні параметри: розміри в плані 6×6 м, висота вертикальної частини 2 м, висота похилої нижньої випускної частини 4,6 м, кут нахилу стінок її бокових граней – 60° . Загальний об'єм ємності – 128 м^3 . В конструктивному відношенні ємність являє собою двоступінчасту конструкцію, нижня частина якої складається зі сталевий обшивки товщиною 6 мм, підкріпленою чотирма горизон-

тально розташованими ребрами жорсткості з кутників $140 \times 140 \times 9$ мм. Верхня частина виконана у вигляді бункерних балок зі зварних сталевих листів. Загальна маса ємності становить 9 020 кг. Загальна довжина зварних швів, які прикріплюють ребра жорсткості та з'єднують сусідні стінки між собою, становить 93,1 м (при виконанні односторонніх швів).

Для проведення досліджень використовувався метод комп'ютерного моделювання на основі одного з сучасних чисельних методів будівельної механіки – методу скінчених елементів. Його практична реалізація здійснювалась на базі проектно-обчислювального комплексу SCAD for Windows [22]. Створення моделей та їх дискретизація виконувались у відповідності до рекомендацій попередніх досліджень [9, 14]. Тиск від сипучого матеріалу передбачався заданим за традиційним підходом – за гідростатичним законом. Приймалась до уваги також і власна вага конструкції. Розрахунки виконувались у геометрично нелінійній постановці, яка відповідає дійсній роботі конструкцій під навантаженням.

Картини напружено-деформованого стану (НДС) даної ємності неодноразово наводились та аналізувались в цих же роботах автора. Вони представлені на рис. 1 і 2. Більш темним ділянкам відповідає більш високий рівень напружень. Окремо аналізувалась стійкість елементів ємності та спектр її власних коливань. Основні результати наведені в порівняльній табл. 1.

Даний конструктивний варіант був перепроектований у відповідності до рекомендацій розробленої автором теоретичної концепції формоутворення [16, 17, 20, 21].

При цьому розміри випускного отвору були залишені такими, як і в попередньому варіанті – 60×60 см. За результатами визначення оптимальної зовнішньої форми кут нахилу бокових граней був відкоригований і склав $\alpha = 62^\circ$, що є дещо більшим, ніж у базовому варіанті. Розраховані оптимальні висоти нижньої та верхньої частин ємності склали, відповідно, 5,70 і 0,85 м. Розміри в плані склали $6,4 \times 6,4$ м. Тиск від сипучого матеріалу приймався для режиму вивантаження сипучого, в якому його максимальне значення в 1,67 рази перевищувало значення тиску, визначене за традиційним підходом.

Верхня частина ємності була залишена в конструктивному відношенні такою самою, як і в базовому варіанті, – у вигляді бункерних балок, оскільки вона має незначну висоту. Однак нижню похилу частину було переконструйовано у відповідності до панельної конструктивної схеми із використанням гофрованих листів. Внутрішній лист був прийнятий товщиною 4 мм, а зовнішній – гофр із розмірами $700 \times 140 \times 3$ мм. Це дало збільшення маси порівняно з базовим варіантом лише на 1,5 %.

Картини НДС даного варіанту ємності представлені на рис 3 і 4, а основні отримані показники наведені в порівняльній табл. 1. В якості матеріалу конструкції в обох випадках прийнято сталь ВСт3пс6 з розрахунковим опором 240 МПа.

Аналізуючи отримані результати, слід зауважити, що питання визначення основних техніко-економічних показників, які мають використовуватись при порівняльній оцінці ефективності різних конструктивних рішень для різноманітних видів будівельних конструкцій,

достатньо докладно розроблені Я. М. Ліхтарніковим [23]. Проте ринкові економічні умови, в яких зараз перебувають більшість країн світу, включаючи і Україну, не дають можливості застосувати такі підходи. Адже вартість проектування, виготовлення та експлуатації будівельних конструкцій в теперішній час формується стихійно, з урахуванням швидкозмінних стрибків цін на різні види товарів та послуг на світових ринках. Тому автору здається цілком логічним не використовувати будь-які кошторисні показники при оцінці ефективності різних конструктивних рішень, а застосовувати більш традиційні і об'єктивні, на його думку, конструктивні показники.

