

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого  
Кафедра \_\_\_\_\_ мехатроніки та пакувальної техніки

**«До захисту в ЕК»**  
Директор інституту(декан факультету)  
\_\_\_\_\_  
(підпис) Блаженко С.І.  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_  
(підпис) Соколенко А.І.  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності \_\_\_\_\_ 131 Прикладна механіка  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми \_\_\_\_\_ Прикладна механіка  
на тему: Дослідження процесу переміщення споживчої упаковки прямокутного перерізу в міжмашинних транспортних системах

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗМ

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) Мусін Булат Рашитович \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Деренівська Анастасія Василівна \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній роботі немає запозичень із праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ - 2021р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут \_\_\_\_\_ ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ мехатроніки та пакувальної техніки \_\_\_\_\_  
Освітній ступінь \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 131 Прикладна механіка \_\_\_\_\_  
(код і назва)  
Освітньо-професійна програма \_\_\_\_\_ Прикладна механіка \_\_\_\_\_  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри** МПТ

Соколенко А.І.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Мусіна Булата Рашитовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу переміщення споживчої упаковки прямокутного перерізу в міжмашинних транспортних системах

керівник роботи Деренівська Анастасія Василівна, к.т.н., доц.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “05” 11 2020 року № 925-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 2 лютого 2021 року

3. Вихідні дані до роботи процес переміщення споживчої упаковки прямокутного перерізу  $\varnothing 66,5 \pm 1,5$  та висотою  $135 \pm 1,2$  в міжмашинних транспортних системах пакувальних ліній за допомогою шнекових конвеєрів з частотою обертання 140 об/хв.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):  
Вступ. Розділ 1. Аналіз міжмашинних транспортних систем із шнековими конвеєрами для переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу. Розділ 2. Дослідження етапів переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами. Розділ 3. Дослідження розподілу напружень в шнековому конвеєрі при переміщенні споживчих упаковок прямокутного перерізу. Розділ 4. Експериментальне дослідження кінематичних параметрів переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами. Висновки. Список використаної літератури. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

Презентація до доповіді

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 05.11.2020 р. \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ.	листопад 2020р.	
2.	РОЗДІЛ 1 . Аналіз міжмашинних транспортних систем із шнековими конвеєрами для переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу.	листопад 2020р.	
3.	РОЗДІЛ 2. Дослідження етапів переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами.	грудень 2020р.	
4.	РОЗДІЛ 3. Дослідження розподілу напружень в шнековому конвеєрі при переміщенні споживчих упаковок прямокутного перерізу	грудень 2020р.	
5.	РОЗДІЛ 4. Експериментальне дослідження кінематичних параметрів переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами.	січень 2021 р.	
6.	ВИСНОВКИ.	січень 2021 р.	
7.	Список використаної літератури.	січень 2021 р.	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Мусін Б.Р.  
(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Деренівська А.В.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

### **Дослідження процесу переміщення споживчої упаковки прямокутного перерізу в міжмашинних транспортних системах**

У транспортних системах пакувальних ліній для переміщення пакувальних одиниць все частіше застосовують шнекові конвеєри. Вони дають можливість переміщувати різні за формою жорсткі упаковки, зокрема і скляні, металеві та полімерні прямокутного перерізу. Крім цього шнекова транспортна система дозволяє регулювати потік, що дає змогу гнучко керувати інтенсивністю міжмашинного переміщення упаковки: виділяти одиничні упаковки та об'єднувати їх в потоки, встановлювати заданий крок між ними, та переорієнтовувати їх в просторі.

За об'єкт дослідження в роботі були обрані міжмашинні транспортні системи з шнековими конвеєрами для переміщення упаковки прямокутного перерізу.

Розглянуті задачі встановлення раціональних кінематичних параметрів переміщення упаковки прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами; раціональних геометричних параметрів твірної лінії шнеків; проведення порівняльного аналізу отриманих експериментально значень переміщення упаковки в парній шнековій транспортній системі з отриманими аналітично; визначити значення деформацій, напруження на зріз витків, при крученні та прогині транспортуючих шнеків.

У системі твердотілого і поверхневого моделювання SolidEdge було створено тривимірну геометричну модель шнекової транспортної системи та проведено статичний аналіз на виникаючі в шнеках напруження при переміщенні упаковки.

Під час обробки експериментальних результатів та досліджень застосовані основні методи математичної статистики. Досліджено переміщення упаковки в парній шнековій транспортній системі компанії «Morrison Container Handling Solutions».

## РЕФЕРАТ

### **Исследование процесса перемещения потребительской упаковки прямоугольного сечения в межмашинных транспортных системах**

В транспортных системах упаковочных линий для перемещения упаковочных единиц все чаще применяют шнековые конвейеры. Они дают возможность перемещать разные по форме жесткие упаковки, в том числе стеклянные, металлические и полимерные прямоугольного сечения. Кроме этого шнековая транспортная система позволяет регулировать поток, что позволяет гибко управлять интенсивностью межмашинного перемещения упаковки: выделять единичные упаковки и объединять их в потоки, устанавливать заданный шаг между ними, и переориентировать их в пространстве.

Объект исследования в работе были выбраны межмашинные транспортные системы с шнековыми конвейерами для перемещения упаковки прямоугольного сечения.

Рассмотрены задачи определения рациональных кинематических параметров перемещения упаковки прямоугольного сечения в транспортных системах с шнековыми конвейерами; рациональных геометрических параметров образующей линии шнеков; проведение сравнительного анализа полученных экспериментально значений; перемещения упаковки в парной шнековой транспортной системе полученным аналитическим путем; определить значения деформаций, напряжение на срез витков, при кручении и прогибе транспортирующих шнеков.

В системе твердотельного и поверхностного моделирования SolidEdge было создано трехмерную геометрическую модель шнековой транспортной системы и проведения статический анализ на возникающие в шнеках напряжения при перемещении упаковки.

При обработке экспериментальных результатов и исследований применены основные методы математической статистики. Исследована перемещения упаковки в парной шнековой транспортной системе компании «Morrison Container Handling Solutions».

## **ABSTRACT**

### **Investigation of the process of moving consumer packaging of rectangular cross-section in inter-machine transport systems**

In transport systems of packaging lines, screw conveyors are increasingly used to move packaging units. They make it possible to move rigid packaging of various shapes, including glass, metal and polymer rectangular cross-section. In addition, the auger transport system allows you to adjust the flow, which allows you to flexibly control the intensity of inter-machine movement of the package: to select individual packages and combine them into flows, set a given step between them, and reorient them in space.

Inter-machine transport systems with screw conveyors for moving rectangular packaging were chosen as the object of research.

Problems of establishment of rational kinematic parameters of movement of packing of rectangular section in transport systems with screw conveyors are considered; rational geometrical parameters of the generating line of augers; conducting a comparative analysis of the experimentally obtained values of the movement of the package in a pair of screw transport system with the obtained analytically; determine the value of deformations, stress on the cut of the turns, torsion and deflection of the conveying augers.

In the solid-state and surface modeling system SolidEdge, a three-dimensional geometric model of the auger transport system was created and a static analysis was performed for the stresses occurring in the augers when moving the package.

During the processing of experimental results and researches the basic methods of mathematical statistics are applied. The displacement of the package in the pair auger transport system of Morrison Container Handling Solutions was investigated.

# ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ .....	
ВСТУП .....	
РОЗДІЛ 1. Аналіз міжмашинних транспортних систем для переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу .....	
1.1 Аналіз міжмашинних транспортних систем із несучими конвеєрами для переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу. ....	
1.2 Аналіз міжмашинних транспортних систем із робочими органами виконаними у вигляді пасових передач .....	
1.3 Аналіз міжмашинних транспортних систем із карманними носіями для переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу. ....	
1.4. Аналіз міжмашинних транспортних систем із шнековими конвеєрами для переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу. ....	
Висновки до розділу .....	
РОЗДІЛ 2. Дослідження етапів переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами...	
2.1. Визначення геометричних параметрів твірної лінії профілю шнекового конвеєра.....	
2.2. Визначення та аналіз кінематичних параметрів процесу переміщення упаковки прямокутного перерізу шнековим конвеєром.....	
ВИСНОВОКИ ДО РОЗДІЛУ .....	
РОЗДІЛ 3. Дослідження розподілу напружень в шнековому конвеєрі при переміщенні споживчих упаковок прямокутного перерізу .....	
3.1. Результати проведення статичного аналізу для лівого шнека .....	
3.2. Результати проведення статичного аналізу для правого шнека .....	
3.3. Результати проведення статичного аналізу для відвідного шнека .....	

Висновки до розділу .....	
РОЗДІЛ 4. Експериментальне дослідження кінематичних параметрів переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами .....	
4.1. Постановка експериментального дослідження .....	
4.2. Мета експериментального дослідження .....	
4.3. Опис експериментальної установки для дослідження процесу .....	
4.4. Обробка експериментальних даних .....	
Висновки до розділу .....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРА .....	
Додатки.....	

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Мета роботи:** дослідження кінематичних параметрів переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами та розподілу напружень в транспортуючих шнеках.

**Задачі:** провести аналітичне та експериментальне дослідження кінематичних параметрів переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами; провести порівняльний аналіз отриманих експериментальних значень; визначити зони максимальних напружень в транспортуючих шнеках.

**Предмет дослідження:** процес переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами та розподіл напружень в транспортуючих шнеках.

**Об'єкт дослідження:** міжмашинні транспортні системи з шнековими конвеєрами для переміщення упаковки прямокутного перерізу.

**Новизна** отриманих результатів полягає в розробленні методики визначення геометрії транспортуючих шнеків для забезпечення переміщення споживчої упаковки прямокутного перерізу та методики проведення статичного аналізу - розподілу напружень, - в транспортуючих шнеках.

**Особистий внесок магістранта:** аналіз патентних рішень, літературних джерел, ознайомлення із способами процесу переміщення споживчих упаковок, видами міжмашинних транспортних систем із шнековими конвеєрами. Проведення аналітичних та експериментальних досліджень щодо дослідження процесу переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами та розподілу напружень та деформацій в транспортуючих шнеках під час цього процесу.

## ВСТУП

Виробництво та пакування харчової продукції реалізується в потокових лініях, до складу яких входять функціонально різні машини, погоджені за продуктивністю і пов'язані міжмашинними транспортними системами.

Асортимент конвеєрних транспортних систем великий та містить різноманітні рішення для транспортування та організації потоку упаковок. Для вибору рішення для міжмашинної транспортної системи необхідно враховувати багато факторів: форму, розміри та вагу упаковки; матеріал з якого вона виготовлена, необхідну пропускну спроможність транспортної системи. Для забезпечення високопродуктивної роботи пакувальної лінії при переміщенні упаковки у внутрішньомашинних транспортних системах потрібно додатково забезпечити суміщення виконання максимальної кількості різних технологічних операцій

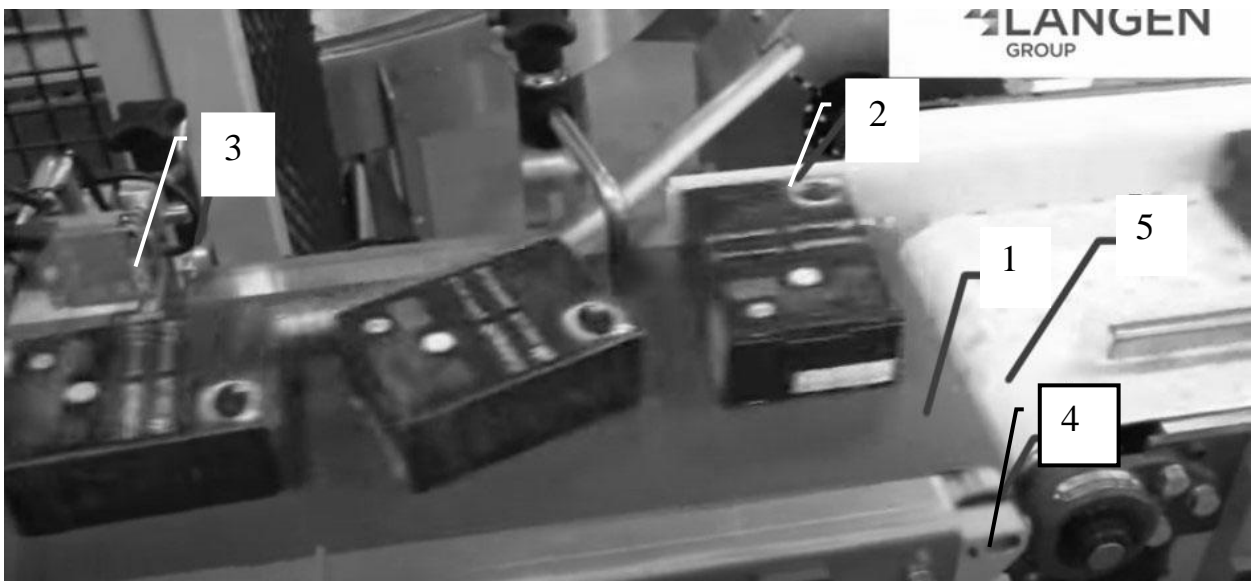
Найбільш поширеними у пакувальних лініях є транспортні системи із гравітаційним переміщенням упаковок (похилі несучі напрямні, похилі роликові конвеєри) та приводні – стрічкові, роликові, пластинчасті та шнекові. Шнекові транспортні системи мають складний профіль, який дозволяє суміщати різні технологічні операції, жорстко фіксувати упаковку в міжвитковому просторі та можуть бути використані для упаковки різної форми поперечного перерізу.

Для досліджень були обрані міжмашинні транспортні системи із шнековими конвеєрами для переміщення упаковки прямокутного перерізу. Процес переміщення упаковок прямокутного перерізу в таких системах недостатньо висвітлений у науковій літературі. Це обумовлює необхідність розробки методів визначення їх раціональних геометричних та кінематичних параметрів.

## **РОЗДІЛ 1. Аналіз міжмашинних транспортних систем для переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу.**

### **1.1 Аналіз міжмашинних транспортних систем із несучими конвеєрами для переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу.**

На рис. 1 наведено фрагмент транспортної системи із несучими конвеєрами для переміщення споживчої упаковки.



**Рис. 1 Фрагмент транспортної системи із стрічковими та пластинчастими несучими конвеєрами: 1-стрічка конвеєра, 2- упаковка, 3- датчик, 4- натяжний барабан, 5- пластинчатий конвеєр**

Стрічковий або пластинчатий конвеєр – пристрій безперервної дії в якому транспортуючим органом виступає стрічка або пластини.

До переваг відносять:

- Простоту конструкції
- Можливість корегувати натяг по мірі зносу стрічки
- Надійність

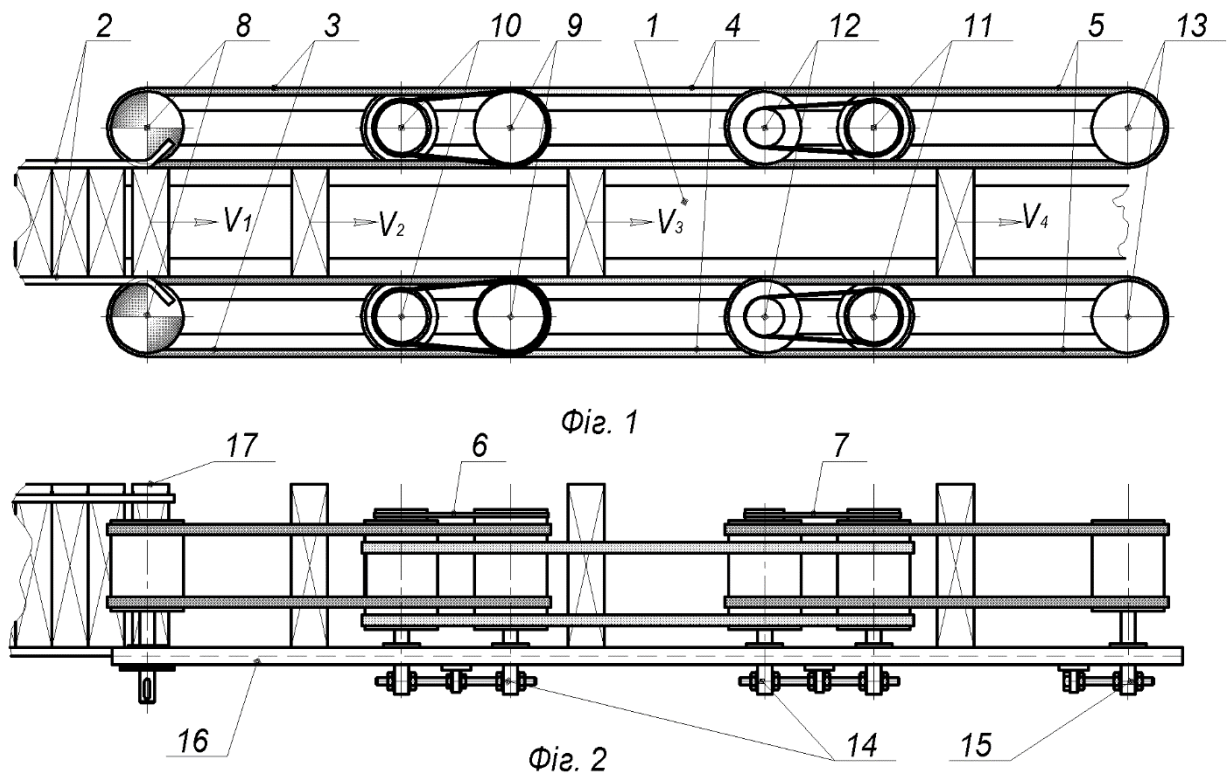
До недоліків можна віднести:

- Невеликий кут підйому упаковки

- Мала швидкість переміщення

## 1.2 Аналіз міжмашинних транспортних систем із робочими органами виконаними у вигляді пасових передач

На рис. 2 зображена транспортна система для відокремлення одиничних пачок з потоку для покрокового розміщення.



**Рис. 2 Фрагмент транспортної системи із робочими органами виконаними у вигляді пасових передач**

Пристрій складається з нижньої нерухомої несучої напрямної 1, системи бічних напрямних 2 та двох симетрично розташованих транспортних систем, виконаних пасовими передачами 3, 4, 5 з керуючими пасовими передачами 6, 7, приводними 8 та натяжними 9, 10, 11, 12, 13 барабанами, та механізмів регулювання натягу пасів 14, 15 закріплених на рамі 16, для відокремлення одиничних пачок 17 з потоку для покрокового розміщення.

Пристрій працює наступним чином. Пачка 17 рухаючись на нижній нерухомій несучій напрямній 1 з системою бічних напрямних 2 відокремлюється від ряду симетрично розташованими пасовими передачами 3 з приводними 8 та натяжними 9 барабанами. Збільшення кроку між пачками в пристрої забезпечується зростанням швидкості обертання натяжних барабанів 10(11), 12(13) пасових передач 4, 5 за рахунок використання керуючих пасових передач з передаточним відношенням шківів меншим за одиницю.

Переваги:

- Висока швидкість переміщення

Недоліки

- Складність конструкції
- Необхідність ретельного контролю за робочими органами
- Висока ймовірність пошкодження упаковки

[Література 1. 9 стр.52]

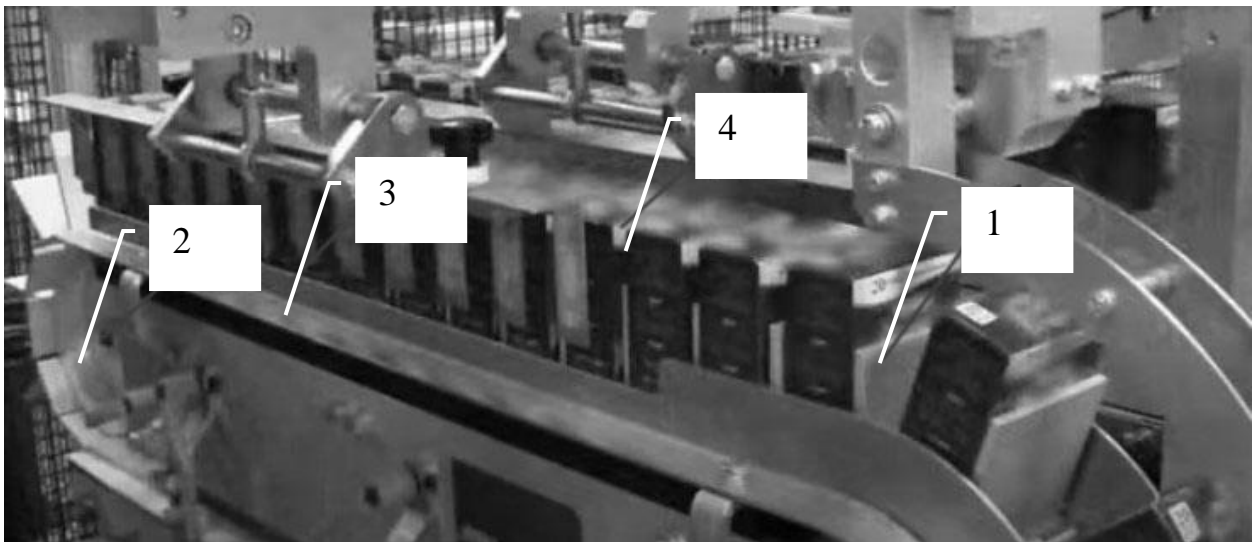
1.3 Аналіз міжмашинних транспортних систем із карманними носіями для переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу.

На рис. 3 наведено фрагмент транспортної системи із карманними носіями для переміщення картонних пачок.

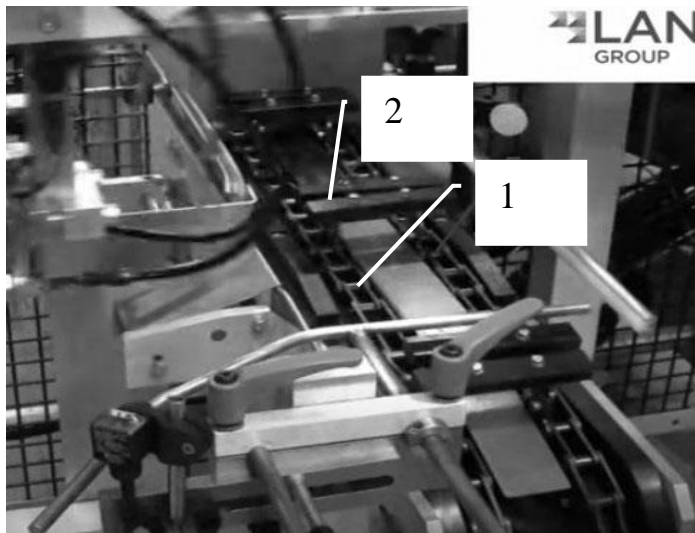
Носії транспортної системи переміщують картонні пачки з позиції на позицію. На кожній позиції робочі органи відповідно до попередніх/ наступних технологічних операцій послідовно реалізують технологічний процес пакування. Наприклад, на одній позиції пачки заповнюються продукцією, на наступній контролюється вага упаковки, далі видаляються некондиційні пачки, формуються скріплюються клапани пачок тощо. Переміщення пачок транспортною системою може здійснюватись двома способами: першим — безперервно з постійною швидкістю без зупинок на позиціях, другим — дискретно із зупинками та позиціонуванням пачок у кожній позиції.

