

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»  
Завідувач кафедри матеріалознавства  
та ливарного виробництва  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:

**«Конструювання і розрахунок системи скребкового і  
гвинтового конвеєрів ливарного цеху»**

**“Design and calculation of a system of scraper and screw  
conveyors in the foundry”**

Виконав здобувач вищої освіти  
4 курсу групи ПМ(ОЛ)-21  
ОПП «Компютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D друк»  
спеціальність 131 «Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Олег ЗАСТУПАЙЛО

Керівник роботи:  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Віктор ЛОМАКІН

Рецензент:  
\_\_\_\_\_

**Центральноукраїнський національний технічний університет**  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва  
Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти  
Галузь знань: 13 Механічна інженерія  
Спеціальність: 131 Прикладна механіка  
Освітньо-професійна програма: Комп'ютерний інжиніринг технологій,  
робототехніка і 3D друк

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри матеріалознавства  
та ливарного виробництва  
канд. техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**  
**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**  
**Заступайлу Олегу Олексійовичу**

**Тема роботи:**

Конструювання і розрахунок системи скребкового і гвинтового цеху

**Керівник роботи:**

канд. техн. наук, доцент Віктор ЛОМАКІН

Затверджено наказом ЦНТУ від "2" 01 2025 року № 9-02

**Строк подання роботи до захисту:**

15.06.2025

**Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи:**

Мета: конструювання та техніко-економічне обґрунтування системи скребкового і гвинтового конвеєрів для ливарного цеху з урахуванням вимог продуктивності, надійності, ергономіки та безпеки експлуатації.

Завдання: розробити систему гвинтового та скребкового конвеєрів для ливарного цеху, здійснити аналіз технологічного процесу транспортування сипучих матеріалів, обґрунтувати вибір типів конвеєрів, виконати основні технічні розрахунки, сконструювати вузли й оформити креслення.

Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Проектування системи конвеєрів	Ломакін В. М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних систем транспортування у ливарному виробництві	23.03.2025	
2	Розрахунок і конструювання скребкового конвеєра	3.04.2025	
3	Розрахунок і конструювання гвинтового конвеєра	29.04.2025	
4	Оформлення пояснювальної записки	8.05.2025	
5	Оформлення презентації роботи	19.05.2025	
6	Захист роботи	26.05.2025	

Дата видачі завдання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ (Віктор ЛОМАКІН)  
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ (Олег ЗАСТУПАЙЛО)  
(підпис)

### Анотація

Заступайло Олег Олексійович. Конструювання і розрахунок системи скребкового і гвинтового цеху. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2025. Пояснювальна записка викладена на 37 стор. друкованого тексту і містить 11 літературних посилань.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання розрахунку системи скребкового і гвинтового конвеєрів для транспортування матеріалів у ливарному цеху. Метою дослідження є забезпечення безперервного та ефективного транспортування сипучих і твердих матеріалів, що сприяє підвищенню продуктивності та технологічної безпеки ливарного виробництва.

У вступі обґрунтовано актуальність теми та визначено основні завдання, серед яких аналіз технологічного процесу ливарного цеху, вибір типів конвеєрів, побудова кінематичної схеми, виконання основних технічних розрахунків та конструювання механізмів. У першому розділі проведено аналітичний огляд існуючих систем транспортування матеріалів у ливарних цехах, розглянуто класифікацію конвеєрів і сформульовано вимоги до них в умовах виробництва.

У другому розділі розроблено конструкцію та виконано розрахунок скребкового конвеєра, включаючи визначення продуктивності, вибір тягового органа, конструкцію корпусу та приводу.

У третьому розділі спроектовано гвинтовий конвеєр: визначено його продуктивність, геометричні параметри, підбрано підшипники, муфти та привід.

У висновках узагальнено результати досліджень, підтверджено доцільність розробленої системи та її економічну ефективність. Робота має практичну цінність для впровадження у виробництво систем транспортування матеріалів у ливарних цехах.

**СКРЕБКОВИЙ КОНВЕЄР, ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР, ЛИВАРНИЙ ЦЕХ, ТРАНСПОРТУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ, КОНВЕЄРНА СИСТЕМА, ПРОЕКТУВАННЯ, РОЗРАХУНОК, ПРОДУКТИВНІСТЬ.**

## **Abstracts**

Zastupailo Oleh Oleksiyovych. Design and calculation of the system of scraper and screw shop. Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education: CNTU, 2025. The explanatory note is set out on 37 pages of printed text and contains 11 references.

The qualification work deals with the calculation of a system of scraper and screw conveyors for the transportation of materials in a foundry. The purpose of the study is to ensure continuous and efficient transportation of bulk and solid materials, which contributes to the increase in productivity and technological safety of foundry production.

The introduction substantiates the relevance of the topic and identifies the main tasks, including the analysis of the foundry process, selection of conveyor types, construction of a kinematic diagram, basic technical calculations, and design of mechanisms. In the first section, an analytical review of existing material transportation systems in foundries is carried out, the classification of conveyors is considered, and requirements for them in production conditions are formulated.

In the second section, the design and calculation of the scraper conveyor is developed, including the determination of capacity, selection of the traction body, housing design, and drive. In the third section, a screw conveyor is similarly studied: its performance and geometric parameters are determined, bearings, couplings, and drive are selected.

The conclusions summarize the results of the research, confirm the feasibility of the developed system and its economic efficiency. The work is of practical value for the implementation of material transportation systems in foundries.

**SCRAPER CONVEYOR, SCREW CONVEYOR, FOUNDRY, MATERIAL TRANSPORTATION, CONVEYOR SYSTEM, DESIGN, CALCULATION, PERFORMANCE.**

## Зміст

	Стор
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕМІЩЕННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У ЛИВАРНИХ ЦЕХАХ.....	9
1.1 Призначення і класифікація конвеєрного транспорту.....	9
1.2 Види транспортування матеріалів у ливарних цехах.....	10
1.3 Аналіз існуючих систем переміщення сипучих і твердих матеріалів у ливарному виробництві.....	12
1.4 Вимоги до обладнання в умовах ливарного цеху.....	13
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА.....	16
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК І КОНСТРУКЦІЯ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА.....	28
ВИСНОВКИ.....	34
ЛІТЕРАТУРА.....	36
ДОДАТКИ.....	37

## ВСТУП

У наш час, коли машинобудівна промисловість переживає період активного розвитку, значно зростають вимоги до рівня механізації та автоматизації технологічних процесів, особливо в ливарному виробництві. Ливарні цехи є важливою ланкою у виробничому циклі більшості машинобудівних підприємств, оскільки саме тут виготовляють широкий спектр деталей і вузлів, необхідних для подальшого складання та експлуатації різних машин і механізмів. Одним із ключових факторів стабільної та ефективної роботи ливарного виробництва є організація раціональної та надійної системи транспортування як готової продукції, так і технологічних матеріалів — піску, шлаків, відходів та інших сипучих мас.

Забезпечення безперервності технологічного потоку, своєчасне постачання формувальної суміші, оперативне відведення відходів і подача готової продукції в значній мірі залежить від вибору та впровадження ефективних механізованих транспортних систем. В умовах високих температур, підвищеної запиленості та агресивного середовища ливарного цеху особливо важливим стає застосування таких транспортних систем, які здатні працювати без зупинок, з мінімальними витратами на обслуговування та ремонт.

У цьому контексті скребкові та гвинтові конвеєри вже давно довели свою ефективність і універсальність. Завдяки своїй простій конструкції, можливості роботи в умовах підвищеної абразивності та вологості, ці види конвеєрів широко використовуються на різних ділянках виробництва. Вони чудово справляються з транспортуванням піщано-глинистих сумішей, гарячих відходів, шлаків, металевих стружок та інших матеріалів, що утворюються в процесі лиття. Крім того, такі конвеєри забезпечують герметичність процесу, знижують рівень запиленості цеху та сприяють покращенню умов праці для обслуговуючого персоналу.

