

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет Конструювання та дизайну

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Конструювання машин і обладнання
(назва кафедри)

(підпис) Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(ПІБ)

“ ____ ” _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему **РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА**
ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Володимир БУЛГАКОВ
(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(ПІБ)

К.Т.Н.
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Анастасія ЛЯШКО
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Куліченко Віталій Миколайович
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2026

<https://t.me/NeeSTooR01>
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет Конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Конструювання машин і обладнання
Д.Т.Н., професор Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ ” 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Куліченко Віталія Миколайовича
(прізвище, ім'я, по батькові)
Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проекту бакалавра) **РОЗРОБКА
КОНСТРУКЦІЇ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ
ЗЕРНА**

затверджена наказом ректора НУБіП України від “15” квітня 2026 р. №1044 «С»
Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 2026 червня 04
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проекту бакалавра)
Технологічна схема застосування скребкового конвеєра для транспортування зерна
Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій скребкових конвеєрів
2. Розглянути перспективи створення нової конструкції скребкового конвеєра
3. Виконати розрахунок скребкового конвеєра
4. Розглянути питання охорони праці при роботі зі скребковим конвеєром
5. Виконати розрахунок економічної ефективності

Перелік графічних документів (за потреби)

1. Загальний вигляд
2. Креслення вузла

Дата видачі завдання “16” квітня 2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Вячеслав ЛОВЕЙКІН.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анастасія ЛЯШКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Віталій КУЛІЧЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМУ ПРОЄКТУВАННЯ	8
1.1.Сучасні способи транспортування зерна в сільському господарстві.....	8
1.2.Конструктивні особливості скребкових конвеєрів для зерна.	11
1.3.Аналіз існуючих конструкцій скребкових конвеєрів.....	13
1.4.Формування технічних вимог до проєктованого конвеєра	16
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ТА РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА.....	19
2.1.Вихідні дані та аналіз сучасного стану проєктування зернових скребкових конвеєрів.....	19
2.2.Визначення геометричних параметрів жолоба та скреbkів.....	21
2.3.Уточнений тяговий розрахунок конвеєра методом обходу по контурі	25
2.4.Проектування та кінематичний розрахунок приводної станції	29
2.5.Перевірочний розрахунок тягового ланцюга на міцність	34
2.6.Енергетичний аналіз ефективності транспортування та оптимізація робочих режимів	36
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	40
3.1.Вимоги до скребкових конвеєрів (ДСТУ EN 12321:2014)	40

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ			Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Куліченко В.М.								З	57
Перевір.		Ляшко А.П.						НУБіП України			
Н. Контр.		Матухно Н.В.									
Затверд.		Ловекін В.С.									

3.2.Сигналізація небезпеки (ДСТУ EN 457 та ДСТУ EN 842).....	40
3.3.Аварійна зупинка та безпечні відстані (ДСТУ EN 418 та ДСТУ	40
3.4.Доступ до обслуговування (Серія ДСТУ ISO 14122).....	41
3.5.Пожежо- та вибухобезпека (ISO 6184-1).....	41
3.6.Загальні заходи з охорони праці:.....	41
3.7.Типові небезпечні ситуації для скребкових конвеєрів:	41
3.8.Технічні засоби захисту та конструктивні вимоги.....	42
3.9.Запобігання вибухам та боротьба з пилом	42
3.10. Аварійне керування та сигналізація.....	42
3.11. Небезпечні ситуації та заборони	43
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	44
4.1.Вихідні дані для розрахунку	44
4.2.Розрахунок капітальних інвестицій	45
4.3.Розрахунок експлуатаційних витрат	45
4.4.Додатковий технологічний ефект від зниження травмування зерна.....	47
4.5.Інтегральні показники економічної ефективності та окупності	48
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51
ДОДАТКИ.....	57

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота викладена на 57 сторінках друкованого тексту. Структурно пояснювальна записка складається зі вступу, чотирьох основних розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел та додатків.

Перший розділ присвячено класифікації скребкових конвеєрів за ключовими критеріями. Здійснено аналіз існуючих конструкцій, а також визначено перспективні напрями проєктування новітніх скребкових машин.

У другому розділі виконано розрахунок скребкового конвеєра з обчисленням його базових параметрів. Окремо проведено перевірочний розрахунок тягового ланцюга на міцність.

Розділ «Охорона праці» містить аналіз вимог щодо безпечної експлуатації обладнання, оцінку потенційних ризиків із заходами для їх мінімізації, а також регламент технічного обслуговування та проведення ремонтних робіт.

Економічна частина роботи включає обґрунтування та розрахунок економічної ефективності від впровадження розробленої нової конструкції скребкового конвеєра.

Ключові слова: скребковий конвеєр, ланцюг, вал.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ		
Розроб.		Куліченко В.М.					
Перевір.		Ляшко А.П.					
Н. Контр.		Матухно Н.В.					
Затверд.		Ловекін В.С.			НУБіП України		
					Літ.	Арк.	Акрушів
						5	57

ВСТУП

Україна – держава з потужним агропромисловим комплексом, де процеси зберігання та переробки продукції вимагають швидкого переміщення великих обсягів насипних вантажів. Оскільки вартість ручної праці зростає, а її доступність зменшується, підприємства гостро потребують впровадження надійних засобів механізації.

Заміна застарілих методів на сучасні транспортні системи є ключовою умовою для підвищення продуктивності праці. Основним кроком до вирішення цієї проблеми є автоматизація транспортних ліній. Використання машин безперервної дії дозволяє зробити процес транспортування ефективнішим та економічно вигідним, забезпечуючи максимальний прибуток при мінімальних витратах часу.

Цей проєкт присвячений розробці конструкції сучасного скребкового конвеєра, що має на меті вирішити проблему повільного та неефективного транспортування насипних вантажів.

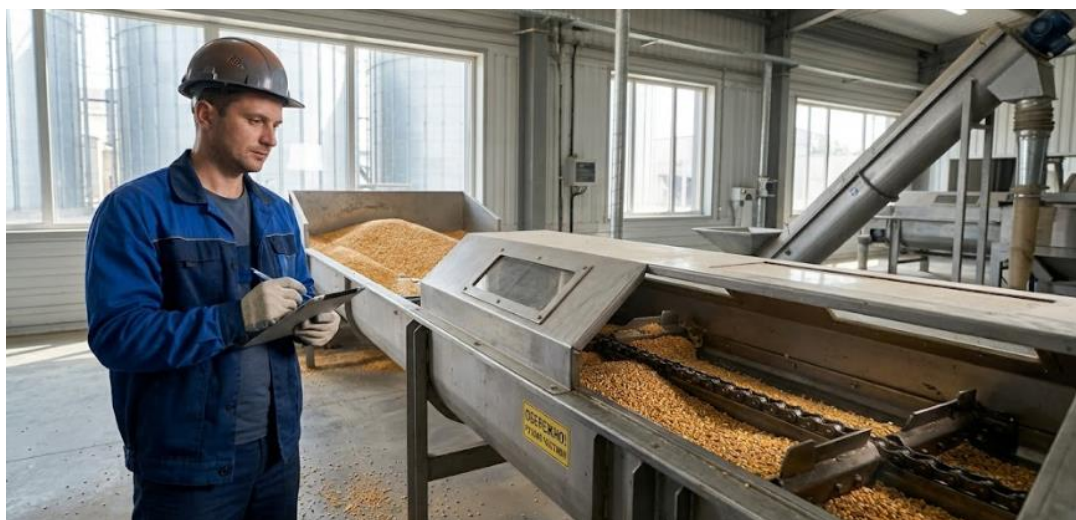


Рис. Процес роботи стрічкового конвеєру

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Куліченко В.М.						
Перевір.		Ляшко А.П.						
Н. Контр.		Матухно Н.В.						
Затверд.		Ловекін В.С.						
					Літ.			Аркушів
								57
					ВСТУП			
					НУБіП України			

Розроблений конвеєр є базовою ланкою для механізації завантаження бункерів чи переміщення зерна на елеваторах. Конструкція передбачає високу надійність тягових елементів (ланцюгів) та максимальну адаптивність до виробничих умов.

Окрім економічної доцільності, проектування закритого скребкового конвеєра вирішує критичне питання охорони праці. Відкрите транспортування сипучих матеріалів супроводжується значним виділенням пилу, що шкодить дихальним шляхам працівників.

Впровадження закритої конвеєрної системи не лише гарантує безпечне робоче середовище, але й мінімізує втрати продукції, значно підвищуючи загальну ефективність виробництва.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НА- ПРЯМУ ПРОЄКТУВАННЯ

1.1. Сучасні способи транспортування зерна в сільському господарстві.

У сучасних агропромислових комплексах та системах зберігання зерна вибір обладнання для транспортування є критичним фактором, що визначає економічну ефективність та якість кінцевої продукції [1, 4].

Характеристика основних видів транспортуючих машин.

Стрічкові конвеєри (рис. 1.1) - є найбільш поширеним типом обладнання для безперервного транспортування зерна [17].

Принцип роботи: матеріал переміщується на гнучкій замкнутій стрічці, що рухається між двома шківками (приводним та натяжним) та підтримується роликоопорами.

Переваги: висока пропускна здатність, надійність та низьке питоме споживання енергії. Вони дозволяють переміщувати зерно на значні відстані та по складних траєкторіях [1, 5].

Недоліки: складна конструкція з багатьма компонентами, що потребують обслуговування. Також ці системи часто мають низьку герметичність, що спричиняє пиління та вимагає встановлення додаткових пристроїв пилоочищення [27].

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Куліченко В.М.			РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ СКРЕБКОВИХ КОНВЕЄРІВ			Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.		Ляшко А.П.								8	57	
								НУБіП України				
Н. Контр.		Матухно Н.В.										
Затверд.		Ловекін В.С.										



Рис. 1.1. Стрічковий конвеєр

Шнекові конвеєри (рис. 1.2) - використовують обертову спіральну лопать для переміщення зерна всередині нерухомого жолоба або труби [2].

Принцип роботи: гвинт (шнек) при обертанні штовхає матеріал уздовж осі жолоба. Найкраще працюють при рівні заповнення перерізу менше 45% у режимі «самопливу» [29].

Переваги: компактність, простота конструкції та обслуговування. Завдяки закритій формі вони забезпечують чудову герметичність, запобігаючи витoku матеріалу та забрудненню довкілля [5].

Недоліки: обмежена дальність транспортування (зазвичай не більше кількох десятків метрів). При роботі з вологим зерном можливе налипання на лопаті, що веде до забивання механізм [18].

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.2. Шнекові конвеєри

Скребкові конвеєри (рис. 1.3) - переміщують зерно за допомогою ланцюга з прикріпленими до нього скребками, які рухаються в закритому коробі [3].