Порівнюючи ці два способи слід зауважити, що дискретне переміщення з позиціонуванням пачок обумовлює значно вищі вимоги до якості виконання окремих технологічних операцій пакування і, як результат, забезпечує значно вищу якість пакованих одиниць. Однак, дискретне переміщення із зупинками створює умови для зміни швидкості руху появу прискорень і, як наслідок, появу динамічних навантажень, що діють як на об'єкти пакування, так і на ланки транспортної системи. Причому величини динамічних навантажень прогресивно зростають зі збільшенням швидкостей [2]. У результаті стає проблематичним підвищення продуктивності пакувальних машин.

[1–8]

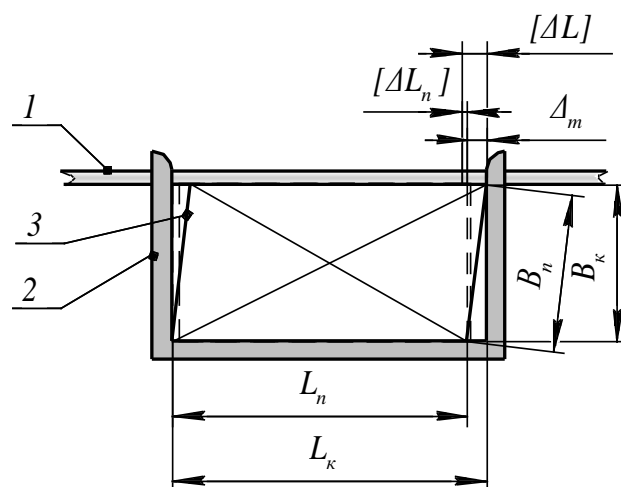


**Рис 3. Фрагмент транспортної системи з П-подібними карманними носіями для споживчої упаковки: 1 – карманний носій, 2 - зірочка , 3 – обмежувальні напрямні, 4 - упаковка**



**Рис 4** Фрагмент транспортної системи з карманими носіями для транспортної упаковки: 1 – привод механізму, 2 - перегородки

Для забезпечення мінімальних деформацій картонних пачок необхідно забезпечити їх розміщення в карманному носії з певним зазором по довжині та ширині. При цьому пачки не приймають потрібну форму у вигляді паралелепіпеда та мають скошені бічні грані (рис. 5).



**Рис. 5.** Схема можливих деформацій картонної пачки в міжмашинній транспортній системі з карманими носіями: 1- верхня напрямна, 2- П- подібний карманний носій, 3- заготовка пачки.

[Література 1. 7 стр.52]

Граничні відхилення внутрішніх розмірів картонних пачок за допускаються по довжині та ширині відповідно  $[\Delta L_n] = [\Delta B_n] = (-0,5 \dots 0) \text{ мм}$ , а по

висоті  $[\Delta H_n] = (-2...0) \text{ мм}$

Крім того потрібно забезпечити технологічний зазор по довжині між пачкою та стінками й напрямними карманного носія, який, за рекомендаціями провідних фахівців галузі, становить  $\Delta_m = (1,5...2) \text{ мм}$ . Для жорсткого закріплення пачки в карманних носіях регулюють положення верхніх або бічних напрямних (відповідно в горизонтально або вертикально розташованому карманному носії), так, щоб задня стінка пачки прилягала відповідно до нижнього несучого дна горизонтального карманного носія або задньої стінки вертикального карманного носія. Це спричинює стирання фарби та УФ-лаку, пошкодження ламінування на передній (або задній) грані пачки, деформації та розривів, у місці контакту з напрямними, бігованих ребер пачки, деформації та зминання пачки загалом.

Виходячи з вище зазначених умов, зазор по довжині та ширині між пачкою та стінками й напрямними карманного носія знаходимо у межах

$$\begin{cases} [\Delta L] = L_{z,k} - L_{z,n} = [\Delta_m; \Delta_m + |\Delta L_n|] = (1,5...2,5) \text{ мм}; \\ [\Delta B] \rightarrow 0, \end{cases} \quad (1.1)$$

де  $[\Delta L]$ ,  $[\Delta B]$  - максимально можливе відхилення зовнішніх розмірів пачки і внутрішніх розмірів карманного носія при яких не виникає руйнування картонної заготовки пачки;  $B_{z,n}$ ,  $L_{z,n}$  - габаритні розміри пачки, відповідно ширина та довжина.

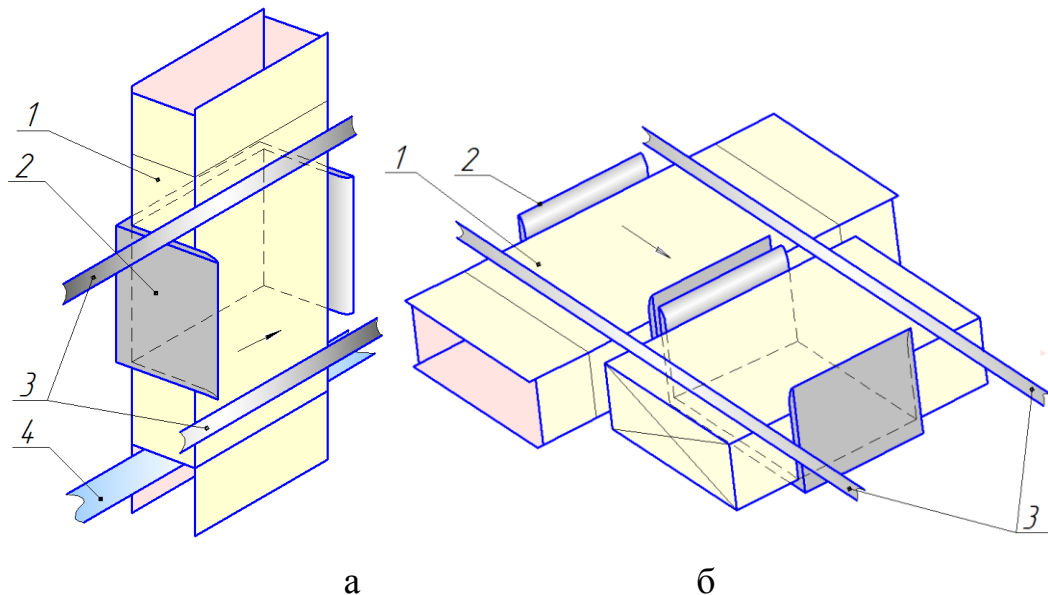
На рис. 6, а наведена типова схема транспортної системи з вертикальним розміщенням пачки в П- подібному карманному носії. Недоліками такої системи є те, що вільне положення пачки в П- подібному кармані потребує конструктивно складних напрямних для її утримання вертикально; неможливість звільнення від контакту зі стінками кармана та бічними напрямними при проведенні необхідних технологічних операцій; збільшення сумарного опору при контакті пачки з бічними напрямними.

Транспортна система з горизонтальним розміщенням пачки зображена на рис. 6, б. До переваг такої конструкції можна віднести : максимальну

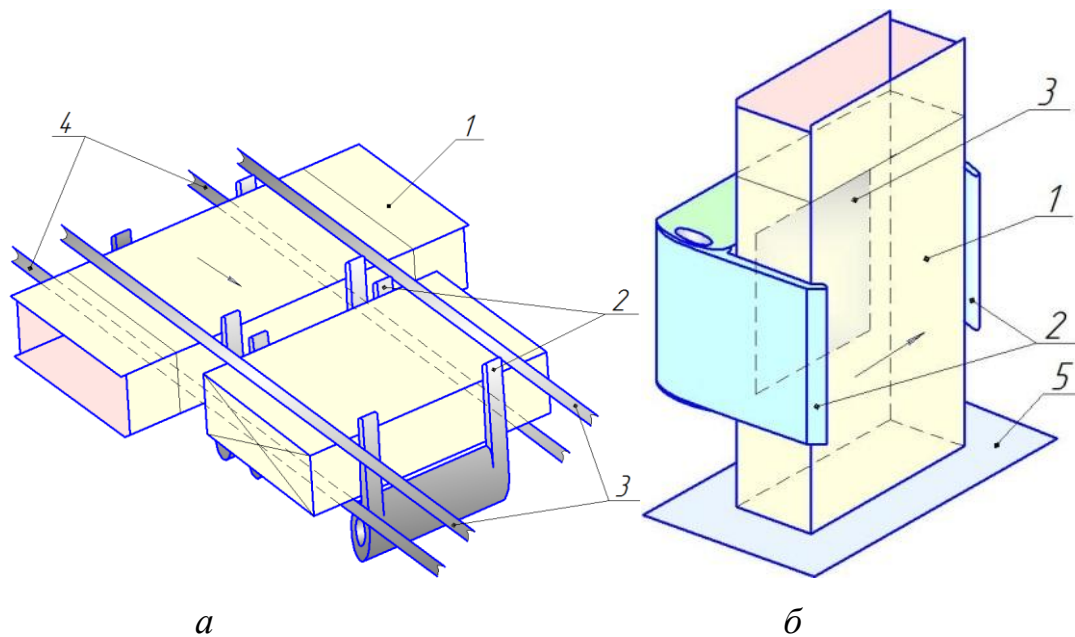
продуктивність, спрощення конструкції, забезпечення більш надійної поперечної фіксації та найменший сумарний опір переміщенню пачки.

На рис. 7 наведені транспортні системи з рухомими, тобто поворотними відносно нерухомої осі захватами.

Сьогодні найбільш широко використовують транспортну систему з горизонтальним розміщенням пачки в карманному носії з поворотними захватами (рис. 7, а). Вона дає можливість забезпечити технологічний цикл безперервної дії і високу продуктивність. Пачки фіксуються в кармані між верхніми та нижніми напрямними. Недолік такої системи – зростання сумарного опору при контакті пачки з напрямними.



**Рис. 6.** Транспортна система з П-подібними карманними носіями: *а*- з вертикальним розміщенням пачки, *б*- з горизонтальним розміщенням пачки, картонна пачка, 2- П-подібний карманний носій, 3- бічні напрямні, 4- нижня несуча площина



**Рис. 7. Транспортна система з карманними носіями з поворотними захватами:** *а- з горизонтальним розміщенням пачки, б- з вертикальним розміщенням пачки, 1- картонна пачка, 2- поворотні захвати, 3, 4- верхні та несучі нижні напрямні, 5- нижнє несуче дно.*

Існують транспортні системи з вертикальним розміщенням карманного носія, що зображена на рис. 7, б. До переваг такої конструкції відносять максимальну продуктивність, можливість переміщення пачки разом із нижнім несучим дном і відповідно найменший сумарний опір переміщенню пачки, мінімальне навантаження від дії робочих органів.

[1–7]

#### **1.4. Аналіз міжмашинних транспортних систем із шнековими конвеєрами для переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу.**

Проведений аналіз доступної технічної літератури показав, що науково обґрунтованої методики проектування таких конвеєрів не існує, а представлена інформація має фрагментарний характер з посиланням на результати експериментальних досліджень. Конструювання шнекових

конвеєрів зазвичай зводяться до твердотілого моделювання в різних графічних системах і вибрані геометричні параметри теоретично не обґрунтовано.

При переміщенні пачки шнекові конвеєри можуть виконувати різноманітні операції. До основних з них можна віднести: виділення одиничної пачки з раніше сформованого ряду; покрокове розміщення пачки; орієнтування пачки на фасування; формування кришки пачки; оформлення пачки (датування та ін.); групування по декілька штук пачок в ряд.

Виділення одиничної пачки з ряду в шнекових транспортних системах має свої особливості.

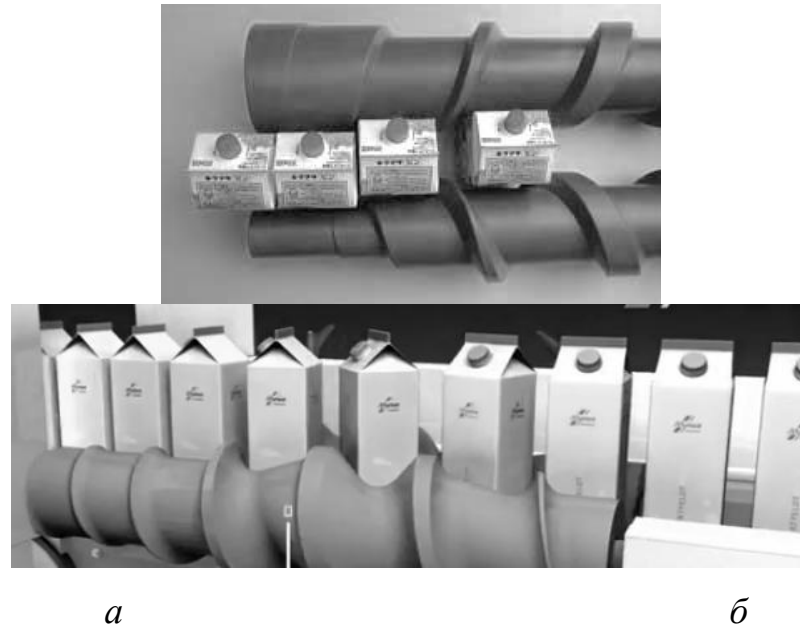
У залежності від величини скруглення бокових кутів у різних типів упаковок, якщо виток шнекового конвеєра може ввійти в простір між боковими гранями заготовки упаковки ряду, то він може захватити, відокремити одну з них і перемістити її на наступні технологічні операції.

При перевантаженні пачок (упаковка паралелепіпедної форми з чітко вираженими кутами), виток шнекового конвеєра не може потрапити між бічними гранями. Виділення одиничної пачки з ряду можна провести двома способами:

- із зміщенням пачок відносно попереднього напрямку руху. Одинична пачка відокремлюється із попередньо сформованого ряду пачок за рахунок її паралельного зміщення при переміщенні шнековими конвеєрами відносно попередньої траєкторії переміщення. Далі виток одного із шнекових конвеєрів захоплює її за виступаючий кут та відділяє від ряду (рис.8, *a*),
- із розвертанням пачок відносно їх геометричного центру при одночасному переміщенні.

Одинична пачка подається в міжвитковий простір (карман) шнекових конвеєрів, які при переміщенні розвертають її відносно геометричного

центру. Виток одного з шнекових конвеєрів потрапляє в створений зазор, захоплює її за виступаючий кут та відводить від ряду з подальшим розвертанням до  $90^\circ$  (рис.8, б).



**Рис. 8.** Схема транспортної системи з двома шнековими конвеєрами для переміщення картонних пачок: *а* – пачки зміщується паралельно до напрямку руху; *б* – пачки розвертається відносно напрямку руху.

Недоліком шнекової транспортної системи із зміщенням пачок відносно попереднього напрямку руху є те, що пачка переміщується за рахунок ковзання її бічних ребер по витках шнекових конвеєрів. У цих двох точках контакту, де пачка сприймає рушійне зусилля від дії витків шнекових конвеєрів, вона найбільш вразлива – легко піддається деформуванню та руйнуванню. Причиною цього є те, що при створенні пачки її бічні ребра двічі піддаються деформуванню: втрата жорсткості при бігуванні та формоутворенні заготовки пачки (розкриття і складання граней пачки). Такий тип транспортних систем накладає обмеження на вибір виду картону відповідно до маси дози пакованої продукції. Перевагою даної транспортної системи є те, що пакована продукція піддається мінімальним навантаженням.

Перевагою шнекової транспортної системи з розвертанням пачок при переміщенні відносно геометричного центру є те, що пачка сприймає рушійне

зусилля не тільки в двох точках контакту її бічних ребер з витками шнекових конвеєрів а й по граням пачки. Така транспортна система має більш складний профіль робочої поверхні. Вміщена продукція піддається додатковим навантаженням.

При переміщенні пачки в транспортній системі другого типу вона розвертається відносно геометричного центру на  $90^\circ$ , що дає можливість одночасно проводити операції датування, етикетування та контролю якості пакування.

[1–13]

### **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ**

Для подальших досліджень прийняті міжмашинні транспортні системи із шнековими конвеєрами для переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу, як такі, що не мають науково обґрунтованої методики проектування.

Метою проведення аналітичного дослідження прийнято визначення раціональних геометричних параметрів шнекових конвеєрів та кінематичних параметрів переміщення споживчої упаковки за різних законів зміни прискорення, які за умови мінімальних втрат часу повинні забезпечити потрібний крок між двома сусідніми пачками направленими на поточні технологічні операції. Метою проведення статичного аналізу – визначення розподілу напружень під час переміщення упаковки прямокутного перерізу в транспортуючих шнеках.

## **РОЗДІЛ 2. Дослідження етапів переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами**

### **2.1. Визначення геометричних параметрів твірної лінії профілю шнекового конвеєра.**

Під час проектування транспортної системи із шнековими конвеєрами виникає потреба забезпечити заданий крок між пачками при мінімально можливій довжині шнека. Для цього потрібно провести аналіз геометричних і кінематичних параметрів шнека.

Визначення профілю шнекового конвеєра зводиться до математичного опису траєкторії точок контакту бічних ребер упаковки з витками шнека. Утворена траєкторія – твірна лінія профілю шнека.

При описі геометрії шнекових конвеєрів були прийняті такі припущення:

- геометричний цент пачки переміщається по прямій лінії;
- при повороті шнека на кут  $0^\circ \dots 180^\circ$  пачка подається меншою гранню у карман шнекових конвеєрів на відстань рівну половині довжини пачки.

Принцип роботи шнекової транспортної системи з відділенням одиничних пачок за рахунок розвертання відносно напрямку руху такий.

За перший оберт переорієнтування пачки відносно напрямку руху для створення зазору між нею та рядом пачок проходить у два етапи:

1 етап. При повороті шнекових конвеєрів на кут  $0^\circ \dots 180^\circ$  пачка подається в карман шнеків (рис. 9, а);

2 етап. Подальше обертання шнекових конвеєрів на кут  $180^\circ \dots 360^\circ$  призводить до розвертання пачки відносно напрямку руху (рис. 9, б).

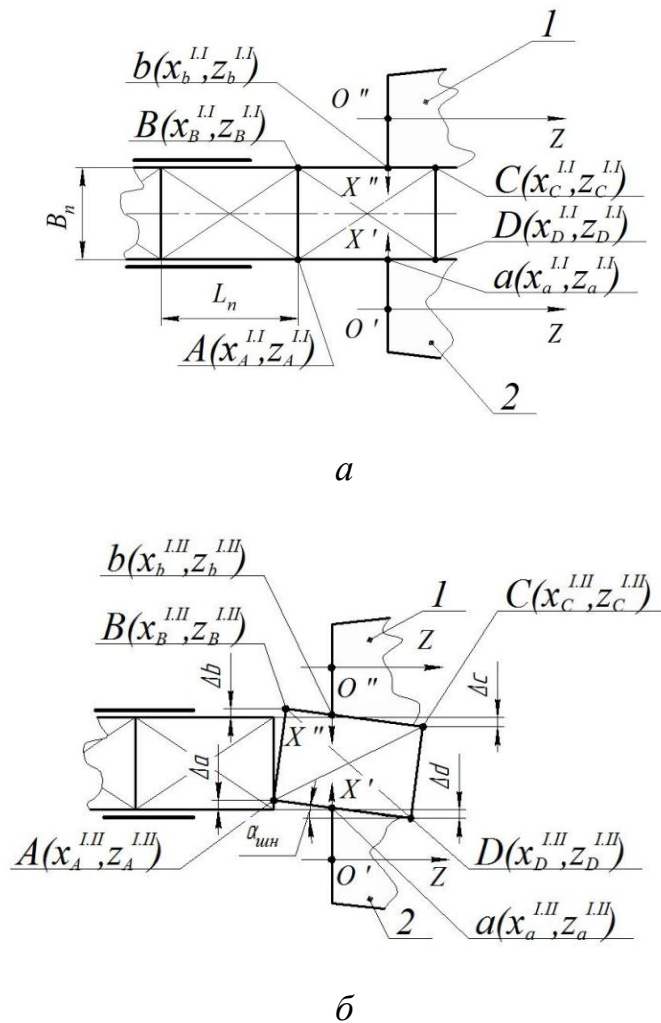
Між нею та рядом пачок утворюється зазор, а її кут виступає за площину ряду. Це дає можливість витку шнекового конвеєра 2 захопити розвернуту пачку.

За другий оберт при повороті шнекових конвеєрів на кут  $360^\circ \dots 720^\circ$  пачка захоплюється витком шнекового конвеєра 2 і відводиться від ряду за законом лінійного рівномірного переміщення (рис. 10, а).

За третій оберт при обертанні шнекових конвеєрів на кут  $720^\circ \dots 1080^\circ$  пачка переміщується із зростаючим кроком за заданим законом зміни прискорення (рис. 10, б).

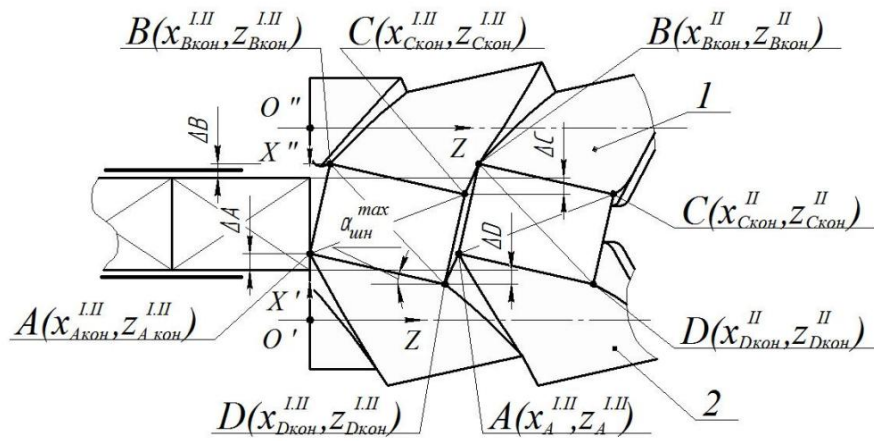
За четвертий оберт при повороті шнекових конвеєрів на кут  $1080^\circ \dots 1440^\circ$  - пачки переорієнтовуються у вихідне положення (рис. 10, в).

При наступних обертах шнекових конвеєрів пачки переміщуються з прискоренням, для забезпечення потрібного кроку між сусідніми пачками для подачі їх на наступні технологічні операції.