Разом із тим, з огляду на динамічний розвиток технологій, постійне вдосконалення конструкцій та зростання вимог до безпеки й екологічності виробництва, постає потреба у комплексному підході до проектування та

розрахунку скребкових і гвинтових конвеєрів. Сучасні умови вимагають не лише надійності та довговічності роботи цих механізмів, а й економічної доцільності їхнього впровадження, енергоефективності, можливості швидкого обслуговування та мінімізації витрат на ремонт.

Актуальність обраної теми пояснюється тим, що у багатьох ливарних цехах досі експлуатуються застарілі системи транспортування, які не відповідають сучасним вимогам до продуктивності та безпеки праці. У ряді випадків відсутній системний підхід до організації транспортування матеріалів, а транспортні лінії працюють розрізнено, без єдиної концепції. Це призводить до простоїв обладнання, збільшення витрат часу на обслуговування, підвищення виробничих витрат та погіршення умов праці.

Таким чином, розробка сучасної, економічно обґрунтованої, конструктивно надійної та технологічно доцільної системи скребкових і гвинтових конвеєрів є надзвичайно важливим завданням. Така система дозволить забезпечити безперервну роботу ливарного цеху, оптимізувати технологічний процес, скоротити витрати на експлуатацію та технічне обслуговування, а також підвищити рівень промислової безпеки та відповідність екологічним стандартам.

Варто також зазначити, що впровадження вдосконалених конвеєрних систем сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємства, поліпшенню якості продукції та збільшенню загальної ефективності виробничого процесу. Це, своєю чергою, матиме позитивний вплив на економічні показники діяльності підприємства та створить передумови для подальшої модернізації ливарного виробництва.

Обрана тема дослідження є актуальною та відповідає сучасним вимогам розвитку машинобудівної галузі, що потребує вдосконалення транспортних систем у ливарних цехах на основі використання скребкових і гвинтових конвеєрів.

### **Мета і завдання роботи**

Метою кваліфікаційної роботи є конструювання та техніко-економічне обґрунтування системи скребкового і гвинтового конвеєрів для ливарного цеху з урахуванням вимог продуктивності, надійності, ергономіки та безпеки експлуатації. Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань:

- Розробити систему гвинтового та скребкового конвеєрів для ливарного цеху.
- Здійснити аналіз технологічного процесу транспортування сипучих матеріалів.
- Обґрунтувати вибір типів конвеєрів.
- Виконати основні технічні розрахунки.
- Сконструювати вузли й оформити креслення.

## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕМІЩЕННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У ЛИВАРНИХ ЦЕХАХ**

### **1.1 Призначення і класифікація конвеєрного транспорту**

У сучасному ливарному виробництві конвеєрний транспорт посідає одне з провідних місць серед засобів механізації внутрішньо цехового переміщення матеріалів. Основне його призначення полягає в організації безперервного та ритмічного транспортування різноманітних матеріалів, включаючи сипучі маси, відливки, заготовки та інші вироби, між окремими ділянками технологічного процесу. Застосування конвеєрного транспорту дозволяє значно скоротити витрати ручної праці, підвищити продуктивність виробництва, знизити собівартість продукції та покращити умови праці обслуговуючого персоналу.

Завдяки високому рівню універсальності та адаптивності до різних технологічних умов, конвеєрні системи поділяються за конструктивними та функціональними ознаками на кілька основних типів. Зокрема, серед найбільш поширених видів транспортерів можна виділити: стрічкові, пластинчасті, гвинтові (шнекові), скребкові, ковшові, ланцюгові, пневматичні та гідравлічні системи транспортування. Кожен із цих видів має свої характерні особливості та сфери застосування.

Вибір конкретного типу конвеєра визначається передусім фізико-механічними властивостями матеріалів, які необхідно транспортувати, довжиною та напрямком маршруту, продуктивністю системи та специфікою умов експлуатації. Наприклад, для транспортування гарячих, абразивних або вологих матеріалів у ливарних цехах особливо ефективними є скребкові та гвинтові (шнекові) конвеєри, адже вони здатні працювати в умовах підвищеної температури, запиленості та високої вологості. Для великих обсягів транспортування на значні відстані перевагу віддають стрічковим та пластинчастим конвеєрам, які відзначаються високою продуктивністю та можливістю транспортування як сипучих, так і штучних вантажів.

Таким чином, застосування різних типів конвеєрного транспорту в ливарному виробництві забезпечує гнучкість та ефективність організації транспортних

потоків, а також сприяє підвищенню загальної продуктивності та економічної ефективності роботи підприємства.

## **1.2 Види транспортування матеріалів у ливарних цехах**

У ливарному виробництві для забезпечення ритмічності технологічних процесів та безперебійного транспортування матеріалів використовують різні види транспортування, кожен із яких має свої переваги й обмеження. Вибір конкретної системи залежить від фізико-хімічних властивостей матеріалу, умов експлуатації, температурного режиму, рівня запиленості та економічних чинників.

Серед найпоширеніших видів транспортування у ливарних цехах виділяють стрічкові, ковшові (елеваторні), пневматичні, вібраційні, пластинчасті транспортери, ричажні системи та крани. Кожен тип має свої особливості й застосовується залежно від призначення та специфіки виробничої ділянки.

**Стрічкові конвеєри** є універсальним видом транспортування сипучих і грудкових матеріалів. Основний елемент — рухома стрічка, що огинає приводні та натяжні барабани й підтримується роликami. Такі конвеєри характеризуються високою продуктивністю, можливістю транспортування на значні відстані та плавністю руху. Однак вони менш ефективні при транспортуванні гарячих або липких матеріалів через ризик налипання та потребу в регулярному очищенні.

**Ковшові конвеєри (елеватори)** застосовуються для вертикального та похилого транспортування сипучих мас. Вони складаються з ковшів, закріплених на стрічці або ланцюзі, які підхоплюють матеріал у нижній точці та висипають його у верхній. Їхні переваги — компактність, висока продуктивність та можливість підйому на великі висоти. Водночас такі системи потребують регулярного технічного обслуговування через значне зношування ковшів і ланцюгів.

**Пневмотранспортери** забезпечують переміщення сипучих матеріалів за допомогою повітряного потоку або іншого газу. Ці системи складаються з компресорів, трубопроводів та сепараторів для відділення матеріалу від повітря. Їхні основні переваги — висока швидкість транспортування та герметичність, що

знижує запиленість виробничих приміщень. До мінусів належать підвищене енергоспоживання та значний знос трубопроводів при роботі з абразивними матеріалами.

**Вібраційні конвеєри** переміщують матеріали за рахунок коливань жолоба або лотка. Вони особливо ефективні для транспортування гарячих або вологих матеріалів, оскільки стійкі до високих температур і агресивних середовищ. До їхніх плюсів відносять простоту конструкції та відсутність складних приводних механізмів. Водночас робота таких конвеєрів супроводжується підвищеним шумом і вібраціями.

**Кранове господарство** у ливарних цехах представлено мостовими, козловими, консольними кранами та кран-балками. Це найкращий варіант для переміщення важких і габаритних вантажів: шихти, виливків, металевих відходів тощо. Серед переваг — універсальність, велика вантажопідйомність та гнучкість. Недоліками є висока вартість обладнання та необхідність спеціально обладнаних виробничих приміщень.

**Грейферні крани** — це вантажопідіймальні машини, призначені для захоплення, піднімання, переміщення та вивантаження сипучих, кускових або в'язких матеріалів за допомогою спеціального робочого органу — грейфера. Такі крани широко застосовуються у ливарному, металургійному, будівельному, портовому та сільськогосподарському господарствах. Їх використання значно підвищує ефективність та безпеку технологічного процесу, дозволяє автоматизувати завантаження й переміщення важких мас без участі людини в небезпечних зонах.