Принцип роботи: скребки тягнуть шар зерна по дну короба. Це дозволяє реалізувати метод транспортування «суцільним потоком» (en masse), де матеріал рухається як єдине ціле з мінімальним відносним зміщенням часток [9, 25].

Переваги: велика потужність транспортування, можливість роботи під кутом та легкість монтажу декількох точок завантаження/розвантаження [12, 26]. Закритий корпус забезпечує високу екологічність та відсутність пилу [27].

Недоліки: висока енергоємність порівняно зі стрічковими конвеєрами. Ланцюги та жолоби піддаються інтенсивному зносу, що потребує регулярної заміни деталей [30].



Рис. 1.3. Скребковий конвеєр

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк. 10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1.

Порівняльний аналіз

Тип конвеєра	Продуктивність	Енергоємність	Травмування зерна	Основні переваги
Стрічковий	Висока	Низька	Мінімальне	Надійність, великі відстані, універсальність
Шнековий	Середня/низька	Середня	Помірне (залежить від швидкості)	Компактність, простота, герметичність
Скребковий	Висока	Висока	Підвищене (через тертя)	Велика потужність, закритий корпус, кути нахилу

1.2. Конструктивні особливості скребкових конвеєрів для зерна.

Принцип роботи (рис. 1.4): скребковий конвеєр працює за принципом переміщення вантажу за допомогою рухомого ланцюга з прикріпленими до нього скребками (лопатками) всередині нерухомого короба (жолоба) [3]. Для зернових конвеєрів характерним є метод транспортування «суцільним потоком» (en masse). Його особливості полягають у наступному [9, 26]:

Рух єдиною масою: завдяки силам тертя між частками зерна та скребками, матеріал заповнює значну частину перерізу короба і рухається як єдине ціле [12].

Мінімальне зміщення: усередині потоку спостерігається дуже мале відносне зміщення часток зерна, що значно знижує його травмування [25].

Фрикційна тяга: швидкість руху зернової маси практично збігається зі швидкістю руху ланцюга (коефіцієнт ковзання близький до одиниці при горизонтальному транспортуванні) [29].

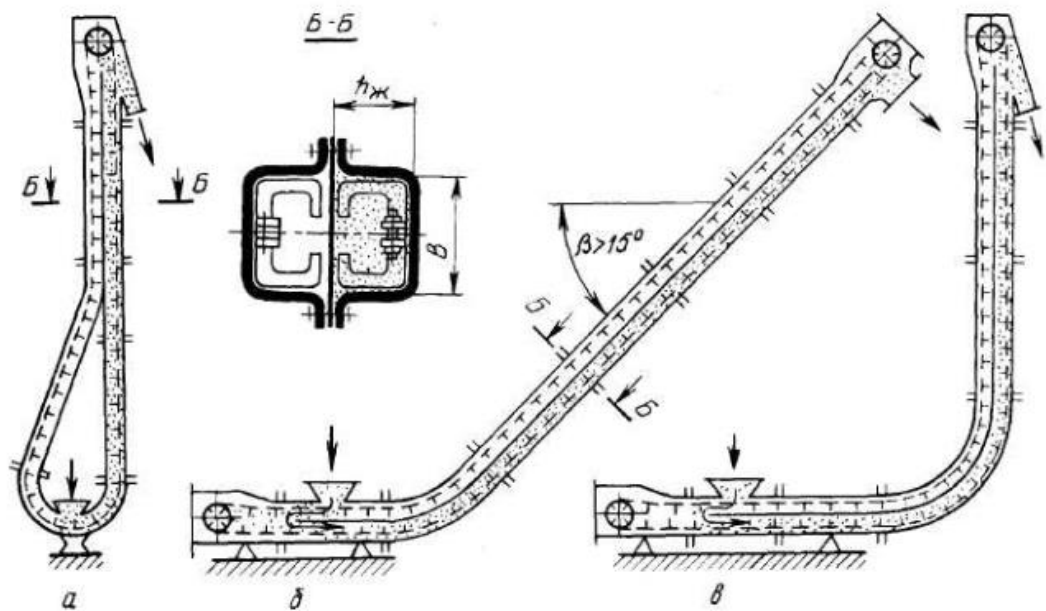


Рис. 1.4. Принцип роботи скребкового конвеєра

Короб: закритий корпус прямокутного перерізу. Він забезпечує повну герметичність, запобігаючи пилінню зерна та потраплянню вологи ззовні [1].

Тяговий ланцюг: зазвичай використовуються високоміцні сталеві ланцюги, що пройшли термічну обробку для підвищення зносостійкості [23, 30].

Скребки: часто виготовляються з полімерних матеріалів (наприклад, поліуретану), що забезпечує низький рівень шуму під час роботи та високу стійкість до стирання [13, 24]. Профілі скребків можуть бути плоскими, скелетними або підвісними залежно від кута нахилу траси.

Привод: включає електродвигун, редуктор та відкриті передачі [16].

Натяжна система: розташована у хвостовій частині конвеєра і служить для підтримки необхідного натягу ланцюга, що продовжує термін його служби [4].

Напрямні рейки: виготовляються зі спеціальних зносостійких матеріалів або оснащуються полімерними пластинами для зменшення тертя ланцюга об корпус [13].

Системи безпеки: конвеєри оснащуються пристроями захисту від обриву ланцюга, датчиками підпору (забивання) зерном [20, 21].

Для мінімізації травмування зерна під час транспортування оптимальна швидкість ланцюга скребкового конвеєра становить 0,2–0,3 м/с [18, 22]. Цей швидкісний діапазон є нормативним для спеціалізованого елеваторного обладнання (зокрема серії TGSS), яке використовується в зернопереробній галузі [19]. Дотримання такої швидкості дозволяє реалізувати метод транспортування «суцільним потоком», за якого зернова маса переміщується як єдине ціле завдяки силам внутрішнього тертя [9, 25]. У такому режимі відносне зміщення часток всередині потоку є мінімальним, що практично виключає механічне пошкодження (травмування) зернівок [4, 14].

1.3. Аналіз існуючих конструкцій скребкових конвеєрів.

Вітчизняні конструкції (Україна)

Одним із провідних виробників є завод «ЛУБНИМАШ», який пропонує рішення для елеваторних комплексів [7, 11]. Їхні норії та конвеєри (наприклад, серія У13-УН) інтегруються в автоматизовані системи управління, використовують оцинковану сталь марки S350 GD та енергозберігаючі приводи, що дозволяють економити до 30% енергоресурсів [14, 16]. Конструкції часто є повністю збірними, що спрощує монтаж та обслуговування.

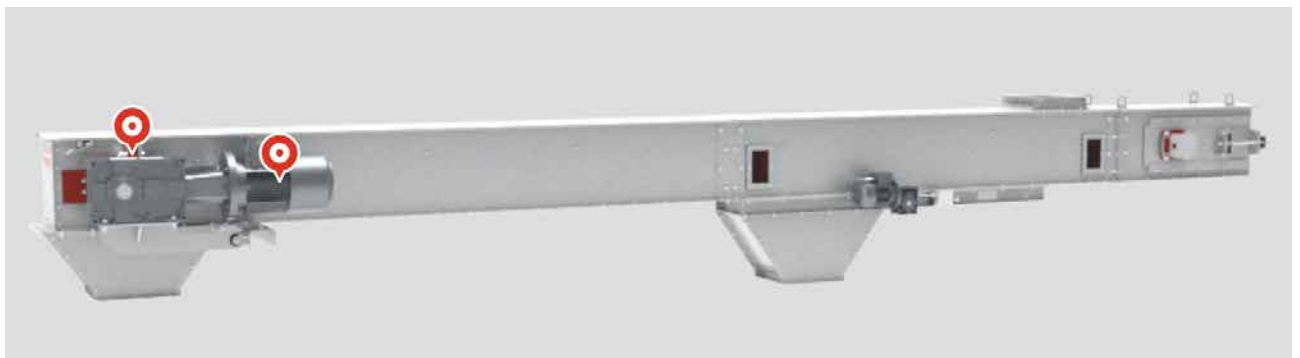


Рис. 1.5. Транспортер ланцюговий скребковий

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Вони характеризуються використанням герметичних коробових корпусів прямокутного перерізу, що запобігають пилінню та забрудненню продукту [6].

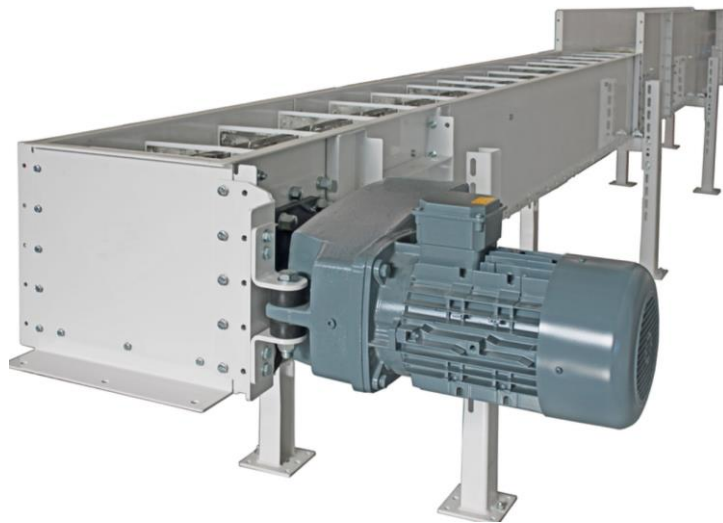


Рис. 1.5. Конвеєр Bühler Group

Таблиця 1.2

Порівняльний аналіз конструкційних рішень

Конструктивний вузол	Вітчизняні рішення [7, 14]	Зарубіжні рішення (SRON, TGSS, ЄС, Bühler Group) [6, 19]
Корпус	Оцинкована сталь S350 GD, збірна конструкція	Висока міцність сплави, антикорозійні покриття, герметичність
Тяговий орган	Посилені стрічки або ланцюги з термічною обробкою	Топологічно оптимізовані ланцюги, нерівномірний крок скребків
Робочі органи	Полімерні ковші з еластичною кромкою	Поліуретанові скребки, полегшені литі структури

Безпека	Датчики швидкості, сходу стрічки, підпору та вибухорозрядники	Інтелектуальні сенсори (IoT), RFID-мітки, самодіагностика
Привід	Енергозберігаючі двигуни (економія до 30%)	Системи рекуперативного гальмування, VFD-контролери для точності швидкості

Приводи та системи захисту:

- Приводні станції оснащуються електродвигунами з редукторами, які підбираються під конкретну потужність [16, 20].
- Безпека: сучасним стандартом є встановлення датчиків обриву ланцюга, пристроїв проти забивання та вибухорозрядників для захисту від вибуху пилоповітряної суміші [21].