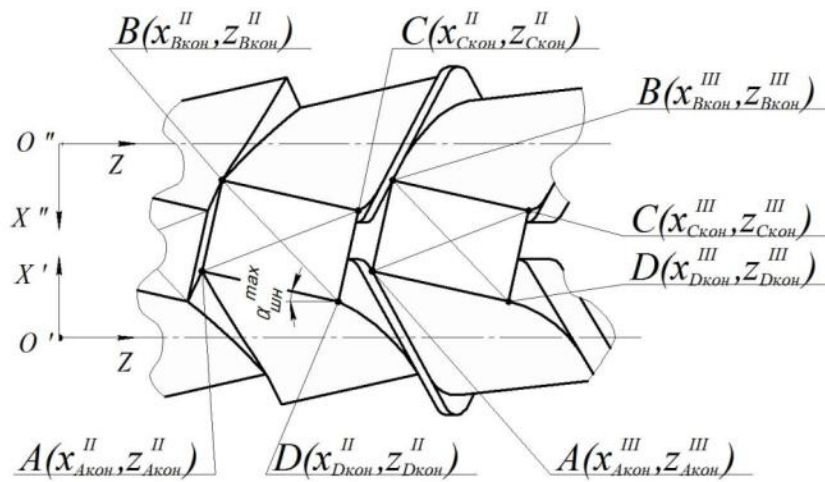


**Рис. 9. Розрахункова схема для визначення геометричних параметрів профілю шнекових конвеєрів при їх обертанні на кут: а)  $0^\circ \dots 180^\circ$ ; б)**

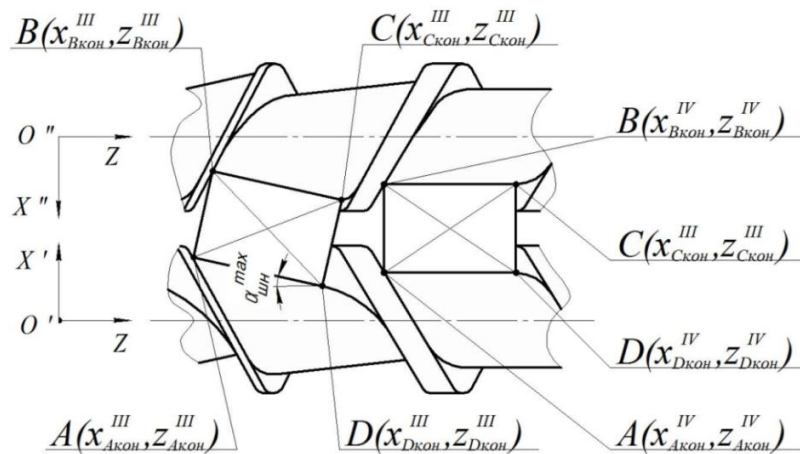
180°...360°



а



б

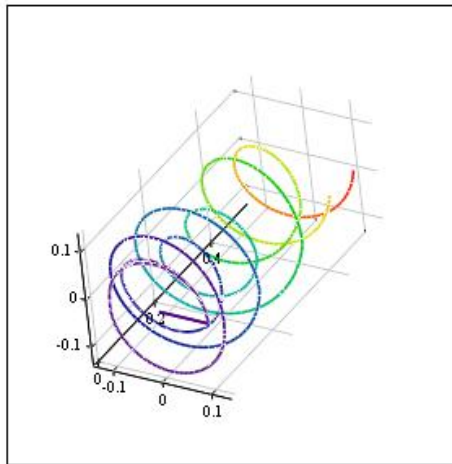


в

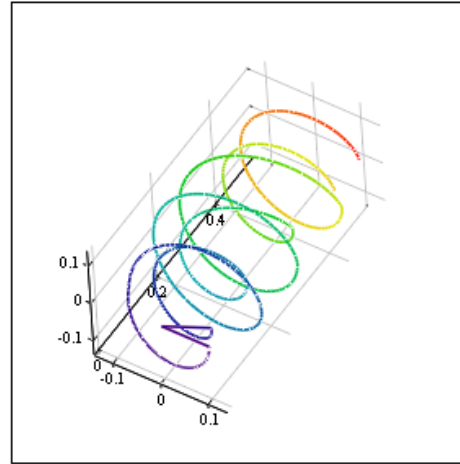
Рис. 10. Розрахункова схема для визначення геометричних параметрів профілю шнеків при їх обертанні на кут:

*a)*  $360^\circ \dots 720^\circ$ ; *б)*  $720^\circ \dots 1080^\circ$ ; *в)*  $1080^\circ \dots 1440^\circ$ ;  $1080^\circ \dots 1440^\circ$

Результати математичного опису траєкторії точок контакту ребер пачки з витками шнекових конвеєрів транспортної системи наведені в Таблиця 1 та представлені графіками на рис. 11.



*a*



*б*

**Рис. 11 Координати твірної лінії профілю шнека: *a)* конвеєр 1, точки А, D; *б)* конвеєр 2, точки В, С**

[2–14]

[1–17]

Таблиця 1. Геометричні параметри профілю шнекових конвеєрів

Поточний оберт шнека	Кут повороту шнека	Характерні без-розмірні кінематичні коефіцієнти переміщення пачки	Координати твірної лінії профілю шнека	
			Конвеєр 1 (система координат X''O''Z'')	Конвеєр 2 (система координат X'O'Z')
1	2	3	4	5
I	$0^\circ \dots 180^\circ$	$K_{тол}^{I.I} \in [0; k_{тол}]$ $K_{тин}^{I.I} \in [0; 0,5]$ $K_{zтол}^{I.I} \in [0; 0,5]$	$z_a^{I.I} = 0$ $z_D^{I.I} = L_n \cdot K_{zтол}^{I.I}$ $x_a^{I.I} = x_D^{I.I} = 0,5 \cdot D_{шн} \cdot \sin(2\pi \cdot K_{тин}^{I.I})$ $y_a^{I.I} = y_D^{I.I} = 0,5 \cdot D_{шн} \cdot \cos(2\pi \cdot K_{тин}^{I.I})$	$z_b^{I.I} = 0$ $z_C^{I.I} = z_D^{I.I}$ $x_b^{I.I} = x_C^{I.I} = 0,5 \cdot D_{шн} \cdot \sin(-2\pi \cdot K_{тин}^{I.I})$ $y_b^{I.I} = y_C^{I.I} = y_a^{I.I} = y_D^{I.I}$
	$180^\circ \dots 360^\circ$	$K_{тол}^{I.II} \in [k_{тол}; 0]$ $K_{тин}^{I.II} \in [0,5; 1]$ $K_{zтол}^{I.II} \in [0,5; 1]$ $K_{t\alpha}^{I.II} \in [0; 1]$ $K_\alpha^{I.II} \in [0; 1]$	$z_a^{I.II} = 0$ $z_D^{I.II} = L_n \cdot [K_{zтол}^{I.II} - 1 + \cos(\alpha_{шн}^{max} \cdot K_\alpha^{I.II})]$ $x_a^{I.II} = (0,5 \cdot D_{шн} + \Delta a) \cdot \sin(2\pi \cdot K_{тин}^{I.II})$ $x_D^{I.II} = (0,5 \cdot D_{шн} - \Delta D) \cdot \sin(2\pi \cdot K_{тин}^{I.II})$ $y_a^{I.II} = (0,5 \cdot D_{шн} + \Delta a) \cdot \cos(2\pi \cdot K_{тин}^{I.II})$ $y_D^{I.II} = (0,5 \cdot D_{шн} - \Delta D) \cdot \cos(2\pi \cdot K_{тин}^{I.II})$	$z_b^{I.II} = 0$ $z_C^{I.II} = z_D^{I.II} + B_n \cdot \sin(\alpha_{шн}^{max} \cdot K_\alpha^{I.II})$ $x_C^{I.II} = (0,5 \cdot D_{шн} + \Delta a) \cdot \sin(-2\pi \cdot K_{тин}^{I.II})$ $x_b^{I.II} = (0,5 \cdot D_{шн} - \Delta D) \cdot \sin(-2\pi \cdot K_{тин}^{I.II})$ $y_C^{I.II} = y_a^{I.II}$ $y_b^{I.II} = y_D^{I.II}$

1	2	3	4	5
II	$360^\circ \dots 720^\circ$	$K_{\text{тун}}^{\text{II}} \in [0; 1]$ $K_{z\text{тун}}^{\text{II}} \in [0; 1]$	$z_A^{\text{II}} = z_{a \text{ кон}}^{\text{I,II}} + [L_n \cdot \cos(\alpha_{\text{тун}}^{\text{max}}) + h_v^{\text{min}}] \cdot K_{z\text{тун}}^{\text{II}}$ $z_D^{\text{II}} = z_A^{\text{II}} + L_n \cdot \cos(\alpha_{\text{тун}}^{\text{max}})$ $x_A^{\text{II}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} + \Delta A) \cdot \sin(2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{II}})$ $x_D^{\text{II}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} - \Delta D) \cdot \sin(2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{II}})$ $y_A^{\text{II}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} + \Delta A) \cdot \cos(2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{II}})$ $y_D^{\text{II}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} - \Delta D) \cdot \cos(2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{II}})$	$z_B^{\text{II}} = z_A^{\text{II}} + B_n \cdot \sin(\alpha_{\text{тун}}^{\text{max}})$ $z_C^{\text{II}} = z_D^{\text{II}} + B_n \cdot \sin(\alpha_{\text{тун}}^{\text{max}})$ $x_C^{\text{II}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} + \Delta A) \cdot \sin(-2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{II}})$ $x_B^{\text{II}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} - \Delta D) \cdot \sin(-2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{II}})$ $y_C^{\text{II}} = y_A^{\text{II}}$ $y_B^{\text{II}} = y_D^{\text{II}}$
III	$720^\circ \dots 1080^\circ$	$K_{\text{тун}}^{\text{III}} \in [0; 1]$ $K_{z\text{тун}}^{\text{III}} \in [0; 1]$	$z_A^{\text{III}} = z_{A \text{ кон}}^{\text{II}} + [L_n \cdot \cos(\alpha_{\text{тун}}^{\text{max}}) + h_v^{\text{min}}] \cdot K_{z\text{тун}}^{\text{III}}$ $z_D^{\text{III}} = z_A^{\text{III}} + L_n \cdot \cos(\alpha_{\text{тун}}^{\text{max}})$ $x_A^{\text{III}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} + \Delta A) \cdot \sin(2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{III}})$ $x_D^{\text{III}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} - \Delta D) \cdot \sin(2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{III}})$ $y_A^{\text{III}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} + \Delta A) \cdot \cos(2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{III}})$ $y_D^{\text{III}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} - \Delta D) \cdot \cos(2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{III}})$	$z_B^{\text{III}} = z_A^{\text{III}} + B_n \cdot \sin(\alpha_{\text{тун}}^{\text{max}})$ $z_C^{\text{III}} = z_D^{\text{III}} + B_n \cdot \sin(\alpha_{\text{тун}}^{\text{max}})$ $x_C^{\text{III}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} + \Delta A) \cdot \sin(-2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{III}})$ $x_B^{\text{III}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} - \Delta D) \cdot \sin(-2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{III}})$ $y_C^{\text{III}} = y_A^{\text{III}}$ $y_B^{\text{III}} = y_D^{\text{III}}$
IV	$1080^\circ \dots$	$K_{\text{тун}}^{\text{IV}} \in [0; 1]$ $K_{z\text{тун}}^{\text{IV}} \in [0; 1]$	$z_A^{\text{IV}} = z_{A \text{ кон}}^{\text{III}} + L_n \cdot [0,5 \cdot \cos(\gamma - \alpha_{\text{тун}}^{\text{max}} \cdot K_\alpha^{\text{IV}}) / \cos(\gamma) + h_v^{\text{min}} + 0,5] \cdot K_{z\text{тун}}^{\text{IV}}$ $z_D^{\text{IV}} = z_{D \text{ кон}}^{\text{III}} + L_n \cdot [0,5 \cdot \cos(\gamma - \alpha_{\text{тун}}^{\text{max}} \cdot K_\alpha^{\text{IV}}) / \cos(\gamma) + h_v^{\text{min}} + 0,5] \cdot K_{z\text{тун}}^{\text{IV}}$ $x_A^{\text{IV}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} + \Delta A - \Delta a) \cdot \sin(2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{IV}})$	$z_B^{\text{IV}} = z_A^{\text{IV}} + B_n \cdot \sin[\alpha_{\text{тун}}^{\text{max}} (1 - K_\alpha^{\text{IV}})]$ $z_C^{\text{IV}} = z_D^{\text{IV}} + B_n \cdot \sin[\alpha_{\text{тун}}^{\text{max}} (1 - K_\alpha^{\text{IV}})]$ $x_C^{\text{IV}} = (0,5 \cdot D_{\text{тун}} + \Delta A - \Delta a) \times \dots$ $\dots \times \sin(-2\pi \cdot K_{\text{тун}}^{\text{IV}})$

1	2	3	4	5
			$x_D^{IV} = (0,5 \cdot D_{uH} - \Delta D + \Delta d) \cdot \sin(2\pi \cdot K_{t_{uH}}^{IV})$ $y_A^{IV} = (0,5 \cdot D_{uH} + \Delta A - \Delta a) \cdot \cos(2\pi \cdot K_{t_{uH}}^{IV})$ $y_D^{IV} = (0,5 \cdot D_{uH} - \Delta D + \Delta d) \cdot \cos(2\pi \cdot K_{t_{uH}}^{IV})$	$x_B^{IV} = (0,5 \cdot D_{uH} - \Delta D + \Delta d) \dots \times$ $\dots \times \sin(-2\pi \cdot K_{t_{uH}}^{IV})$ $y_C^{IV} = y_A^{IV}$ $y_B^{IV} = y_D^{IV}$

[1–15]

У таблиці прийняті такі позначення:  $L_n$ ,  $B_n$  – довжина та ширина картонної пачки відповідно;  $\alpha_{\text{шн}} = [0, \alpha_{\text{шн}}^{\text{max}}]$  – кут повороту пачки при переорієнтуванні її шнековими конвеєрами відносно напрямку руху;  $(x, y, z)$  – координати твірної лінії профілю шнекового конвеєра;  $D_{\text{шн}}$  – діаметр шнекового конвеєра;  $K_{\text{тшт}}$ ,  $K_{\text{тшн}}$  – безрозмірні коефіцієнти, які характеризують зміну тривалості переміщення пачки штовхачем і шнеком відповідно в напрямку руху;  $K_{\text{т}\alpha}$  – безрозмірний коефіцієнт, який характеризує зміну часу при розвертанні пачки шнековими конвеєрами відносно напрямку переміщення;  $k_{\text{тшт}}$  – значення безрозмірного коефіцієнта, який характеризує зміну тривалості переміщення пачки штовхачем на відстань  $z_{\text{Скон}}^{\text{II}} = z_{\text{Дкон}}^{\text{II}} = 0,5 \cdot L_n$ ;  $K_{\text{зшт}} = f(K_{\text{тшт}})$  – безрозмірний коефіцієнт, який характеризує зміну величини переміщення пачки в напрямку руху;  $K_{\text{зшн}} = f(K_{\text{тшн}})$  – безрозмірний коефіцієнт, який характеризує зміну величини переміщення пачки шнековими конвеєрами в напрямку переміщення;  $K_{\alpha} = f(K_{\text{т}\alpha})$  – безрозмірний коефіцієнт, який характеризує зміну кута розвертання пачки шнековими конвеєрами при переорієнтуванні відносно напрямку руху.

Величина відхилення кута пачки при розвертанні її за бокову площину ряду пачок змінюється в межах  $\Delta a = \Delta c = [0; \Delta A]$ ;  $\Delta b = \Delta d = [0; \Delta D]$  і визначається наступними формулами:

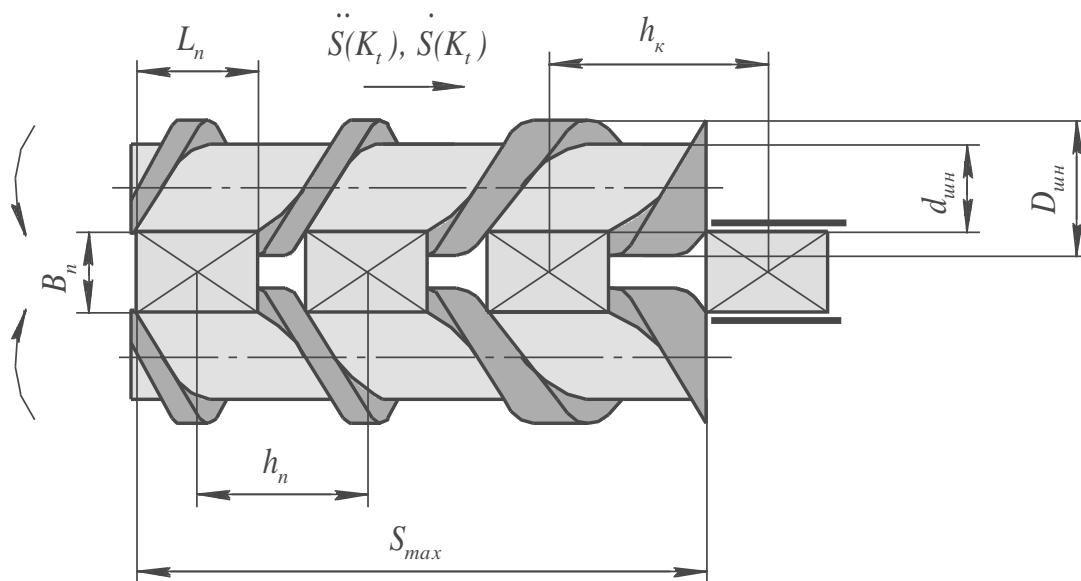
{	$\Delta a = 0,5 \cdot [B_n - L_n \cdot \sin(\gamma - \alpha_{\text{шн}}) / \cos(\gamma)];$	( 2.1 )
	$\Delta d = ,5 \cdot [L_n \cdot \sin(\gamma + \alpha_{\text{шн}}) / \cos(\gamma) - B_n];$	( 2.1 )
	$\Delta A = 0,5 \cdot [B_n - L_n \cdot \sin(\gamma - \alpha_{\text{шн}}^{\text{max}}) / \cos(\gamma)];$	( 2.3 )
	$\Delta D = 0,5 \cdot [L_n \cdot \sin(\gamma + \alpha_{\text{шн}}^{\text{max}}) / \cos(\gamma) - B_n].$	( 2.4 )

[2–15]

2.2. Визначення та аналіз кінематичних параметрів процесу переміщення упаковки прямокутного перерізу шнековим конвеєром.

Мета кінематичного дослідження переміщення пачки – проведення аналізу впливу основних законів руху пачки (переміщення з постійним прискоренням, з

постійно зростаючим прискоренням, з постійно спадаючим прискоренням, зміною прискорення за косинусоїдальним та синусоїдальним законом) на геометричні параметри шнека.



**Рис.12. Схема переміщення картонної пачки шнековим конвеєром зі змінним кроком: 1, 2 - шнековий конвеєр зі змінним кроком; 3- картонна пачка**

Схема переміщення картонної пачки в транспортній системі із шнековими конвеєрами, які мають змінний крок наведена зображена на рис.4.15 прийнято такі позначення:  $h_n, h_k$  – відповідно початковий (мінімальний) та кінцевий (максимальний) крок між пачками;  $d_{унт}, D_{унт}$  – відповідно внутрішній та зовнішній діаметр шнека;  $L_n$  – довжина пачки;  $B_n$  – ширина пачки,  $S_{max}$  – робоча довжина шнека.

Переміщення пачки можна описати різними законами зміни прискорення на етапі розгону за допомогою рівнянь зміни кінематичних параметрів наведеними у Таблиця2.

[2–14]

**Таблиця 2.** Кінематичні параметри лінійного переміщення споживчої упаковки на етапі розгону

Переміщення лінійного органу	Швидкість переміщення робочого органу	Прискорення робочого органу
<b>Закон переміщення:</b>		
1. рівномірне прямолінійне переміщення		
$S(t) = \frac{S_{max} \cdot t}{T}$	$\dot{S}(t) = \frac{S_{max}}{T}$	$\ddot{S}(t) = 0$
2. переміщення з постійним прискоренням		
$S(t) = \frac{S_{max} \cdot t^2}{T^2}$	$\dot{S}(t) = \frac{2 \cdot S_{max} \cdot t}{T^2}$	$\ddot{S}(t) = \frac{2 \cdot S_{max}}{T^2}$
3. з постійно зростаючим прискоренням		
$S(t) = \frac{S_{max} \cdot t^3}{T^3}$	$\dot{S}(t) = \frac{3 \cdot S_{max} \cdot t^2}{T^3}$	$\ddot{S}(t) = \frac{6 \cdot S_{max} \cdot t}{T^3}$
<b>4. з постійно спадаючим прискоренням</b>		
$S(t) = \frac{S_{max} \cdot t^2}{2 \cdot T^3} (t - 3T)$	$\dot{S}(t) = \frac{3 \cdot S_{max}}{2 \cdot T^3} \left[ 1 - \left( \frac{t}{T} - 1 \right)^2 \right]$	$\ddot{S}(t) = \frac{3 \cdot S_{max}}{T^2} \left( 1 - \frac{t}{T} \right)$
<b>5. зміна прискорення за косинусоїдальним законом</b>		
$S(t) = \left( 1 - \cos \left( \frac{\pi \cdot t}{2T} \right) \right) \cdot S_{max}$	$\dot{S}(t) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{S_{max}}{T} \cdot \sin \left( \frac{\pi \cdot t}{2 \cdot T} \right)$	$\ddot{S}(t) = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{S_{max}}{T^2} \cdot \cos \left( \frac{\pi \cdot t}{2 \cdot T} \right) \cdot$
<b>6. зміна прискорення за синусоїдальним законом</b>		
$S(t) = S_{max} \cdot \left[ \frac{t}{T} - \frac{\sin \left( \frac{\pi \cdot t}{T} \right)}{\pi} \right]$	$\dot{S}(t) = \frac{2S_{max}}{T} \cdot \sin^2 \left( \frac{\pi \cdot t}{2T} \right)$	$\ddot{S}(t) = \pi \cdot \frac{S_{max}}{T^2} \cdot \sin \left( \frac{\pi \cdot t}{2 \cdot T} \right)$



$$k_{t(n_B-1)} = \frac{n_n}{n_B} = \frac{n_B - 1}{n_B}; \quad ( 2.12 )$$

$$k_{s(n_B-1)} = \frac{h_k}{S_{max}}, \quad ( 2.13 )$$

де  $n_n$  – поточне значення кількості обертів шнекового конвеєра,  $n_B$  – загальна кількість обертів (витків) шнекового конвеєра,  $k_{s1}$ ;  $k_{s(n_B-1)}$  – безрозмірний коефіцієнт приросту переміщення пачок відповідно при одному та  $(n_B - 1)$  оберті шнекових конвеєрів;  $k_{t1}$ ;  $k_{t(n_B-1)}$  – безрозмірний коефіцієнт приросту тривалості переміщення пачок відповідно при одному та  $(n_B - 1)$  оберті шнекових конвеєрів;  $h_n$  – початковий крок між пачками;  $h_k$  – кінцевий (необхідний) крок між пачками;  $S_1$  – переміщення пачки при одному оберті шнекових конвеєрів;  $S_{(n_B-1)}$  – переміщення пачки при  $(n_B - 1)$  обертах шнекових конвеєрів.

Для переміщення пачки із синусоїдальною зміною прискорення системи рівнянь 2.-2. зводяться до вигляду:

$$S_{max} = h_n \cdot \frac{(\pi - 2) \cdot n_B}{\pi - 2 \cdot n_B \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot n_B}\right)}, \quad ( 2.14 )$$

$$S_{max} = h_k \cdot \frac{(2 - \pi) \cdot n_B}{\left[2 - 2\pi + 2 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2 \cdot n_B}\right)\right] \cdot n_B + \pi} \quad ( 2.15 )$$

Система рівнянь (2.14) та (2.15) містить трансцендентні функції -  $\sin$  та  $\cos$  . Для розв'язання цих рівнянь використаємо чисельний метод пошуку їх точки перетину з використанням програми Mathcad.

Для інших законів переміщення пачки були отримані кінцеві формули для знаходження мінімально потрібної довжини робочої ділянки  $S_{max}$  та необхідної кількості витків шнекових конвеєрів, які наведені в  $n_B$  шнекових конвеєрів, які наведені в табл. 3.