Сучасні дослідження будівельних конструкцій так чи інакше спрямовуються на використання певних техніко-економічних показників. Однак при цьому необхідно розробляти нові сучасні методики оцінки, придатні для ринкових економічних умов. Так, в роботі [24] наводиться розроблена авторами методика техніко-економічного аналізу для варіантного про-

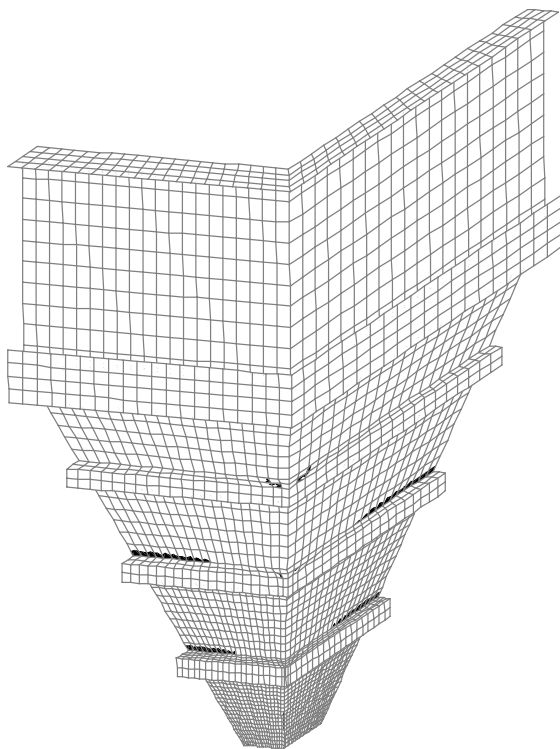


Рисунок 1. Напружений стан базового варіанту ємності.

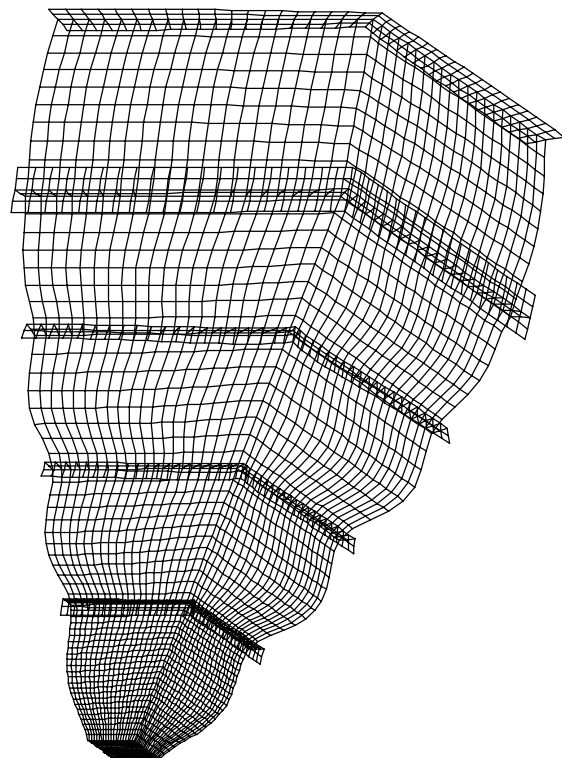


Рисунок 2. Деформований стан базового варіанту ємності.

ектування мембранних покриттів. Вона включає до свого складу ряд технологічних параметрів, необхідних при оцінці трудомісткості виконаних робіт. Проте, на жаль, для ємнісних будівельних конструкцій подібні підходи відсутні. Тому здається цілком логічним обмежитися на даному етапі порівнянням лише показників напружено-деформованого стану ємнісних споруд (величин напружень та деформацій, а також їх якісного розподілу) при умові приблизно рівної маси різних конструктивних рішень. Якщо ж маси виявляються різними, то це додатково має оговорюватись.