Тягові ланцюги:

- Матеріали: використовуються високоміцні сталеві ланцюги, що проходять термічну обробку (гартування) для підвищення зносостійкості [23, 30].
- Типи: у важкій промисловості часто застосовують круглоланкові ланцюги (наприклад, 56×187 мм), які фіксують скребки за допомогою болтових з'єднань [26].
- Оптимізація кроку: дослідження показують, що використання нерівномірного кроку скребків (наприклад, комбінація 6р-8р-6р) дозволяє зменшити кількість скребків на 11.11% без втрати продуктивності, що суттєво полегшує конструкцію [10].

Скребки:

- Профілі: існують плоскі (для горизонтального руху), скелетні (для вертикального підйому) та ковшоподібні скребки, які допомагають утримувати матеріал від пересипання [1].

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- Матеріали: для зменшення шуму та тертя скребки часто виготовляють із поліуретану або інших полімерів [13, 24].
- Топологічна оптимізація: сучасні методи проектування дозволяють зменшити масу скребка на 17.9% – 23.5% шляхом видалення металу з ненавантажених зон, що значно знижує енергоспоживання при холостому ході [15].

Сфери застосування:

- Сільське господарство: транспортування зерна, насіння соняшнику, кукурудзи на елеваторах, рисових та борошномельних заводах [4, 14].
- Харчова промисловість: переміщення цукру, круп, комбікормів та крохмалю [18].
- Гірничодобувна галузь та металургія: підземне транспортування вугілля, руди та породи в шахтах [26].
- Логістика та порти: навантаження та розвантаження суден, робота на терміналах [5].

1.4. Формування технічних вимог до проєктованого конвеєра

1. Характеристики матеріалу транспортування

Першочерговою вимогою є відповідність конструкції фізико-механічним властивостям вантажу [12]. Необхідно визначити:

- Тип матеріалу: сипкий, гранульований або порошкоподібний.
- Гранулометричний склад: розмір часток визначає вибір ширини ко-роба та зазорів, щоб уникнути заклинювання.
- Насипна щільність: важлива для розрахунку об'ємної продуктивності та навантажень на привод [29].
- Абразивність та вологість: ці показники диктують вибір матеріалів для робочих поверхонь (наприклад, використання зносостійкої сталі або футерування полімерами) [13, 23].

2. Технологічні та продуктивні параметри

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Вимоги до продуктивності системи мають забезпечувати необхідний вантажопотік без перевантаження компонентів [1, 22]:

- Пропускна здатність: зазвичай задається в тоннах за годину (т/год).
- Оптимальна швидкість: для зернових скребкових конвеєрів рекомендується діапазон 0,2–0,3 м/с для реалізації методу транспортування «суцільним потоком» та мінімізації травмування зерна [18, 19].
- Режим роботи: можливість безперервної експлуатації протягом тривалого часу [4].

3. Геометрія та конфігурація траси

Технічні вимоги повинні чітко описувати маршрут переміщення [26]:

- Довжина транспортування: від кількох метрів до значних дистанцій (наприклад, 400 м для магістральних систем).
- Точки завантаження/розвантаження: вимоги до мультиточкової подачі та випуску матеріалу.

4. Конструктивні матеріали та зносостійкість

- Вибір матеріалів залежить від умов експлуатації та агресивності середовища [23]:
- Корпус та напрямні: використання оцинкованої сталі високої міцності (наприклад, марки S350 GD) або нержавіючої сталі для харчових продуктів [14].
- Робочі органи: скребки з поліуретану для зниження шуму та зносу; тягові ланцюги, що пройшли термічну обробку [13, 24].
- Полегшення конструкції: впровадження топологічної оптимізації скребків для зменшення маси ланцюгової системи та енергоспоживання на холостому ході [15].

5. Автоматизація, керування та безпека

Сучасні вимоги передбачають інтеграцію конвеєра в автоматизовані системи керування (АСУ ТП) [20]:

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- Система датчиків: обов'язкова наявність датчиків швидкості, сходу ланцюга/стрічки, підпору (забивання) матеріалом та обриву тягового органу [21].
- Регулювання швидкості: використання частотних перетворювачів (VFD) та програмованих логічних контролерів (PLC) для точного налаштування потоку.
- Вибухобезпека: оснащення корпусів вибухорозрядниками при роботі з пилоутворюючими матеріалами [21].
- Аварійні зупинки: наявність кнопок та тросів екстреної зупинки вздовж усієї траси.

6. Екологічні та енергетичні вимоги

Герметичність: конструкція повинна бути повністю закритою (енкапсульованою) для запобігання пилінню зерна та викидам у довкілля [8, 27].

- Рівень шуму: мінімізація вібрацій та шумового забруднення робочої зони [13].
- Формування цих вимог дозволяє обґрунтувати вибір конкретного виду транспортуючої машини та забезпечити відповідність проєкту сучасним стандартам агропромислового комплексу [8, 28].

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ТА РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА

2.1. Вихідні дані та аналіз сучасного стану проектування зернових скребкових конвеєрів

У сучасній елеваторній промисловості та на зернопереробних підприємствах ефективність логістичних операцій безпосередньо залежить від надійності та продуктивності транспортного обладнання безперервної дії [31]. Скребкові конвеєри різних модифікацій є базовим типом обладнання для горизонтального та похилого переміщення зерна, продуктів його переробки, висівок, борошна, а також відходів [31]. Вони незамінні на зерносховищах, портах та млинах, оскільки дозволяють герметизувати транспортний тракт, мінімізувати пиловиділення та виключити просипання вантажу [31].

Для успішного проектування високопродуктивного конвеєра необхідно враховувати специфічні фізико-механічні властивості зерна як сипкого матеріалу [35]. Зерно характеризується високою рухливістю, схильністю до самосортуння, абразивними властивостями та чутливістю до механічних пошкоджень[36]. Згідно з науковими дослідженнями в галузі динаміки машин безперервного транспорту, традиційні скребкові конвеєри з високими скребками мають низку недоліків, серед яких інтенсивне травмування зерна та підвищений знос днища жолоба[36].

Для вирішення цих проблем у сучасному машинобудуванні застосовують технологію транспортування зануреними скребками (*en-masse*), за якої вантаж переміщується суцільним шаром, висота якого у кілька разів перевищує висоту самих скребків[34]. Це дозволяє суттєво зменшити габарити жолоба при збереженні високої пропускної спроможності, знизити швидкість руху ланцюга і, як наслідок, мінімізувати подрібнення зернівок[31]. Крім того, перспективними є конструктивні рішення щодо оптимізації напрямних пристроїв для обмеження

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Куліченко В.М.			РОЗДІЛ 2. РОЗДІР	Літ.	Арк.
Перевір.		Ляшко А.П.					19
						57	
Н. Контр.		Матухно Н.В.				НУБіП України	
Затверд.		Ловекін В.С.					

бічних коливань і розвороту скребків, а також модернізація шляхом надання жолобу високочастотних коливань для зниження сил опору переміщенню[34].

У межах даного проекту розробляється конструкція горизонтального скребкового конвеєра з низькими зануреними скребками для транспортування зерна пшениці[34]. Базові вихідні параметри проектування, що визначають розрахункову схему та вибір конструктивних елементів, наведені у (таблиці 2.1):

Таблиця 2.1.

Базові вихідні параметри проектування

Назва технологічного параметра	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Продуктивність конвеєра номінальна	Q	80	т/год
Загальна довжина траси транспортування	L	40	м
Кут нахилу робочого органу до горизонту	β	0	град
Вантаж, що транспортується за схемою	-	Пшениця (зерно)	-
Насипна щільність зерна	ρ	0,75	т/м ³
Коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу	f_{unutr}	0,45	-
Коефіцієнт тертя зерна об сталевий жолоб	f_{zh}	0,37	-

Вибір горизонтальної траси транспортування без нахилу зумовлює відсутність необхідності розрахунку гравітаційного підйому вантажу, проте вимагає ретельного аналізу сил тертя у зонах контакту зерна з днищем та стінками корпусу [35].

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2.2. Визначення геометричних параметрів жолоба та скребків

Вихідним етапом проектування є визначення поперечного перерізу робочого жолоба конвеєра, який повинен забезпечити задану продуктивність при оптимальній швидкості руху тягового ланцюга [32].

Продуктивність скребкового конвеєра із зануреними скребками Q (т/год) описується залежністю, що враховує площу активного поперечного перерізу потоку матеріалу та швидкість його переміщення [40]:

$$Q = 3600 \cdot B \cdot H \cdot \psi \cdot v \cdot \rho \cdot k_{\beta} \quad (2.1)$$

де:

B – внутрішня ширина робочого жолоба конвеєра, м [40];

H – загальна висота заповнення жолоба вантажем (робоча висота корпусу), м [35];

ψ – коефіцієнт наповнення поперечного перерізу жолоба [42];

v – лінійна швидкість руху тягового ланцюга зі скребками, м/с [43];

ρ – насипна щільність транспортованого вантажу, т/м³ [45];

k_{β} – поправочний коефіцієнт, що враховує зниження продуктивності при нахилі конвеєра (для горизонтального положення $\beta = 0^\circ$ приймається $k_{\beta} = 1,0$) [40].

Для забезпечення делікатного поводження із зерном пшениці та запобігання його травмуванню швидкість руху робочого органу приймається помірною – $v = 0,4$ м/с [33]. При транспортуванні зерна конвеєрами із зануреними скребками коефіцієнт заповнення жолоба є досить високим і становить $\psi = 0,75$ [42].

Для раціонального розподілу напружень у рухомому шарі зерна відношення висоти заповнення жолоба до його ширини приймається в межах конструктивного співвідношення $H/B = 0,85$ [30]. Використовуючи вказане співвідношення, формулу продуктивності можна перетворити щодо ширини жолоба B (м) [40]:

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$B = \sqrt{\frac{Q}{3600 \cdot \left(\frac{H}{B}\right) \cdot \psi \cdot v \cdot \rho \cdot k_{\beta}}} \quad (2.2)$$

Підставивши вихідні та прийняті числові значення у формулу, отримаємо [40]:

$$B = \sqrt{\frac{80}{3600 \cdot 0,85 \cdot 0,75 \cdot 0,4 \cdot 0,75 \cdot 1,0}} = \sqrt{\frac{80}{688,5}} = \sqrt{0,1162} \approx 0,341 \text{ м}$$

Отримане значення ширини жолоба округлюється до найближчого стандартного розміру відповідно до уніфікованих типорядів зернових скребкових транспортерів [33]. Приймається стандартна ширина жолоба $B = 350 \text{ мм} = 0,35 \text{ м}$ [33].

