

## ЕНЕРГЕТИКА

УДК 631.358.42

<sup>1</sup>Р.Гевко, д. т. н; проф., <sup>2</sup>О.А.Токарчук, інженер  
<sup>2</sup>А.П.Еленіч, інженер

### РОЗРОБКА НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТРУБЧАТОГО СКРЕБКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА-ЗМІШУВАЧА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЇХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

<sup>1</sup> Тернопільський національний економічний університет  
<sup>2</sup> Вінницький національний аграрний університет

*У статті представлено вдосконалені конструкції робочих органів скребкового транспортера-змішувача, а також наведено результати експериментальних досліджень з визначення їх силових характеристик при транспортуванні та змішуванні компонентів кормових сумішей, що дозволяє вибрати раціональні конструктивні та кінематичні параметри транспортера-змішувача*

**Ключові слова:** транспортер-змішувач, скребок, тягове зусилля, сипкий матеріал

**Вступ.** Скребкові трубчаті транспортери знайшли широке застосування при роздачі кормів, переміщення та одночасного змішування сипких матеріалів у стаціонарних умовах. Їх характерною особливістю є розташування в замкнутому направляючому кожусі, тягового робочого органу, як правило, виконаного у вигляді ланцюга або тросу, на якому з певним кроком жорстко закріплені скребки, одна з бокових поверхонь котрих виконана конічною.

Привід робочого органу такого транспортера-змішувача здійснюється за рахунок ведучих дисків із зачепами, які взаємодіють з конічними поверхнями скребок, що забезпечує переміщення сипкого матеріалу в направляючому кожусі. Вздовж технологічної траси можуть бути періодично встановлені дозуючі вивантажувальні лійки, які спрямовують транспортований матеріал в зону вивантаження.

**Аналіз результатів останніх досліджень.** При аналізі відомих досліджень [1, 2, 3] встановлено, що основними недоліками існуючих конструкцій робочих органів трубчатих транспортерів є їх висока матеріаломісткість, що призводить до підвищених сил тертя при транспортуванні матеріалів, а також низька ремонтноздатність (при поломці однієї шайби або критичного зношення її поверхні необхідно демонтувати весь робочий орган). Також відомі конструкції скребок не достатньо ефективно забезпечують одночасне транспортування та змішування сипких сільськогосподарських матеріалів.

**Метою роботи** є розробка нових конструкцій робочих органів транспортера-змішувача, виконаного на основі секційних елементів, які забезпечують одночасне переміщення та змішування компонентів кормових сумішей, а також обґрунтування раціональних параметрів на основі проведених експериментальних досліджень.

**Результати досліджень.** Для вирішення поставленої задачі розроблені конструктивні схеми робочих органів трубчатого транспортера-змішувача [4, 5], які зображена на рис.1 і 2.

Так на рис.1 зображено робочий орган скребкового транспортера-змішувача [4], що містить направляючий кожух 1 трубчатої форми, в якому розташовані шарнірно з'єднані скребкові секції, робоча поверхня котрих виконана у вигляді шайб. Кожна секція виконана з прутка, що містить кільце 2, гаки 3 і 7. Кільцева частина секцій охоплена диском 4, Г-подібна циліндрична форма якої переходить в конусну з центральним внутрішнім отвором. Для зменшення сил тертя при переміщенні сипкого матеріалу 6 диск доцільно виготовляти з пластмас, наприклад поліуританів армованих скляним волокном, які ефективно працюють в абразивних середовищах.

Охоплення пластмасового диска кільцевої частини секції здійснюється шляхом радіальної деформації вільного кінця кільця з подальшим його розпрямленням, що забезпечує натяг в місці їх з'єднання. Робочий орган виконується шляхом зачеплення вільного гаку 7 однієї секції з гаком 3 сусідньої секції, утворюючи тим самим ланцюгове з'єднання шарнірних секцій.