Ще одним важливим кількісним показником по відношенню до розглядуваного типу будівельних конструкцій є довжина зварних з'єднань, оскільки саме вони в багатьох випадках виявляються найбільш слабким місцем таких споруд.

Основні з подібних показників відображені в табл. 1.

З аналізу даних табл. 1 видно, що НДС нового конструктивного варіанту ємності є

більш рівномірним, ніж для базового варіанту. При цьому рівень напружень виявляється приблизно в 1,5 нижчим, а деформацій – майже в 3 рази нижчим. Підвищується загальна жорсткість конструкцій, що відмічено у збільшенні власних частот коливань. Проте коефіцієнт запасу стійкості дещо зменшується. Конструктивно довжина зварних з'єднань зменшилась майже вдвічі. Маса та об'єм споруди залишились практично без змін.

Висновок

Запропонований до проектування сталевих ємнісних конструкцій комплексний підхід з використанням панельної конструктивної схеми дозволяє покращити основні конструктивні показники бункерних ємностей, підвищити рівень їх надійності та, відповідно, довговічності. При цьому матеріаломісткість споруди може бути зменшена за теретичними підрахунками на величину до 1,5 разів.

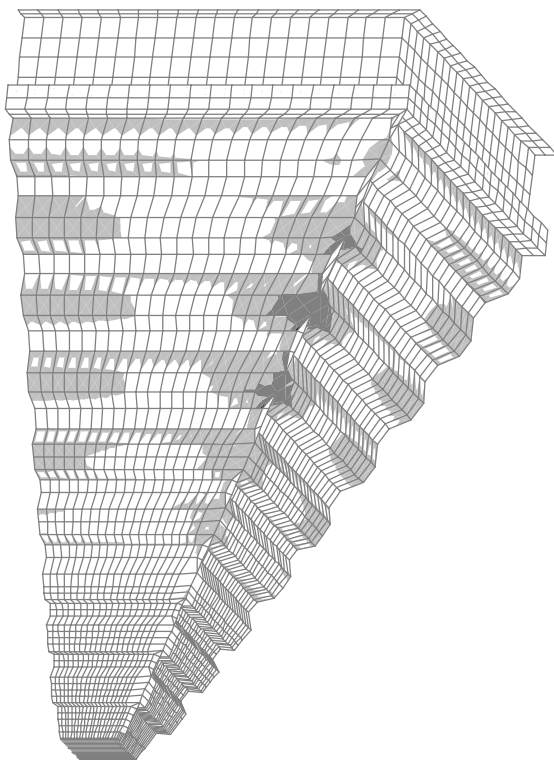


Рисунок 3. Напружений стан нового варіанту ємності.

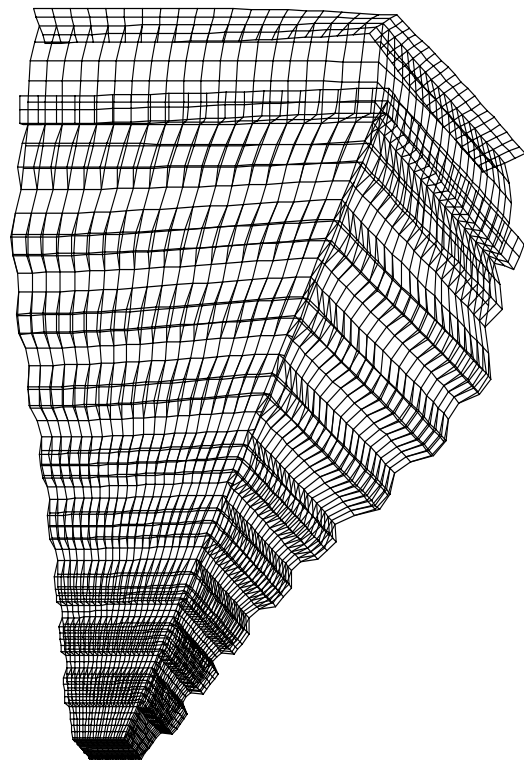


Рисунок 4. Деформований стан нового варіанту ємності.