Відповідно, робоча висота заповнення корпусу конвеєра становить [35]:

$$H = 0,85 \cdot B = 0,85 \cdot 0,35 = 0,2975 \approx 0,30 \text{ м} = 300 \text{ мм}$$

Загальна конструктивна висота бічної стінки жолоба приймається з урахуванням запасу на можливі коливання рівня зерна і становить

$$H_{zh} = 350 \text{ мм.}$$

При використанні схеми із зануреними скребками висота металевого скребка h приймається значно меншою за висоту шару вантажу, зазвичай у межах $h = (0,2 \dots 0,3) \cdot H$ [35]. Приймаємо висоту скребка $h = 80 \text{ мм} = 0,08 \text{ м}$ [40].

Ширина скребка b_{sk} визначається з урахуванням необхідного зазору між краєм скребка та бічною стінкою робочого жолоба для запобігання заклинюванню та інтенсивному зносу [35]:

$$b_{sk} = B - (5 \dots 15) \quad (2.3)$$

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Приймаємо зазор 5 мм на кожну сторону, тоді ширина скребка становить [35]:

$$b_{sk} = 350 - 10 = 340 \text{ мм} = 0,34 \text{ м}$$

Крок встановлення скребків t_c на тяговому ланцюгу вибирається з умови забезпечення стабільного переміщення матеріалу без утворення застійних зон між сусідніми робочими елементами [35]:

$$t_c = (2 \dots 4) \cdot h \quad (2.4)$$

Приймаємо крок скребків $t_c = 3 \cdot h = 3 \cdot 80 = 240 \text{ мм}$. З урахуванням кроку ланок стандартного тягового ланцюга $t=100 \text{ мм}$, остаточно приймаємо крок встановлення скребків кратним кроку ланок ланцюга, тобто $t_c = 300 \text{ мм}$ (скребок кріпиться на кожній третій ланці ланцюга) [48].

Геометричні та конструктивні параметри жолоба та робочого органу конвеєра зведено у таблицю 2.2:

Таблиця 2.2.

Геометричні та конструктивні параметри жолоба та робочого органу конвеєра

Конструктивний елемент конвеєра	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Внутрішня ширина робочого жолоба	B	350	мм
Загальна висота заповнення корпусу	H	300	мм

Повна конструктивна висота корпусу	H_{zh}	350	мм
Висота зануреного скребка	h	80	мм
Ширина зануреного скребка	b_{sk}	340	мм
Крок встановлення скребоків на ланцюгу	t_c	300	мм
Зазор між скребком та стінкою жолоба	-	5	мм

Фактична продуктивність конвеєра Q_{fact} (т/год) при прийнятих геометричних параметрах становить [40]:

$$Q_{fact} = 3600 \cdot 0,35 \cdot 0,30 \cdot 0,75 \cdot 0,4 \cdot 0,75 \cdot 1,0 = 85,05 \text{ т/год}$$

Резерв продуктивності конвеєра відносно номінального значення дорівнює:

$$\Delta Q = \frac{85,05 - 80}{80} \cdot 100\% = 6,31\%$$

Такий запас є оптимальним для компенсації нерівномірності подачі зерна на елеваторах і запобігає завалам завантажувальних секцій[36].

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2.3. Уточнений тяговий розрахунок конвеєра методом обходу по контуру

Для визначення зусиль, що діють у тяговому органі, а також для вибору приводного двигуна виконується уточнений тяговий розрахунок методом послідовного обходу характерних точок контуру траси конвеєра[38].

Схема траси являє собою замкнутий контур із нижньою робочою та верхньою холостою вітками.

Напрямок обходу вибирається за ходом руху тягового органу, починаючи від точки збігання ланцюга з приводної зірочки[38].

Характерні точки контуру конвеєра:

Точка 1 – збігання ланцюга з приводної зірочки на верхню холосту вітку;

Точка 2 – набігання ланцюга на зірочку натяжної станції;

Точка 3 – збігання ланцюга з натяжної зірочки на нижню робочу вітку;

Точка 4 – набігання ланцюга на приводну зірочку.

Для проведення розрахунку визначаємо питомі навантаження від сил ваги матеріалу та рухомих елементів конструкції на один метр довжини конвеєра[35].

Лінійна маса вантажу (зерна) на робочій вітці q_M (кг/м) становить [35]:

$$q_M = \frac{Q_{fact}}{3,6 \cdot v} = \frac{85,05}{3,6 \cdot 0,4} \approx 59,06 \text{ кг/м} \quad (2.5)$$

Питома сила ваги вантажу p_M (Н/м) визначається як [35]:

$$P_M = q_M \cdot g = 59,06 \cdot 9,81 \approx 579,4 \text{ Н/м} \quad (2.6)$$

Для тягового органу попередньо приймаємо пластинчастий втулковий ланцюг типу М80-2-100-1 за ГОСТ 588-81 із масою одного метра ланцюга разом зі скребками $q_0 = 5,8$ кг/м [48].

Питома сила ваги рухомих частин конвеєра p_0 (Н/м) дорівнює [35]:

$$p_0 = q_0 \cdot g \quad (2.7)$$

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p_0 = q_0 \cdot q = 5,8 \cdot 9,81 \approx 56,9 \text{ Н/м}$$

Розрахунок опорів руху виконується з використанням таких коефіцієнтів тертя[40]:

Коефіцієнт опору руху тягового органу (ланцюга зі скребками) по напрямних сталевому жолоба на холостій вітці $f_{zh1} = 0,25$ [40];

Коефіцієнт опору переміщенню насипного зерна по сталевому жолобу робочої вітки $f_{zh} = 0,37$ [40].

Розрахуємо послідовно натяги в характерних точках траси конвеєра[38].

2.3.1. Розрахунок натягу в точці 1

Натяг у точці збігання ланцюга з приводної зірочки S_1 приймається з умов обмеження максимального провисання ланцюга та забезпечення надійної роботи натяжного пристрою[35].

Для горизонтальних скребкових конвеєрів середньої довжини мінімальний натяг приймають рівним $S_1 = S = 1500 \text{ Н}$ [35].

2.3.2. Розрахунок натягу в точці 2

Натяг у точці 2 визначається з урахуванням сил опору переміщенню холостої вітки ланцюга по напрямних кутниках на всій довжині транспортування $L = 40 \text{ м}$ [35]:

$$S_2 = S_1 + W_{1-2} \quad (2.8)$$

де W_{1-2} – сила опору руху холостої вітки, Н [35]:

$$W_{1-2} = p_0 \cdot L \cdot f_{zh1} = 56,9 \cdot 40 \cdot 0,25 = 569 \text{ Н} \quad (2.9)$$

$$S_2 = 1500 + 569 = 2069 \text{ Н}$$

2.3.3. Розрахунок натягу в точці 3

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Натяг у точці 3 враховує втрати на зірочках натяжної станції від тертя в шарнірах ланцюга при огинанні зірочок та тертя у підшипниках натяжного вала[40]. Ці втрати виражаються через коефіцієнт опору огинання зірочки $k_{sp} \approx 1,05$ [40]:

$$S_3 = S_2 \cdot k_{sp} = 2069 \cdot 1,05 = 2172,5 \text{ Н} \quad (2.10)$$

Опір на натяжних зірочках W_{2-3} становить:

$$W_{2-3} = S_3 - S_2 = 2172,5 - 2069 = 103,5 \text{ Н} \quad (2.11)$$

2.3.4. Розрахунок натягу в точці 4

Натяг у точці 4 перед набіганням на приводну зірочку визначається додаванням сил опору руху на нижній робочій вітці [35].

Оскільки на нижній вітці здійснюється безпосереднє транспортування зерна пшениці волочінням по днищу жолоба, опір руху складається з тертя зерна та тертя самого ланцюга [35]:

$$S_4 = S_3 + W_{3-4} \quad (2.12)$$

Сила опору руху на робочій вітці горизонтального конвеєра W_{3-4} (Н) розраховується за формулою [35]:

$$W_{3-4} = (p_M \cdot f_{zh} + p_0 \cdot f_{zh1}) \cdot L \quad (2.13)$$

$$W_{3-4} = (579,4 \cdot 0,37 + 56,9 \cdot 0,25) \cdot 40$$

$$W_{3-4} = (214,38 + 14,23) \cdot 40 = 228,61 \cdot 40 = 9144,4 \text{ Н}$$

$$S_4 = 2172,5 + 9144,4 = 11316,9 \text{ Н}$$

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний робочий натяг ланцюга виникає в точці 4 перед приводною станцією [35]:

$$S_{max} = S_4 = 11316,9 \text{ Н} \approx 11,32 \text{ кН} \quad (2.14)$$

Загальний тяговий опір конвеєра (колова сила на приводних зірочках) W_{obsh} (Н) визначається як різниця натягів набігаючої та збігаючої віток приводу [44]:

$$W_{obsh} = S_4 - S_2 = 11316,9 - 1500 = 9816,9 \text{ Н} \approx 9,82 \text{ кН} \quad (2.15)$$

Перевіримо правильність розрахунку натягів шляхом підсумовування всіх сил опору вздовж замкнутого контуру конвеєра:

$$W_{obsh_check} = W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} = 569 + 103,5 + 9144,4 = 9816,9 \text{ Н}$$

Результати повністю збігаються, що доводить математичну коректність виконаного тягового розрахунку. Натяги у характерних точках траси представлено у таблиці 2.3.

Таблица 2.3.

Натяги у характерних точках траси

Характерна точка контуру конвеєра	Позначення	Значення натягу	Одиниця виміру
Збігання з приводної зірочки	S_1	1500,0	Н
Набігання на натяжну зірочку	S_2	2069,0	Н

Збігання з натяж- ної зірочки	S_3	2172,5	Н
Набігання на приводну зіро- чку (максималь- ний натяг)	$S_4(S_{max})$	11316,9	Н
Колова сила на приводних зіроч- ках	W_{obsh}	9816,9	Н

2.4. Проектування та кінематичний розрахунок приводної станції

Потужність на приводному валу конвеєра P_0 (кВт) визначається виходячи із сумарного тягового опору та лінійної швидкості руху ланцюга [44]:

$$P_0 = W_{obsh} \cdot v \cdot 10^{-3} \quad (2.16)$$

$$P_0 = 9816,9 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} \approx 3,93 \text{ кВт}$$

Для вибору приводного двигуна необхідно врахувати сумарний ККД механічних передач приводу η_{obsh} [40].

Приводна станція конвеєра складається з асинхронного двигуна, циліндричного двоступінчастого редуктора, сполучної пружної муфти та відкритої ланцюгової передачі, що передає обертальний момент безпосередньо на приводний вал конвеєра[35].