Згідно з завданням отриманим на кафедрі матеріалознавства ливарного виробництва для виконання бакалаврської роботи потрібно виконати конструювання і проектний розрахунок системи скребкового та гвинтового конвеєра.

**Скребкові конвеєри** використовуються для переміщення сипучих і вологих матеріалів, таких як формувальна суміш, відходи та шлак. Конструктивно вони складаються з жолоба, всередині якого рухаються скребки, прикріплені до

ланцюга. Основні переваги цих систем — можливість роботи у запиленому середовищі, герметичність та надійність.

Скробкові конвеєри здатні працювати під нахилом або навіть вертикально, що робить їх універсальними для різних ділянок цеху. До недоліків відносять значне енергоспоживання та швидкий знос деталей, особливо при роботі з абразивними матеріалами.

**Гвинтові (шнекові) конвеєри** призначені для переміщення пилоподібних або сипучих матеріалів на короткі відстані. Вони складаються зі спіралі, яка обертається всередині корпусу, просуваючи матеріал вперед. Такі системи відзначаються компактністю, простотою та герметичністю, що знижує рівень пиловиділення. Вони широко застосовуються для завантаження змішувачів, подачі регенерату та інших ділянок транспортування сипучих матеріалів. Водночас у них спостерігається підвищене зношування спіралі, а також обмеження довжини транспортування, що потребує встановлення кількох секцій для покриття великих відстаней.

Отже, комбіноване використання різних систем транспортування, серед яких важливе місце займають скребкові та гвинтові конвеєри, дає змогу створити гнучку та надійну транспортну інфраструктуру у ливарному цеху. Такий підхід дозволяє оптимізувати виробничий процес, підвищити продуктивність і забезпечити відповідність екологічним та безпековим вимогам сучасного виробництва.

### **1.3 Аналіз існуючих систем переміщення сипучих матеріалів у ливарному виробництві**

На підприємствах ливарної промисловості, як в Україні, так і за кордоном, для організації ефективного транспортування матеріалів у межах цеху застосовуються різноманітні системи внутрішньоцехового транспорту. Найчастіше на практиці використовують комплексні рішення, що поєднують у собі кілька типів конвеєрів, кожен із яких виконує свою роль у загальній схемі переміщення матеріалів. Це дає можливість забезпечити ритмічність та безперервність виробничого процесу, зменшити витрати ручної праці та підвищити продуктивність підприємства.

Типовими є технологічні лінії транспортування, які включають скребкові, гвинтові (шнекові) та стрічкові конвеєри, інтегровані у єдину систему. Такі лінії найчастіше використовуються для транспортування піщано-глинистих сумішей, металевої стружки, гарячих зливків, шлаку та інших матеріалів, що є невід'ємною частиною виробничого процесу у ливарному виробництві. Наприклад, у системах транспортування формувальної суміші широко застосовують скребкові конвеєри з герметичними жолобами, які ефективно запобігають запиленню повітря та забезпечують безпечні умови праці в цеху.

Для подачі матеріалів на короткі відстані, особливо під завантажувачами, мішалками та живильниками, доцільно використовувати гвинтові (шнекові) конвеєри, що відзначаються компактністю та можливістю точної дозованої подачі сумішей або порошкоподібних матеріалів. У сучасних умовах автоматизації виробництва значно зростає роль механізмів, оснащених системами регулювання швидкості подачі, датчиками контролю рівня заповнення та пристроями аварійного зупинення. Це дозволяє не лише підвищити ефективність роботи транспортерів, а й знизити ризики виникнення аварійних ситуацій та полегшити обслуговування обладнання.

Досвід провідних підприємств ливарної галузі, таких як “Інтерпайп Сталь” (Україна), “GE Foundry” (США) та “Küttner” (Німеччина), переконливо доводить доцільність застосування комбінованих транспортних систем. Такі рішення дозволяють оптимізувати маршрути переміщення матеріалів, зменшити енерговитрати та продовжити термін служби основних вузлів обладнання. Крім того, комплексне використання різних типів конвеєрів дозволяє більш гнучкого налаштування технологічної лінії під конкретні умови виробництва, що позитивно впливає на загальну ефективність роботи ливарного цеху.

#### **1.4 Вимоги до обладнання в умовах ливарного цеху**

Умови експлуатації в ливарному цеху висувають особливі, підвищені вимоги до всіх видів транспортувального обладнання, що використовується для переміщення матеріалів та виробів у межах виробничого процесу. Такий цех зазвичай характеризується досить складними та несприятливими умовами праці:

високими температурами в робочій зоні, значною концентрацією пилу у повітрі, вібраційними навантаженнями та агресивністю середовища через вплив високотемпературних і хімічно активних матеріалів. Усе це зумовлює необхідність застосування транспортувальних систем, які відповідають підвищеним вимогам надійності, довговічності та простоти обслуговування.

Серед основних експлуатаційних вимог до конвеєрів та іншого транспортувального обладнання слід виділити:

- забезпечення високої термостійкості всіх основних елементів, особливо тих, які безпосередньо контактують із розігрітими формами або литвом;
- наявність герметичної конструкції, яка запобігає виходу пилу у виробниче середовище та дозволяє уникнути втрат транспортувальних матеріалів;
- легкість розбирання та збирання окремих вузлів, що значно полегшує проведення технічного обслуговування та ремонтних робіт;
- висока зносостійкість робочих поверхонь і деталей, які постійно взаємодіють з абразивними матеріалами, наприклад із піщано-глинистими сумішами або шлаками;
- мінімізація кількості рухомих вузлів і підшипників у важкодоступних місцях, що знижує ризик виходу обладнання з ладу та полегшує його обслуговування.

Крім зазначених вимог, сучасне транспортувальне обладнання повинне відповідати чинним нормам охорони праці та екологічної безпеки, враховувати аспекти сумісності з автоматизованими системами керування та можливістю інтеграції у загальну інформаційно-керуючу інфраструктуру підприємства. Особливої уваги сьогодні набуває питання енергоефективності, адже сучасні підприємства прагнуть зменшити витрати електроенергії та скоротити експлуатаційні витрати. Досягнення цієї мети можливе завдяки застосуванню частотних перетворювачів, які дозволяють регулювати швидкість руху конвеєра залежно від потреб виробництва, використанню редукторів із високим коефіцієнтом корисної дії, а також завдяки ретельному опрацюванню маршруту транспортування для мінімізації довжини та складності траєкторії переміщення матеріалів.

Таким чином, транспортувальне обладнання ливарного цеху має бути не лише механічно надійним і зносостійким, а й відповідати сучасним вимогам промислової безпеки, енергоефективності та автоматизації, що дозволяє забезпечити стабільність виробничого процесу та досягти високої продуктивності.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА

Вихідні дані для розрахунку скребкового конвеєра з верхньою робочою гілкою: продуктивність  $\Pi = 63$  тс/год = 17,5 кгс/с, довжина конвеєра  $L = 80$  м, кут нахилу  $\beta = 3^\circ$ , транспортований вантаж — вугілля кам'яне не сортоване,  $\gamma_p = 0,8$  тс/м<sup>3</sup>, максимальний розмір кусків  $a_{\max} = 250$  мм (мал. 1).

Продуктивність скребкового конвеєра є одним із основних показників його ефективності та визначає здатність механізму транспортувати певну кількість матеріалу протягом одиниці часу. Від цього параметра залежить ритмічність роботи виробничого процесу, ефективність використання обладнання та економічна доцільність експлуатації всієї транспортної системи. Щоб забезпечити безперебійну подачу матеріалів на різних ділянках ливарного цеху, конвеєр має працювати у відповідності до заданої продуктивності з урахуванням пікових навантажень та можливих коливань у роботі виробничої лінії.