Таблиця 1. Співставлення показників конструктивних варіантів

№ п/п	Показник, одиниці виміру	Базовий варіант	Новий варіант
1.	Екв. напруження в ребрі прольоту, МПа	205	153
2.	Екв. напруження в ребрі кутової зони, МПа	360	230
3.	Екв. напруження в стінці прольоту, МПа	105	-
4.	Екв. напруження в стінці кутової зони, МПа	145	-
5.	Прогин стінки, мм	32	12
6.	Перша власна частота коливань, Гц	10,93	18,32
7.	Друга власна частота коливань, Гц	11,45	22,06
8.	Коефіцієнт запасу стійкості	3,55	2,51
9.	Довжина зварних швів, м	93,1	58,7
10.	Маса, кг	9020	9130
11.	Об'єм, м ³	128	137

Література

1. Руководство по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров / Ленпромстройпроект. – М. : Стройиздат, 1983. – 200 с.
2. Лессиг, Е. И. Листовые металлические конструкции / Е. И. Лессиг, А. Ф. Лилеев, А. Г. Соколов. – М. : Стройиздат, 1970. – 488 с.
3. Аугустин, Я. Аварии стальных конструкций / Я. Аугустин, Е. Шледзевский ; пер. с польского. – М. : Стройиздат, 1978. – 183 с.
4. Беяев, Б. И. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения / Б. И. Беяев, В. С. Корниенко. – М. : Изд-во лит-ры по строительству, 1968. – 208 с.
5. Ягофаров, Х. Основы теории проектирования листовых металлических конструкций. Пирамидально-призматический бункер / Х. Ягофаров, Н. Н. Собакин. – Екатеринбург : УрГУПС, 2006. – 234 с.
6. Wichtowski, B. Service life of steel coke bin – non-destructive testing (NDT) / B. Wichtowski, W. Nazarko // Proc. of 6th Int. Conf. «Modern Building Materials, Structures and Techniques». – Vilnius, 1999. – P. 155–159.
7. 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. – 226 с.

References

1. Design directive for reinforced concrete, steel and combined bunkers. Moscow: Stroizdat, 1983. 200 p. (in Russian)
2. Lessig, E. I.; Lileev, A. F.; Sokolov, A. G. Sheet metal structures. Moscow: Stroizdat, 1970. 488 p. (in Russian)
3. Augustin, Ya.; Shledzevskiy, E. Steel structure failures. Moscow: Stroizdat, 1978. 183 p. (in Russian)
4. Belyaev, B. I.; Korniyenko, V. S. Reasons of steel structure failures and the ways of their elimination. Moscow: Izd-vo lit-ry po stroitelstvu, 1968. 208 p. (in Russian)
5. Yagofarov, Kh.; Sobakin, N. N. Fundamentals of the theory of designing sheet metal structures. Pyramid-prismatic bunker. Ekaterinburg : UrGUPS, 2006. 234 p. (in Russian)
6. Wichtowski, B.; Nazarko, W. Service life of steel coke bin – non-destructive testing (NDT). *Proc. of 6th Int. Conf. «Modern Building Materials, Structures and Techniques»*. Vilnius, 1999, p. 155–159.
7. Krivorozhsky State Mining and Smelting Complex «Krivorozhstal'». Blast furnace No. 9. Bin trestle. Examination and evaluation of the technical state of the metal structures. Research Statement in 3 vol. Dnepropetrovsk, 1997. 226 p. (in Russian)
8. Bannikov, D. O.; Kazakevich, M. I. The main reasons of rigid steel bunker and silo bunker failures. *Metal Constructions*, 2002, Vol. 5, No. 1, p. 59–66. (in Russian)