Загальний ККД кінематичного ланцюга розраховується за формулою:

$$\eta_{obsh} = \eta_{red} \cdot \eta_{l.p.} \cdot \eta_m \cdot \eta_{pod} \quad (2.17)$$

де:

η_{red} – ККД циліндричного двоступінчастого редуктора ($\eta_{red} = 0,97$) [50];

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$\eta_{l.p.}$ – ККД приводної ланцюгової передачі ($\eta_{l.p.}=0,96$);

η_m – ККД пружної муфти на швидкохідному валу ($\eta_m=0,98$);

η_{pod} – ККД підшипникових опор приводного вала конвеєра
($\eta_{pod} = 0,98$).

$$\eta_{obsh} = 0,97 \cdot 0,96 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \approx 0,894$$

Необхідна розрахункова потужність на валу електродвигуна $P_{dv_{req}}$ (кВт) становить [42]:

$$P_{dv_{req}} = \frac{P_0}{\eta_{obsh}} = \frac{3,93}{0,894} \approx 4,40 \text{ кВт}$$

Для надійної роботи при пуску під навантаженням та компенсації пускових перевантажень конвеєра вводиться коефіцієнт запасу потужності двигуна $k_z = 1,15 \dots 1,2$ [40].

Розрахункова установча потужність електродвигуна дорівнює:

$$P_{calc} = P_{dv_{reg}} \cdot k_z = 4,40 \cdot 1,15 = 5,06 \text{ кВт} \quad (2.17)$$

Згідно з каталогом загальнопромислових трифазних асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором, вибираємо електродвигун марки **АИР112М4** [51].
Параметри вибраного двигуна наведено у таблиці 2.4.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 2.4.

Параметри вибраного двигуна

Технічна характеристика електродвигуна	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Номінальна потужність електродвигуна	P_{dv}	5,5	кВт
Номінальна частота обертання валу	n_{dv}	1440	об/хв
Синхронна частота обертання	n_{syn}	1500	об/хв
Номінальний струм при напрузі 380 В	I_n	11,8	А
Коефіцієнт корисної дії двигуна	η_{dv}	85,7	%
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,83	-

Частота обертання приводного вала конвеєра n_{val} (об/хв) залежить від кроку ланцюга $t = 100$ мм (0,1 м), кількості зубів приводної зірочки $z = 10$ та швидкості руху скребкового полотна $v = 0,4$ м/с [35]:

$$n_{val} = \frac{60 \cdot v}{z \cdot t} = \frac{60 \cdot 0,4}{10 \cdot 0,1} = 24 \text{ об/хв} \quad (2.18)$$

Загальне необхідне передавальне число приводу становить [35]:

$$u_{obsh} = \frac{n_{dv}}{n_{val}} = \frac{1440}{24} = 60 \quad (2.19)$$

Розподілимо загальне передавальне число між редуктором та відкритою ланцюговою передачею [35]:

Передавальне число циліндричного редуктора: $u_{red} = 31,5$;

Передавальне число приводної ланцюгової передачі: $\eta_{l.p.} = 1,9$.

Фактичне загальне передавальне число приводу дорівнює:

$$u_{obsh_fact} = u_{red} \cdot u_{l.p.} = 31,5 \cdot 1,9 = 59,85 \quad (2.20)$$

Фактична частота обертання приводного вала конвеєра:

$$n_{val_fact} = \frac{1440}{59,85} = 24,06 \text{ об/хв}$$

Крутний момент на приводному валу конвеєра T_{val} (Н·м) становить [35]:

$$T_{val} = \frac{P_0 \cdot 1000}{\omega_{val}} = \frac{3,93 \cdot 1000}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n_{val_fact}}{60}} = \frac{3930}{2,519} \approx 1560 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.21)$$

Крутний момент на вихідному (тихохідному) валу редуктора T_{red_out} (Н·м) дорівнює [35]:

$$T_{red_out} = \frac{T_{val}}{u_{l.p.} \cdot \eta_{l.p.}} = \frac{1560}{1,9 \cdot 0,96} = \frac{1560}{1,824} \approx 855 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.22)$$

Виходячи з передавального числа $u_{red} = 31,5$ та крутного моменту, вибираємо двоступінчастий циліндричний горизонтальний редуктор марки **1Ц2У-160-31,5** [53].

Основні технічні параметри редуктора наведено у таблиці 2.5.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5.

Основні технічні параметри редуктора

Технічний параметр редуктора	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Номінальний крутний момент вихідного валу	T_{max}	1250	Н·м
Номінальне передавальне число редуктора	u_{red}	31,5	-
Фактичне передавальне число редуктора	u_{fact}	31,93	-
Коефіцієнт корисної дії редуктора	η_{red}	97	%
Маса редуктора без масла	m_{red}	95	кг

Порівняння розрахованого моменту на вихідному валу редуктора з його максимально допустимим значенням [50]:

$$T_{red_out} \leq T_{max}$$

$$855 \text{ Н} \cdot \text{м} \leq 1250 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова міцності редуктора за контактними та вигніваючими напруженнями повністю виконується із запасом близько **31,6%**, що гарантує високу експлуатаційну надійність приводу в умовах можливих нерівномірних навантажень [37].

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

2.5. Перевірочний розрахунок тягового ланцюга на міцність

Тяговий ланцюг є найбільш високонавантаженим робочим елементом скребкового конвеєра, який піддається постійним розтягувальним зусиллям від транспортування зерна та динамічним впливам при запусках і зупинках обладнання[39].

Для вибору та перевірки ланцюга проаналізуємо наявні стандартизовані типи тягових пластинчастих ланцюгів відповідно до ГОСТ 588-81 (ISO/R 1977, DIN 8165, DIN 8167) [48].

Порівняльна характеристика конструктивних типів ланцюгів представлена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6.

Порівняльна характеристика конструктивних типів ланцюгів

Тип ланцюга за ГОСТ 588-81	Конструктивні особливості	Сфера раціонального використання	Переваги та обмеження
Втулкові (Тип 1)	Рухоме з'єднання здійснюється тільки через втулку та валик.	Тихохідні конвеєри, робота у сильно запилених приміщеннях.	Збільшена площа контакту шарніра, проте викликає підвищений знос зірочок[38].
Роликові (Тип 2)	На втулку встановлено ролики, що контактують із зубами зірочки.	Конвеєри з підвищеними швидкостями руху.	Зниження зносу зірочок та ланцюга за рахунок тертя кочення[38].
Каткові з гладкими катками (Тип 3)	Катки виступають за габарити	Конвеєри великої довжини з рухом	Катки котяться по напрямних,

	пластин ланцюга.	ланцюга по напрямних.	що значно знижує опір руху[38].`
Каткові з ребордами (Тип 4)	Катки забезпечені бічними ребордами для центрування.	Важкі умови роботи, похилі та складні просторові траси.	Запобігання сходженню ланцюга, висока металомісткість.

Для проектного горизонтального конвеєра із зануреними скребками приймаємо тяговий пластинчастий втулковий ланцюг типу **M80-2-100-1** за ГОСТ 588-81[48].

Вибір втулкового типу обумовлений його роботою у закритому жолобі під шаром зерна, де наявність високої концентрації зернового пилу може призвести до швидкого заклинювання роликів або катків[48].

Маркування ланцюга **M80-2-100-1** розшифровується таким чином [48]:

M – тяговий пластинчастий ланцюг [48];

80 – номінальне руйнівне допустиме навантаження ланцюга, кН (дорівнює 80000 Н) [48];

2 – виконання ланцюга (розбірний ланцюг зі змінними валиками) [48];

100 – крок ланок ланцюга, мм [48];

1 – тип ланцюга за стандартом (втулковий) [48].

Перевіримо правильність вибору ланцюга за фактичним коефіцієнтом запасу міцності n [44]:

$$n = \frac{F_{razr}}{S_{max}} \quad (2.23)$$

де:

F_{razr} – розривне навантаження ланцюга за паспортом, Н ($F_{razr} = 80000$ Н) [48];

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

S_{max} – максимальний робочий натяг ланцюга перед приводною зірочкою ($S_{max} = 11316 \text{ Н}$)

$$n = \frac{80000}{11316,9} \approx 7,07$$

Згідно з нормативами проектування підйомно-транспортних машин безперервної дії, мінімально допустимий коефіцієнт запасу міцності для тягових ланцюгів скребкових конвеєрів при тривалій експлуатації становить $[n] = 6,0$.

Порівняємо отриманий результат із нормативним значенням:

$$n \geq [n]$$

$$7,07 \geq 6,0$$

Розрахунковий коефіцієнт запасу міцності перевищує допустимий ліміт на 17,8%. Це гарантує стабільну роботу тягового органу при випадкових коливаннях подачі зерна, пусках заповненого конвеєра, а також виключає передчасний обрив ланок ланцюга при втоми металу[39].

2.6. Енергетичний аналіз ефективності транспортування та оптимізація робочих режимів

У сучасних умовах проектування промислового обладнання особлива увага приділяється питанням енергозбереження та екологічної безпеки[56]. Процеси транспортування сипких вантажів на великих елеваторних комплексах пов'язані з високим рівнем споживання електричної енергії[37].

Головним критерієм оцінки енергетичної досконалості проектованої машини є питомі енергетичні витрати e_{sp} (Вт·год/(т·м)), що визначають витрату електроенергії на переміщення однієї тонни зерна на відстань одного метра [37].

Питомі енергетичні витрати розраховуються за формулою [37]:

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$e_{sp} = \frac{P_{dv_real}}{Q_{fact} \cdot l} \cdot 1000 \quad (2.24)$$

де P_{dv_real} – дійсна споживана потужність електродвигуна при усталеному режимі транспортування зерна пшениці без урахування пускових коефіцієнтів запасу, кВт [32]:

$$P_{dv_real} = P_{dv_req} = 4,40 \text{ кВт}$$

$$e_{sp} = \frac{4,40}{85,05 \cdot 40} \cdot 1000 = \frac{4,40}{3402} \cdot 1000 \approx 1,29 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{т} \cdot \text{м})$$

Для порівняння з іншими типами транспортуючих машин переведемо цей показник у загальноприйнятій одиниці роботи (кДж/(т·м)) [56]:

$$e_{sp_SI} = e_{sp} \cdot 3,6 = 1,29 \cdot 3,6 \approx 4,64 \text{ кДж}/(\text{т} \cdot \text{м})$$

Результати наукових досліджень показують, що при транспортуванні сипких вантажів скребковими конвеєрами спостерігається суттєва залежність між ступенем завантаження робочого жолоба та питомим споживанням енергії [37].

При роботі обладнання з повним завантаженням ($\psi = 0,75 \dots 0,85$) питомі витрати енергії досягають свого мінімального рівня, оскільки корисна робота з переміщення зерна значно перевищує постійні втрати на тертя металевого ланцюга об жолоб [37].

У разі зниження подачі матеріалу і роботи на холостому або недовантаженому режимі спостерігається гіперболічне зростання питомих витрат енергії [37]. Це пояснюється тим, що потужність, яка витрачається на рух власної маси ланцюга зі скребками ($p_0 = 56,9 \text{ Н/м}$), залишається незмінною, тоді як обсяг корисного транспортування падає [35].

