

**ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ СТАЛЕВИХ
СПІРАЛЬНО-ФАЛЬЦЕВИХ СИЛОСІВ**

THE APPLICATION FIELD OF STEEL SPIRAL-FOLD SILOS

Пічугін С.Ф., д.т.н., професор, ORCID 0000-0001-8505-2130, Оксененко К.О., доктор філософії, інженер-конструктор, ORCID 0000-0002-5171-3583 (Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», ТОВ «Архітектурно-інженерний центр»)

Pichugin S.F., DSc, Professor, ORCID 0000-0001-8505-2130 Oksenenko K.O., Ph.D., structural engineer, ORCID 0000-0002-5171-3583 (National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», LLC "Architectural Engineering Center")

Проаналізовано та описано сферу застосування спірально-фальцевих конструкцій: силоси, для різних видів сипучих матеріалів; резервуари для зберігання різних рідин, метантенки в складі біоенергетичних установок (закордонний та вітчизняний досвід). Зібрані технічні характеристики ємностей в залежності від призначення.

The design of steel spiral-fold silos is considered. The area of application of spiral-fold structures is analyzed and described: silos for various types of bulk materials; tanks for storing various liquids, digesters as part of bioenergy plants. Application of spiral-fold silos (foreign and domestic experience) is analyzed. The technical characteristics of capacities depending on their functional purpose are collected. In addition to the traditional use of spiral-fold silos, examples of special applications of spiral-fold structures in Ukraine are considered. In the conditions of martial law, spiral-fold structures have proved to be perspective for the arrangement of mobile modular tent-type warehouses for temporary storage of grain crops. The paper describes a spiral-fold construction of an underground metal shelter for placing command posts and shelters for personnel of units performing tasks in the combat zone in the field.

The widespread use of metal spiral-fold structures, which continues to expand, confirms the uniqueness of these structures and the effectiveness of the inventor's company.

Based on the results of the analysis, a table was created with general data on the parameters of spiral-fold silos used in various industries. According to the table, the structures are divided into groups depending on the stored material, the data about the features of the stored material that affect to the structure and the load applied to the structure are given.

Ключові слова:

спірально-фальцевий силос, сипучий матеріал, метантенк, постметантенк, бункер, spiral-fold silo, bulk material, digester, post-digester, bunker

Вступ. Металеві ємнісні конструкції для зберігання різних видів сипучих матеріалів є одними з найбільш розповсюджених типів будівельних конструкцій. Це підтверджує їх конструктивна різноманітність, що включає суцільні зварні, збірні та спіральні силоси [1]. Одним з найбільш прогресивних типів тонкостінних просторових конструкцій є високо індустріальні та економічні металеві силоси спірально-фальцевого типу (спірально-навивного типу).

У 1968 році німецький вчений Ксавер Ліпп використав спеціальне обладнання для обробки листового металу і застосував його для зведення спірально-навивних силосів. У 1969 році в Німеччині був побудований перший такий силос. І з кінця 60-х років в Європі почали використовувати силоси з тонкими стінками. Протягом десяти років вивчення і дослідження на практиці ця технологія успішно зарекомендувала себе, і з початку 70-х років почалося великомасштабне виробництво оцинкованих сталевих силосів [2].

Аналіз останніх досліджень. Велика кількість вітчизняних та зарубіжних науковців займаються дослідженнями металевих силосів для сипучих матеріалів. Дж.Р. МакКалмонт один з перших класифікував силоси та розглянув їх особливості [3]. Детальний огляд застосування силосів у складі біоенергетичних комплексах проведено в роботах [4-5]. Кількість дослідницьких робіт у цій галузі невідомо зростає з кожним роком.

Постановка мети і задач досліджень. Метою даної статті є узагальнення та аналіз галузі застосування металевих спірально-фальцевих конструкцій.

Результати досліджень. Конструкції спірально-фальцевого типу є універсальними та економічними, вони можуть ефективно застосовуватись як силоси для різних видів сипучих матеріалів, резервуари для зберігання рідин, метантенки в складі біоенергетичних установок тощо. Нижче наводиться аналітичний огляд галузі фактичного і можливого застосування цих інноваційних конструкцій із вказанням їхніх технічних характеристик, типу застосованого металу та основного обладнання.