8. Банников, Д. О. Основные причины аварий жестких стальных бункеров и низких силосов / Д. О. Банников, М. И. Казакевич // Металеві конструкції. – 2002. – Т. 5, № 1. – С. 59–66.
9. Банников, Д. О. Исследование прочности пирамидально-призматических бункеров : дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.01 / Д. О. Банников ; Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта. – Днепропетровск, 2000. – 140 с.
10. Кузнецов, И. М. Пространственная работа гибкого металлического силоса с наружным стержневым каркасом : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук : спец. 05.23.01. / И. М. Кузнецов. – М., 2000. – 20 с.
11. Мерсиуз, К. Использование гибких силосов для сыпучих продуктов / К. Мерсиуз, А. Дрител ; Пер. с нем. статьи Mersiows Ch., Drittell A. // Журн. Lebensmittelindustrie, 1979. – Vol. 26, № 8. – Р. 349–351.
12. Варламов, А. В. Долговечность узловых соединений жестких стальных бункеров большой емкости : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук : спец. 05.23.01. / А. В. Варламов. – М., 1993. – 14 с.
13. Узловое соединение бункерных балок с колонной : а. с. 1670068 СССР : МКИЗ Е 04 Н 7/30 / Т. А. Шмелева, М. И. Дьяков (СССР). – № 4648499/29-33 ; заявл. 06.01.89 ; опубл. 15.08.91, Бюл. № 30.
14. Банников, Д. О. Расчет пирамидально-призматических бункеров методом конечных элементов / Д. О. Банников, М. И. Казакевич. – Днепропетровск : Наука и образование, 2003. – 150 с.
15. Банников, Д. О. Сопоставительный анализ конструктивных схем стальных бункерных емкостей / Д. О. Банников, М. И. Казакевич // Металеві конструкції. – 2007. – Том 13, № 3. – С. 163–172.
16. Банников, Д. О. Теорія формоутворення вертикальних сталевих ємнісних конструкцій для сипучих матеріалів : дис. ... доктора техн. наук : 05.23.01 / Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Днепропетровск, 2010. – 332 с.
17. Банников, Д. О. Вертикальные жесткие стальные емкости: современные концепции формообразования / Д. О. Банников. – Днепропетровск : Монолит, 2009. – 186 с.
18. Металева ємність для сипучих матеріалів із окремих панелей : Декл. пат. 69817 А Україна : МПК7 Е 04 Н 7/30 / Банніков Д. О., Казакевич М. І.; власник Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп ім. акад. В. Лазаряна. – № 200331211224 ; заявл. 09.12.03 ; опубл. 15.09.04, Бюл. № 9.
19. Вузол з'єднання стінових панелей металевих ємностей для сипучих матеріалів : Декл. пат. 70576 А Україна : МПК7 Е 04 Н 7/30 / Банніков Д. О., Казакевич М. І.; власник Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп ім. акад. В. Лазаряна. – № 20031211267 ; заявл. 09.12.03 ; опубл. 15.10.04, Бюл. № 10.
9. Bannikov, D. O. Investigation of pyramid-prismatic bunker strength: Candidate's thesis (Eng.): specialty 05.23.01. Dnepropetrovsk, 2000. 140 p. (in Russian)
10. Kuznetsov, I. M. Spatial work of a flexible metal silo bunker with an external core frame: author's abstract of the candidate's thesis (Eng.): specialty 05.23.01. Moscow, 2000. 20 p. (in Russian)
11. Mersiows, Ch.; Drittell A. The use of flexible silo bunkers for bulk materials. *Lebensmittelindustrie*, 1979, Vol. 26, No. 8, p. 349–351. (in Russian)
12. Varlamov, A. V. Durability of junctions of rigid steel bunkers of large capacity: author's abstract of the candidate's thesis (Eng.): specialty 05.23.01. Moscow, 1993. 14 p. (in Russian)
13. Author's certificate 1670068 of the USSR, IIC3 E 04 H 7/30. Junction connection of bunker beams and column / T. A. Shmeleva, M. I. Dyakov (USSR). No. 4648499/29-33; appl. 06.01.89; publ. 15.08.91, Bull. No. 30. (in Russian)
14. Bannikov, D. O.; Kazakevich, M. I. Design of pyramid-prismatic bunkers by the method of finite elements. Dnepropetrovsk: Nauka i obrazovanie, 2003. 150 p. (in Russian)
15. Bannikov, D. O.; Kazakevich, M. I. Comparative analysis of construction diagrams of steel benker capacities. *Metal Constructions*, 2007, Vol. 13, No. 3, p. 163–172. (in Russian)
16. Bannikov, D. O. Theory of forming vertical steel capacitive structures for bulk materials: Doctoral thesis (Eng.): specialty 05.23.01. Dnepropetrovsk, 2010. 332 p. (in Ukrainian)
17. Bannikov, D. O. Vertical rigid steel capacities: the up-t-date concepts of forming. Dnepropetrovsk: Monolit, 2009. 186 p. (in Russian)
18. Patent 69817 A Ukraine, IPC7 E 04 H 7/30. Metal capacity for bulk materials of separate panels / Bannikov D. O., Kazakevich M. I.; Dnepropetrovsk National Acad. V. Lazaryan University of Railway Transport. No. 200331211224; appl. 09.12.03; publ. 15.09.04, Bull. No. 9. (in Ukrainian)
19. Patent 70576 A Ukraine, IPC7 E 04 H 7/30. A joint of connection of wall panels of metal capacities for bulk materials / Bannikov D. O., Kazakevich M. I.; Dnepropetrovsk National Acad. V. Lazaryan University of Railway Transport. No. 20031211267; appl. 09.12.03; publ. 15.10.04, Bull. No. 10. (in Ukrainian)
20. Bannikov, D. O. A bulk material in a capacitive structure. Dnepropetrovsk: Monolit, 2009. 172 p. (in Ukrainian)
21. Bannikov, D. O. Guidance on designing vertical steel capacitive structures for bulk materials. Dnepropetrovsk: Novaia ideologiya, 2009. 56 p. (in Russian)
22. Karpilovsky, V. S.; Kriksunov, E. Z.; Perelmuter, A. V. et al. SCAD for user. Kyiv: Kompas, 2000. 332 p. (in Russian)
23. Likhtarnikov, Ya. M. Metal structures. Technique of the technical and economic analysis in design.