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для оптимізації роботи розробленої конструкції скребкового конвеєра та забезпечення максимальної енергоефективності пропонується впровадження таких інженерних рішень [39]:

Застосування частотно-регульованого приводу (VFD) для автоматичного коригування швидкості руху ланцюга залежно від миттєвої подачі зерна з бункера, що дозволяє утримувати оптимальне заповнення жолоба на рівні $\psi \approx 0,75$ [39];

Використання сучасного методу дискретних елементів (DEM) та багатотілової динаміки (MBD) для моделювання поведінки зернового стовпа у точках завантаження та розвантаження, що мінімізує внутрішнє тертя матеріалу та усуває зони підвищеного зносу робочих поверхонь жолоба [39];

Покриття днища жолоба полімерними зносостійкими листами з низьким коефіцієнтом тертя, що знижує ковзне тертя зерна об днище з 0,37 до 0,18, а ланцюга з 0,25 до 0,12, забезпечуючи зменшення споживання енергії на 25...30% [37].

Дані технологічні рішення дозволяють значно подовжити термін служби приводних елементів і забезпечити високу рентабельність експлуатації конвеєра на зернових терміналах[39].

Висновки

На основі комплексного конструкторського та тягового розрахунку скребкового конвеєра для транспортування зерна розроблено раціональну конструктивно-технологічну схему обладнання, яка забезпечує безперервне та делікатне переміщення пшениці з продуктивністю понад 85 тон на годину. Геометричні параметри жолоба з шириною 350 мм та висотою 300 мм у поєднанні з низькими зануреними скребками дозволяють реалізувати ефективний режим суцільного волочіння зернового стовпа при мінімальному рівні травмування продукту та знижених динамічних навантажень на ходову частину.

Отримані результати розрахунку натягів методом послідовного обходу по контуру підтвердили правильність вибору тягового органу конвеєра.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Пластинчастий втулковий ланцюг М80-2-100-1 за ГОСТ 588-81 має розрахунковий коефіцієнт запасу міцності 7,07, що повністю задовольняє вимогам надійності при тривалій експлуатації та значно перевищує нормативний показник. Підібрана приводна станція на базі трифазного електродвигуна АИР112М4 потужністю 5,5 кВт та двоступінчастого горизонтального циліндричного редуктора 1Ц2У-160-31,5 повністю забезпечує необхідний крутний момент на приводному валу з урахуванням пускових навантажень і має резерв міцності понад 30%.

Для практичного використання розробленої конструкції на сучасних елеваторах рекомендується встановлення систем автоматичного контролю завантаження із частотним регулюванням швидкості приводного вала, що дозволить уникнути нераціональних втрат енергії на недовантажених режимах роботи конвеєра. Впровадження зносостійких полімерних футеровочних плит на днищі робочого жолоба дозволить додатково знизити питомі енергетичні витрати та запобігти передчасному абразивному зносу корпусу обладнання. Проектований конвеєр відповідає всім сучасним вимогам енергоефективності, екологічності та експлуатаційної безпеки, що дозволяє рекомендувати його до впровадження у технологічні лінії зерноочисних і сушильних комплексів.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Вимоги до скребкових конвеєрів (ДСТУ EN 12321:2014)

Контроль пуску та зупинки: Обов'язкова перевірка систем керування під час запуску та надійність механізмів зупинки для мінімізації ризиків затягування.

Захист від термічних небезпек: Врахування ризику перегріву елементів конвеєра, що особливо критично в умовах запиленості зерном.

Гідравлічні та рідинні системи: Якщо конвеєр має гідропривід, трубопроводи та шланги повинні відповідати вимогам безпеки щодо цілісності під тиском.

3.2. Сигналізація небезпеки (ДСТУ EN 457 та ДСТУ EN 842)

Згідно з нормами безпеки машин, конвеєри повинні бути обладнані:

Звуковими сигналами небезпеки (ДСТУ EN 457): Звуковий сигнал повинен чітко розрізнятися на фоні виробничого шуму та подаватися автоматично перед запуском.

Візуальними сигналами (ДСТУ EN 842): Світлові індикатори повинні сповіщати про режим роботи або аварійний стан обладнання.

3.3. Аварійна зупинка та безпечні відстані (ДСТУ EN 418 та ДСТУ EN 294)

Пристрої аварійної зупинки (ДСТУ EN 418): Функціонування кнопок «Стоп» та тросових вимикачів має базуватися на принципах безумовного спрацьовування. Наприклад, натяжний трос вздовж конвеєра повинен забезпечувати зупинку з будь-якої точки.

Безпечні відстані (ДСТУ EN 294): Конструкція захисних огорожень (кожухів) повинна унеможливлювати досягання руками небезпечних зон (рухомих скребків та ланцюга) через оглядові люки або щілини.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Куліченко В.М.			РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ		
Перевір.		Ляшко А.П.					
Н. Контр.		Матухно Н.В.					
Затверд.		Ловейкін В.С.					
						Літ.	Арк.
							40
						Акрушів	
						57	
						НУБіП України	

3.4. Доступ до обслуговування (Серія ДСТУ ISO 14122)

Для безпечного проведення робіт на висоті або в важкодоступних місцях скребкового конвеєра:

Робочі майданчики та проходи (ДСТУ ISO 14122-2): Повинні мати неслизьке покриття та огороження.

Сходи та перила (ДСТУ ISO 14122-3): Встановлюються для безпечного доступу до приводних та натяжних станцій.

3.5. Пожежо- та вибухобезпека (ISO 6184-1)

Оскільки транспортування зерна супроводжується утворенням горючого пилу, важливо враховувати:

Показники вибухонебезпечності (ISO 6184-1): Визначення параметрів вибуху пилу в повітрі для правильного підбору аспіраційних систем та герметизації кожухів конвеєра

3.6. Загальні заходи з охорони праці:

Технічні засоби захисту: встановлення захисних кожухів на приводних механізмах, наявність тросових вимикачів для аварійної зупинки по всій довжині конвеєра, а також блокування, що унеможливорює запуск під час ремонту.

Сигналізація: обов'язкова звукова та світлова сигналізація, яка попереджає про запуск обладнання.

Навчання та інструктаж: працівники повинні пройти спеціальне навчання з безпечної експлуатації конвеєрного транспорту та інструктаж на робочому місці.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): використання захисних касок, окулярів та спеціального одягу без звисаючих частин, які можуть бути захоплені механізмом.

3.7. Типові небезпечні ситуації для скребкових конвеєрів:

Затягування частин тіла або одягу між ланцюгом/скребками та приводними або натяжними зірочками.

Травмування при обриві ланцюга через його високий натяг.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Падіння на конвеєр або потрапляння під нього в місцях пересипу матеріалу.

Виділення пилу або газів (особливо в шахтних умовах), що може призвести до вибухів або отруєнь.

3.8. Технічні засоби захисту та конструктивні вимоги

Герметизація та укриття: Скребкові конвеєри, що транспортують пилоутворювальні матеріали, повинні бути повністю закриті щільними кожухами по всій довжині. Місця завантаження та розвантаження також обладнуються щільними укриттями.

Блокування кришок: Кришки кожухів конвеєрів (крім спеціальних оглядових вікон) обов'язково обладнуються системами блокування, які унеможливають доступ до ланцюга та скребків під час їхнього руху.

Захист від обриву: Якщо конвеєр встановлений під нахилом, він повинен бути обладнаний уловлювачами транспортних ланок, які запобігають сповзанню полотна вниз у разі розриву ланцюга.

Контроль огляду: Для візуального спостереження за робочими органами в кожухах влаштовують оглядові люки з дверцятами, які щільно зачиняються.

3.9. Запобігання вибухам та боротьба з пилом

Аспірація: Місця виділення пилу повинні бути обладнані пристроями аспірації (місцевими відсмоктувачами). При цьому витяжні вентиляційні системи мають бути заблоковані з пусковим пристроєм конвеєра.

Заземлення: Оскільки зерновий пил може електризуватися, конвеєри та трубопроводи повинні бути надійно заземлені для відводу статичної електрики.

Прибирання: Необхідно регулярно проводити очищення обладнання та приміщень від пилу за графіком для запобігання пожежам та вибухам пилоповітряної суміші.

3.10. Аварійне керування та сигналізація

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Кнопки «Стоп»: Вздовж траси конвеєра через кожні 10 метрів (або 30 метрів залежно від типу об'єкта) повинні бути встановлені кнопки аварійної зупинки або тросові вимикачі.

Попереджувальний сигнал: Перед запуском конвеєра, який знаходиться поза межами видимості оператора, автоматично повинен подаватися звуковий або світловий сигнал тривалістю не менше 10 секунд.

Захист від перевантаження: Конструкція конвеєра повинна мати запобіжні пристрої, що вимикають привід у разі заклинювання або перевантаження механізму.

3.11. Небезпечні ситуації та заборони

Травмування рухомими частинами: Забороняється знімати кришки з жолоба, ставати на них або проводити очищення під час роботи конвеєра.

Ремонтні роботи: Будь-який ремонт, змащування або очищення проводяться лише на непрацюючому обладнанні з розібраною електричною схемою приводу та вивішеним плакатом «Не вмикати! Працюють люди!».

Пил як шкідливий чинник: Працівники, що обслуговують обладнання в умовах запиленості, повинні обов'язково використовувати протипилові респіратори.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Вихідні дані для розрахунку

Для проведення розрахунків економічної ефективності використовуються технічні параметри конвеєра, визначені у конструкторській частині роботи, а також актуальні ринкові ціни, тарифи на електроенергію для промислових споживачів та нормативи амортизації обладнання в Україні станом на 2026 рік.

Таблиця 4.1.

Вихідні дані

Назва параметра	Позначення	Базовий варіант	Проектований варіант
Фактична продуктивність, т/год	$Q_{факт}$	85,05	85,05
Довжина конвеєра, м	L	40	40
Річний фонд робочого часу, год/рік	$T_{рік}$	1500	1500
Коефіцієнт тертя зерна об днище жолоба	$f_{жс}$	0,37	0,18
Середня споживана потужність, кВт	$P_{спож}$	5,6	4,1
Промисловий тариф на електроенергію, грн/кВт·год	$Ц_{ен}$	8,50	8,50
Кошторисна вартість обладнання, грн	K	680 000	790 000
Норма амортизаційних відрахувань, %	H_a	10	10
Норма витрат на ремонт та ТО, %	H_p	7	4

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Куліченко В.М.			РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ				Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.		Ляшко А.П.									44	57	
									НУБіП України				
Н. Контр.		Матухно Н.В.											
Затверд.		Ловекін В.С.											