Для оцінювання ефективності використання довжини робочої ділянки шнекових конвеєрів введемо безрозмірний коефіцієнт максимального приросту кроку між пачками:

$$K_h = \frac{h_k}{s_{max}}, \quad ( 2.16 )$$

Кінцевий крок між пачками визначається з рівняння (2.16):

$$h_k = \frac{s_{max} \cdot \left( \pi + 4 \cdot n_B \cdot \left( \cos^2 \left( \frac{\pi}{4 \cdot n_B} \right) - 1 \right) \right)}{n_B \cdot (\pi - 2)}, \quad ( 2.17 )$$

де кількість витків шнекових конвеєрів знаходиться за формулою:

$$n_B = \frac{T}{t_B} = \frac{1}{k_{tB}}, \quad ( 2.18 )$$

де тривалість видачі пачок із транспортної системи із шнековими конвеєрами:

$$t_B = \frac{3600}{\Pi}, \quad ( 2.19 )$$

$\Pi$  - продуктивність з якою повинна працювати транспортна система;

безрозмірний коефіцієнт, який характеризує тривалість видачі пачки транспортної системи із шнековими конвеєрами:

$$k_{tB} = \frac{t_B}{T}. \quad ( 2.20 )$$

Використовуючи рівняння 2.6 - 2.20 отримано безрозмірний коефіцієнт приросту кроку між пачками:

$$K_h = \frac{2 \cdot \left( \cos \left( \frac{\pi \cdot k_{tB}}{2} \right) - 1 \right) + \pi \cdot k_{tB}}{\pi - 2}, \quad ( 2.21 )$$

Для інших законів переміщення пачки кінцеві формули для максимального безрозмірного коефіцієнта приросту кроку між пачками отримано подібними методами і наведені в табл. 3.

**Таблиця 3.** Залежності для визначення і оцінки геометричних параметрів шнекових конвеєрів

Мінімально можлива кількість витків шнекового конвеєра	Мінімально можлива довжина робочої поверхні шнекового конвеєра	Безрозмірний коефіцієнт максимального приросту кроку між пачками
1	2	3
Закон переміщення пачки		
1. з постійним прискоренням		
$n_B = \frac{h_n + h_k}{2 \cdot h_n}$	$S_{max} = \frac{(h_n + h_k)^2}{4 \cdot h_n}$	$k_h = 2 \cdot k_{tB} \cdot (1 - k_{tB})$
2. з постійно зростаючим прискоренням		
$n_B = \frac{2 \cdot (h_k - h_n)}{\sqrt{3 \cdot h_n \cdot (4 \cdot h_k - h_n) - 3 \cdot h_n}}$	$S_{max} = \frac{8 \cdot h_n \cdot (h_k - h_n)^3}{(\sqrt{3 \cdot h_n \cdot (4 \cdot h_k - h_n) - 3 \cdot h_n})^3}$	$k_h = k_{tB} [k_{tB} (k_{tB} - 3) + 3]$
3. з постійно спадаючим прискоренням		
$n_B = \frac{2 \cdot (h_k - h_n)}{3 \cdot h_n - \sqrt{12 \cdot h_n^2 + 9 \cdot h_k^2 - 12 \cdot h_n \cdot h_k}}$	$S_{max} = \frac{2 \cdot h_n \cdot n_B^3}{1 - 3n_B}$	$k_h = \frac{k_{tB} (3 - k_{tB}^2)}{2}$
4. із зміною прискорення по косинусоїдальному закону		

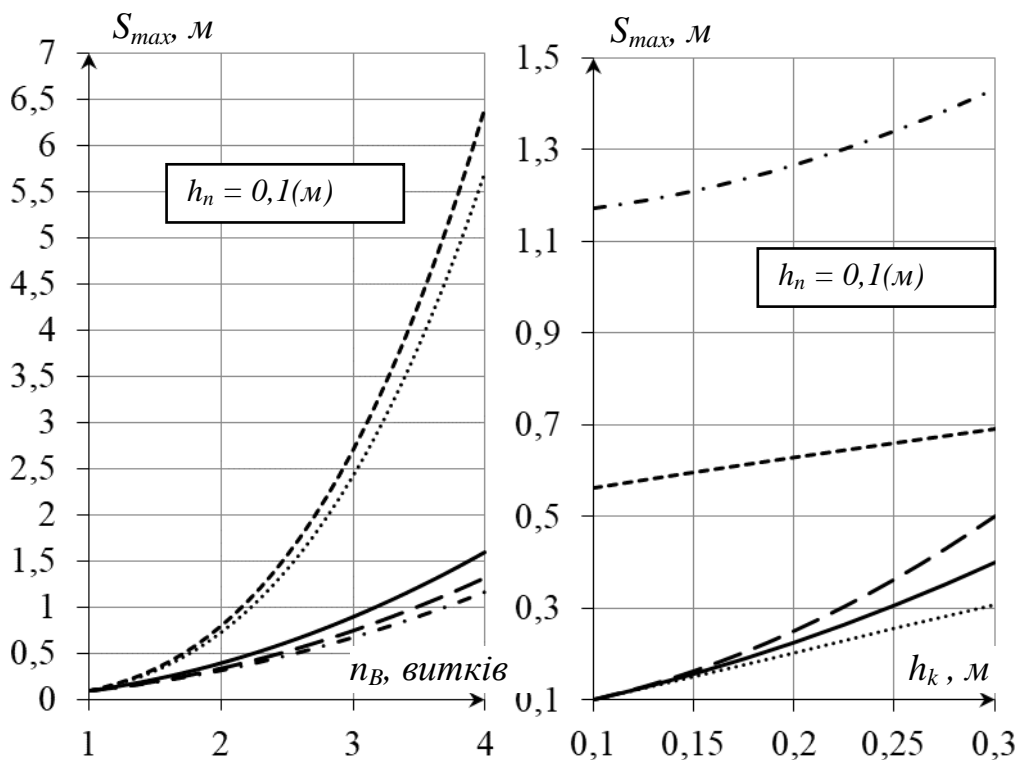
1	2	3
$n_B = \frac{\pi}{2 \cdot \arccos\left(\frac{h_k^2 - h_n^2}{h_n^2 + h_k^2}\right)}$	$S_{max} = \frac{h_n^2 + h_k^2}{2 \cdot h_n}$	$k_h = \sin\left(\frac{\pi \cdot k_{tB}}{2}\right)$
5. із зміною прискорення по синусоїдальному закону		
Визначаються із системи рівнянь: $\begin{cases} S_{max} = h_n \cdot \frac{(\pi - 2) \cdot n_B}{\pi - 2 \cdot n_B \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot n_B}\right)} \\ S_{max} = h_k \cdot \frac{(2 - \pi) \cdot n_B}{\left[2 - 2\pi + 2 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2 \cdot n_B}\right)\right] \cdot n_B + \pi} \end{cases}$		$k_{h(max)} = \frac{2 \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot k_{tB}}{2}\right) + \pi \cdot k_{tB} - 2}{\pi - 2}$

де  $k_{tB} = \frac{t_B}{T}$  безрозмірний часовий коефіцієнт який залежать тривалості витримки між видачею упаковок шнековими

конвеєрами  $t_B$ ;  $h_n$  – початковий крок між пачками;  $h_k$  – кінцевий крок між пачками.

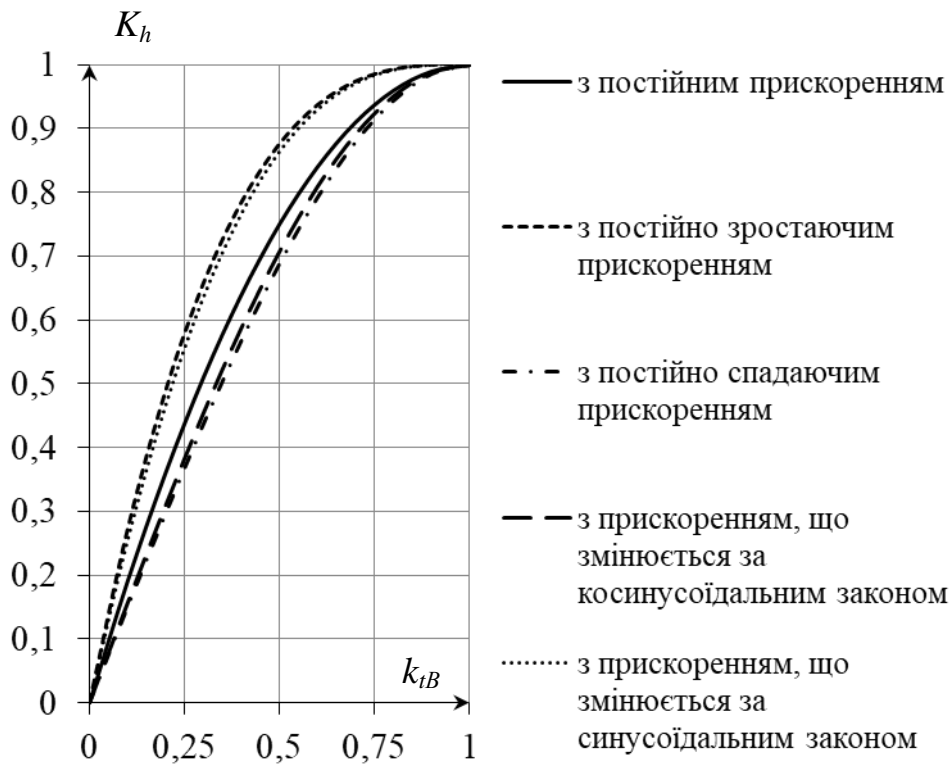
Аналіз зміни робочої ділянки шнекового конвеєра  $S_{max}$  показав (рис. 13), що при забезпеченні потрібного кроку між пачками, найбільша довжина буде у шнекових конвеєрів, які реалізують переміщення пачки з постійно зростаючим та постійно спадаючим прискоренням.

Найменшу довжину (у порядку зростання) мають шнекові конвеєри, які забезпечують переміщення пачки: за синусоїдальним законом руху; з постійним прискоренням та за косинусоїдальним законом руху. Крім того, перший з цих шнекових конвеєрів у якого один з найбільших коефіцієнтів приросту кроку (рис. 14) і є рекомендованим для використання в пакувальних машинах-автоматах.



**Рис. 13.** Зміна довжини шнекового конвеєра від кількості обертів при переміщенні пачки

**Рис. 14.** Зміна довжини шнекового конвеєра від необхідного кінцевого кроку між пачками



**Рис. 15.** Зміна приросту кроку між упаковками від необхідної кількості обертів шнека

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Результатом проведеного дослідження стало визначення основних геометричних параметрів шнека та кінематичних параметрів руху пачки при її переміщенні з урахуванням геометричних параметрів пачки та вибраного закону руху упаковки форми паралелепіпеда. Дослідження процесу переміщення упаковки дало можливість визначити оптимальні геометричні параметри профілю шнека, для забезпечення безперебійної високопродуктивної роботи пакувальної машини-автомату та забезпечує мінімальне пошкодження упаковки. Рекомендованими для використання є шнеки, які забезпечують переміщення пачки з постійним та з косинусоїдальною зміною прискорення.

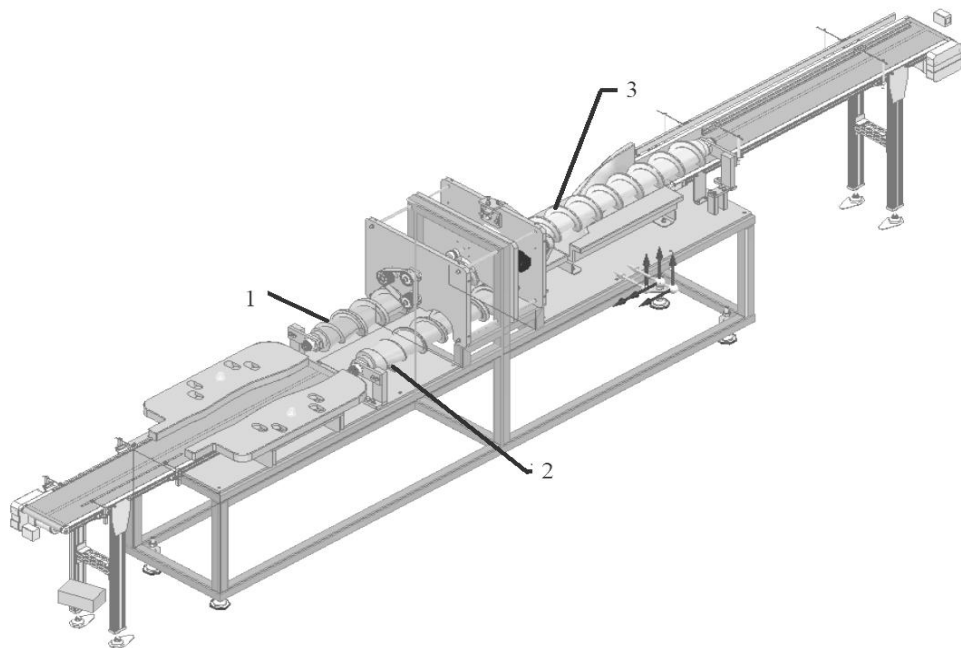
### **РОЗДІЛ 3. Дослідження розподілу напружень в шнековому конвеєрі при переміщенні споживчих упаковок прямокутного перерізу**

Для дослідження розподілу напружень в шнековому конвеєрі при переміщенні споживчих упаковок було використано 3D CAD систему Solid Edge яка дозволяє провести тестування зразка обладнання віртуально.

В якості об'єкту лабораторного дослідження було обрано транспортну систему компанії «Morrison Container Handling Solutions», із подвійними шнеками.

Предметом дослідження є розподіл напружень у шнекових конвеєрах під час транспортування ними упаковки прямокутного перерізу із розмірами 68x68x мм і робочою висотою 105мм.

Для проведення статичного аналізу транспортуючих шнеків було створено їх 3d моделі в програмі Solid Edge. (див. рис 18) а також схеми прикладання навантажень (див. рис. 19, 23, 26). Побудова шнеків проводилася на основі раніше проведених математичних досліджень, за умови забезпечення раціонального вибору їх геометричних параметрів.



**Рис. 18. Ескіз між машинної транспортної системи із шнековими конвеєрами: 1 – лівий шнек, 2 – правий шнек, 3 – відповідний шнек**

Для визначення відповідності міцносних характеристик, вимогам безпечної роботи машини, було проведено статичний аналіз кожного шнеку у програмі Solid Edge, данні отримані в ході проведення розрахунків наведені у Додатку А.

### 3.1. Результати проведення статичного аналізу для лівого шнека

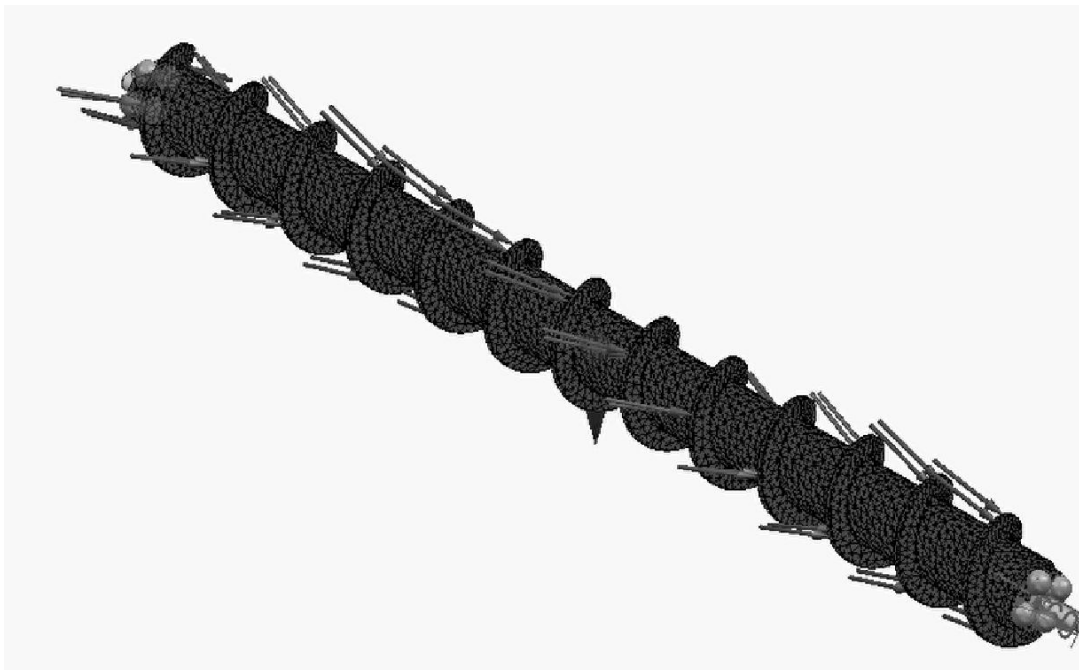
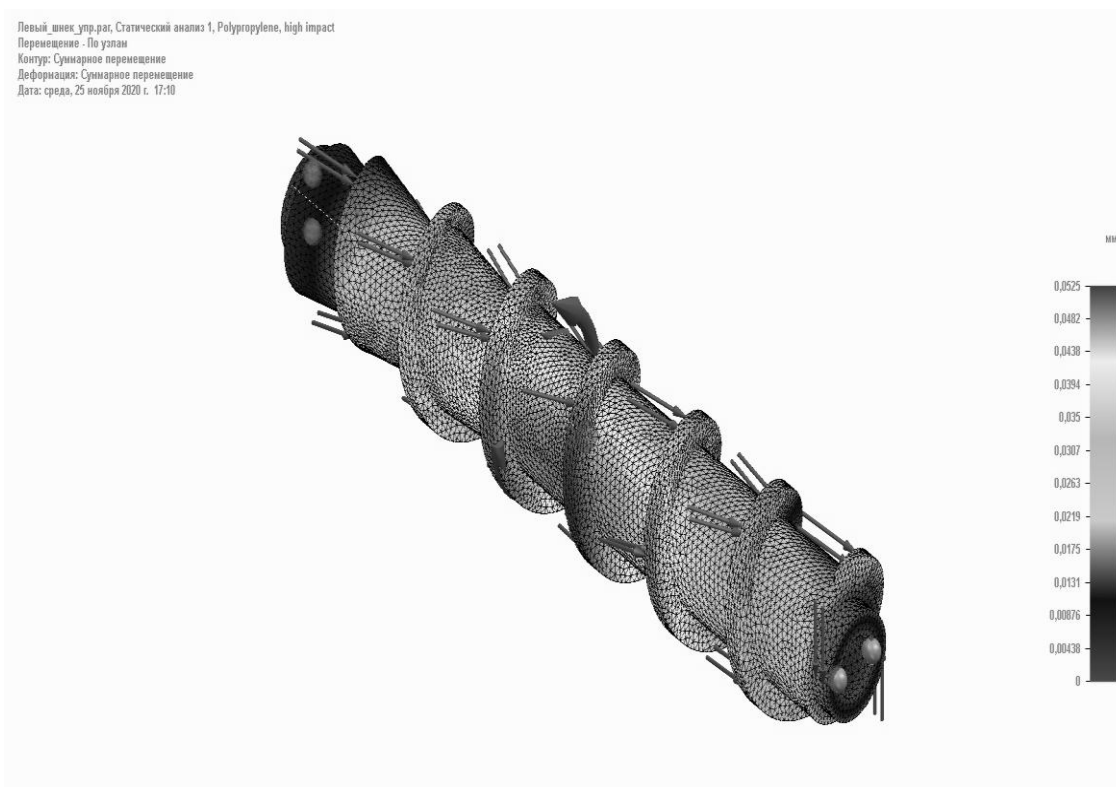


Рис. 19. Схема прикладання навантажень на 3D модель лівого шнеку



## Рис. 20. Розподіл значень деформацій лівого шнека

Результати проведеного статичного аналізу шнека на деформацію за умови динамічних навантажень зведено у таблицю 4.

Таблиця 4. Результати статичного аналізу лівого шнека на деформацію

Компонент результатів: по Мізесу				
Діапазон	Значення	X	Y	Z
Мінімум	0,000128 МПа	760,000 мм	114,306 мм	69,178 мм
Максимум	1,52 МПа	775,000 мм	105,081 мм	11,500 мм

Лівий\_шнек\_устр.раг, Статический анализ 1, Polypropylene, high impact  
Напряжение - По элементу  
Контур: Напряжение по Мизесу  
Деформация: Суммарное перемещение  
Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 17:10

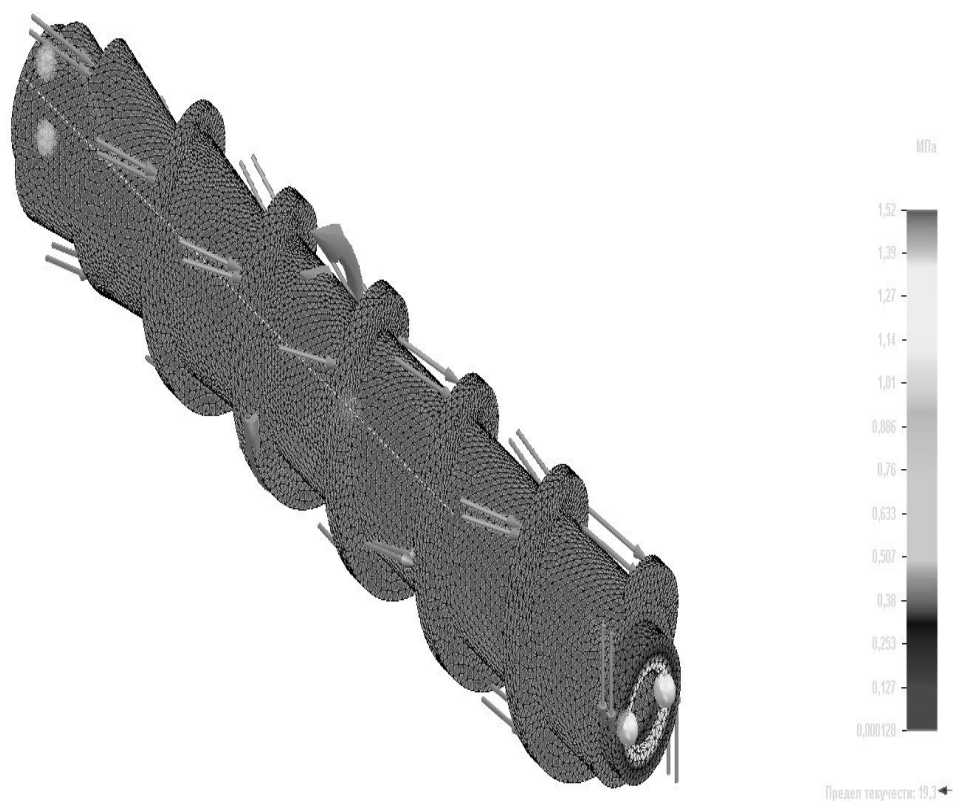
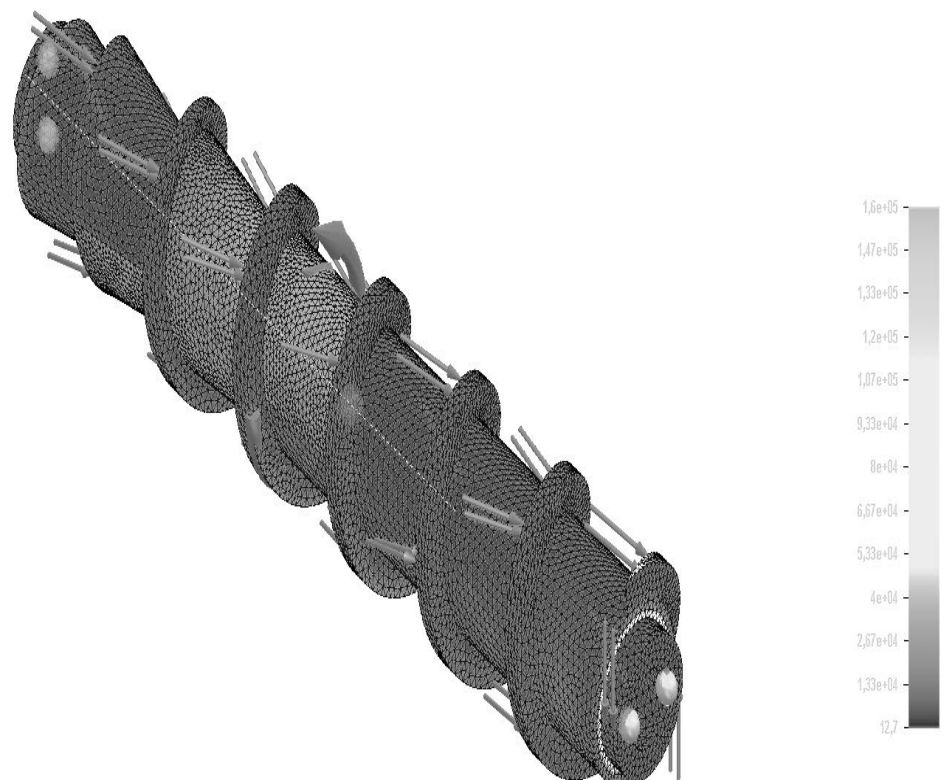