Скребковий транспортер-змішувач приводиться в рух привідним зубчатим колесом (на схемі не зображено), яке здійснює контакт по конічній поверхні диска.

При переміщенні робочого органу в направляючому кожусі компоненти сипкого матеріалу захоплюються дисками і частково пересипаючись через центральні отвори дисків змішуються у суцільну суміш, яка транспортується в зону вивантаження.

Для забезпечення більш активного процесу змішування компонентів суміші розроблено робочий орган скребкового пелюсткового транспортера-змішувача [5], який зображено на рис.2. Він складається з корпусу 1 трубчатої форми, якому розміщений осьовий прутковий секційний елемент,

що містить кільце 2, гаки 3 і 4. Кільце секції, як і в попередньо розглянутому випадку, охоплене диском 5, робоча поверхня якого виконана у вигляді пелюстків 6, менша сторона яких спрямована в центр диска, а кожен пелюсток виконано у вигляді гвинтового крила. Утворений з прутка гак 4 через прямолінійну ділянку плавно переходить у гак 3 і кільце 2 в один виток перпендикулярно до осі корпусу. Вільний гак 4 однієї секції входить в зачеплення з гаком 3 наступної секції, утворюючи ланцюгове з'єднання секцій робочого органу.

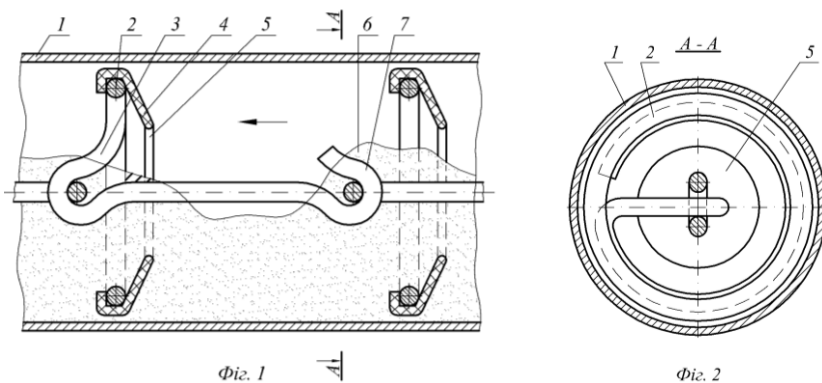


Рис.1. Робочий орган шайбового скребкового транспортера-змішувача

Робочий орган транспортера-змішувача приводиться в рух привідним зубчатим колесом (на схемі не зображено), що здійснює контакт суцільній конічній периферійній поверхні диску.

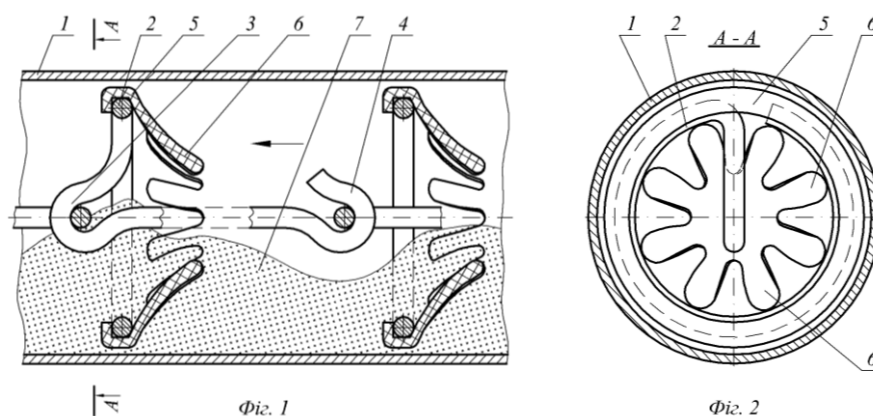


Рис.2. Робочий орган пелюсткового скребкового транспортера-змішувача

При переміщенні робочого органу в направляючому кожусі сипкий матеріал (компоненти сумішей кормів) захоплюються дисками в зоні їх завантаження і транспортуються в напрямку вивантаження. При цьому компоненти суміші кормів проходять між пелюстками і не тільки транспортуються ними, а й рухаються криволінійно за рахунок виконання пелюстків у вигляді гвинтового крила, тобто пересипаються і одночасно переміщуються.