Річний обсяг транспортування зерна визначається як добуток фактичної продуктивності конвеєра на річний фонд робочого часу:

$$Q_{рік} = Q_{факт} \times T_{рік} = 85,05 \times 1500 = 127575 \text{ т/рік} \quad (4.1)$$

4.2. Розрахунок капітальних інвестицій

Капітальні інвестиції для проектного варіанту є вищими через необхідність придбання частотного перетворювача потужністю 5,5 кВт та закупівлю полімерних зносостійких листів футерування днища жолоба загальною довжиною 40 м.

Додаткові капітальні вкладення (ΔK) розраховуються за формулою:

$$\Delta K = K_{проект} - K_{баз} = 790\,000 - 680\,000 = 110\,000 \text{ грн} \quad (4.2)$$

4.3. Розрахунок експлуатаційних витрат

4.3.1. Витрати на електроенергію

Річні витрати на оплату спожитої електроенергії ($C_{ел}$) визначаються за формулою:

$$C_{ел} = P_{спож} \times T_{рік} \times C_{ен} \quad (4.3)$$

Для базового варіанту:

$$C_{ел.баз} = 5,6 \times 1500 \times 8,50 = 71400 \text{ грн/рік}$$

Для проектного варіанту:

$$C_{ел.проект} = 4,1 \times 1500 \times 8,50 = 52275 \text{ грн/рік}$$

Економічний ефект від зниження сил тертя та оптимізації режимів роботи за допомогою ЧПП становить:

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta C_{ел} = 71\,400 - 52\,275 = 19\,125 \text{ грн/рік}$$

4.3.2. Амортизаційні відрахування

Річні амортизаційні відрахування ($B_{ам}$) розраховуються лінійним методом:

$$B_{ам} = K \times (H_a / 100) \quad (4.4)$$

Базовий варіант:

$$B_{ам.баз} = 680\,000 \times 0,10 = 68\,000 \text{ грн/рік}$$

Проектований варіант:

$$B_{ам.проект} = 790\,000 \times 0,10 = 79\,000 \text{ грн/рік}$$

4.3.3. Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт

У базовому варіанті через тертя сталевого ланцюга та зерна безпосередньо об металевий корпус відбувається інтенсивний абразивний знос короба, що вимагає частих зварювальних та відновлювальних робіт. У проектованому варіанті зносу піддаються лише змінні полімерні листи, що суттєво знижує загальні витрати на ремонти:

$$B_{рем} = K \times (H_p / 100) \quad (4.5)$$

Базовий варіант:

$$B_{рем.баз} = 680\,000 \times 0,07 = 47\,600 \text{ грн/рік}$$

Проектований варіант:

$$B_{рем.проект} = 790\,000 \times 0,04 = 31\,600 \text{ грн/рік}$$

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3.4. Зведені експлуатаційні витрати

Загальна сума річних операційних витрат на експлуатацію конвеєра становить:

$$B_{\text{експ}} = C_{\text{ел}} + B_{\text{ам}} + B_{\text{рем}} \quad (4.6)$$

Базовий варіант:

$$B_{\text{експ. баз}} = 71\,400 + 68\,000 + 47\,600 = 187\,000 \text{ грн/рік}$$

Проектований варіант:

$$B_{\text{експ. проект}} = 52\,275 + 79\,000 + 31\,600 = 162\,875 \text{ грн/рік}$$

Чиста річна економія на експлуатаційних витратах:

$$\Delta B_{\text{експ}} = 187\,000 - 162\,875 = 24\,125 \text{ грн/рік.}$$

4.4. Додатковий технологічний ефект від зниження травмування зерна

Основним джерелом фінансової вигоди є зниження відсотка подрібнення (травмування) зерна пшениці під час його переміщення суцільним потоком (en-masse) по гладкій полімерній поверхні днища за мінімальних обертів приводу під керуванням ЧПП. Зниження травмування на $\Delta\gamma = 0,08\%$ запобігає переведенню зерна з продовольчого класу в кормовий фураж. Втрата вартості через пошкодження становить $\Delta Ц_з = 600$ грн/т.

Економічний ефект від збереження якості зерна ($E_{\text{травм}}$) дорівнює:

$$E_{\text{травм}} = Q_{\text{рік}} \times (\Delta\gamma / 100) \times \Delta Ц_з \quad (4.7)$$

$$E_{\text{травм}} = 127\,575 \times (0,08 / 100) \times 600 = 127\,575 \times 0,0008 \times 600 = 61\,236 \text{ грн/рік}$$

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

4.5. Інтегральні показники економічної ефективності та окупності

Загальний річний економічний ефект ($E_{річ}$) від модернізації скребкового конвеєра об'єднує експлуатаційну економію та технологічну вигоду від збереження якості зернової маси:

$$E_{річ} = \Delta B_{експ} + E_{травм} = 24\,125 + 61\,236 = 85\,361 \text{ грн/рік} \quad (4.8)$$

Термін окупності додаткових капіталовкладень на модернізацію ($T_{ок}$) визначається як:

$$T_{ок} = \Delta K / E_{річ} = 110\,000 / 85\,361 = 1,29 \text{ року} \quad (4.9)$$

Таблиця 4.2.

Результати розрахунку економічної ефективності

Показник ефективності	Значення	Одиниця виміру
Додаткові капітальні витрати (ΔK)	110 000	грн
Річна економія на електроенергії ($\Delta C_{ел}$)	19 125	грн/рік
Річне зниження витрат на ремонти ($\Delta B_{рем}$)	16 000	грн/рік
Ефект від збереження сортності зерна ($E_{травм}$)	61 236	грн/рік
Сумарний річний економічний ефект ($E_{річ}$)	85 361	грн/рік
Термін окупності інвестицій ($T_{ок}$)	1,29	роки (15,5 міс.)

Висновок до розділу

Розрахунки економічної ефективності показали високу доцільність запропонованої модернізації скребкового конвеєра. Незважаючи на збільшення початкових капітальних інвестицій на 110 000 грн за рахунок встановлення полімерного футерування днища жолоба та частотно-регульованого приводу, проект забезпечує щорічний сумарний економічний ефект у розмірі 85 361 грн. Термін окупності становить 1,29 року, що повністю відповідає критеріям високої рентабельності для елеваторних та зернопереробних комплексів України.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи розроблено сучасну конструкцію скребкового конвеєра для транспортування зерна, яка поєднує в собі високу продуктивність, надійність та енергоефективність. Завдяки впровадженню методу переміщення «суцільним потоком», використанню полімерного футерування жолоба та системи частотного регулювання приводу, вдалося досягти суттєвого зниження травмування зерна та мінімізації питомих витрат енергії.

Проект є економічно доцільним із терміном окупності близько 1,3 року та повністю відповідає вимогам охорони праці й екологічної безпеки, що дозволяє рекомендувати розроблене обладнання для широкого впровадження на підприємствах агропромислового комплексу

1. На основі проведеного аналізу встановлено, що для транспортування зернових культур найбільш доцільним є використання скребкових конвеєрів, які забезпечують високу пропускну здатність та герметичність процесу. Обґрунтовано переваги методу транспортування «суцільним потоком», який дозволяє переміщувати вантаж як єдину масу з мінімальним внутрішнім зміщенням часток, що є критично важливим для збереження цілісності зерна. Виявлено, що сучасний розвиток галузі спрямований на використання оцинкованих сталей, полімерних матеріалів для робочих органів та впровадження енергозберігаючих приводів. Сформовано комплекс технічних вимог до нової конструкції, що враховує фізико-механічні властивості зерна, необхідність повної екологічної безпеки та автоматизації керування.

2. Проведені конструкторські розрахунки дозволили визначити оптимальні геометричні параметри жолоба та робочих органів, що гарантують стабільну роботу пристрою при помірних швидкостях руху. Виконано тяговий розрахунок

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Куліченко В.М.			ВИСНОВКИ	Літ.	Арк.
Перевір.		Ляшко А.П.					Акрушів
							49
							57
Н. Контр.		Матухно Н.В.				НУБіП України	
Затверд.		Ловейкін В.С.					

методом обходу по контуру, який дозволив визначити навантаження в усіх характерних точках траси та обрати оптимальний тип тягового ланцюга. Підібрано приводну станцію у складі електродвигуна та редуктора, а також перевірено тяговий орган на міцність, що підтвердило наявність значного запасу надійності системи навіть при випадкових пускових навантаженнях. Впровадження полімерного футерування жолоба та сучасних систем регулювання швидкості дозволяє помітно знизити сили опору та загальне питоме споживання енергії під час експлуатації.

3. Сформовано комплекс вимог щодо безпечної експлуатації конвеєра, які базуються на чинних державних та міжнародних стандартах безпеки машин. Передбачено впровадження засобів звукової та візуальної сигналізації, які автоматично сповіщають персонал про початок роботи, а також встановлення засобів аварійної зупинки вздовж усієї траси для миттєвого припинення руху у разі небезпеки. Розроблено заходи з мінімізації виробничих ризиків, що включають герметизацію корпусу для боротьби з пилом, заземлення обладнання для відводу статичної електрики та встановлення захисних огорожень на рухомих частинах. Визначено суворий регламент технічного обслуговування, який виключає можливість травмування персоналу під час проведення ремонтних чи очисних робіт.

4. Економічне обґрунтування підтвердило, що впровадження модернізованої конструкції з полімерними елементами та сучасним керуванням призводить до помітного зниження щорічних операційних витрат. Встановлено, що основний фінансовий ефект досягається за рахунок збереження високої якості зерна, суттєвої економії електричної енергії та подовження міжремонтних термінів експлуатації обладнання. Проєкт характеризується коротким терміном окупності додаткових інвестицій, що свідчить про високу інвестиційну привабливість та рентабельність запропонованих інженерних рішень для сучасних елеваторних комплексів

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сукач М. К. Підйомно-транспортні машини : підручник. Київ : Ліра-К, 2019. 408 с.
2. Гевко Р. Б., Гевко І. Б., Клендій О. М. Пневмогвинтові транспортуючі системи сільськогосподарського призначення : монографія. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2018. 244 с.
3. Вітенько Т. М., Гевко І. Б. Транспортуючі та перевантажувальні машини : навч. посібник. Тернопіль : ТНТУ, 2017. 216 с.
4. Ловейкін В. С., Човнюк Ю. В. Динамічний аналіз та оптимізація підйомно-транспортних машин. Київ : НУБіП України, 2014. 230 с.
5. Шаров О. В., Шарова Л. В. Безперервний транспорт : навч. посібник. Харків : ХНАДУ, 2016. 212 с.
6. Bühler Group. Chain Conveyor TK™ for grain handling [Electronic resource]. Uzwil : Bühler AG, 2023. URL: <https://www.buhlergroup.com/> (дата звернення: 12.04.2026).
7. ТОВ «ЛУБНИМАШ». Шахтні зерносушарки, силоси та конвеєри. Каталог технічних рішень [Електронний ресурс]. Лубни, 2024. URL: <https://lubnymash.com/> (дата звернення: 15.03.2026).
8. ДСТУ EN 617:2014. Обладнання та системи безперервної дії. Вимоги щодо безпеки та електромагнітної сумісності для обладнання для механічного транспортування сипких матеріалів. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 32 с.
9. Пилипака С. Ф., Кліменко М. В. Моделювання руху зернового матеріалу в транспортерах. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2019. Вип. 293. С. 115–123.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Куліченко В.М.			СПИСОК ВИКОРИСТА- НИХ ДЖЕРЕЛ				Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.		Ляшко А.П.									51	57	
									НУБіП України				
Н. Контр.		Матухно Н.В.											
Затверд.		Ловекін В.С.											