Рис. 21. Розподіл значень напружень для лівого шнеку по Мізесу

**Таблиця 5. Результати статичного аналізу лівого шнека на запас міцності**

Компонент результатів: Запас міцності				
Діапазон	Значення	X	Y	Z
Мінімум	12,7	775,000 мм	105,081 мм	11,500 мм
Максимум	1,6e+05	760,000 мм	164,921 мм	2,512 мм

Лівий\_шнек\_упр\_раб, Статический анализ 1, Polyurethane, high impact  
Напряженне - По елементам  
Контури: Запас прочности  
Деформация: Суммарное перемещение  
Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 17:10



**Рис. 22 Розподіл значень коефіцієнту запасу міцності у лівому шнеці**

**Таблиця 6.** *Результати статичного моделювання лівого шнека на перевірку рівноваги*

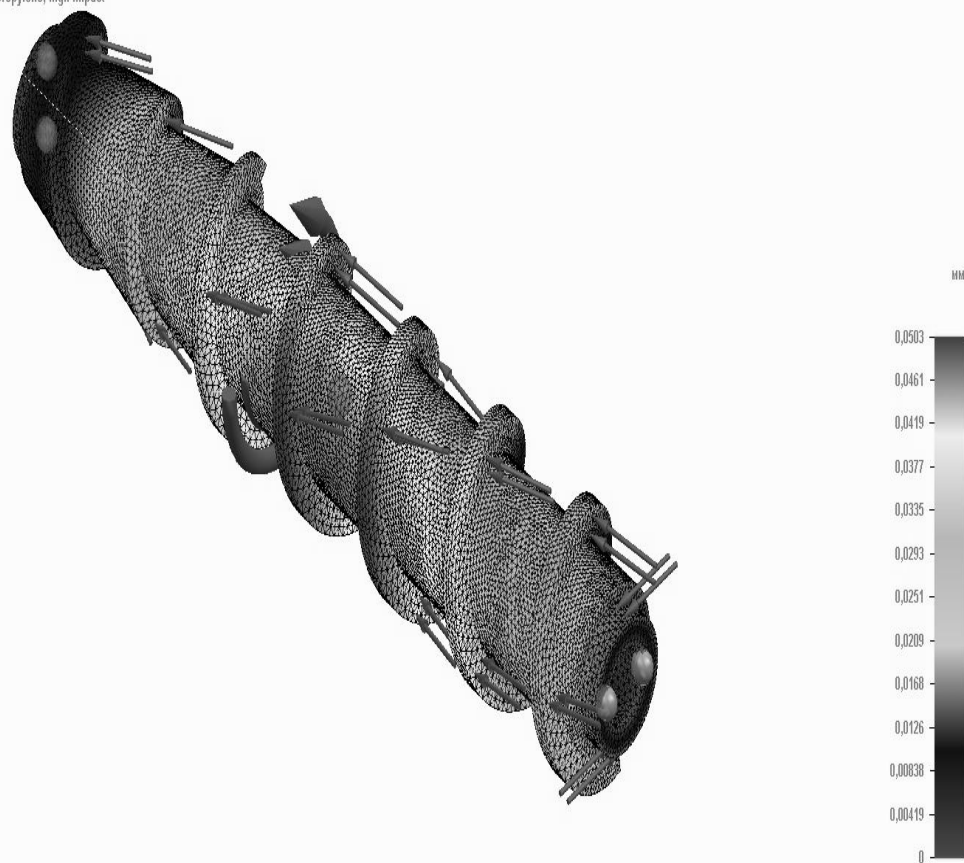
<b>Компонент результатів: Загальна симуляція</b>					
<b>Fx</b>	<b>Fy</b>	<b>Fz</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>Mz</b>
-0,261 мН	-0,483 мН	-0,744 мН	0 Н-м	0 Н-м	0 Н-м

### 3.2. Результати проведення статичного аналізу для правого шнека

**Таблиця 7.** *Результати статичного моделювання лівого шнека на деформацію*

<b>Компонент результатів: сумарне переміщення</b>				
<b>Діапазон</b>	<b>Значення</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Мінімум</b>	0 мм	775,000 мм	103,126 мм	7,107 мм
<b>Максимум</b>	0,0525 мм	454,403 мм	55,020 мм	1,657 мм

Правый шнек упр.раг, Статический анализ 1, Polypropylene, high impact  
 Перемещение - По узлам  
 Контур: Суммарное перемещение  
 Деформация: Суммарное перемещение  
 Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 16:13

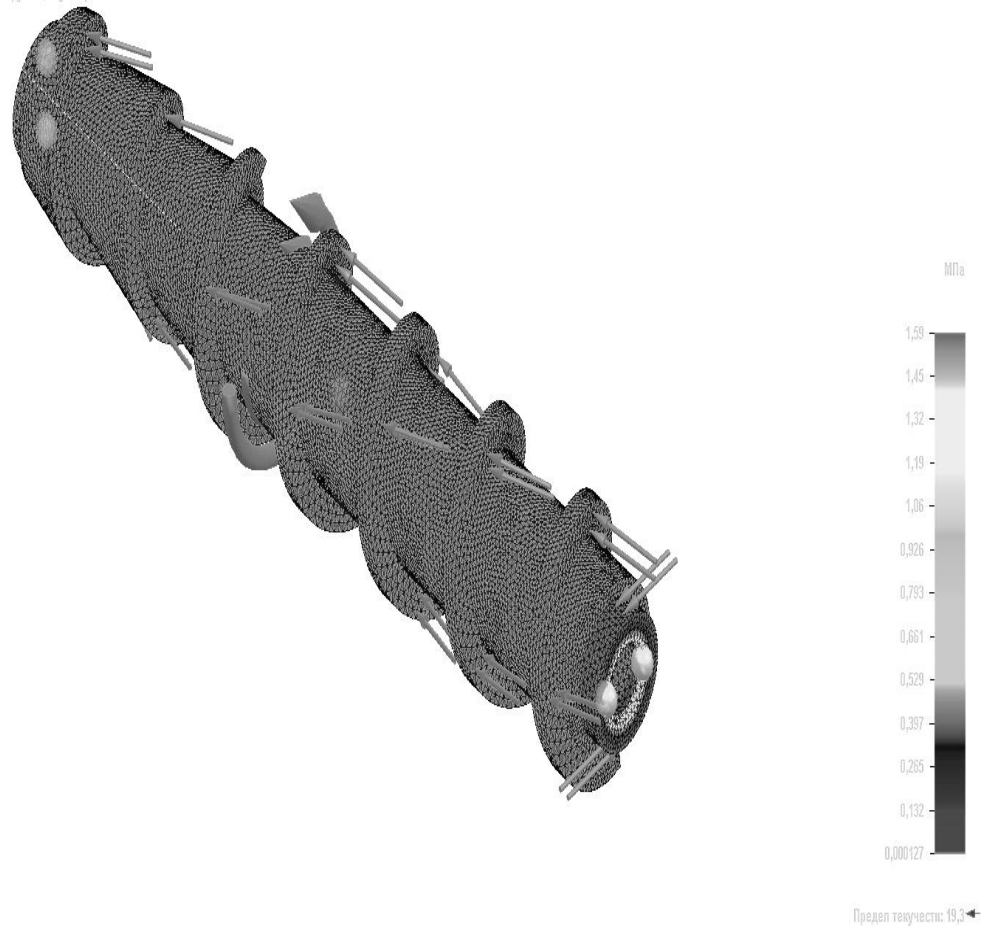


**Рис. 23** Розподіл значень деформацій правого шнека

**Таблиця 8.** *Результати статичного моделювання правого шнека на деформацію*

Компонент результатів: по Мізесу				
Діапазон	Значення	X	Y	Z
Мінімум	0,000128 МПа	760,000 мм	114,306 мм	69,178 мм
Максимум	1,52 МПа	775,000 мм	105,081 мм	11,500 мм

Правый шнек\_упр.раг; Статический анализ 1; Polypropylene, high impact  
 Напряжение - По элементу  
 Контуры: Напряжение по Мизесу  
 Деформация: Суммарное перемещение  
 Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 16:13

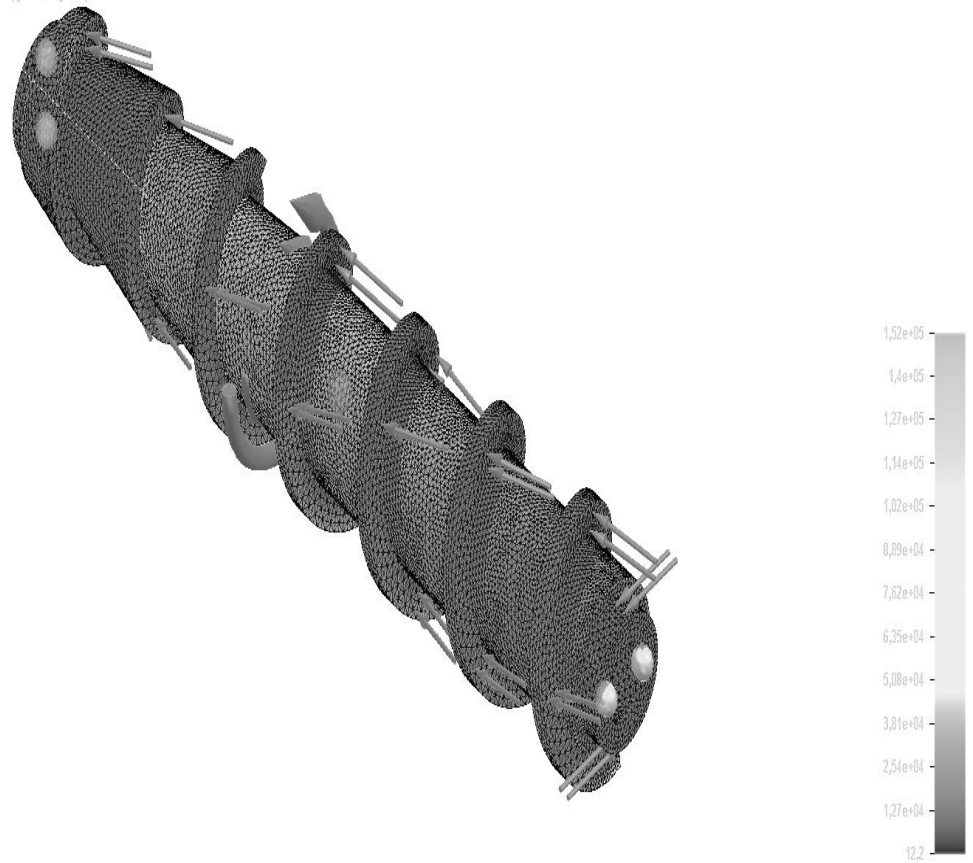


**Рис. 24. Розподіл значень напружень для правого шнеку по Мізесу**

**Таблиця 9. Результати статичного моделювання лівого шнека на запас міцності**

Компонент результатів: Запас міцності				
Діапазон	Значення	X	Y	Z
Мінімум	12,7	775,000 мм	105,081 мм	11,500 мм
Максимум	1,6e+05	760,000 мм	164,921 мм	2,512 мм

Правий шнек\_упр.раг, Статический анализ 1, Polypropylene, high impact  
Напряжение - По элементам  
Контуры: Запас прочности  
Деформация: Суммарное перемещение  
Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 16:13



**Рис. 25.** Розподіл значень коефіцієнту запасу міцності у правому шнеці

**Таблиця 10.** *Результати статичного моделювання правого шнека на перевірку рівноваги*

Компонент результатів: Загальна симуляція					
<b>Fx</b>	<b>Fy</b>	<b>Fz</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>Mz</b>
-0,261 мН	-0,483 мН	-0,744 мН	0 Н-м	0 Н-м	0 Н-м

### 3.3. Результати проведення статичного аналізу для відвідного шнека

Шнек\_Центральний\_упр.раб, Статический анализ 1, Polyethylene (extra strong)  
Перемещение - По узлам  
Контуры: Суммарное перемещение  
Деформация: Суммарное перемещение  
Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 17:24

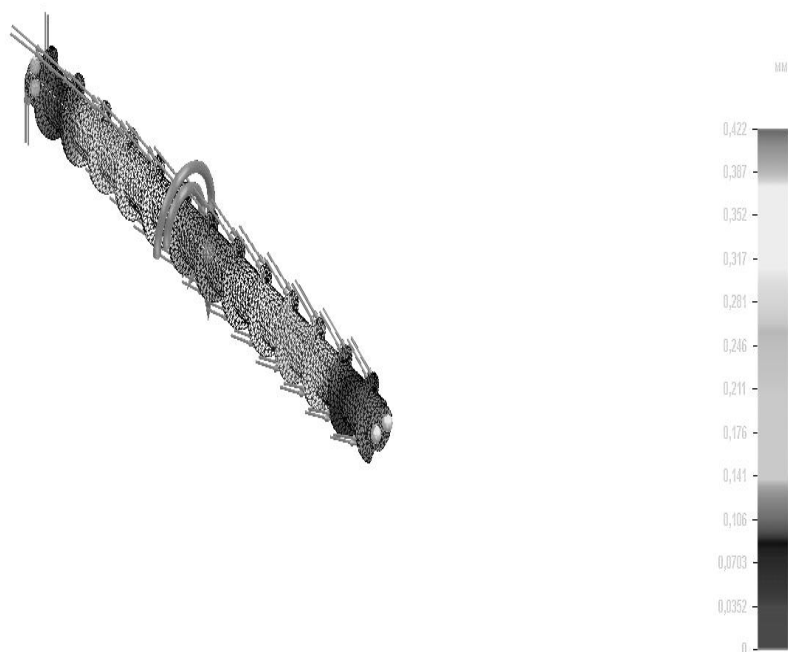
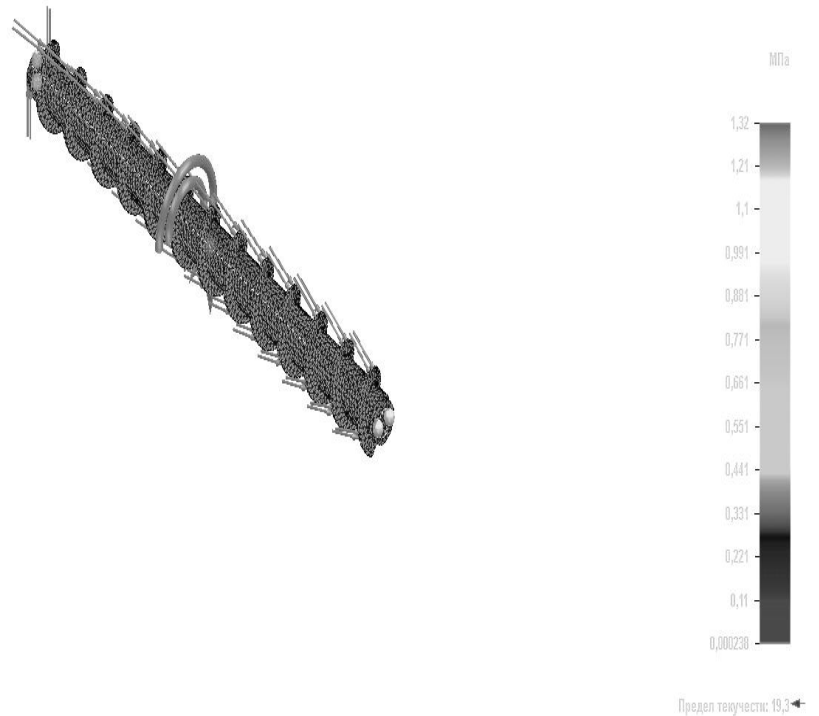


Рис. 26. Розподіл значень деформацій відвідного шнека

Таблиця 11. Результати статичного моделювання відвідного шнека на деформацію

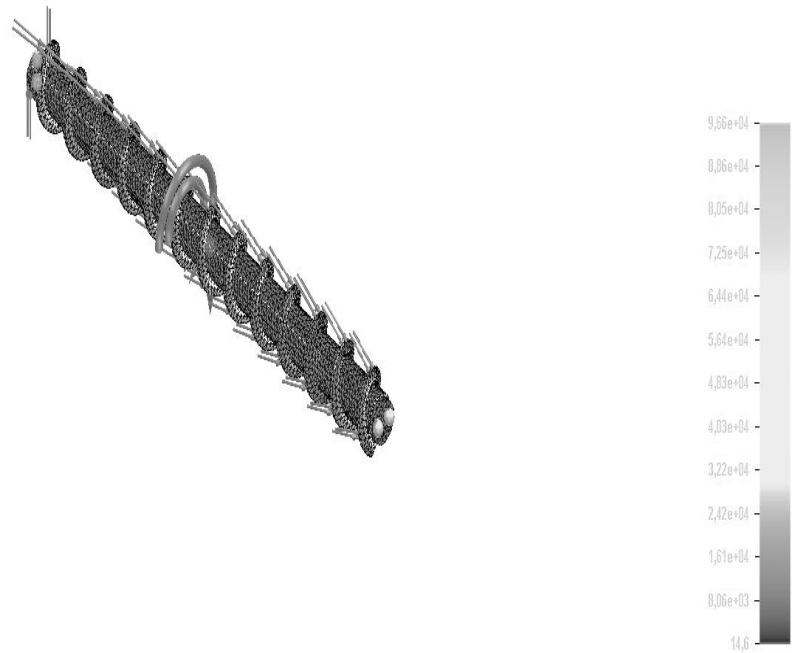
Компонент результатів: по Мізесу				
Діапазон	Значення	X	Y	Z
Мінімум	0,000238 МПа	201,039 мм	-170,853 мм	52,892 мм
Максимум	1,32 МПа	35,000 мм	-130,118 мм	22,423 мм



**Рис. 27** Розподіл значень напружень для відповідного шнеку по Мізесу

**Таблиця 12.** *Результати статичного моделювання відповідного шнека на деформацію*

Компонент результатів: Запас міцності				
Діапазон	Значення	X	Y	Z
Мінімум	14,6	35,000 мм	-130,118 мм	22,423 мм
Максимум	9,66e+04	1445,268 мм	-135,353 мм	38,637 мм



**Рис. 28.** Розподіл значень коефіцієнту запасу міцності у відвідному шнеці

**Таблиця 13.** *Результати статичного моделювання відвідного шнека на перевірку рівноваги*

Компонент результатів: Загальна симуляція					
<b>Fx</b>	<b>Fy</b>	<b>Fz</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>Mz</b>
-10,1 мН	11,7 мН	-6,33 мН	0 Н-м	0 Н-м	0 Н-м

Провівши статичний аналіз тіла шнеку, дійшли висновку що максимальні деформаційні навантаження шнек отримує під дією сили тяжіння. При нормальній роботі механізму, навантаження незначні і ними можна знехтувати.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Проведене статичне дослідження транспортуючих шнеків на допустиме напруження, зріз витка, кручення та прогин показало:

- максимальні деформаційні навантаження, шнек отримує під дією сили тяжіння, або у випадку заклинювання, в наслідок чого весь крутний момент двигуна передається на скручування шнека;
- при транспортуванні споживчої упаковки навантаження що виникають – незначні;
- таким чином матеріал з якого виготовлено шнек HDPE (High density polyethylene) цілком відповідає розрахунковим навантаженням, що виникають при роботі транспортної системи;
- спроектована 3D модель шнеку із врахуванням раціональних параметрів отриманих із математичних залежностей аналітичного дослідження, яка буде виготовлена, із поліетилену високого тиску має достатній запас міцності для виконання технічного процесу переміщення та на випадок виникнення критичних навантажень.

## **РОЗДІЛ 4. Експериментальне дослідження кінематичних параметрів переміщення споживчих упаковок прямокутного перерізу в транспортних системах із шнековими конвеєрами**

### **4.1. Постановка експериментального дослідження.**

Необхідність проведення експериментального дослідження полягає у вивченні кінематики переміщення упаковки прямокутного перерізу транспортуючими шнеками в пакувальних лініях.

Задачею експериментального дослідження було: а) дослідити процес переміщення упаковки прямокутного перерізу транспортуючими шнеками в пакувальних лініях.

### **4.2. Мета експериментального дослідження.**

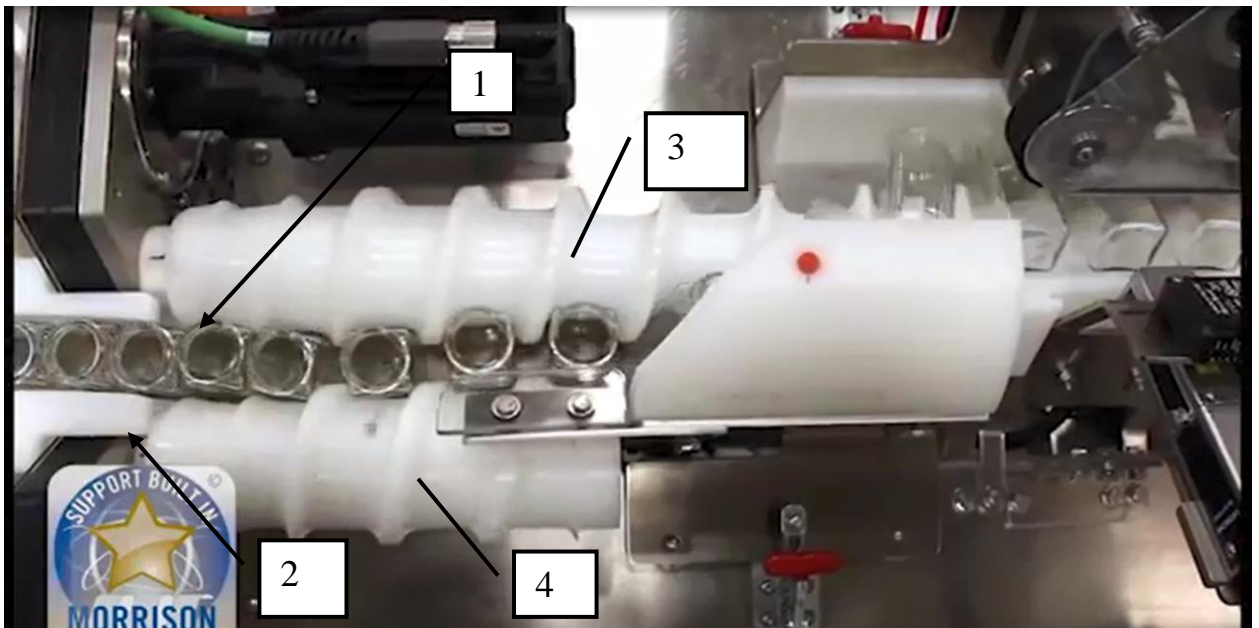
Визначити кінематичні параметри переміщення упаковки прямокутного перерізу транспортуючими шнеками та порівняти їх з математично отриманими моделями. Підтвердити адекватність отриманих математичних залежностей для визначення величини переміщення упаковки. Порівняти отримані математичні залежності для аналітичного визначення профілю шнека відповідно до профілю шнека виготовленого в умовах твердотілого моделювання в різних графічних системах.