Основними чинниками, які визначають продуктивність скребкового конвеєра, є геометричні характеристики жолоба, швидкість руху скребоків, коефіцієнт заповнення жолоба та фізико-механічні властивості транспортувального матеріалу. Кожен із цих параметрів вимагає ретельного розрахунку та обґрунтування для досягнення надійної й безпечної експлуатації обладнання.

Розрахунок продуктивності скребкового конвеєра виконується за загальноприйнятою формулою:

$$\Pi = 3600 \cdot F \cdot v \cdot \gamma_p = 360 \cdot B \cdot h \cdot \varphi \cdot k_\beta \cdot v \cdot \gamma_p \quad (2.1)$$

де:  $B$  і  $h$  — ширина і висота жолоба (м),

$\varphi$  — коефіцієнт заповнення жолоба,  $\varphi = 0,5 \dots 0,6$  — для легко сипучих вантажів,  $\varphi = 0,7 \dots 0,8$  — для кускових вантажів;

У скребкових конвеєрах приймають  $\frac{B}{h} = 2,4 \dots 4$ . З урахуванням цього визначаємо ширину жолоба:

$$B = \sqrt{\frac{(2,4 \dots 4)\Pi}{3600\varphi k_{\beta} v \gamma_p}} = \sqrt{\frac{3,2 \cdot 63}{3600 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,8}} = 0,432 \text{ м}, \quad (2.2)$$

де:  $\varphi = 0,75$  — для кускового рядового вугілля;

$k_{\beta} = 1$  (табл.1). Приймаємо  $B = 500$  мм.

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнтів  $k_{\beta}$

Вантаж	Кут нахилу конвеєра, °					
	0°	10°	20°	30°	35°	40°
Легко сипучий	1	0,85	0,65	0,5	—	—
Погано сипучий, Кусковий	1	1	1	0,75	0,6	0,5

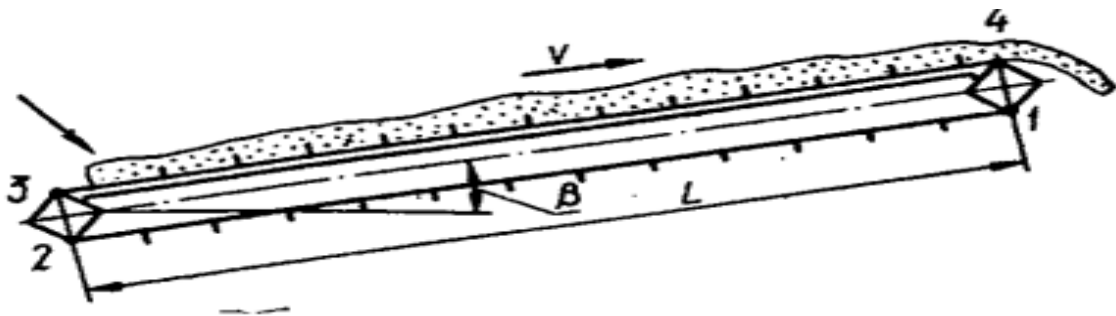


Рис. 2.1. Схема скребкового конвеєра.

Швидкість руху ланцюгів у скребкових конвеєрах вибирають в межах  $0,1 \dots 1,0$  м/с. Для проєктованого конвеєра приймаємо  $v = 0,5$  м/с.

Висота жолоба:

$$h = \frac{B}{3,2} = \frac{0,6}{3,2} = 0,188 \text{ м}. \quad (2.3)$$

Приймаємо  $h = 200$  мм.

Висота скребка:

$$h_c = h + (25 \dots 50) = 200 + 40 = 240 \text{ мм} \quad (2.4)$$

Крок скребків:

$$t_c = (2 \dots 4)h_c = 2,5 \cdot 240 = 600 \text{ мм.} \quad (2.5)$$

Відстань між скребками і шириною жолоба повинні відповідати співвідношенню:

$$t_c \geq 1,5 a_{max};$$

$$B \geq k_c a_{max};$$

$$600 = t_c \geq 1,5 \cdot 250 = 375;$$

$$600 = B \geq 2,25 \cdot 250 = 563;$$

де  $k_c = 2,25$  (табл. 2)

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів  $k_c$

Конвеєр	$k_c$	
	Для сортованих вантажів	Для несортованих вантажів
Однolanцюговий	5...7	3...3,5
Дволanцюговий	3...4	2...2,5

Тяговий розрахунок. Погонне навантаження від вантажу, що переміщується:

$$q = \frac{\Pi}{3,6v} = \frac{63}{3,6 \cdot 0,5} = 35 \text{ кгс/м.} \quad (2.6)$$

Погонна вага ланцюгів та скребків:

$$q_{ц} = k_{ц} q = 0,715 \cdot 35 = 25 \text{ кгс/м,} \quad (2.7)$$

де  $k_{ц}$  — емпіричний коефіцієнт.

Приймаємо дволanцюговий скребковий конвеєр, для якого наближено  $k_{ц} = 0,715$ .

Методом обходу по контуру визначаємо натяг у ланцюгу та опір руху тягового органу. Мінімальним натягом тягового ланцюга в точці 1 задаються з умови правильної взаємодій з провідною зірочкою.

$$S_1 = 100 \dots 300 \text{ кгс.}$$

Для розрахунку конвеєра приймаємо  $S_{min} = S_1 = 300 \text{ кгс.}$

Натяг ланцюгів у точці 2

$$S_2 = S_1 + q_{ц} L \cos \beta \omega_{ц} \pm q_{ц} L \sin \beta = 300 + 25 \cdot 80 \cdot 0,35 \cos 3^\circ - 25 \cdot 80 \sin 3^\circ = 894 \text{ кгс} \quad (2.8)$$

де,  $\omega_{ц}$  — коефіцієнт опору руху ланцюга.

$$S^3 = k S^2 = 1,1 \cdot 894 = 983 \text{ кгс,} \quad (2.9)$$

$k = 1,1$  — коефіцієнт збільшення натягу ланцюга при обгинанні зірочки.

Крім того, для конвеєра з високими скребками натяг ланцюга в точці найменшого натягу робочої гілки (точка 3) перевіряють з умови стійкості скребка, яке повинно задовольняти вимоги:

$$S^3 \geq S_{3min} = \frac{W h_1}{t_{ц}} \operatorname{ctg} \varepsilon, \quad (2.10)$$

де,  $\varepsilon$  — кут відхилення ланки ланцюга, приймають  $\varepsilon \leq 2 \dots 3^\circ$ ;

$W$  — опір переміщенню порції вантажу між скребками, кг;

$h_1$  — відстань по висоті скребка від сили  $W$  до ланки ланцюга (лінії, що проходить через шарніри ланцюга), мм.