Всі нижче перераховані види силосних ємностей та їх аксесуари можуть бути виготовлені з таких типів металів: нержавіюча сталь VERINOX, дуплексний матеріал з оцинкованої сталеві стрічки зовні та з нержавіючої сталі всередині, оцинкована/чорна сталь. У всіх типах силосних ємностей можливе встановлення прохідних отворів будь-якого розміру і форми, навіть у разі подальшої модернізації. Для технічного оснащення ємностей доступний широкий асортимент аксесуарів: ізоляція даху, дно, насосні системи, технологія змішування, оглядові вікна, сходи, драбини, платформи, з'єднувальні деталі, люки та інше обладнання для забезпечення технологічних процесів.

Силоси для сипучих матеріалів. Спірально-фальцеві силоси (рис. 1) придатні для зберігання різних видів сипучих матеріалів від зернових культур до тріски і цементу, вони використовуються як у сільському господарстві, так і у промисловості.

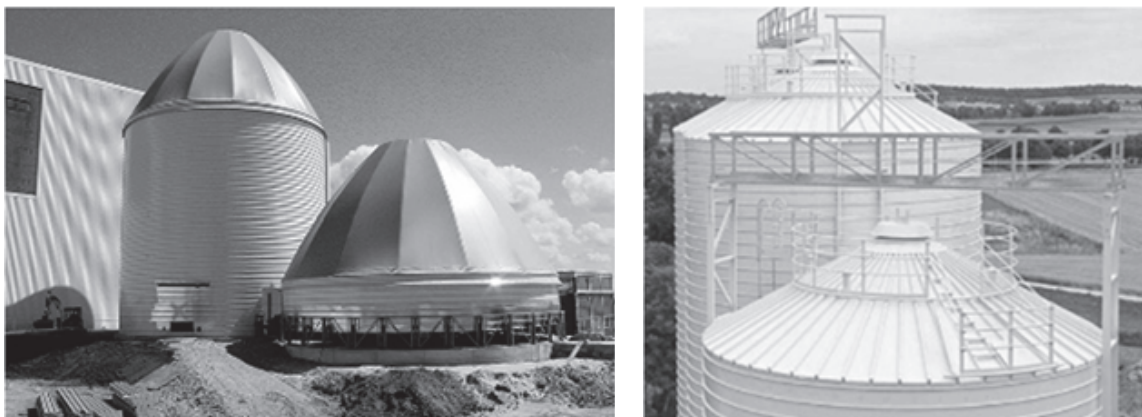


Рис. 1. Спірально-фальцеві силоси для зберігання зерна

Загальні технічні характеристики силосів для сипучих матеріалів: діаметр від 3 до 40 м; висота від 2 до 40 м; об'єм від 100 до 15,000 м³; тип металу – всі типи перераховані вище; обладнання – за запитом технологічного процесу.

Силоси, що використовуються для виробництва кормів для тварин. Силос (рис. 2) підходить для оптимального цілорічного зберігання (силосування) цукрових буряків та інших коренеплодів, які дають високий вихід біогазу з гектара оброблюваної землі. Після подрібнення матеріал перекачується безпосередньо в газонепроникний силос, де зберігається високоякісний силос з цукрових буряків.



Рис. 2. Силос для зберігання буряків

Технічні характеристики силосів для зберігання кормів: об'єм від 100 до 10,000 м³; тип металу – всі типи перераховані вище; обладнання – за запитом технологічного процесу.

Спірально-фальцеві ємності для зберігання рідин. Різні галузі промисловості потребують професійних рішень для будівництва установок і

ємності для зберігання і обробки рідин (рис. 3), а також гнучкості в плані розмірів, вибору матеріалів і обладнання. При будівництві ємностей для зберігання рідин, вибір найкращого матеріалу, який буде відповідати всім технічним характеристикам та водночас бути економічно вигідним, є важливим фактором якості. Наприклад, муніципальні/промислові стічні води і шлами або певні технологічні, проміжні і кінцеві продукти хімічної, фармацевтичної та харчової промисловості ставлять високі вимоги до матеріалу ємностей. Система подвійного фальцювання LIPP має можливість використовувати різноманітні матеріали для будівництва ємностей, починаючи від оцинкованої сталі, комбінованого матеріалу Verinox і закінчуючи високолегованою нержавіючою сталлю.