Для цього перевіряємо адекватність математичної моделі пасивного експерименту та проводимо обробку експериментальних даних в програмі MS Excel.

### **4.3 Опис експериментальної установки для дослідження процесу.**

переміщення споживчої упаковки для прямокутного перерізу у міжмашинних шнекових транспортних системах

Вихідні дані. для опису лабораторної установки та отримання експериментальних даних (координати точок через рівні проміжки часу)



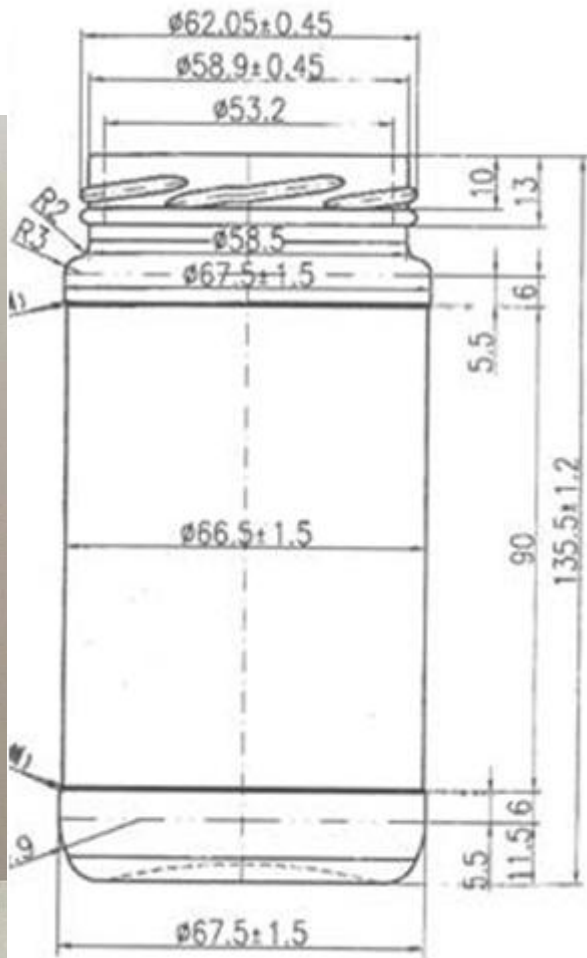
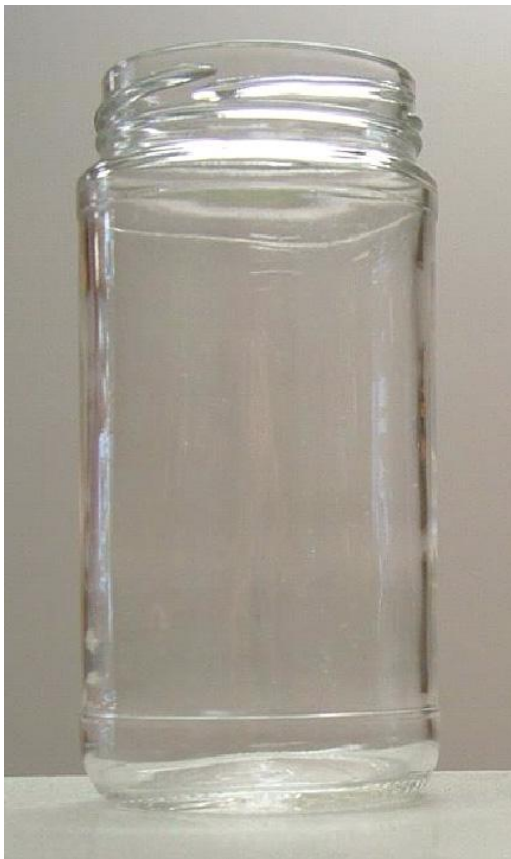
**Рис. 29. Міжмашинна транспортна система із шнековими конвеєрами для переміщення скляних банок прямокутного перерізу: 1 – скляна банка, 2 – ряд скляних банок, 3 – лівий шнек, 4 – правий шнек.**

Принцип роботи під час виконання першого оберту шнеками 3,4, скляна банка 1 подається в карман шнеків та розвертається на певний кут для утворення зазору між нею та рядом скляних банок 2. У цей зазор при виконанні другого оберту шнеками потрапляє виток лівого шнека 3, який захоплює скляну банку і відводить її від ряду. Під час виконання шнеками третього оберту скляна банка розвертається в початкове положення після чого відбувається її подальше лінійне переміщення.

Технологічні параметри транспортної системи:

1. тривалість переміщення скляної банки в шнековій транспортній системі– 2,575сек
2. частота обертання шнеків – 139,5 об/хв
3. довжина робочої ділянки шнеків – 1,1 м
4. матеріал шнеків – поліетилен високого тиску

Розміри споживчої упаковки – скляної банки прямокутного перерізу 66,5x66,5 мм **12 oz Paragon Jar R-1013B** об'ємом 360 мл (див. рис.30):



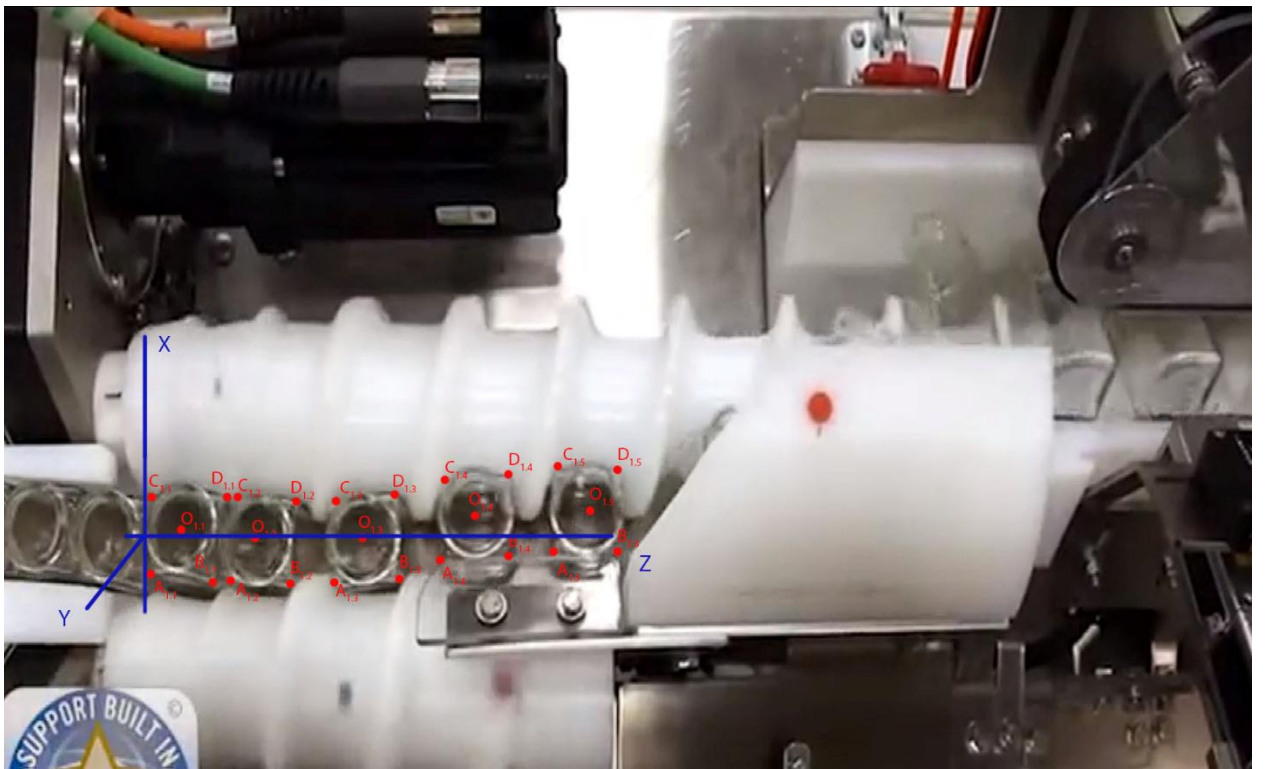
**Рис. 30.** Ескіз об'єкту транспортування

#### **4.4. Обробка експериментальних даних**

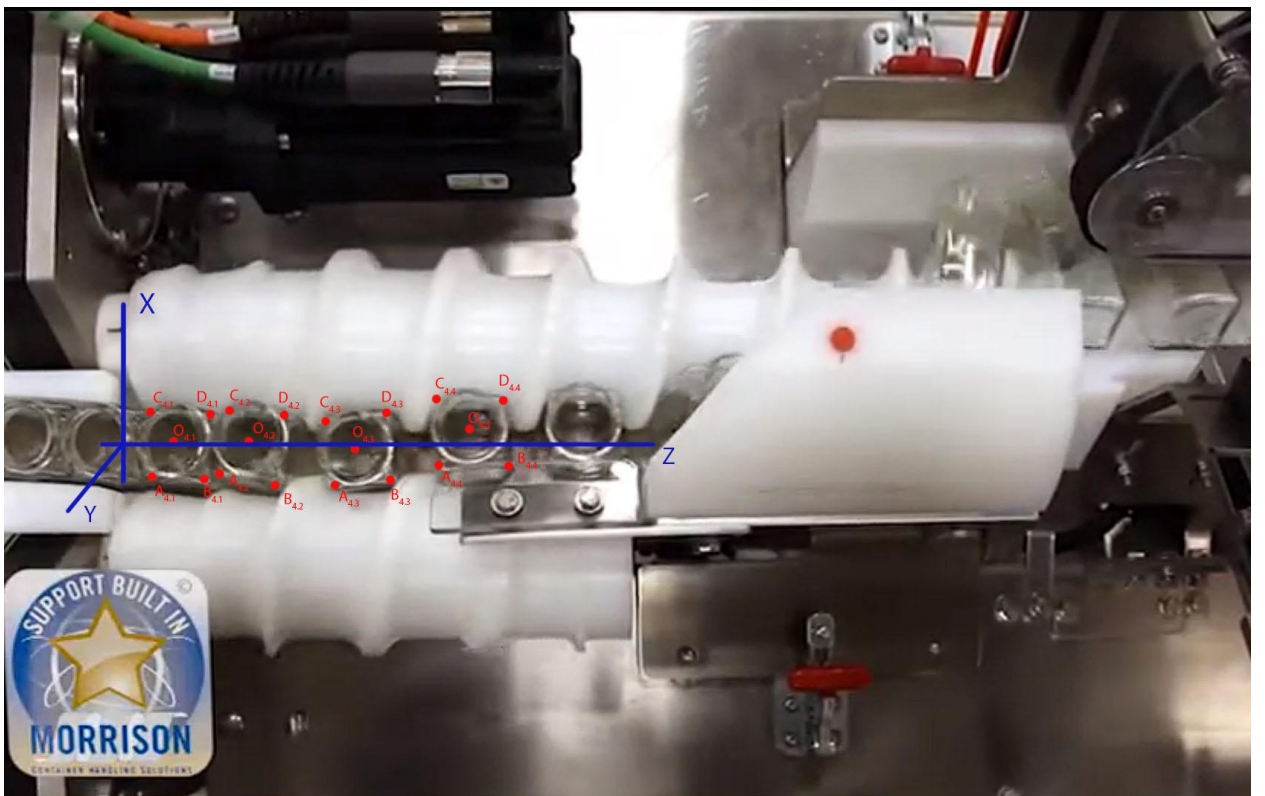
Під плануванням експерименту розуміють вибір вхідних параметрів – факторів, вихідних параметрів – відгуків, умов проведення експерименту що необхідні та достатні для вирішення задачі з певною точністю.

Вхідним фактором є тривалість переміщення скляної банки, відгуком є значення переміщення характерних точок перерізу скляної банки (див рис. 31, 32, 33).

Процес обробки експериментальних даних містить: 1 – перевірку нормальності розподілення дослідних даних, визначення потрібної кількості вимірів, відбракування результатів дослідних даних. Отримані експериментальні данні занесено у таблицю 14.



**Рис. 31. Розміщення скляних банок при першому оберті шнеків**



**Рис. 32. Розміщення скляних банок при другому оберті шнеків**

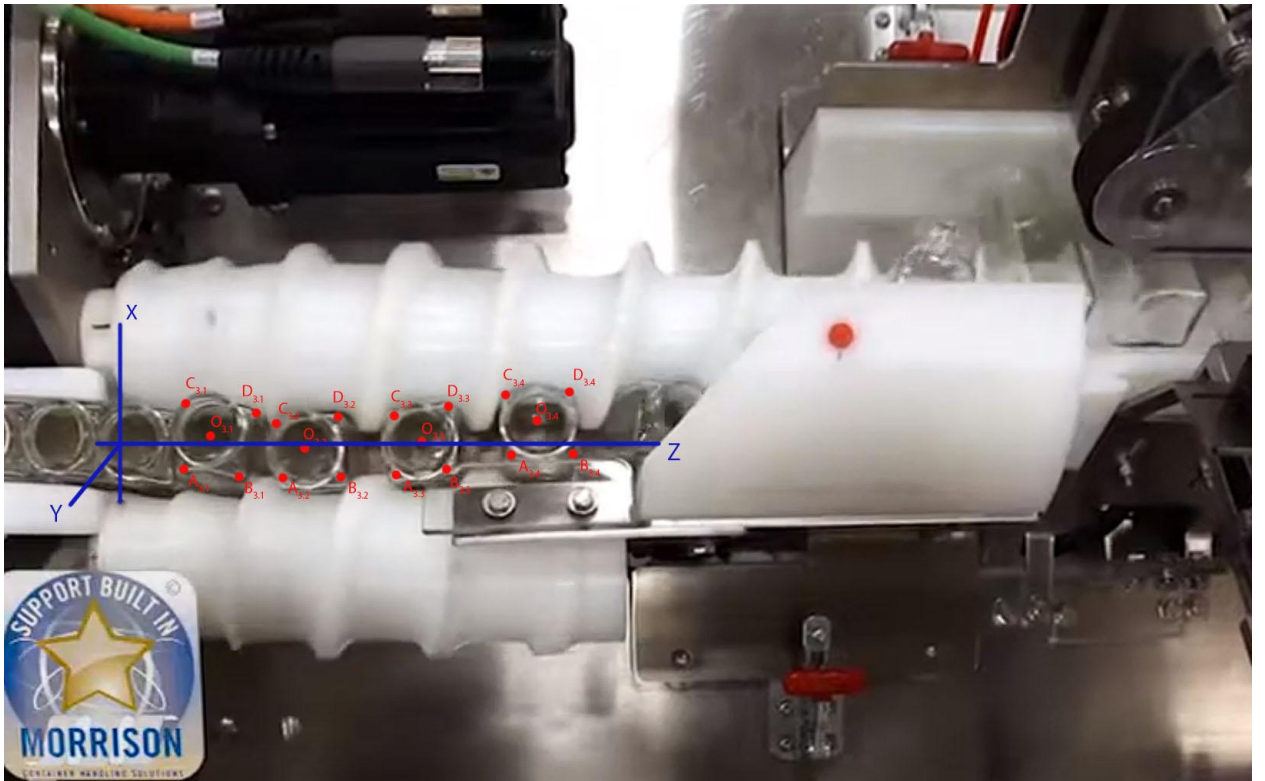
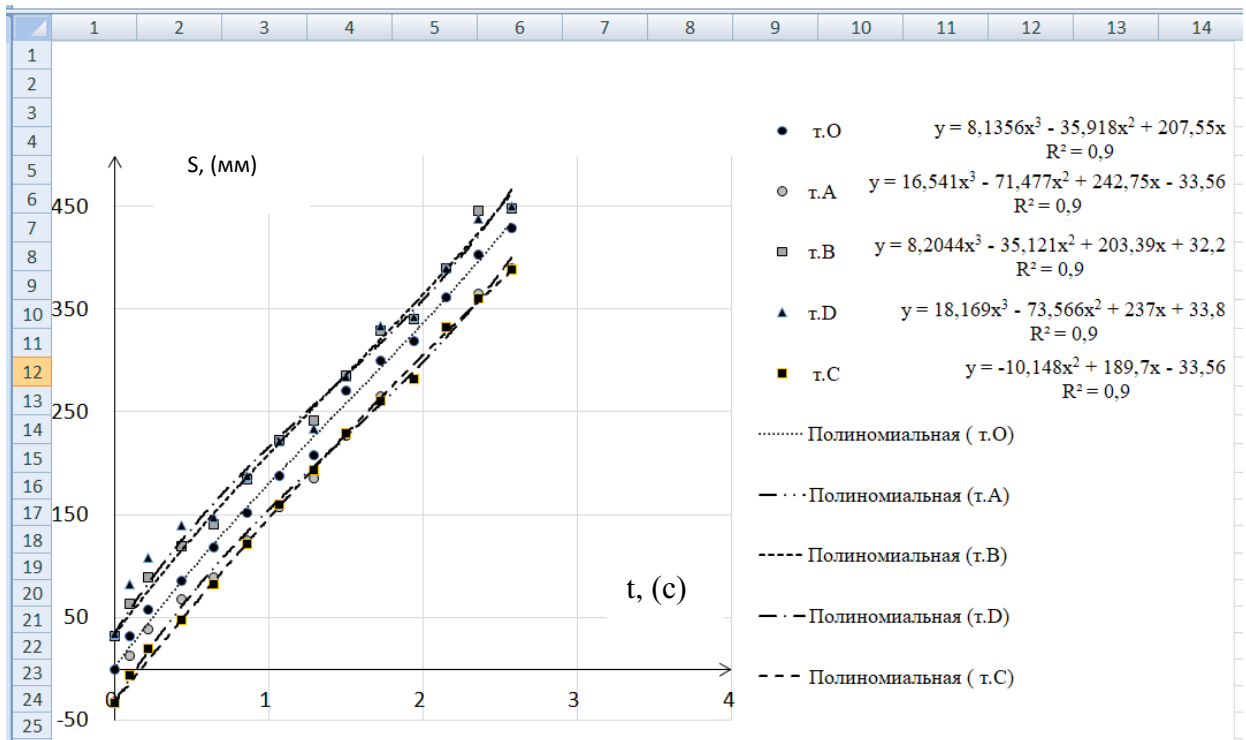


Рис. 33. Розміщення скляних банок при третьому оберті шнеків

**Таблиця 14.** Координати точок відносно вісі OZ

Кут повороту шнека	Тривалість переміщення, t, с	Координата т.О	Координата т.А	Координата т.В	Координата т.С	Координата т.Д
0	0	0	-32,46	32,2	-33,56	33,8
360 <sup>0</sup>	0,1	32,5	12,85	64	-6,15	83
480 <sup>0</sup>	0,215	58,2	38,95	89,4	19,65	108,7
600 <sup>0</sup>	0,43	86,25	68,2	120,1	47,9	140,4
720 <sup>0</sup>	0,645	118,8	89,75	141,5	83	148,25
840 <sup>0</sup>	0,86	152,1	125,35	184,75	121,75	188,35
960 <sup>0</sup>	1,07	188,75	158,35	223,1	159,95	221,5
1080 <sup>0</sup>	1,29	208	185,5	242	193,5	234
1200 <sup>0</sup>	1,5	271,2	227,85	286,25	229,55	284,55
1320 <sup>0</sup>	1,72	300,75	266,1	329,9	261,4	334,6
1440 <sup>0</sup>	1,94	319,5	282,5	341,35	282,1	342,75
1560 <sup>0</sup>	2,15	362	333,1	390,7	333,3	390,5
1680 <sup>0</sup>	2,36	403,4	365,3	446,1	360,8	438,6
1800 <sup>0</sup>	2,575	430	390,3	449,3	388,75	450,85



**Рис. 34.** Графіки зміни залежності переміщення характерних точок на скляній банці від часу у шнековій транспортній системі : т.О – центр ваги банки, т.А, т.В, т.С, т.Д, – точки розміщені на ребрах банки.

Для оцінки достовірності експерименту використовувався коефіцієнт кореляції Пірсона -  $R$ . В умовах проведеного експериментального дослідження  $R^2 \approx 0,9$ . Якщо  $R^2 \geq 0,81$  то інтерпретація отриманої моделі має високу кореляцію.

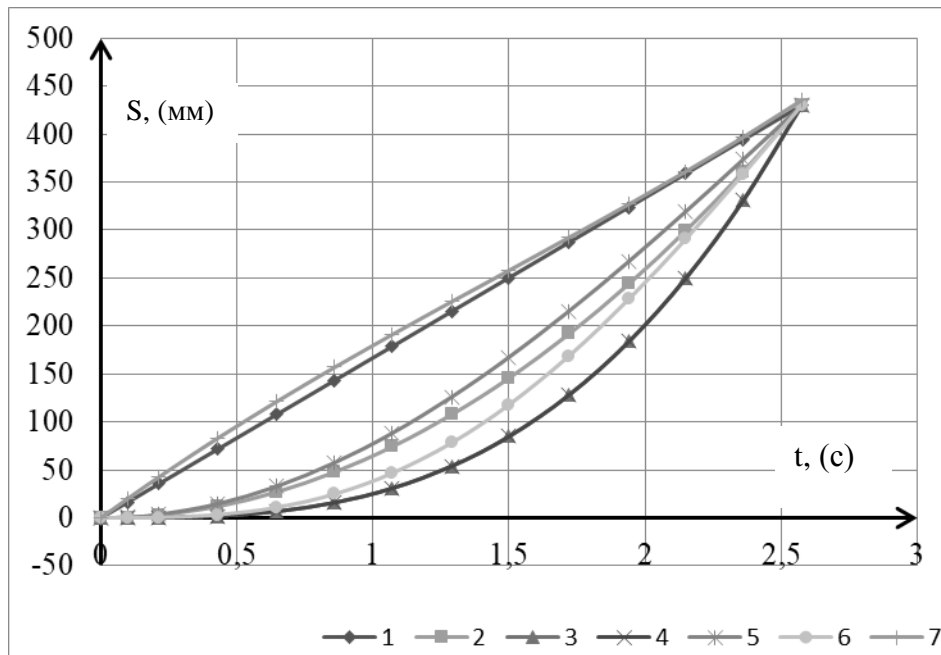
Проведене експериментальне дослідження дало змогу визначити залежність, яка описує переміщення центру ваги скляної банки в реальній міжмашинній транспортній системі зі шнековими конвеєрами:

$$L = 8,1356 * t^3 - 35,918 * t^2 + 207,55 * t \quad (1.16)$$

де  $L$  – величина переміщення центру ваги скляної банки,  $t$  – час переміщення в транспортній шнековій системі.

Проведений порівняльний аналіз кінематичних параметрів реальної роботи міжмашинної транспортної шнекової системи та кінематичних параметрів отриманих під час аналітичного моделювання показав (див рис. 35) що для такого виду транспортних систем у сучасних пакувальних лініях

використовуються шнеки які забезпечують рівномірне переміщення скляної банки.