Дана конструкція робочого органу забезпечує значно ефективніший процес одночасного змішування і транспортування кормових сумішей в порівнянні зі скребками, які виконано з центральними отворами для пересипання сипкого матеріалу.

Для проведення експериментальних досліджень розроблених скребкових робочих органів транспортера-змішувача [4; 5] розроблено та виготовлено експериментальну установку для визначення сили опору при переміщенні робочих органів на прямолінійній, криволінійній та вертикальній ділянках технологічних трас, а також встановлення ступеню змішування компонентів сумішей, яка зображена на рис.3.

Оскільки шлях транспортування сипких матеріалів відповідає відстані від завантажувальної 7 до вивантажувальної 12 горловин, то довжина тросу 2 від верхнього блоку 3 до мірних вантажів 1 з однієї сторони, а також відстань від датчика зусилля 18 до електроприводу 19 з іншої сторони тросу 17 повинні відповідати сумарній довжині технологічної траси всіх ділянок (горизонтальної, вигнутої криволінійної, вертикальної, випуклої криволінійної та горизонтальної).

Для дослідження процесу змішування двокомпонентної сипкої суміші в зоні завантаження матеріалу встановлені завантажувальна горловина 7 та дозатор 8, а тяговий робочий орган з бункерними скребками 6 розташований в направляючій трубі різної конфігурації, яка містить

горизонтальну 5, вигнуту криволінійну 9, вертикальну 10, випуклу криволінійну 11 та горизонтальну 14 ділянки. В зоні вивантаження матеріалу встановлена вивантажувальна горловина 12 та місткість для вивантаженого матеріалу 13.