Типи спірально-фальцевих ємностей: для стічної, технічної, протипожежної, дощової води; буферні, змішувальні та компенсаційні; накопичувальні мулові; для фільтрування, активації, кінцевого відстоювання тощо.



Рис. 3. Ємності для зберігання рідин

Технічні характеристики спірально-фальцевих ємностей: діаметр від 3 до 50 м; висота від 2 до 35 м; об'єм від 40 до 10.000 м³; рівень рН від 3 до 13, далі за запитом; тип металу – будь-який вказаний вище; обладнання – за запитом технологічного процесу.

Спірально-фальцеві метантенки. Метантенки (ферментери або ємності для зброджування) – герметичні ємності, що забезпечують зброджування осаdів без доступу кисню повітря при підтримці оптимальної температури зброджуваного осаdу. На відміну від двоярусних відстійників і освітлювачів-перегнивачів, у метантенках здійснюють підігрівання осаdів до 33 чи 53 °С, їх інтенсивне перемішування та утилізацію утворюваного біогазу [5,6].

Компанією LIPP створено чотири різних типів метантенків (рис. 4), кожен з яких підходить для різних сфер застосування.

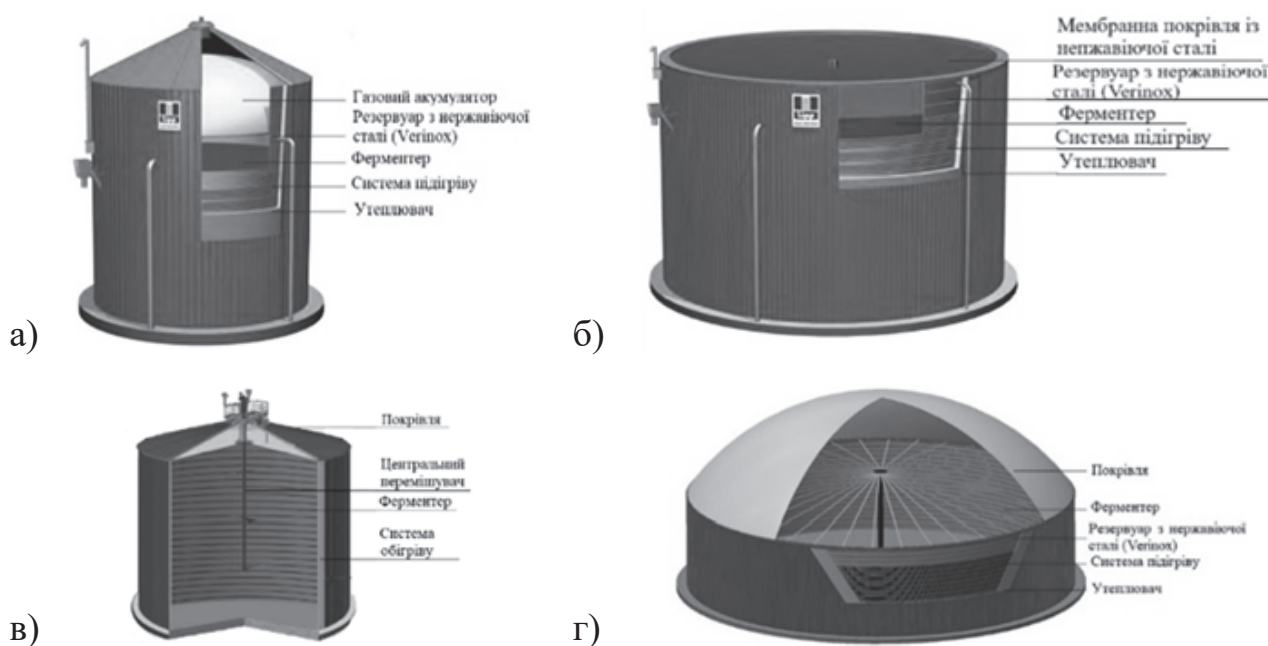


Рис.4. Спірално-фальцеві метантенки: а) модульний реактор KomBio із вбудованим газовим акумулятором; б) універсальний метантенк з мембранним дахом; в) метантенк UniCentralmix; г) метантенк EcoDigester.