**Рис 35** Графіки зміни залежності переміщення скляних банок від часу при  $L = 430$  мм,  $t = 2,575$ с. :

1- закон зміни прискорення отриманий у результаті проведення експериментального дослідження; 2 – рівномірне прямолінійне переміщення; 3 – переміщення з постійним прискоренням; 4 – з постійно зростаючим прискоренням; 5 – з постійно спадаючим прискоренням; 6 – з косинусоїдальною зміною прискорення; 7 – з синусоїдальною зміною прискорення

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

В ході проведення експериментального дослідження процесу переміщення скляної банки в міжмашинній транспортній системі було отримано залежність зміни переміщення від часу. При проходженні перших витків шнекових конвеєрів, де відбувається відокремлення та розвертання споживчої упаковки, забезпечують рівномірне переміщення її центру ваги. При подальшому переміщенні можлива зміна закону руху споживчої упаковки.

## ВИСНОВКИ

1. Виконаний аналіз технологічних та структурних схем міжмашинних транспортних систем для переміщення споживчої упаковки прямокутного перерізу показав перспективність розробки обґрунтовано методички їх проектування

2. Отримано залежності для визначення раціональних геометричних параметрів профілю шнека, для забезпечення безперебійної високопродуктивної роботи пакувальної машини-автомату та забезпечує мінімальне пошкодження упаковки.

3. Рекомендованими для використання є шнеки, які забезпечують переміщення пачки з постійним та з косинусоїдальною зміною прискорення.

4. Для проведення статичного аналізу створено тривимірну геометричну модель транспортуючих шнеків з використанням раціональних параметрів отриманих із математичних залежностей проведеного математичного дослідження.

5. Проведене статичне дослідження транспортуючих шнеків виготовлених з HDPE (High density polyethylene) на допустиме напруження, зріз витка, кручення та прогин.

6. Максимальні деформаційні навантаження, шнек отримує під дією сили тяжіння, або у випадку заклинювання, в наслідок чого весь крутний момент двигуна передається на скручування шнека; при транспортуванні споживчої упаковки навантаження що виникають – незначні.

7. Шнеки із поліетилену високого тиску мають достатній запас міцності для виконання технологічного процесу переміщення та на випадок виникнення критичних навантажень. Дана розробка може бути впроваджена до виробництва.

8. При проходженні перших витків шнекових конвеєрів, де відбувається відокремлення та розвертання споживчої упаковки, використовують для неї закон рівномірного переміщення .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРА

1. 79-25 Bending Resistance Tester / TMI Testing Machines, Inc. – Режим доступу: <http://www.testingmachines.com/product/79-25-bending-resistance-tester>.
2. A Pioneer In Timing Screw Technology / Kinsley Inc. | Powered by Kinsley Inc. – Режим доступу: <https://www.kinsleyinc.com/>
3. THE QUICK GUIDE TO TIMING SCREWS MAINTENANCE / CSS International All Rights Reserved. – Режим доступу: <https://cssintl.com/>
4. TIMING SCREWS. The Packaging Line Workhorse – Режим доступу: <https://www.fraingroup.com/wp-content/uploads/Timing-Screws.pdf>
5. Timing Screws/ Ernst Timing Screw Co – Режим доступу: <https://www.ernsttiming.com/timing.html>
6. Благодарский В.А. Машины-автоматы для упаковки пищевых продуктов Справочник. - Киев: Техника, 1985. - 229 с.
7. Данилевский В. А. Картонная и бумажная тара. — М.: Лесная промышленность, 1979. — 216 с.
8. Митрофанов В.П., Бобров В.И. Технологическое оборудование и оснастка упаковочного производства М.: МГУП, 2003. - 204 с.
9. Пакувальне обладнання : підруч. для студ. ВНЗ / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. – К.: ІАЦ «Упаковка», 2010. – 744с.
10. Патент №36132-36134 UA, МПК (2006) B65B 43/00 Пристрій для поштучного виділення і подачі із стопи плоско складених заготовок коробок і їх формування / Гавва О. О., Волчко А. І., Гавва О. М., Волчко А. А, Юхно М. І., заявник Національний університет харчових технологій. – № и 2008 07099; заявл. 21.05.2008; опубл. 10.10.2008 , Бюл. № 19, 2008 р.
11. Упаковка из картона/В.Л. Шредер, С.Ф. Пилипенко. – Киев: АИЦ «Упаковка», 2004. – 560 с.

12. Шредер В.Л. Упаковывание пищевых продуктов в гибкие материалы / В.Л. Шредер, А.Н. Гавва, В.Н.Кривошей // Упаковка . – 2011. – № 4. – с. 29-35.
13. Derenivska, A. V. Research of the profile's geometry of screw conveyors, which are forming part of transport systems for moving carton packages / A. V. Derenivska, O. M. Gavva , V. M. Lyubimov // Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies. - 2014. – № 4. – P. 142-146.
14. Видмиш А. А. Теоретична механіка. Динаміка. Розрахунково-графічні та контрольні завдання: [навч. пос.] / А. А. Видмиш, В. О. Приятельчук, В. О. Федотов – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 143 с.
15. Деренівська А. В. Дослідження операцій переміщення картонної упаковки у формі паралелепіпеда за допомогою шнека у пакувальних машинах / А. В. Деренівська, Л. О. Кривопляс-Володіна, О. М. Гавва // Новітні технології пакування : матеріали доповідей VIII науково-практичної конференції молодих вчених, 2012 р., м. Київ. – К. : НУХТ, 2012. – С. 37-40.
16. Деренівська, А. В. Дослідження геометрії шнекових конвеєрів для переміщення упаковки у формі паралелепіпеда / А.В. Деренівська, В.М. Любімов, О.М. Гавва // Новітні технології пакування : матеріали доповідей X науково-практичної конференції молодих вчених / Національний університет харчових технологій ; Міністерство освіти і науки України ; Клуб пакувальників України ; АТ «Київський міжнародний контрактний ярмарок» — К. : НУХТ, 2014. — С. 32-35.
17. Деренівська, А. В. Переміщення картонних пачок шнековими конвеєрами в пакувальних машинах / А. В. Деренівська, Л. О. Кривопляс- Володіна, О. М. Гавва // Упаковка. – 2012. – № 4. - С. 46-48.
18. Деренівська, А. В. Технологія і техніка друкарства : новітні технології і обладнання поліграфії : тези доповідей міжнародного науково-

- технічного семінару аспірантів, професорсько-викладацького складу, 2012 р., м. Київ. – К. : НУХТ, 2012. – С. 28-30.
- 19.Кодра Ю. В., Стоцько З. А. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: Навч. посібник / За ред. З. А. Стоцько. — Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. — 468 с.
- 20.Масло, М. А. Конструктивні елементи транспортних систем пакувального обладнання / М. А. Масло, О. М. Гавва // Упаковка. – 2006. – № 2. – С. 44–46.
- 21.Павловський М. А. Теоретична механіка: [підручник] / М. А. Павловський. – К.: Техніка, 2002. – 512 с. – ISBN 966-575-184-0.
- 22.Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів./ М.В. Якимчук, О.М. Гавва, А.П.Беспалько та ін. – К: Видавництво «Сталь», 2017. – 515 с.
- 23.Функціонально-модульне проектування пакувальних машин: монографія / О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.В. Токарчук та ін. ; за ред. О. М. Гавви ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : Сталь, 2015. — 547 с.
- 24.Чернілевський Д. В. Технічна механіка. Кн.І. Теоретична механіка: [підруч. для студен. технол. спец. вузів] / Д. В. Чернілевський, Я. Т. Кіницький, В. М. Колосов та ін.; за ред. Д. В. Чернілевського. – К.: НМК ВО, 1992. – 384 с.
- 25.ГОСТ 16337-77 Полиэтилен высокого давления. Технические условия. С изменениями № 1, 2, 3
- 26.Сологуб М.А. Матеріалознавство і технологія матеріалів: Курс лекцій/М.А. Сологуб – К.: НУХТ, 2008 – 123с.
- 27.8. Таран В.М. Технологічне обладнання галузі. Ч1.: Конспект лекцій/ В.М.
28. SolidWorks 2009 на примерах. Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко: БХВПетербург,2009, 544 с.

- 29.Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Понамарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. –1040 с.: ил.
- 30.Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorksSimulation. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с., ил.
- 31.АлямовскийА.А. SolidWorks/CosmosWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. –432 с.
- 32.Гевко Б.М. Технологія виготовлення спіралей шнеків: Львівський університет / Б.М. Гевко. - 1986 – 128с.
- 33.Прерис А.М. SolidWorks 2005/2006. Учебный курс. / А.М. Прерис. – СПб.: Питер, 2006. – 528 с.: ил.
34. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство. / В.П. Прохоренко. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2004. – 448с.: ил.
- 35.Таран, В.І. Теличкун, О.А. Терещенко, С.О. Удодов – К.: НУХТ, 2008 – 155с,
- 36.Тику Ш. Эффективная работа: SolidWorks 2004. / Ш. Тику. – СПб.: Питер, 2005. – 768 с.: ил.
37. Чугунов М.В. САЕ-системы предварительного анализа объектов машиностроения. Часть 1. Линейная статика. / М.В. Чугунов – Рузаевка: Рузаевский печатник, 2003. – 44 с.
- 38.Andersson O. Experiment!/: Planning, implementing and interpreting / O. Andersson. – 2012. – 288 p.
- 39.Dean Angela. Handbook of Design and Analysis of Experiments / Angela Dean, Max Morris, John Stufken, Derek Bingham. - Series: Chapman & Hall/CRC Handbooks of Modern Statistical Methods. – CRC Press, 2015. – 924 p.

40. Hardwick Colin. Practical Design of Experiments: DoE Made Easy! / Colin Hardwick. – 1 edition. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013. – 50 p.
41. Montgomery Douglas C. Design and Analysis of Experiments Douglas C. / Montgomery. – 6 edition. – Wiley, 2004. – 660 p.
42. TIMING SCREWS/ Morrison Timing Screw Co – Режим доступу: <https://morrison-chs.com/timing-screws>
43. Wu C. F. Jeff. Experiments: Planning, Analysis, and Optimization / C. F. Jeff Wu, Michael S. Hamada. – 2nd Edition. - 2009. - 760 p.
44. Кармелюк Г.І. Теорія ймовірностей та математична статистика: посібник з розв'язування задач: навч. посібник. — К.: Центр учбової літератури, 2007 – 576 с.
45. Лежнюк П.Д. Основи теорії планування експерименту: лабораторний практикум / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, Ю.В. Лук'яненко. – В.: ВНТУ, 2006. – 167 с.
46. Фёрстер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа.: руководство для экономистов / Фёрстер Э., Рёнц Б. – М.: Финансы и статистика, 1983.- 304 с.
47. Філіпенко А.С. Основи наукових досліджень: конспект лекцій / А.С. Філіпенко – К.: Академвидав, 2004. – 208 с.
48. Цюцюра В.Д. Метрологія та основи вимірювань: навч. посібн. / В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. - К.: Знання –Прес, 2003.-180с.

# **Додатки**

**Таблица А.1. Звіт** міцнісного розрахунку лівого шнеку, автоматично згенерований у програмі Solid Edge

# Отчет о симуляции

**Компания**

НУХТ

**Автор**

Мусин Булат

**Дата**

среда, 25 ноября 2020 г.

**Используемая программа**

Solid Edge (221.00.00.114 x64)

Femap (2020.1.1)

**Используемый решатель**

NX Nastran (2020.1)

---

## Содержание

1. [Введение](#)
2. [Информация о модели](#)
3. [Атрибуты анализа](#)
4. [Геометрия анализа](#)
5. [Свойства материала](#)
6. [Переопределение свойств](#)
7. [Нагрузки](#)
8. [Ограничения](#)
9. [Информация о сетке](#)
10. [Результаты](#)
11. [Оптимизация](#)
12. [Заключение](#)
13. [Отказ от ответственности](#)

---

## 1. Введение

---

## 2. Информация о модели

Документ E:\Simulation\Шнеки\Левый\_шnek\_упр.par

## 3. Атрибуты анализа

Атрибут анализа	Значение
Имя анализа	Статический анализ 1
Тип анализа	Линейный статический
Тип сетки	Тетраэдральная
Итерационный решатель	Включить
Проверка геометрии NX Nastran	Включить
Командная строка NX Nastran	
Параметры анализа NX Nastran	
Сгенерированные параметры NX Nastran	
Стандартные параметры NX Nastran	
Результаты только для поверхности	Включить

## 4. Геометрия анализа

### 4.1 Тела

Имя тела	Материал	Масса	Объем	Вес
Левый шnek_упр.par	Polypropylene, high impact	0,000 кг	0,000 мм <sup>3</sup>	0,000 мН

## 5. Свойства материала

### 5.1 Polypropylene, high impact

Атрибут	Значение
Плотность	913,000 кг/м <sup>3</sup>
Коэффициент теплового расширения	0,0001 /С
Теплопроводность	0,003 кВт/м-С
Удельная теплоемкость	1884,000 Дж/кг-С
Модуль упругости	896,318 МПа
Коэффициент Пуассона	0,350
Предел текучести	19,305 МПа
Предельные напряжения	0,000 МПа

## 6. Переопределение свойств

## 7. Нагрузки

Имя загрузки	Тип нагрузки	Значение нагрузки	Распределение нагрузки	Направление нагрузки	Параметр направления нагрузки
Крутящий момент 1	Крутящий момент	30 Н-м	На элемент	Положение = ( 0,77, 0,13, 0,00 ), Ось = ( 1,00, 0,00, 0,00 )	
Сила тяжести 1	Сила тяжести	981 см/с <sup>2</sup>		( 0,00, 0,00, -1,00 )	Вдоль вектора
Вращение 1	Вращение	Угловая скорость 2,4e+03 гр/с, Угловое ускорение 400 гр/с <sup>2</sup>		Положение = ( 0,41, 0,13, 0,00 ), Ось = Угловая скорость ( 1,00, 0,00, 0,00 ), Угловое ускорение ( 1,00, 0,00, 0,00 )	
Сила 1	Сила	0,05 мН	Всего	Сжатие	По нормали к грани

## 8. Ограничения

Имя ограничения	Тип ограничения	Степени свободы
Зафиксировать 1	Зафиксировать	Степени свободы: Нет

## 9. Информация о сетке

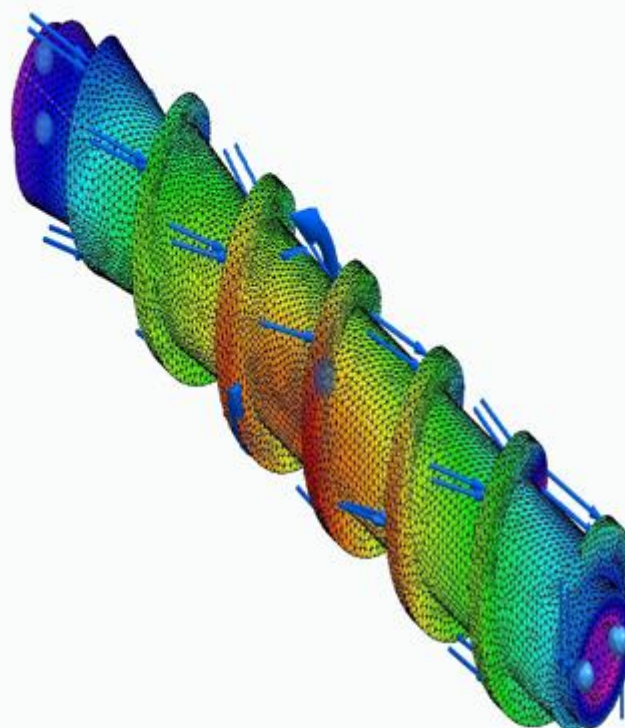
Тип сетки	Тетраэдральная
Общее число тел с сеткой	1
Общее число элементов	242 027
Общее число узлов	358 440
Задать размер сетки (1-10)	10

## 10. Результаты

### 10.1 Результаты перемещений

Компонент результатов: суммарное перемещение				
Диапазон	Значение	X	Y	Z
Минимум	0 мм	775,000 мм	103,126 мм	7,107 мм
Максимум	0,0525 мм	454,403 мм	55,020 мм	1,657 мм

Лейка\_инж\_учр.рас, Сопоставный анализ 1, Polypropylene, High Impact  
Перемещение - По узлам  
Контур: Суммарное перемещение  
Деформация: Суммарное перемещение  
Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 17:10

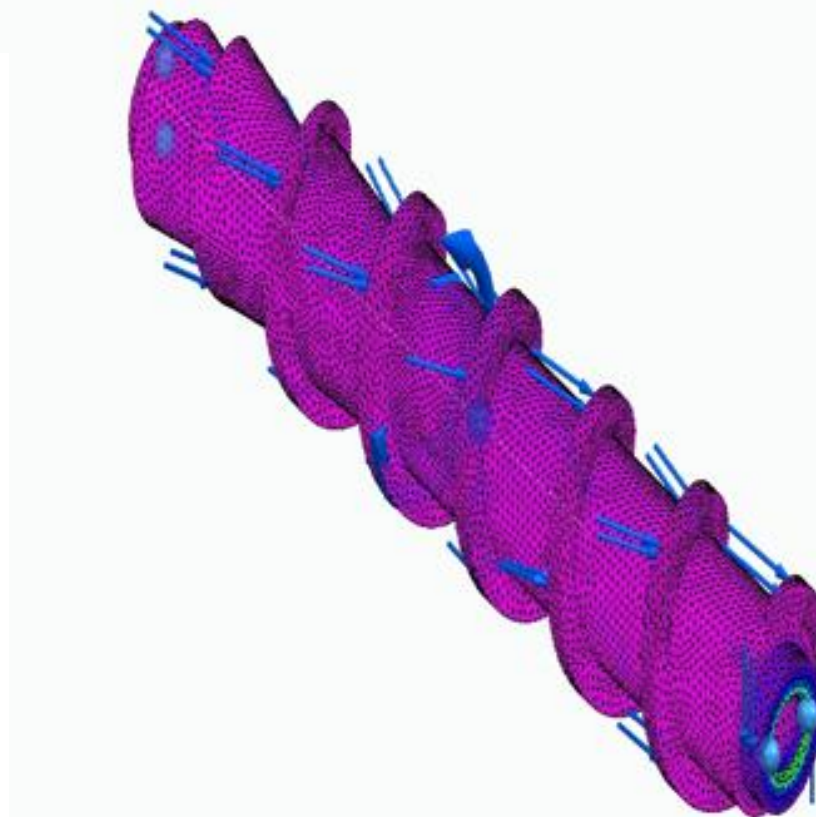
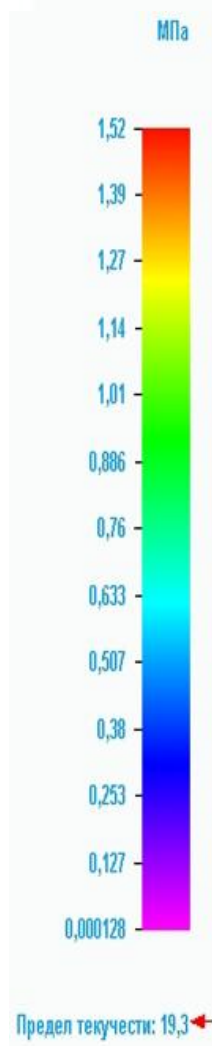


Общее перемещение

### 10.2 Результаты напряжений

Компонент результатов: по Мизесу				
Диапазон	Значение	X	Y	Z
Минимум	0,000128 МПа	760,000 мм	114,306 мм	69,178 мм
Максимум	1,52 МПа	775,000 мм	105,081 мм	11,500 мм

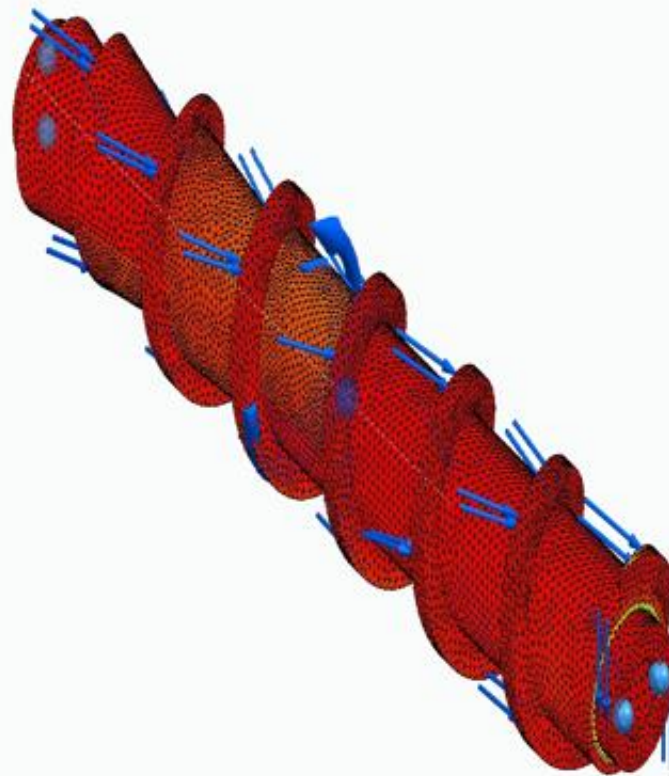
Деталь\_шпала\_упр.рас. Статический анализ 1, Pldynsolfelem\_high\_impact  
Напряжение - По элементу  
Контур: Контур\_шпала по Вектору  
Деформация: Суммарное перемещение  
Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 12:10



### 10.3 Результаты запаса прочности

Компонент результатов: Запас прочности				
Диапазон	Значение	X	Y	Z
Минимум	12,7	775,000 мм	105,081 мм	11,500 мм
Максимум	1,6e+05	760,000 мм	164,921 мм	2,512 мм

Пеньк\_инт\_упр.рис, Статический анализ 1, Polypropylene, high impact  
Напряжения - По элементам  
Цвет: Запас прочности  
Деформации: Суммарное перемещение  
Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 11:10



Коэффициент запаса прочности

## 10.4 Результаты проверки равновесия

Компонент результатов: Общая симуляция					
$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
-0,261 мН	-0,483 мН	-0,744 мН	0 Н·м	0 Н·м	0 Н·м

## 11. Оптимизация

---

## 12. Заключение

---

## 13. Отказ от ответственности

### Важная информация

Этот отчет не должен использоваться как единственное основание для принятия решения о возможности эксплуатации изделия в заданных условиях. Компания Siemens постоянно работает, чтобы помочь клиентам принять правильные решения. Однако данные в отчете не заменяют выводы квалифицированного инженера и ответственность, в конечном счете, всегда лежит на пользователях. Правильное проектное решение должно быть основано на результатах этого расчета, практических экспериментах и тестовых испытаниях с привлечением разработчиков и других прикладных специалистов. Отчет содержит достоверные данные, но они не должны рассматриваться как какая-либо гарантия пригодности изделия.