Для конвеєра, що розраховується:

$$W = q t_0 \cos \beta \omega_{гп} + q t_0 \sin \beta = 35 \cdot 0,6 \cos 3^\circ \cdot 0,45 + 35 \cdot 0,6 \sin 3^\circ = 10,5 \text{ кгс} \quad (2.11)$$

$$S_{3min} = \frac{W h_1}{t_{ц}} \operatorname{ctg} \varepsilon = \frac{10,5 \cdot 100}{80} \operatorname{ctg} 3^\circ = 250 \text{ кгс,} \quad (2.12)$$

Тут приблизно:

$$h^1 = \frac{1}{2}h = \frac{1}{2} \cdot 200 = 100 \text{ мм.} \quad (2.13)$$

Умову дотримано, оскільки:

$$983 \text{ кг} = S^3 > S_{3min} = 250 \text{ кгс.} \quad (2.14)$$

Визначаємо:

$$S_4 = S_3 + q_{ц}L\cos\beta\omega_{ц} + qL\cos\beta\omega_{гр} \pm (q_{ц} + q)L\sin\beta = 983 + 25 \cdot 80 \cdot 0,35 \times \\ \cos 3^\circ + 35 \cdot 80 \cdot 0,45 \cos 3^\circ + (25 + 35)80\sin 3^\circ = 3191 \text{ кгс,} \quad (2.15)$$

Опір руху ланцюга:

$$W_0 = S_4 - S^1 + (k - 1)(S_4 + S^1) = 3191 - 300 + \\ +(1,1 - - 1)(3191 + 300) = 3240 \text{ кгс.} \quad (2.16)$$

Установча потужність двигуна:

$$N_0 = n_y N_p = \frac{W_0 v}{102 \eta_m} n_y = \frac{3240 \cdot 0,5}{102 \cdot 0,85} \cdot 1,1 = 20,55 \text{ кВт.} \quad (2.17)$$

За каталогом приймаємо електродвигун типу А02-72-6:  $N = 22 \text{ кВт}$ ,  
 $n = 970 \text{ мин}^{-1}$  ( $\omega = 101,5 \text{ рад/с}$ ),  $\frac{M_{пуск}}{M_H} = 1,2$ ,  $\frac{M_{max}}{M_H} = 1,8$ ,  $J_p = 0,051 \text{ кгс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$

Попередньо для приводу розбірного ланцюга приймаємо зірочку з діаметром ділового кола  $D_0 = 412,2 \text{ мм}$ , числом зубців  $z = 8$  і кроком  $t = 80 \text{ мм}$ .

Частота обертання зірочки:

$$n_{зр} = \frac{60v}{\pi D_0} = \frac{60 \cdot 0,5}{3,14 \cdot 0,4122} = 23,2 \text{ мин}^{-1}. \quad (2.18)$$

Передаточне число редуктора:

$$u_{p.p} = \frac{n}{n_{зв}} = \frac{970}{23,2} = 41,8. \quad (2.19)$$

При безперервній роботі приводу протягом 24 годин на добу та навантаженні з помірними поштовхами коефіцієнт умов роботи  $k_p = 1,5$ .

Розрахункова потужність редуктора:

$$N_{ред} = k_p N_p = 1,5 \cdot 18,7 = 28,05 \text{ кВт}. \quad (2.20)$$

За каталогом приймаємо редуктор ЦД2-75М-40-1 ( $u_p = 40$ , номер складання I).

Фактична частота обертання зірочки та швидкість руху ланцюга:

$$n_{зв} = \frac{n}{u_p} = \frac{970}{40} = 24,2 \text{ мин}^{-1}; \quad (2.21)$$

$$v_{\phi} = \frac{\pi D_0 n_{зв}}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,4122 \cdot 24,2}{60} = 0,522 \text{ м/с}. \quad (2.22)$$

Оскільки попередньо прийнята швидкість ланцюга трохи відрізняється від дійсної, перерахунок параметрів конвеєра не робимо.

Розрахункове тягове зусилля для одного ланцюга:

$$S_p = 1,15 \frac{S_4 + S_{дин}}{2}, \quad (2.23)$$

де  $S_{\text{дин}}$  — динамічне зусилля в ланцюгах під час роботи конвеєра в встановленому режимі, що визначається за умови, що початкове натяг ланцюга більше критичного.

Швидкість поширення пружної хвилі вздовж тягового органу відповідно робочої та холостої гілок:

$$C_1 = \sqrt{\frac{E_0 g}{q_{\text{ц}} + \lambda_1 q}} = \sqrt{\frac{1,8 \cdot 10^6 \cdot 9,81}{25 + 0,4 \cdot 35}} = 673 \text{ м/с}; \quad (2.24)$$

$$C_2 = \sqrt{\frac{E_0 g}{q_{\text{ц}}}} = \sqrt{\frac{1,8 \cdot 10^6 \cdot 9,81}{25 + 0,4 \cdot 35}} = 840 \text{ м/с} \quad (2.25)$$

де  $\lambda_1 = 0,4$  — коефіцієнт участі маси переміщуваного вантажу у нерівномірному русі ланцюга;

$E_0 = 1,8 \cdot 10^6$  кгс — статична жорсткість попередньо прийнятого штампованого розбірного ланцюга з кроком 80 мм (табл. 2.3).

Характеристика круглоланкових та штампованих ланцюгів (Табличка 2.3)

Середня швидкість поширення пружної хвилі:

$$C = \frac{2C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 \cdot 673 \cdot 840}{673 + 840} = 747 \text{ м/с}. \quad (2.26)$$

Період основного тону власних коливань:

$$t = \frac{4L_k}{c} = \frac{4 \cdot 80}{747} = 0,428 \text{ с}. \quad (2.27)$$

Період сили, що обурює:

$$2\tau = \frac{t_{\text{ц}}}{v_{\text{ф}}} = \frac{0,08}{0,522} = 0,153 \text{ с}, \tau = 0,076 \text{ с}. \quad (2.28)$$

Таблиця 2.3 – Характеристика круглоланкових та штампованих ланцюгів

Ланцюг	Крок ланок, мм	Діаметр прутка або шарнірного пальця	Марка сталі	Твердість <i>HВ</i>	Статична жорсткість ланцюга $E_0$ , кгс
Круглоланкова зварена	50	13	30ХГСА	300...340	$10^6$
	64	18	30ХГСА	300...311	$2,57 \cdot 10^6$
Штампована розбірна	80	18	45Г2	197 (внутрішніх ланок)	$1,8 \cdot 10^6$
	80	18	40Х	302 (зовнішніх ланок)	$2,37 \cdot 10^6$
				229...255 (пальців)	
				269...311 (внутрішніх ланок)	
248...321 (зовнішніх ланок)					
223...269 (пальців)					

Відношення періоду основного тону до періоду сили, що обурює:

$$\frac{t}{2\tau} = \frac{0,428}{0,153} = 2,8 \quad (2.29)$$

Середній коефіцієнт опору:

$$f = \frac{1}{2} \left( \frac{qf_1 + q_{ц}f_2}{q + q_{ц}} + f_2 \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{35 \cdot 0,45 + 25 \cdot 0,35}{35 + 25} + 0,35 \right) = 0,379. \quad (2.30)$$

Коефіцієнт відбиття  $k_1 = 0,65$ .

Коефіцієнт проходження:

$$k_2 = \frac{2}{1 + \frac{c_2}{c_1}} = \frac{2}{1 + \frac{840}{673}} = 0,89. \quad (2.31)$$

Коефіцієнт згасання:

$$k = k_1 k_2 = 0,65 \cdot 0,89 = 0,578. \quad (2.32)$$

Динамічне зусилля в ланцюгах визначаємо за формулою:

$$S_{\text{дин}} = A \left[ 1 - \sin \pi \left( \frac{L}{c\tau} + 0,5 \right) \right], \quad (2.33)$$

$$A = \frac{1}{2} (\varphi_4 - \varphi_2) \frac{1}{1-k} = \frac{1}{2} \cdot 950 \cdot \frac{1}{1-0,578} = 1126 \text{ кгс}; \quad (2.34)$$

$\varphi_4 - \varphi_2$  — визначаємо по програмі.