1. Модульний реактор KomBio із вбудованим газовим акумулятором (рис. 4, а). Технічні характеристики: об'єм від 100 м³ до 3000 м³; робочий тиск до 200 Па. Реактор поєднує сучасний промисловий газовий акумулятор і високопродуктивний метантенк. Стаціонарна конструкція даху, що може бути утеплена, забезпечує захист мембрани газового акумулятора від атмосферних впливів і, отже, значно продовжує термін служби. Крім того, обігрів реактора KomBio знаходиться зовні ємності з нержавіючої сталі (Verinox), що забезпечує хорошу тепловіддачу по всій висоті ємності. Ізоляція до 200 мм дозволяє використовувати установку як у холодних, так і в гарячих регіонах по всьому світу. Додатковою особливістю KomBio Reactor є запатентована технологія перемішувача, завдяки якій метантенк підходить для широкого спектру субстратів та забезпечує рівномірне перемішування ємності.

2. Універсальний метантенк з мембранним дахом (рис. 4, б). Технічні характеристики: об'єм від 200 м³ до 5000 м³; робочий тиск до 700 Па. Універсальний метантенк призначений для використання на великих промислових та муніципальних підприємствах. Корпус виконаний із нержавіючої сталі (Verinox), що у поєднанні зі звареним мембранним дахом із нержавіючої сталі забезпечує найвищу якість внутрішньої частини ємності. Конструкція оснащена технологією зовнішнього нагріву, який завдяки гарній теплопровідності сталі забезпечує рівномірне нагрівання по всій висоті ємності. Ефективна ізоляція стін та даху ємності зводить до мінімуму втрати тепла у процесі ферментації.

3. UniCentralmix – метантенк з зовнішнім нагрівом та центральним перемішувачем (рис. 4, в). Технічні характеристики: об'єм від 100 м³ до 7000

м³; робочий тиск до 3000 Па. Центральне перемішування знижує потребу в енергії та забезпечує рівномірне перемішування субстрату. Гладкі внутрішні стінки також зменшують утворення відкладень у метантенку.

4. Метантенк EcoDigester (рис. 4, г). Технічні характеристики: об'єм від 100 м³ до 10 000 м³; робочий тиск до 700 Па. Використовується для сільськогосподарського застосування, гнучка конструкція дозволяє працювати з різними субстратами та додатками. Метантенк може бути виконаний з газовим акумулятором або без нього в залежності від потреб виробництва. Тип конструкції покрівлі залежить від вимог виробничого процесу.

Пост-метантенки. Для забезпечення ефективної утилізації залишкових газів та підвищення ефективності біогазової установки LIPP пропонує три гнучкі пост-метантенки: універсальний, KomBio, Eco.

Універсальний пост-метантенк (з об'ємом камери від 200 м³ до 5 000 м³) поставляється з високоякісною діафрагмовою кришкою з нержавіючої сталі і призначений для використання із зовнішнім газовим акумулятором. Він особливо підходить для збору залишкових газів. KomBio (з об'ємом камери метантенка до 3500 м³) являє собою резервуар з вбудованим газовим акумулятором. Запатентований пост-метантенк є гнучким до субстрату, а також захищає газовий накопичувач від вітру, погодних умов та УФ-випромінювання. Третій варіант – пост-метантенк Eco (з об'ємом камери зброджування від 100 м³ до 10 000 м³), який доступний з газовим накопичувачем або без нього, а також з різними варіантами конструкцій даху (рис. 5).



Рис. 5. Конструкції даху пост-метантенків

Технічні характеристики пост-метантенків: об'єм від 200 м³ до 5 000 м³, більші розміри за запитом; робочий тиск від 0 до 700 Па, далі за запитом; тип металу – всі типи перераховані вище; обладнання – встановлення всіх одиниць, перерахованих вище та можливе додаткове оснащення в залежності від технологічних потреб.

Спирально-фальцеві газові накопичувачі. У технологічних процесах виробництво газу не є безперервним. Саме тому для утилізації газу (наприклад, на теплоелектростанції) потрібен акумулятор (рис. 6), щоб компенсувати коливання тиску під час видобутку газу і заповнити проміжки часу, необхідні для ремонту та обслуговування установки.