Таблица А.2. Звіт міцнісного розрахунку правого шнеку, автоматично згенерований у програмі Solid Edge

# Отчет о симуляции

**Компания**  
НУХТ

**Автор**  
Мусин Булат

**Дата**  
среда, 25 ноября 2020 г.

**Использованная программа**  
Solid Edge (221.00.00.114 x64)  
Femap (2020.1.1)

**Использованный решатель**  
NX Nastran (2020.1)

---

## Содержание

- [1. Введение](#)
- [2. Информация о модели](#)
- [3. Атрибуты анализа](#)
- [4. Геометрия анализа](#)
- [5. Свойства материала](#)
- [6. Переопределение свойств](#)
- [7. Нагрузки](#)
- [8. Ограничения](#)
- [9. Информация о сетке](#)
- [10. Результаты](#)
- [11. Оптимизация](#)
- [12. Заключение](#)
- [13. Отказ от ответственности](#)

---

## 1. Введение

---

## 2. Информация о модели

Документ E:\Simulation\Шнеки\Правый\_шнек\_упр.par

---

## 3. Атрибуты анализа

Атрибут анализа	Значение
Имя анализа	Статический анализ 1
Тип анализа	Линейный статический
Тип сетки	Тетраэдральная
Итерационный решатель	Включить
Проверка геометрии NX Nastran	Включить
Командная строка NX Nastran	
Параметры анализа NX Nastran	
Сгенерированные параметры NX Nastran	
Стандартные параметры NX Nastran	
Результаты только для поверхности	Включить

---

## 4. Геометрия анализа

### 4.1 Тела

Имя тела	Материал	Масса	Объем	Вес
Правый_шнек_упр.par	Polypropylene, high impact	0,000 кг	0,000 мм <sup>3</sup>	0,000 мН

---

## 5. Свойства материала

### 5.1 Polypropylene, high impact

Атрибут	Значение
Плотность	913,000 кг/м <sup>3</sup>
Коэффициент теплового расширения	0,0001 /С
Теплопроводность	0,003 кВт/м-С
Удельная теплоемкость	1884,000 Дж/кг-С
Модуль упругости	896,318 МПа
Коэффициент Пуассона	0,350
Предел текучести	19,305 МПа
Предельные напряжения	0,000 МПа

## 6. Переопределение свойств

## 7. Нагрузки

Имя загрузки	Тип нагрузки	Значение нагрузки	Распределение нагрузки	Направление нагрузки	Параметр направления нагрузки
Сила 1	Сила	0,05 мН	Всего	Сжатие	По нормали к грани
Сила тяжести 1	Сила тяжести	981 см/с <sup>2</sup>		( 0,00, 0,00, -1,00 )	Вдоль вектора
Крутящий момент 1	Крутящий момент	30 Н-м	На элемент	Положение = ( 0,76, -0,13, 0,00 ), Ось = ( 1,00, 0,00, 0,00 )	
Вращение 1	Вращение	Угловая скорость 2,4e+03 гр/с, Угловое ускорение 400 гр/с <sup>2</sup>		Положение = ( 0,41, -0,13, 0,00 ), Ось = Угловая скорость ( 1,00, 0,00, 0,00 ), Угловое ускорение ( 1,00, 0,00, 0,00 )	

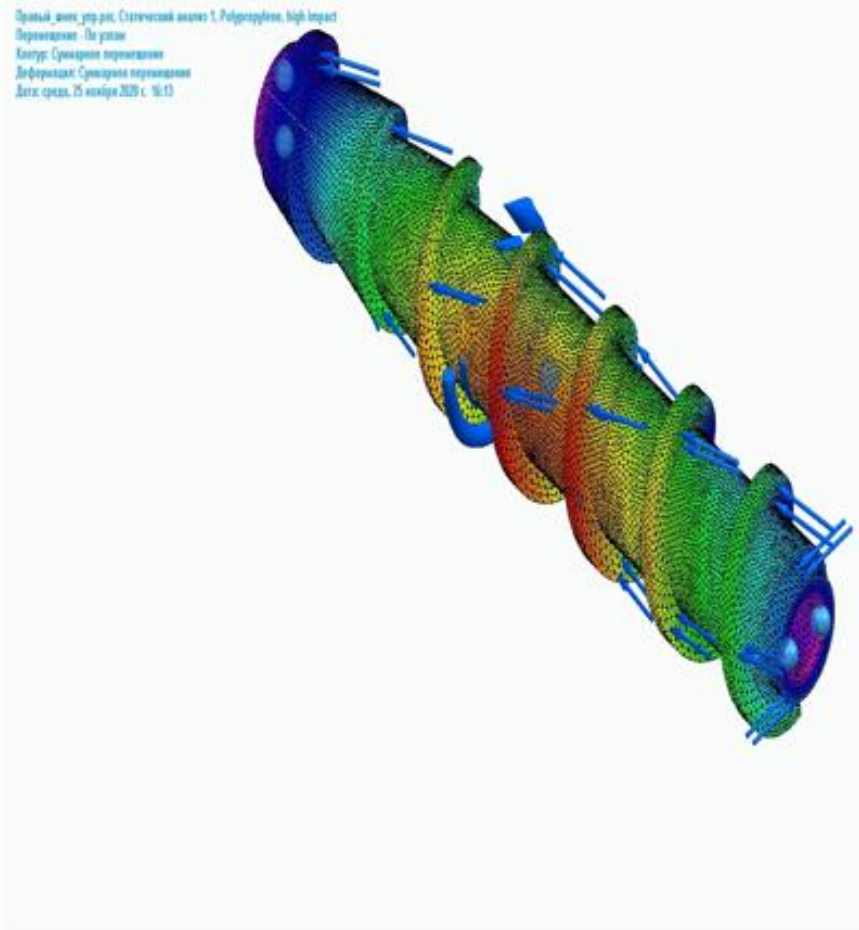
## 8. Ограничения

Имя ограничения	Тип ограничения	Степени свободы
Зафиксировать 1	Зафиксировать	Степени свободы: Нет

## 9. Информация о сетке

Тип сетки	Тетраэдральная
Общее число тел с сеткой	1
Общее число элементов	440 917
Общее число узлов	645 687
Задать размер сетки (1-10)	10

Прямой шток, ударник, Силиконовый шланг 1, Polypropylene, high impact  
Перемещение: По узлам  
Клетка: Структура тетраэдров  
Деформация: Структура перемещения  
Дата расчета: 25 ноября 2020 г. 10:13

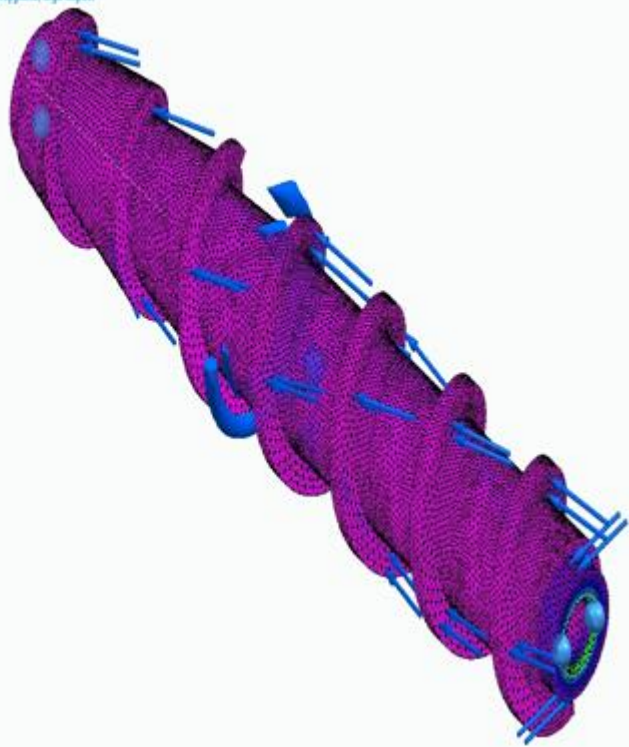


Общее перемещение

## 10.2 Результаты напряжений

Компонент результатов: по Мизесу				
Диапазон	Значение	X	Y	Z
Минимум	0,000127 МПа	756,413 мм	-126,893 мм	-69,974 мм
Максимум	1,59 МПа	775,000 мм	-147,921 мм	1,899 мм

Прямой удар, ударик, Силоческий анализ 1, Polypropylene, high impact  
 Напряжение: По элементу  
 Контур: Напряжение по Мизесу  
 Деформация: Суммарное перемещение  
 Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 16:13

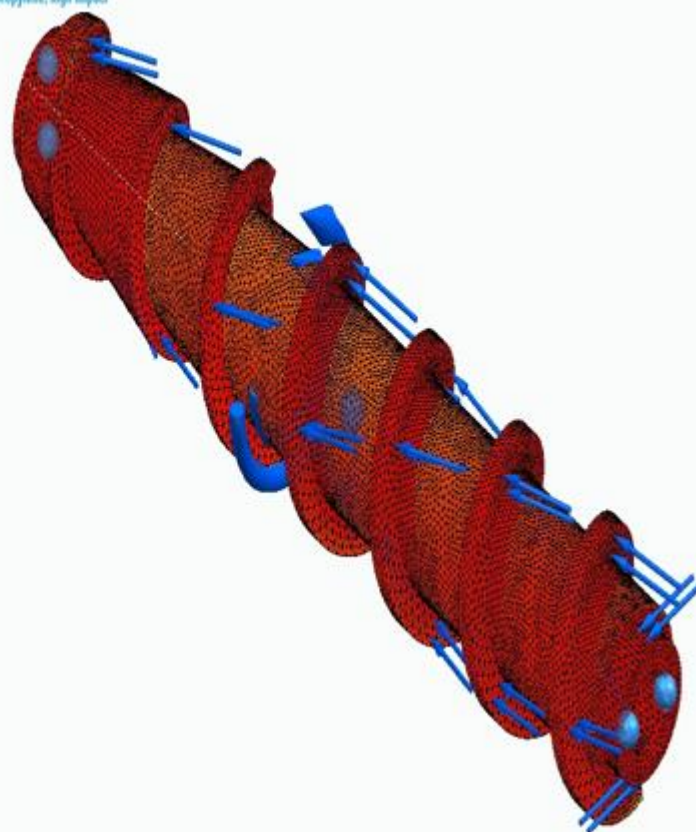


По Мизесу

### 10.3 Результаты запаса прочности

Компонент результатов: Запас прочности				
Диапазон	Значение	X	Y	Z
Минимум	12,2	775,000 мм	-147,921 мм	1,899 мм
Максимум	1,52e+05	756,413 мм	-126,893 мм	-69,974 мм

Прямой\_внес\_удар. Статический анализ 1, Polypropylene, high impact  
Напряжение - По элементам  
Контур: Запас прочности  
Деформация: Суммарное перемещение  
Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 16:13



Коэффициент запаса прочности

## 10.4 Результаты проверки равновесия

<u>Компонент результатов: Общая симуляция</u>					
<u>Fx</u>	<u>Fy</u>	<u>Fz</u>	<u>Mx</u>	<u>My</u>	<u>Mz</u>
0,00721 мН	0,423 мН	0,0768 мН	0 Н-м	0 Н-м	0 Н-м

## 11. Оптимизация

---

## 12. Заключение

---

## 13. Отказ от ответственности

### Важная информация

Этот отчет не должен использоваться как единственное основание для принятия решения о возможности эксплуатации изделия в заданных условиях. Компания Siemens постоянно работает, чтобы помочь клиентам принять правильные решения. Однако данные в отчете не заменяют выводы квалифицированного инженера и ответственность, в конечном счете, всегда лежит на пользователях. Правильное проектное решение должно быть основано на результатах этого расчета, практических экспериментах и тестовых испытаниях с привлечением разработчиков и других прикладных специалистов. Отчет содержит достоверные данные, но они не должны рассматриваться как какая-либо гарантия пригодности изделия.

Таблица А.3. Звіт міцнісного розрахунку відвідного шнеку, автоматично згенерований у програмі Solid Edge

# Отчет о симуляции

**Компания**  
НУХТ

**Автор**  
Мусин Булат

**Дата**  
среда, 25 ноября 2020 г.

**Используемая программа**  
Solid Edge (221.00.00.114 x64)  
Femap (2020.1.1)

**Используемый решатель**  
NX Nastran (2020.1)

---

## Содержание

1. [Введение](#)
2. [Информация о модели](#)
3. [Атрибуты анализа](#)
4. [Геометрия анализа](#)
5. [Свойства материала](#)
6. [Переопределение свойств](#)
7. [Нагрузки](#)
8. [Ограничения](#)
9. [Информация о сетке](#)
10. [Результаты](#)
11. [Оптимизация](#)
12. [Заключение](#)
13. [Отказ от ответственности](#)

---

## 1. Введение

---

## 2. Информация о модели

Документ E:\Simulation\Шнеки\Шнек\_Центральный\_упр.par

## 3. Атрибуты анализа

Атрибут анализа	Значение
Имя анализа	Статический анализ 1
Тип анализа	Линейный статический
Тип сетки	Тетраэдральная
Итерационный решатель	Включить
Проверка геометрии NX Nastran	Включить
Командная строка NX Nastran	
Параметры анализа NX Nastran	
Сгенерированные параметры NX Nastran	
Стандартные параметры NX Nastran	
Результаты только для поверхности	Включить

## 4. Геометрия анализа

### 4.1 Тела

Имя тела	Материал	Масса	Объем	Вес
Шнек_Центральный_упр.par	Polyethylene (extra strong)	9,320 кг	10207863,710 мм <sup>3</sup>	91333,840 мН

## 5. Свойства материала

### 5.1 Polyethylene (extra strong)

Атрибут	Значение
Плотность	913,000 кг/м <sup>3</sup>
Коэффициент теплового расширения	0,0001 /С
Теплопроводность	0,003 кВт/м-С
Удельная теплоемкость	1884,000 Дж/кг-С
Модуль упругости	896,318 МПа
Коэффициент Пуассона	0,350
Предел текучести	19,305 МПа
Пределные напряжения	0,000 МПа
Удлинение %	0,000

## 6. Переопределение свойств

## 7. Нагрузки

Имя загрузки	Тип нагрузки	Значение нагрузки	Распределение нагрузки	Направление нагрузки	Параметр направления нагрузки
Сила 1	Сила	0,05 мН	На элемент	Сжатие	По нормали к грани
Крутящий момент 1	Крутящий момент	30 Н·м	На элемент	Положение = ( 0,04, -0,13, 0,00 ), Ось = ( -1,00, 0,00, 0,00 )	
Вращение 1	Вращение	Угловая скорость 2,4e+03 гр/с, Угловое ускорение 400 гр/с <sup>2</sup>		Положение = ( 0,75, -0,13, 0,00 ), Ось = Угловая скорость ( -1,00, 0,00, 0,00 ), Угловое ускорение ( -1,00, 0,00, 0,00 )	
Сила тяжести 1	Сила тяжести	981 см/с <sup>2</sup>		( 0,00, 0,00, -1,00 )	Вдоль вектора

## 8. Ограничения

Имя ограничения	Тип ограничения	Степени свободы
Зафиксировать 1	Зафиксировать	Степени свободы: Нет

## 9. Информация о сетке

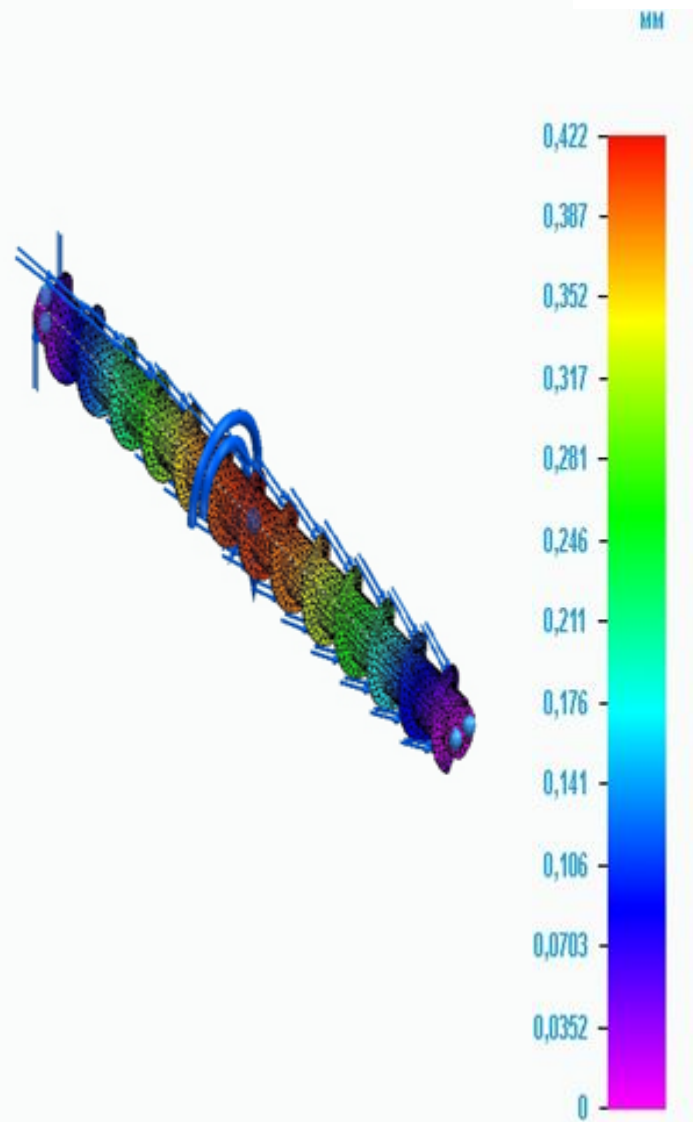
Тип сетки	Тетраэдральная
Общее число тел с сеткой	1
Общее число элементов	42 312
Общее число узлов	69 204
Задать размер сетки (1-10)	9

## 10. Результаты

### 10.1 Результаты перемещений

Компонент результатов: суммарное перемещение					
Диапазон	Значение	X	Y	Z	
Минимум	0 мм	40,000 мм	-145,722 мм	-9,979 мм	
Максимум	0,422 мм	718,973 мм	-55,000 мм	-0,000 мм	

Шнек\_Центральный\_устр.рас. Статический анализ 1, Polyethylene (extra strong)  
Перемещение - По узлам  
Контур: Суммарное перемещение  
Деформация: Суммарное перемещение  
Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 17:24

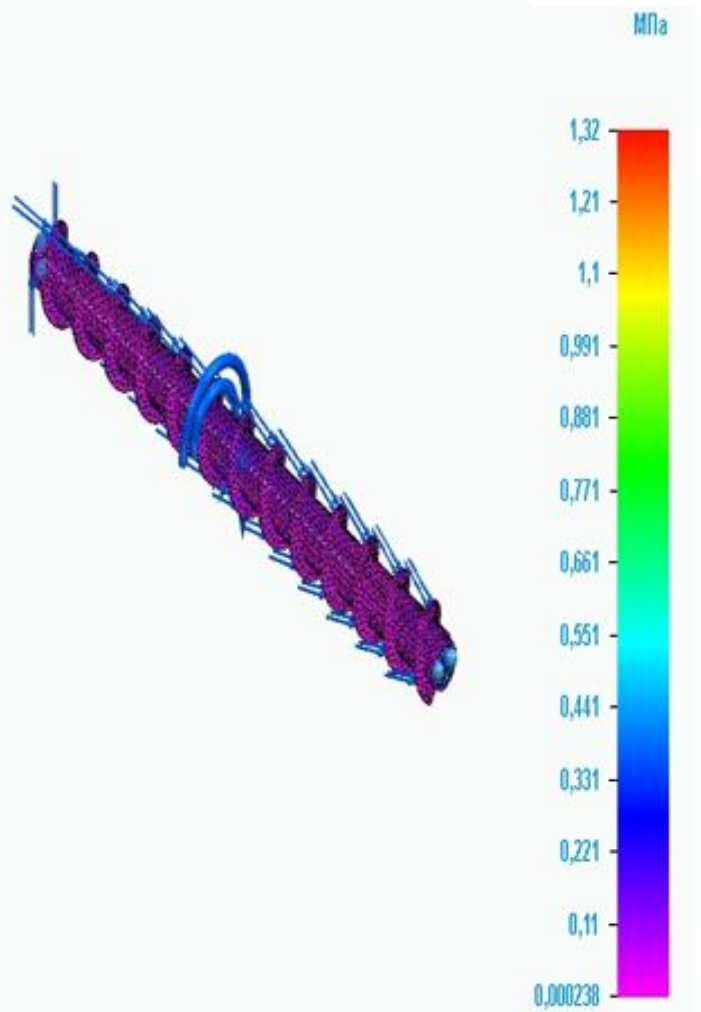


Общее перемещение

## 10.2 Результаты напряжений

<u>Компонент результатов: по Мизесу</u>				
<u>Диапазон</u>	<u>Значение</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>
<u>Минимум</u>	0,000238 МПа	201,039 мм	-170,853 мм	52,892 мм
<u>Максимум</u>	1,32 МПа	35,000 мм	-130,118 мм	22,423 мм

Шевк, Центральний упр.рвс, Статический анализ 1, Polyethylene (extra strong)  
 Напряжения - По элементам  
 Коитур: Напряжения по Мизесу  
 Деформация: Суммарное перемещение  
 Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 17:24



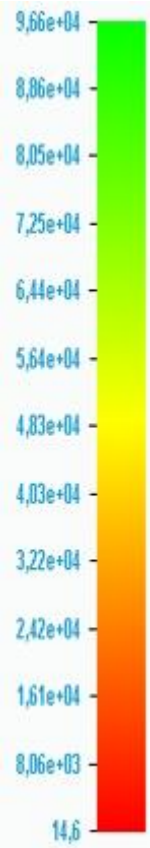
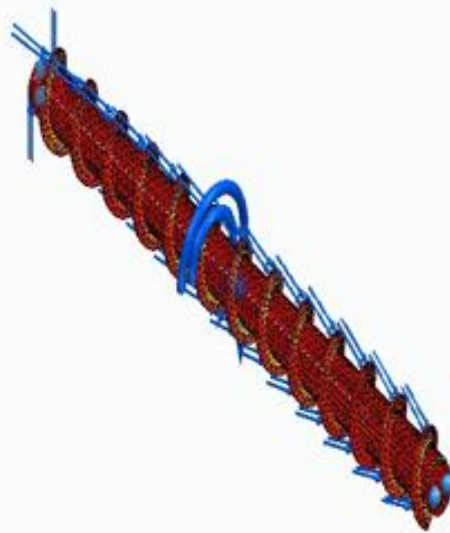
Предел текучести: 19,3 ←

По Мизесу

## 10.3 Результаты запаса прочности

Компонент результатов: Запас прочности				
Диапазон	Значение	X	Y	Z
Минимум	14,6	35,000 мм	-130,118 мм	22,423 мм
Максимум	9,66e+04	1445,268 мм	-135,353 мм	38,637 мм

Шнек\_Центральный\_упр.рас. Статический анализ 1, Polyethylene (extra streng)  
Напряжение - По элементам  
Контур: Запас прочности  
Деформация: Скриновое перемещение  
Дата: среда, 25 ноября 2020 г. 17:24



Коэффициент запаса прочности

## 10.4 Результаты проверки равновесия

**Компонент результатов: Общая симуляция**

<u>Fx</u>	<u>Fy</u>	<u>Fz</u>	<u>Mx</u>	<u>My</u>	<u>Mz</u>
-10,1 мН	11,7 мН	-6,33 мН	0 Н-м	0 Н-м	0 Н-м

## 11. Оптимизация

---

## 12. Заключение

---

## 13. Отказ от ответственности

### Важная информация

Этот отчет не должен использоваться как единственное основание для принятия решения о возможности эксплуатации изделия в заданных условиях. Компания Siemens постоянно работает, чтобы помочь клиентам принять правильные решения. Однако данные в отчете не заменяют выводы квалифицированного инженера и ответственность, в конечном счете, всегда лежит на пользователях. Правильное проектное решение должно быть основано на результатах этого расчета, практических экспериментах и тестовых испытаниях с привлечением разработчиков и других прикладных специалистов. Отчет содержит достоверные данные, но они не должны рассматриваться как какая-либо гарантия пригодности изделия.