Порядок користування номограмою наступний: у лівій частині номограми на осі абсцис відкладаємо значення  $\tau = 0,076$  с (точка  $a$ ), з точки  $a$  проводимо вертикаль до перетину з лінією  $f = 0,379$  (точка перетину  $b$ ), із точки  $b$  проводимо горизонтальну лінію до перетину осі повороту (точка  $c$ ). Точку  $c$  з'єднуємо з точкою  $d$ , що відповідає швидкості  $v_{\phi} = 0,522$  м/с; з точки  $c$  проводимо лінію, паралельну  $cd$ , до перетину з ординатою швидкостей (точка  $d$ ), з точки  $d$  проводимо горизонталь до перетину з лінією  $E_0 = 1,8 \cdot 10^6$  (точці  $e$ ), потім

проводимо вертикаль до лінії  $c = 747$  м/с (точка  $f$ ) і, нарешті, знаходимо значення  $\varphi_4 - \varphi_2 = 950$ :

$$S_{\text{дин}} = 1126 \left[ 1 - \sin 180^\circ \left( \frac{80}{747 \cdot 0,076} + 0,5 \right) \right] = 1457 \text{ кгс} \quad (2.34)$$

Для вибору ланцюга визначаємо розрахункове зусилля:

$$S_p = 1,15 \frac{3191 + 1457}{2} = 2673 \text{ кгс} \quad (2.35)$$

Розривне зусилля ланцюга:

$$S_{\text{розр}} = n S_p = 8 \cdot 2673 = 21\,380 \text{ кгс}, \quad (2.36)$$

де  $n = 6 \dots 10$  — запас міцності ланцюга,

Вибираємо ланцюг тяговий розбірний Р2-80-290 (ДСТУ ГОСТ 589:2003) з розривним зусиллям 29 000 кгс, кроком 80 мм (табл.2.4).

Таблиця 2.4 – Параметри пластинчастого, штампованого та круглоланкового ланцюгів

Ланцюг	Крок ланцюга, мм	Діаметр шарнірного пальця або прутка, мм	Розривне зусилля, кгс	Вага 1 м ланцюга, кгс
Пластинчаста втулкова	70	13,7	13 000	5,3
Штампована розбірна	80	18	22 000...29 000	8,4

Зварна	50	13	16 000	3,16
круглоланкова	64	18	33 000	6,5

Динамічне навантаження в ланцюгах:

$$S_{\text{дин}} = \frac{6\pi^2(q+c'q_{\text{ц}})Lv^2}{gz^2t_{\text{ц}}} = \frac{6 \cdot 3,14^2(35+1 \cdot 25) \cdot 80 \cdot 0,522^2}{9,81 \cdot 8^2 \cdot 0,08} = 1539 \text{ кгс}, \quad (2.37)$$

Максимальне зусилля в ланцюзі при пуску приводу:

$$S_{\text{max}} = 1,15 \frac{S_4 + S_{\text{дин}} + S_{\text{д.п}}}{2} = 1,15 \frac{3191 + 1539 + 326}{2} = 2907 \text{ кгс}, \quad (2.38)$$

$S_{\text{д.п}}$  — динамічне зусилля під час пуску.

$$S_{\text{д.п}} = m_k \frac{D_0 \varepsilon_{\text{дв}}}{2u_p} \eta_M = \frac{734 \cdot 0,4122 \cdot 101,5 \cdot 0,85}{2 \cdot 40} = 326 \text{ кгс}; \quad (2.39)$$

$$\begin{aligned} m_k &= k_y [(2q_{\text{ц}} + q)L + k_c G_v] \frac{1}{g} = 0,9 [(2 \cdot 25 + 35)80 + 0,6 \cdot 2000] \frac{1}{9,81} = \\ &= 734 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}; \end{aligned} \quad (2.40)$$

$G_v$  — вага обертових частин конвеєра;

$k_c = 0,5 \dots 0,7$  — коефіцієнт, що враховує зменшення середньої швидкості мас, що обертаються по порівнянню зі швидкістю  $v$ ;

$k_y = 0,85 \dots 0,95$  — коефіцієнт, що враховує пружне продовження ланцюгів.

Кутове прискорення вала двигуна:

$$\varepsilon_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{п.ср}} - M_{\text{ст.п}}}{J_{\text{пр}}} = \frac{33,2 - 19,6}{0,134} = 101,5 \text{ рад/с}^2; \quad (2.41)$$

$$\text{де } M_{\text{п.ср}} = \psi_{\text{ср}} M_{\text{н}} = 1,5 \cdot 975 \frac{N}{n} = 1,5 \cdot 975 \frac{22}{970} = 33,2 \text{ кгс} \cdot \text{м}; \quad (2.42)$$

$$\psi_{\text{ср}} \approx \frac{1,8+1,2}{2} = 1,5 \quad (2.43)$$

$$M_{\text{ст.п}} = \frac{W_0 D_0}{2u_p \eta_m} = \frac{3240 \cdot 0,4122}{2 \cdot 40 \cdot 0,85} = 19,6 \text{ кгс} \cdot \text{м}. \quad (2.44)$$

Момент інерції мас конвеєра, що рухаються, наведені до валу двигуна,

$$J_{\text{пр}} = \delta J_{\text{р.м}} + \frac{m_k R^2}{u_p^2 \eta_m} = 1,15 \cdot 0,0968 + \frac{734 \cdot 0,206^2}{40^2 \cdot 0,85} = 0,134 \text{ кгс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2, \quad (2.45)$$

$$J_{\text{р.м}} = 0,051 + 0,0458 = 0,0968 \text{ кгс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2. \quad (2.46)$$

При остаточному виборі параметрів конвеєра прагнуть до того, щоб у ланцюзі не виникали резонансні коливання.

При екстремому стопорінні тягового органу у ньому виникають максимальні динамічні навантаження, від яких часто відбувається розрив ланцюга. У срібкових конвеєрах захист ланцюгів від впливу екстрених навантажень здійснюється запобіжними муфтами (зі зрізними штифтами, турбомуфтами та ін.). Схема привода наведена на мал.2.

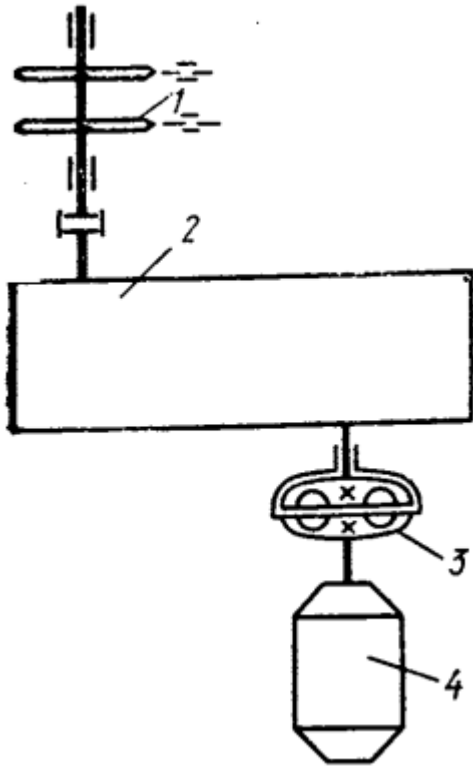


Рис. 2.2. Схема привода:

1 — приводні зірочки;

2 — редуктор;

3 — турбомуфта;

4 — електродвигун.

### РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК І КОНСТРУКЦІЯ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

Гвинтовий конвеєр, також відомий як шнековий транспортер, є поширеним видом обладнання для переміщення сипучих матеріалів у промислових умовах. Його основною перевагою є можливість транспортування матеріалів у горизонтальній або похилій площині на відносно невеликі відстані, що особливо актуально для ливарного виробництва, де необхідно подавати піщано-глинисті суміші, пил або грануляти до змішувачів чи бункерів.

Продуктивність гвинтового конвеєра є ключовим параметром, що визначає його ефективність та відповідність технологічним вимогам. Вона залежить від кількох основних чинників, таких як геометричні параметри шнека (зовнішній діаметр та крок), швидкість його обертання, властивості транспортувального матеріалу та коефіцієнт заповнення.

Вхідні данні гвинтового конвеєру (мал. 3.1): продуктивність  $35 \text{ тс/год} = 9,72 \text{ кгс/с}$ ; довжина  $L = 20 \text{ м}$ ; кут нахилу  $\beta = 10^\circ$ , вантаж, що транспортується — цемент сухий,  $\gamma_\rho = 1,2 \text{ тс/м}^3$ .