20. Банніков, Д. О. Сипучий матеріал в ємнісній конструкції / Д. О. Банніков. – Дніпропетровськ : Моноліт, 2009. – 172 с.
21. Банніков, Д. О. Руководство по проектированию вертикальных стальных емкостных конструкций для сыпучих материалов / Д. О. Банніков. – Днепропетровск : Новая идеология, 2009. – 56 с.
22. SCAD для пользователя / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер [и др.]. – К. : ВВП Компас, 2000. – 332 с.
23. Лихтарников, Я. М. Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании / Я. М. Лихтарников. – М. : Стройиздат, 1968. – 264 с.
24. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов / Е. В. Горохов, В. Ф. Муцанов, Р. И. Кинаш [и др.]. – [2-е изд., испр. и доп.]. – Макеевка : ДонНАСА, 2008. – 404 с.
24. Gorokhov, Ye. V.; Mushchanov, V. F.; Kinash, R. I. et al. Structures of stationary coverage over the stadium stands. 2nd edition, revised and supplemented. Makiivka: DonNACEA, 2008. 404 p. (in Russian)

Банніков Дмитро Олегович – д.т.н., завідувач кафедри будівельних конструкцій Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Наукові інтереси: проектування тонкостінних просторових конструкцій; чисельні методи в проектуванні будівельних і машинобудівних конструкцій; системний аналіз і його вживання в теорії будівельної механіки.

Банников Дмитрий Олегович – д.т.н., заведующий кафедры строительных конструкций Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Научные интересы: проектирование тонкостенных пространственных конструкций; численные методы в проектировании строительных и машиностроительных конструкций; системный анализ и его применение в теории строительной механики.

Bannikov Dmitry – Dr.Sc. (eng.), Head of the Department «Building Structures» of Dnepropetrovsk National Acad. V. Lazaryan University of Railway Transport. Scientific interests: design of thin-wall spatial structures. Numerical methods in designing building and engineering structures. System analysis and its use in the theory of structural mechanics.