Рис. 6. Спірально-фальцеві газові накопичувачі

Компанія LIPP розробила систему для безнапірного (до макс. 500 Па) зберігання сухого газу, яка була використана в більш ніж 300 проектах по всьому світу за останні 30 років і більше. Доступні сховища об'ємом від 30 м³ до 5000 м³ в залежності від продуктивності в кожному конкретному випадку.

Газовий накопичувач складається з двох частин: балону для зберігання газу у формі кулі; сталевій ємності для захисту балону від механічних пошкоджень та впливу атмосферних явищ.

Ємність виготовлена за технологією LIPP Double-Seam System. Балон для зберігання газу виготовлений з поліефірної тканини, спеціально ламінованої ПВХ з обох боків для покращення газостійкості та захисту від ультрафіолетового випромінювання. Він підвішується в контейнері за допомогою опорного кільця. Тиск газу підвищується за необхідності між газовим накопичувачем і місцем використання за допомогою компресорів.

Технічні характеристики спірально-фальцевих газових накопичувачів: об'єм від 30 м³ до 5 000 м³; матеріал, що зберігається: каналізаційний газ, звалищний газ, біогаз; металева ємність розрахована на зберігання без тиску, контейнер для зберігання газу від 0 до 500 Па; матеріал: ємність – оцинкована сталь; дах – нержавіюча сталь; балон для зберігання газу – поліефірні тканини з ПВХ; обладнання – в залежності від потреб накопичувача.

Спірально-фальцеві баки-акумулятори для проміжного зберігання відновлюваної енергії. Теплоаккумулюючий резервуар (рис. 7) – це індивідуальне рішення для проміжного зберігання теплоти відновлюваних джерел енергії з ефективним об'ємом від 200 м³ до 2 000 м³. Доцільне акумулювання тепла є необхідною умовою для ефективного використання тепла від біогазових установок, когенераційних установок на біомасі, сонячних електростанцій або інших джерел тепла. Буферний накопичувач з гнучкою ємністю є ідеальним рішенням для цього.

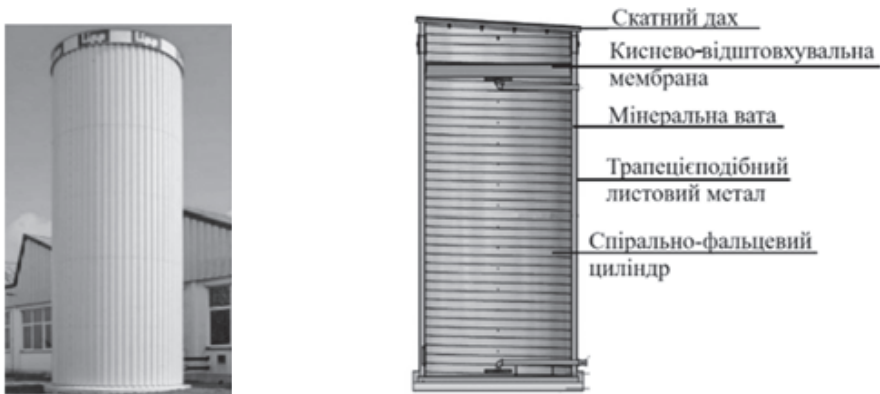


Рис. 7. Спірально-фальцевий теплоаккумуляуючий бак

Стінки ємності – спірально-фальцевий циліндр, дно – мембрана, встановлена на підконструкцію та закріплена на бетонному фундаменті, дах – скатний, сендвіч-панелі на сталевому каркасі.

Технічні характеристики: об'єм від 200 м³ до 2000 м³; висота до 20 м; матеріал, що зберігається – вода для опалення; робоча температура до 95 °С; утеплення – мінеральна вата 200-400мм; обшивка – трапецієподібний листовий метал.

Особливе застосування спірально-фальцевих конструкцій.

1. Модульний склад шатрового типу для тимчасового зберігання зернових культур.

Склад являє собою циліндричну ємність з плоским мембранним днищем та покриттям шатрового типу [7,8] (рис. 8).