10. Рогатинський Р. М., Ткаченко І. Г. Напружено-деформований стан елементів гнучких тягових органів. Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві. 2016. Вип. 29. С. 14–21.
11. Подпрятів Г. І., Скалецька Л. Ф., Сеньков А. М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : підручник. Київ : ЦУЛ, 2015. 416 с.
12. Roberts A. W. Bulk Solids Handling: Theoretical Principles and Practical Applications. Bulk Solids Handling Journal. 2015. Vol. 35, No. 2. P. 88–95.
13. Кузьменко В. П. Зносостійкість полімерних матеріалів у вузлах тертя транспортерів. Проблеми трибології. 2018. № 2. С. 45–51.
14. Станкевич Г. М. Зберігання зерна : підручник. Одеса : Букаєв, 2019. 544 с.
15. Schulze D. Powders and Bulk Solids: Behavior, Characterization, Storage and Flow. Berlin : Springer, 2021. 511 p.
16. Скрипник О. М. Енергозберігаючі приводи підйомно-транспортних машин АПК. Енергетика і автоматика. 2020. № 4. С. 77–85.
17. ДСТУ ISO 5048:2022. Конвеєри стрічкові безперервної дії. Розрахунок робочої потужності та натяжних зусиль. Київ : УкрНДНЦ, 2023. 24 с.
18. Бурдо О. Г., Безусов А. Т. Процеси та апарати харчових виробництв : підручник. Одеса : ОНАХТ, 2014. 450 с.
19. SRON Silo Systems. Technical Specifications of Drag Chain Conveyors for Grain Storage [Electronic resource]. Hefei, 2024. URL: <https://www.grainsilo.com/grain-silo-system/grain-handling/scrapper-conveyor.html> (дата звернення: 05.04.2026).
20. Лисенко В. П., Решетюк В. М. Автоматизація технологічних процесів в АПК. Київ : НУБіП України, 2016. 380 с.
21. Голубенко В. Д., Коваль Т. В. Безпека експлуатації аспіраційних систем на сучасних зерносховищах. Охорона праці та навколишнього середовища в АПК. 2021. № 4. С. 33–39.

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. KMZ Industries (Карлівський машинобудівний завод). Транспортне обладнання для зерна: скребкові конвеєри ТЕС [Електронний ресурс]. Карлівка, 2025. URL: <https://kmzindustries.ua/> (дата звернення: 20.03.2026).

23. ТОВ «ЗЕО» (Зернова Столиця). Проєктування та виготовлення елеваторного обладнання : техн. опис. Одеса, 2024. URL: <https://zeo.ua/> (дата звернення: 18.03.2026).

24. Hilton J. E., Cleary P. W. Granular flow in drag chain conveyors using the Discrete Element Method. Chemical Engineering Science. 2014. Vol. 116. P. 651–663.

25. Rademacher F. J. C. Characteristics of En-Masse Conveyors for Bulk Solids. Powder Technology. 1980. Vol. 25, No. 1. P. 23–35.

26. Ткачук О. А. Дослідження внутрішнього тертя зернової маси під час руху робочих органів конвеєрів. Наукові праці ОНАХТ. 2020. Вип. 84, Т. 2. С. 12–19.

27. Шевчук Р. М. Екологічна безпека агропромислових підприємств : мінімізація пилових викидів. Екологічні науки. 2023. Т. 48, № 2. С. 104–110.

28. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічно посилення. Загальні положення та правила складання. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 17 с.

29. Олійник В. С. Визначення фрикційних властивостей зернової маси при взаємодії зі сталевими та полімерними поверхнями. Техніка в АПК. 2022. № 1. С. 41–47.

30. McLin R. E. Designing Chain and Flight Conveyors for Harsh Materials. World Grain. 2019. Vol. 41, No. 6. P. 72–77.

31. Сучасні конструкції та методи розрахунку ланцюгових скребкових конвеєрів. Вісник машинобудування та транспорту. 2024. URL: <https://vmt.vntu.edu.ua> (дата звернення: 03.03.2026).

32. Конструювання і розрахунок системи скребкового і гвинтового конвеєрів ливарного цеху. DSpace Repository / ЦНТУ. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/items/4bf79118-bc50-44f7-8493-dfc5debd9113> (дата звернення: 06.03.2026).

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

33. Конвеєри ланцюгові (скребкові). Каталог продукції ХМЗ. URL: https://mehzavod.com.ua/ua/catalog/konveyery/k_lanc/ (дата звернення: 09.03.2026).

34. Оформлення конструкторської документації: Рамка креслення А4. Методичні вказівки кафедри ПСМ / КПІ ім. Ігоря Сікорського. URL: https://cpsm.kpi.ua/stud/bak/MatsagorDD_LU_71.pdf (дата звернення: 12.03.2026).

35. Скребокві конвеєри: класифікація та конструктивні особливості. Slideshare. URL: <https://www.slideshare.net/slideshow/ss-70848594/70848594> (дата звернення: 15.03.2026).

36. Дипломний проєкт бакалавра. Електронний архів наукових матеріалів КПІ ім. Ігоря Сікорського. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42060/1/MazagorDD_bakalavr.pdf (дата звернення: 18.03.2026).

37. The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/308480853_The_impact_of_an_uneven_loading_of_a_belt_conveyor_on_the_loading_of_drive_motors_and_energy_consumption_in_transportation (дата звернення: 21.03.2026).

38. Дипломний магістерський проєкт. Електронний архів КНУТД. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/19456/1/Dyplom131_Kondratyuk_Rubanka.pdf (дата звернення: 24.03.2026).

39. The transporting efficiency and mechanical behavior analysis of scraper conveyor. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/320109342_The_transporting_efficiency_and_mechanical_behavior_analysis_of_scraper_conveyor (дата звернення: 26.03.2026).

40. Машини безперервного транспорту : методичний посібник. ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tm/wp-content/uploads/sites/14/posibnyk_mnrr.pdf (дата звернення: 29.03.2026).

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

41. Транспортні системи електромеханічних комплексів: підйомні установки. Електронний архів КПП ім. Ігоря Сікорського. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/68dec947-97f5-4fc5-b235-ca3c27e7ebbf/download> (дата звернення: 01.04.2026).

42. Вибір оптимальної судорозвантажувальної машини для навальних вантажів. Репозиторій Одеського національного морського університету. URL: <http://rp.onmu.org.ua/> (дата звернення: 03.04.2026).

43. Пояснювальна записка до дипломного проектування. Репозиторій Дніпровського державного аграрно-економічного університету. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/> (дата звернення: 06.04.2026).

44. Тема 1. Машини безперервного транспорту: конспект лекцій. Донбаська державна машинобудівна академія. URL: <http://www.dgma.donetsk.ua/> (дата звернення: 09.04.2026).

45. Розрахунок продуктивності шнека. AGROHELIX. URL: <https://agrohelix.com.ua/rozrakhunok-produktivnosti-shneka-vid-agrohelix/> (дата звернення: 11.04.2026).

46. Розрахунок шнекового конвеєра. Фінпро Груп. URL: <https://finpro.group/uk/wiki-uk/konveyerne/shnek> (дата звернення: 14.04.2026).

47. Транспортери ланцюгові скребкові серії ТЛС. Завод елеваторного обладнання Transport S&V. URL: <https://transport-sv.com.ua/chainscraping/50-tls/> (дата звернення: 16.04.2026).

48. Ланцюги тягові пластинчасті: технічний асортимент. Юнітех Україна. URL: <https://unitech.com.ua/ua/seri-tyagovye-plastinchatye/> (дата звернення: 19.04.2026).

49. ДСТУ ГОСТ 588:2019 Ланцюги тягові пластинчасті. Технічні умови (ГОСТ 588-81, IDT). ДП «УкрНДНЦ». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=87421 (дата звернення: 22.04.2026).

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

50. Редуктор циліндричний двоступінчастий Ц2У-160. Завод Зевс. URL: <https://krepzevs.com.ua/p2883564509-reduktor-ts2u-160.html> (дата звернення: 24.04.2026).

51. Електродвигун АІР112М4 (5,5 кВт, 1500 об/хв): параметри та габаритні розміри. СЛЕМЗ. URL: <https://slemz.com.ua/elektrodiviguni/zagalnopromyslovi/elektrodivigun-air-112m4-5-5kvt-1500obhv> (дата звернення: 25.04.2026).

52. Електродвигун асинхронний АІР 132: таблиця цін та характеристик. Промелектро. URL: https://xn--80aqy.com.ua/uk/katalog_elektrodiviguniv_air/elektrodivigun-air-132/ (дата звернення: 27.04.2026).

53. Редуктор циліндричний 1Ц2У-160-16: інженерні рішення. Гідромеханіка. URL: <https://gidromehanika.com.ua/ua/p2194937010-reduktor-tsilindricheskij-1ts2u.html> (дата звернення: 28.04.2026).

54. Технічний каталог циліндричних редукторів серії Ц2У-160. СЛЕМЗ. URL: <https://slemz.com.ua/reductory-catalog/cylindrychni/c2u/c2u-160> (дата звернення: 28.04.2026).

55. Ланцюг тяговий пластинчатий Sircatene (Італія). Мотор-редуктор. URL: https://motor-reduktor.com.ua/ua/tiagovaya_plastinchataya_tsep (дата звернення: 29.04.2026).

56. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Електронний архів НТУ «ХПІ». URL: <http://idnrs.khpi.edu.ua/article/view/265377/261365> (дата звернення: 30.04.2026).

57. A comprehensive review on mechanical conveyor systems: evolution, types, and applications. International Journal of Notable Engineering Studies. URL: <https://www.ijnes.org/index.php/ijnes/article/download/801/599/2531> (дата звернення: 30.04.2026).

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					01.09 - КР. 1044 «С» 2026.15.04.023 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Куліченко В.М.			ДОДАТКИ				Літ.		Арк.	Акрушів	
Перевір.		Ляшко А.П.									57	57	
									НУБіП України				
Н. Контр.		Матухно Н.В.											
Затверд.		Ловекін В.С.											