Для транспортування цементу приймаємо гвинт із суцільним поверхнею, однозахідний.

Продуктивність гвинтового конвеєра:

$$\Pi = 60 \frac{\pi D^2}{4} t n_B \gamma_\rho \psi C_\beta \quad (3.1)$$

де  $D$  – діаметр гвинта,  $D = 100 \dots 800 \text{ мм}$ ;

$t$  – крок гвинта, мм;

$n_B$  – частота обертання гвинта,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$\psi$  – коефіцієнт наповнення поперечного перерізу ринви;

$C_\beta$  – коефіцієнт, що залежить від кута нахилу конвеєра.

Таблиця 3.1 – Рекомендована частота обертання гвинта  $n_B, \text{хв}^{-1}$ 

Діаметр гвинта, мм	, min	, max
150	23,6	150
200	23,6	150
250	23,6	118
300	19,0	118
400	19,0	95
500	19,0	95
600	15,0	75

Крок гвинта вибирають в залежності від властивостей вантажу, що транспортується:  $t = (0,5 \dots 1,0)D$ ; великі значення кроку – для легких матеріалів.

Для транспортування цементу, що важко переміщуваного вантажу, приймаємо крок гвинта  $t = 0,8 D$ .

Для попереднього розрахунку приймаємо гвинт діаметром 600 мм або у першому наближенні визначаємо за формулою (3.1) з кроком  $t = 0,8 \cdot 600 = 480$  мм (табл. 3.4).

Таблиця 3.2 – Значення розрахункових коефіцієнтів  $\psi$ ,  $A$  та  $W_0$ 

Вантаж	Приклади вантажу	Розрахункові коефіцієнти		
		$\psi$	$A$	$W_0$
Легкий та неабразивний	Зернові продукти, борошно, тирса	0,4	65	1,2
Легкий та малоабразивний	Крейда, вугільний пил, азбест, торф, сода	0,32	50	1,6
Важкий та малоабразивний	Сіль, шматкове вугілля, глина суха	0,25	45	2,5
Важкий та абразивний	Цемент, зола, пісок, глина сира, подрібнена руда, шлак	0,125	30	4,0

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнта

Кут нахилу,	0	5	10	15	20
Коефіцієнт	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

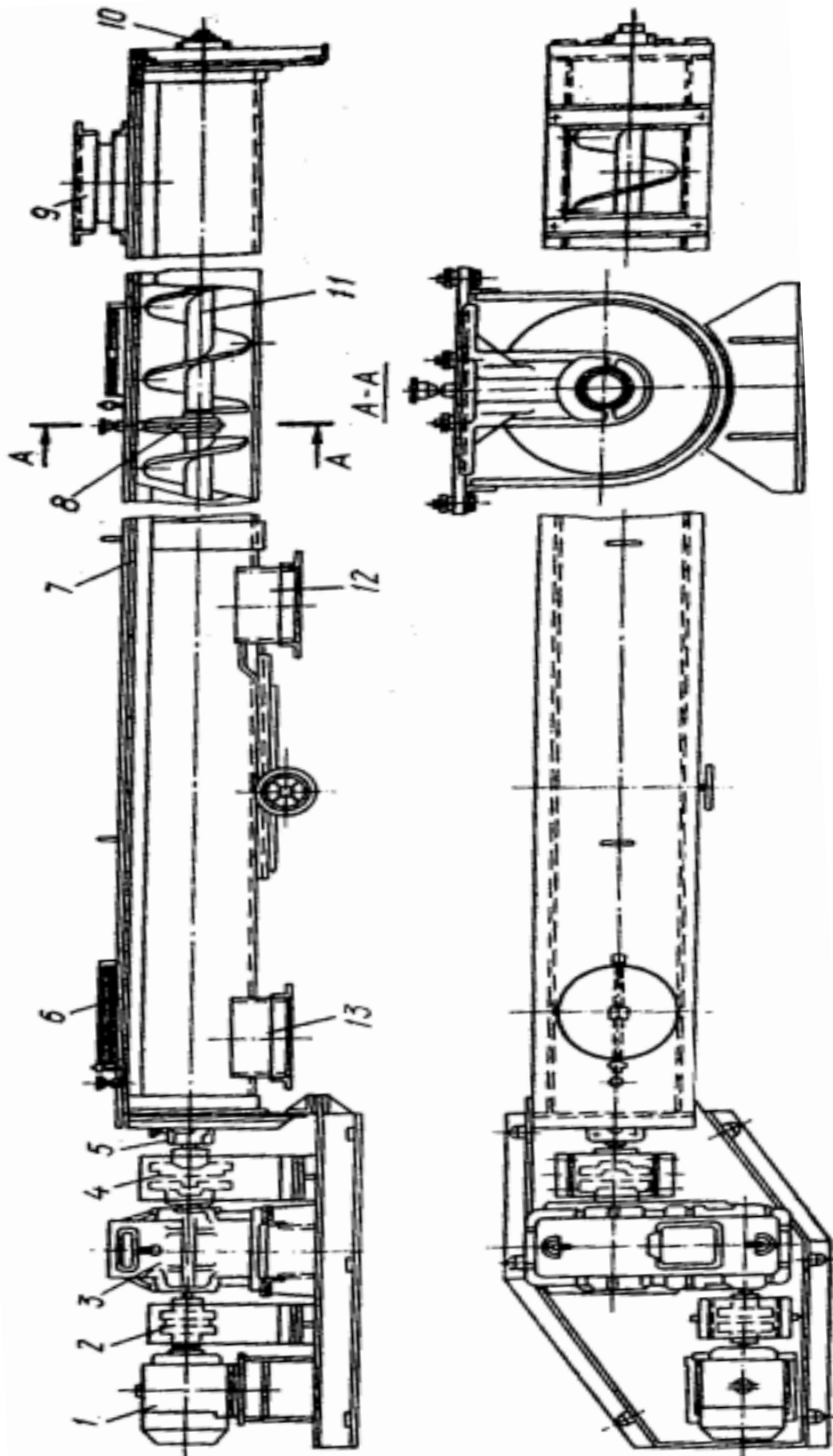


Рис. 3.1 – Схема гвинтового конвеєра: 1 — двигун; 2 і 4 — муфти; 3 — редуктор; 5, 8, і 10 — підшипникові вузли; 6 — оглядовий люк; 7 — жолоб; 9 — завантажувальний патрубок; 11 — вал з гвинтом; 12 — проміжний завантажувальний патрубок; 13 — розвантажувальний патрубок.

Таблиця 3.4 – Характеристика гвинтів

Діаметр, мм	Крок, мм	Діаметр, мм	Крок, мм
100	80...100	320	250...320
125	100...125	400	320...400
160	125...160	500	400...500
200	160...200	650	500...650
250	200...250	800	650...800

Частота обертання гвинта повинна задовольняти умову:

$$n_B \leq n_{B.max} \quad (3.2)$$

Найбільшу частоту обертання гвинта визначаємо за емпіричною формулою:

$$n_{B.max} = \frac{A}{\sqrt{D}} = \frac{30}{\sqrt{0,6}} = 38,7 \text{ хв}^{-1} \quad (3.3)$$

Приймаємо  $n_B = 36 \text{ хв}^{-1}$ .

Для цементу значення коефіцієнтів  $A = 30$  та  $\psi = 0,125$  беремо із табл. 3.2. Результат, отриманий за формулою (3.3), узгоджується із рекомендаціями табл. 3.1.

Для кута нахилу конвеєра  $\beta = 10^\circ$   $C_\beta = 0,8$  (табл. 3.3).