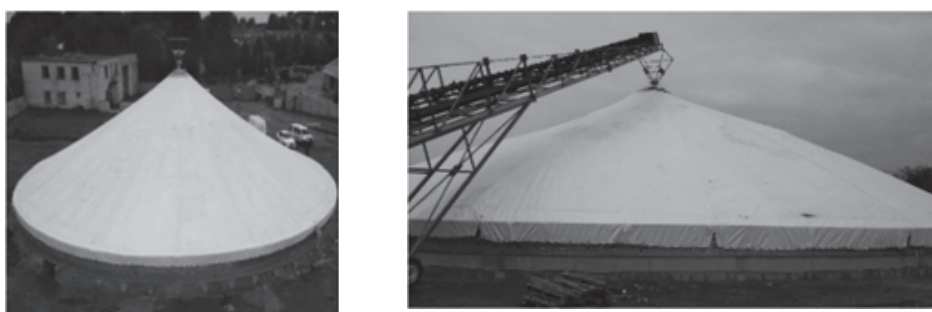


Рис. 8. Модульний склад шатрового типу для тимчасового зберігання зернових культур

Циліндричний корпус – це система спірального з'єднання сталевий стрічки шляхом подвійного вальцювання, розділеної на секції, об'єднані накладками для можливості розбирання сховища та складання його на іншому місці. Завдяки особливостям технології створення циліндру сховища, стінові панелі мають міцні вальцьовані шви шириною 30-40 мм загальною товщиною 11-32 мм із зовнішнього боку сховища, кожен виток якої дає додаткове ребро жорсткості всієї конструкції.

Дах сховища являє собою просторову конусну конструкцію, зібрану з несучих тросів і мембрани (тарпаулін 300). Тарпаулін 300 – це міцний плетений поліетилен, товщиною 0,46 мм та вагою 300 г на 1м². Конструкція

покрівлі виключає потрапляння в склад атмосферних опадів, проникнення птахів і забезпечує максимальну місткість. Плоске мембранне днище (підкладка) являє собою плоску мембрану, виготовлену з секторів тарпауліну 120, зшитих між собою герметично.

2. Металевий бункер-укриття

Конструкція підземного металевого укриття (рис. 9) призначена для розміщення в польових умовах командних пунктів, та для укриття особового складу підрозділів, які виконують завдання у зоні бойових дій.

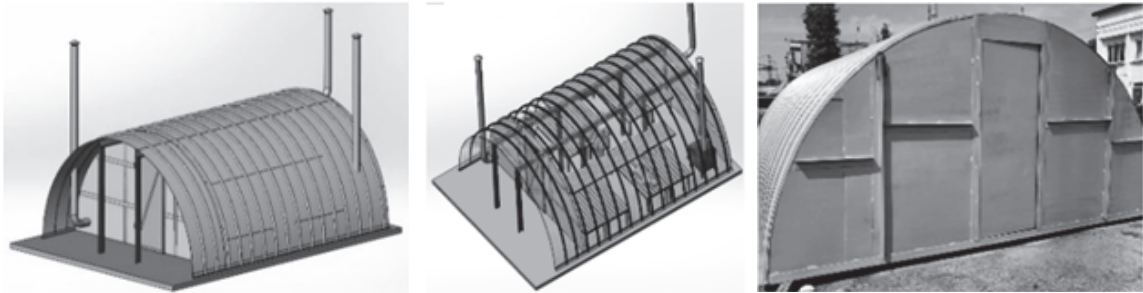


Рис. 9. Металеве сховище уніфіковане МСУ- 46.60.23

Технічні характеристики сховища: ширина – 4,6 м; довжина 6 м; висота 2,3м; матеріал корпусу – оцинкована конструкційна сталь DX51D+Z, арочне покриття – товщиною 2мм, торцеві стіни – товщиною 3 мм, загальна вага 2,6 т. Корпус виконано методом спірально-фальцевого з'єднання металевих стріпса по німецькій технології LIPP Double-Seam System. Бункер розрахований на занурення на глибину до 4 м від верхньої частини корпусу укриття.