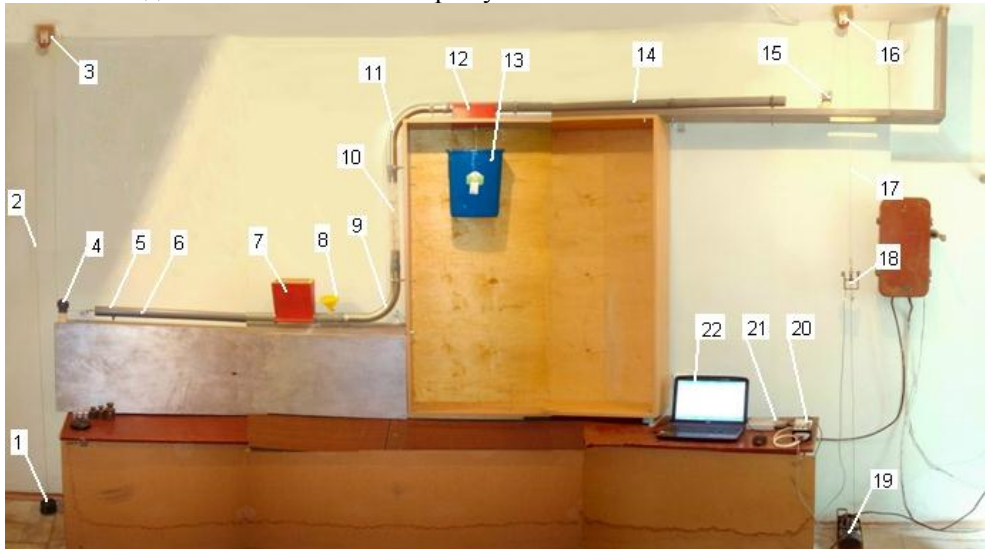


Рис.3. Лабораторна експериментальна установка трубчастого конвеєра з бункерними скребками: 1 – вантаж; 2,17 – трос; 3,4,15,16 – направляючі блоки; 5 – горизонтальна ділянка траси; 6 – тяговий орган зі скребками; 7 – завантажувальна горловина; 8 – дозатор; 9 – вигнута криволінійна ділянка; 10 – вертикальна ділянка; 11 – випукла криволінійна ділянка; 12 – вивантажувальна горловина; 13 – місткість для вантажу; 14 – горизонтальна ділянка; 18 – корпус з датчиком зусилля (індуктивний датчик JA12SSVD10/N2P); 19 – електро-привод установки; 20 – комутатор та блок живлення системи вимірювання; 21 – аналогово-цифровий адаптер ADA-1406; 22 – персональний комп'ютер.

Процес проведення експериментальних досліджень полягає в наступному. Довжину тросу від датчика зусиль 18 до електроприводу 19 розбивають на ділянки, які відповідають відповідно горизонтальній ділянці в зоні завантаження матеріалу, вигнутій криволінійній, вертикальній, випуклій криволінійній та горизонтальній до вивантажувальної горловини.

Далі відбувається процес забору матеріалу та його транспортування. Сила опору переміщенню робочого органу фіксується датчиком зусилля 18, а далі через комутатор та блок живлення системи вимірювання 20 через аналогово-цифровий адаптер 21 сигнал відображається у вікні дисплея комп'ютера 22.

При проведенні експериментальних досліджень застосовувались скребкові шайби із суцільною торцевою поверхнею скребків (рис.4а), а також з внутрішніми отворами різних діаметрів для пересипання та одночасного змішування компонентів сипкого матеріалу (рис.4б).

При проведенні експериментальних досліджень на тяговому робочому органі застосовувалось п'ять підряд розташованих скребкових шайб.

Дослідження проводились в п'ятикратній повторюваності при транспортуванні комбікорму, а отримані результати записувались в таблиці.



а



б



Рис 4. Скребкові шайби:  
а - із суцільною торцевою поверхнею; б - з внутрішніми отворами

За результатами проведених експериментальних досліджень побудовані графічні залежності (рис.5 і 6) зміни тягового зусилля  $F_T$  при переміщенні блоку шайбових скребоків в часі  $t$  на різних ділянках технологічної траси та при їх різних поступальних швидкостях.

При проведенні експериментальних досліджень незмінними були наступні параметри: зовнішній діаметр направляючої труби -  $D_{т.з.} = 50$  мм; внутрішній діаметр направляючої труби -  $D_{т.в.} = 46$  мм; зовнішній діаметр шайбових скребоків -  $D_{ш} = 43$  мм; діаметр отворів у шайбових скребках -  $d_0 = 18$  мм; відстань між шайбовими скребками -  $L = 100$  мм; зусилля, яке створюється вантажами -  $G_v = 24,5$  Н; коефіцієнт заповнення направляючої труби матеріалом -  $\psi = 0,6$ ; сипкий вантаж – комбікорм.

Аналізуючи побудовані графічні залежності можна констатувати, що на першій горизонтальній ділянці тягове зусилля  $F_T$  є мінімальним і зростає по лінійній залежності по мірі забору сипкого матеріалу блоком скребоків шайб. На криволінійній вигнутій ділянці зростання тягового зусилля є більш інтенсивним, особливо при наближенні до вертикальної ділянки, де значення зусилля є максимальним. В зоні випуклої криволінійної ділянки величина  $F_T$  починає спадати до вивантаження матеріалу. Суцільні скребки, які переміщуються без матеріалу є більш масивними, однак значення тягового зусилля є меншим ніж при транспортуванні сипкого матеріалу, особливо на вертикальній ділянці. Застосування блоку шайбових скребоків дозволяє диференціювати процес транспортування сипких матеріалів і встановити відповідність тягового зусилля на різних ділянках технологічної траси.