При прийнятих параметрах гвинтовий конвеєр забезпечить продуктивність:

$$\Pi = 60 \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 0,48 \cdot 36 \cdot 1,2 \cdot 0,125 \cdot 0,8 = 35,2 \text{ тс/год}$$

таким чином, повторний розрахунок конвеєра не потрібний.

Діаметр гвинта по крупності вантажу, що транспортується, повинен задовольняти умови:

$D \geq (10...12) \text{ á}$  – для сортованих і  $D \geq (4...6) \text{ атах}$  – для несортванних вантажів.

Потужність на валу гвинта:

$$N_0 = \frac{n_y \Pi}{367} (L \omega_0 \pm H) = \frac{1,2 \cdot 35}{367} (20 \cdot 4 + 3,48) = 9,55 \text{ кВт} \quad (3.4)$$

$n_y = 1,2$  – коефіцієнт запасу;

$\omega_0 = 4$  – коефіцієнт опору руху (табл. 3.2).

Знаки «плюс» та «мінус» - відповідно при підйомі та спуску вантажу.

Потужність двигуна:

$$N_\rho = \frac{N_0}{\eta_M} = \frac{9,55}{0,85} = 11,2 \text{ кВт}. \quad (3.5)$$

За каталогом вибираємо електродвигун типу АОП2-61-4;

$$N = 13 \text{ кВт}, n = 1440 \text{ хв}^{-1} (\omega = 151 \text{ рад/с}); J_\rho = 0,102 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2; \frac{M_{max}}{M_\Pi} = 2,2; \frac{M_{пуск}}{M_H} = 1,8.$$

Передатна кількість редуктора:

$$u_{\rho.\rho} = \frac{n}{n_B} = \frac{1440}{36} = 40 \quad (3.6)$$

Для безперервного режиму роботи з каталогу вибираємо редуктор РМ-650-11-14,  $u_\rho = 40, 17$ .

Уточнюємо кількість обертів гвинта:

$$n_B = \frac{n}{u_\rho} = \frac{1440}{40,17} = 35,8 \quad (3.7)$$

Крутний момент на валу гвинта:

$$M_{\text{кр}} = 975 \frac{N_0}{n_B} = 975 \frac{9,55}{35,8} = 260 \text{ кгс} \cdot \text{м.г} \quad (3.8)$$

Осьова сила, що діє на гвинт:

$$P_0 = \frac{M_{\text{кр}}}{r_0 \text{tg}(\alpha + \rho)} = \frac{260}{0,225 \text{tg}(18^\circ 48' + 33^\circ)} = 909 \text{ кгс} \quad (3.9)$$

де  $r_0$  – радіус, на якому прикладена осьова сила,

$$r_0 = (0,7 \dots 0,8) \frac{D}{2} = 0,75 \frac{0,6}{2} = 0,225 \text{ м}; \quad (3.10)$$

$\alpha$  – кут підйому гвинтової лінії;

$$\text{tg } \alpha = \frac{t}{2\pi r_0} = \frac{0,48}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,225} = 0,34 \quad (3.11)$$

$$\alpha = 18^\circ 48'$$

$\rho$  - наведений кут тертя вантажу, що переміщається об поверхню гвинта. Для цементу  $\text{tg } \rho = f = 0,65$ ,  $\rho = 33^\circ$ .

Система скребкового і гвинтового конвеєрів показана на кресленні БР – 131.25.09.02.01.00.00 ВЗ. Приводна секція скребкового конвеєра показана на кресленні БР – 131.25.09.02.02.00.00 КС. Натяжна секція скребкового конвеєра показана на кресленні БР – 131.25.09.02.03.00.00 КС. Гвинт гвинтового конвеєра показано на кресленні БР – 131.25.09.02.04.00.00 КС.

## Висновки

У результаті виконання бакалаврської роботи було проведено комплексний аналіз сучасного стану техніки і технологій транспортування сипучих та твердих матеріалів у ливарних цехах. Детально розглянуто різновиди конвеєрного транспорту, його переваги та недоліки, а також конструктивні особливості скребкових і гвинтових конвеєрів. Розроблено техніко-технологічне обґрунтування вибору типів конвеєрів з урахуванням особливостей ливарного виробництва. Виконано розрахунки продуктивності та основних вузлів скребкового та гвинтового конвеєрів, зокрема визначено їхню геометрію, параметри тягових органів, валів та приводів. Запропоновані технічні рішення відповідають вимогам безпеки, ергономіки, енергоефективності та забезпечують надійну роботу обладнання в умовах високих температур, запиленості та агресивного середовища. Дипломна робота включає креслення загального виду конвеєрів та основних вузлів, що підтверджують практичну реалізацію проекту.

Розроблена система скребкового і гвинтового конвеєрів має високе практичне значення для ливарного виробництва. Запропоновані конструктивні рішення дають змогу підвищити ефективність транспортування формувальної суміші, шлаку, відходів та готової продукції, що сприяє стабільності технологічного процесу. Використання скребкових конвеєрів із герметичними жолобами та надійною системою натягу забезпечує мінімальні втрати матеріалу та зменшення запиленості приміщень, покращуючи умови праці персоналу. Гвинтові конвеєри, завдяки своїй компактності та простоті обслуговування, дозволяють економити простір та зменшувати експлуатаційні витрати. Усі ці фактори сприяють підвищенню продуктивності ливарного цеху, зменшенню простоїв обладнання та підвищенню якості кінцевої продукції.

Перспективи розвитку дослідженої тематики полягають у впровадженні автоматизованих систем керування конвеєрним транспортом із використанням датчиків контролю заповнення, аварійних зупинок та регулювання швидкості транспортування залежно від поточних потреб виробництва. Це дозволить ще

більше підвищити ефективність роботи ливарного цеху, мінімізувати витрати енергії та забезпечити максимальну безпеку експлуатації обладнання. Крім того, у майбутньому доцільно розглянути можливість застосування більш зносостійких матеріалів для виготовлення основних вузлів конвеєрів, що дозволить продовжити термін їхньої служби та знизити витрати на ремонт. Варто також відзначити, що розвиток енергозберігаючих технологій та удосконалення конструкцій приводів відкриває нові можливості для модернізації конвеєрних систем у ливарному виробництві. Таким чином, результати дослідження можуть бути використані як основа для подальшого вдосконалення транспортних систем, що забезпечить стабільний розвиток підприємства та підвищення його конкурентоспроможності на ринку.

### Список літератури

1. Гудзь В. П. Машини та обладнання ливарного виробництва: навч. посіб. — Дніпро: ДДТУ, 2019. — 416 с.
2. ДСТУ 3138-95. Конвеєри. Терміни та визначення. — К.: Держстандарт України, 1996. — 24 с.
3. Іваненко В. І. Ливарне виробництво: навч. посіб. — Харків: НТУ «ХПІ», 2019. — 320 с.
4. Курляндський В. С. Скребкові та гвинтові конвеєри: конструювання та експлуатація. — Харків: Основа, 2010. — 376 с.
5. Левченко В. І., Ковальчук В. М. Теорія механізмів і машин: навч. посіб. — К.: Вища школа, 2017. — 288 с.
6. Ломакін В. М. Транспортні системи ливарних цехів: конспект лекцій. — Кропивницький: ЦНТУ, 2024. — 75 с.
7. Попович В. В. Проектування машин та механізмів: навч. посіб. — Кропивницький: ЦНТУ, 2020. — 312 с.
8. Ashby M. F. Materials Selection in Mechanical Design. — 5th ed. — Butterworth-Heinemann, 2017. — 668 p.
9. Foundry Practice: Handbook. — New York: McGraw-Hill, 2016. — 360 p.
10. Manual on Conveyor Systems in Foundry Production. — London: IFS Publications, 2018. — 185 p.
11. ДСТУ 3309-95. Шнеки. Типи, основні параметри та розміри. — К.: Держстандарт України, 1996. — 20 с.

# Додатки