Виготовлення конструкції відбувається в два етапи. На першому етапі відбувається формування спірально-фальцевого циліндра потрібного діаметра та висоти, після чого корпус розрізається в поздовжньому напрямі на дві частини. Другий етап передбачає підсилення арочного покриття каркасом із швелерів та монтаж торцевих стін. Готова конструкція перевозиться на місце монтажу за допомогою автотранспорту. Після транспортування конструкцію монтують у котлован за допомогою автокрану та засипають, забезпечуючи вихід з бункеру.

Бункер оснащується вентиляційною системою, піччю-буржуйкою, ліжками та іншим необхідним обладнанням для комфортного та безпечного перебування всередині.

Висновки. Зроблений аналіз галузі застосування спірально-фальцевих силосів. При дослідженні використання конструкцій у різних галузях промисловості був проаналізований закордонний та вітчизняний досвід. Зібрані технічні характеристики ємностей спірально-фальцевого типу в залежності від функціонального призначення.

Окрім традиційного застосування спірально-фальцевих силосних ємностей, розглянуто приклади особливого застосування конструкцій спірально-фальцевого типу на території України. В умовах воєнного стану спірально-фальцеві конструкції виявилися перспективними для влаштування

мобільних модульних складів шатрового типу для тимчасового зберігання зернових культур. Описано спірально-фальцеву конструкцію підземного металевих укриття для розміщення в польових умовах командних пунктів та укриття для особового складу підрозділів, які виконують завдання у зоні бойових дій.

Активне застосування металевих спірально-фальцевих конструкцій, яке продовжує розширюватись, підтверджує унікальність даних конструкцій та ефективність компанії винахідника.

1. Pichugin S., Oksenenko K. Comparative analysis of design solutions of metal silos. Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. 2019. Vol. 53, № 2. P. 54-60. doi.org/10.26906/znp.2019.53.1890.

2. Xaver Lipp URL: <https://xaver-lipp.com/>

3. McCalmont J. R Silo types and construction. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, 1939. 69 p.

4. Pichugin S., Oksenenko K. Spiral-fold Silo is Innovative Storage for Wood Chips. AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2678. P. 020013. doi.org/10.1063/5.0118821.

5. Пічугін С., Оксененко К. Сучасні спірально-фальцеві ферментери у складі підприємств із виробництва біоетанолу. Екологія. Довкілля. Енергозбереження. 2023: колективна монографія / під ред. О. В. Степової. Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка. Полтава, 2023. С. 158 – 170.

Pichugin S., Oksenenko K. Suchasni spiralno-faltsevi fermentery u sklady pidpriemstv iz vyrobnytstva bioetanolu. Ekolohiia. Dovkillia. Enerhozberezhennia. 2023: kolektyvna monohrafiia / pid red. O. V. Stepovoi. Poltava: NUPP imeni Yuriia Kondratiuka. Poltava, 2023. S. 158 – 170.

6. Пічугін С., Оксененко К. Сталеві спірально-фальцеві конструкції у складі біоенергетичних комплексів. Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022: колективна монографія Полтава – Львів: НУПП імені Юрія Кондратюка, НУ «Львівська політехніка». Дніпро, 2022. С 470 – 484.

Pichugin S., Oksenenko K. Stalevi spiralno-faltsevi konstruktsii u skladi bioenerhetychnykh kompleksiv. Podolannia ekolohichnykh ryzykiv ta zahroz dla dovkillia v umovakh nadzvychainykh sytuatsii – 2022: kolektyvna monohrafiia Poltava – Lviv: NUPP imeni Yuriia Kondratiuka, NU «Lvivska politekhnika». Dnipro, 2022. S 470 – 484.

7. Pichugin S., Oksenenko K. Area of application and operation experience of spiral-fold silos in Ukraine. ArCivE 2023. Xth International scientific conference on architecture and civil engineering. Varna, 2023. Vol. 4. P. 14-22.

8. Пічугін С.Ф., Оксененко К.О., Андрієвський Ю.В. Застосування сталевих спірально-фальцевих силосів у сучасних умовах. Промислове будівництво та інженерні споруди. 2023. Вип. 4. С. 25 – 31.

Pichugin S.F., Oksenenko K.O., Andriievskiy Yu.V. Zastosuvannia stalevykh spiralno-faltsevykh sylosiv u suchasnykh umovakh. Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy. 2023. Vyp. 4. S. 25 – 31.