Враховуючи, що зусилля, яке створюється вантажами становить 24,5 Н то для поступальної швидкості робочого органу  $V = 0,15$  м/с на горизонтальній ділянці максимальне тягове зусилля для п'яти скребоків становить: для суцільних скребоків -  $F_{TCC} = 7,5$  Н; для скребоків з отвором -  $F_{TCO} = 7,2$  Н; для скребоків без вантажу (холостий хід) -  $F_{TCX} = 7$  Н. Відповідно зусилля на переміщення одного скребка:  $F_{TCC} = 1,5$  Н;  $F_{TCO} = 1,44$  Н;  $F_{TCX} = 1,4$  Н.

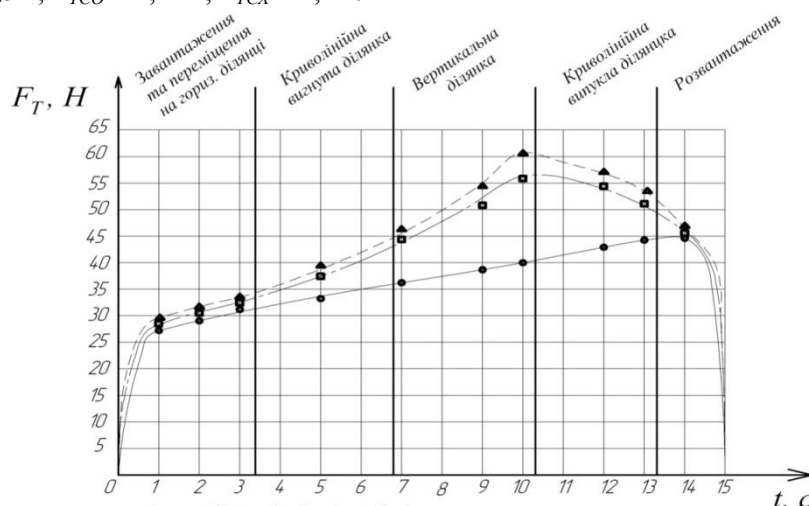


Рис.5. Графічні залежності зміни тягового зусилля  $F_T$  при переміщенні блоку шайбових скребоків в часі  $t$  на різних ділянках технологічної траси при поступальній швидкості робочого органу  $V = 0,15$  м/с:

- ▲ - суцільні шайбові скребки; ■ - шайбові скребки з внутрішнім отвором
- - переміщення скребоків без вантажу

Максимальне тягове зусилля при переміщенні одного скребка на криволінійній вигнутій ділянці:  $F_{TCC} = 4,3$  Н;  $F_{TCO} = 3,9$  Н;  $F_{TCX} = 2,7$  Н.

Максимальне тягове зусилля при переміщенні одного скребка на вертикальній ділянці:  $F_{TCC} = 7,1$  Н;  $F_{TCO} = 6,2$  Н;  $F_{TCX} = 3,1$  Н.

Максимальне тягове зусилля при переміщенні скребка на криволінійній випуклій ділянці відповідає переходу вертикальної ділянки у криволінійну, а далі на горизонтальній ділянці величина тягового зусилля починає спадати.

Для поступальної швидкості робочого органу  $V = 0,3$  м/с відповідні тягові зусилля становлять: горизонтальна ділянка:  $F_{TCC} = 1,5$  Н;  $F_{TCO} = 1,3$  Н;  $F_{TCX} = 1,1$  Н; криволінійна вигнута ділянка:  $F_{TCC} = 4,7$  Н;  $F_{TCO} = 4,1$  Н;  $F_{TCX} = 2,4$  Н; вертикальна ділянка:  $F_{TCC} = 7,1$  Н;  $F_{TCO} = 6,5$  Н;  $F_{TCX} = 2,7$  Н.

Аналіз отриманих результатів зміни величини тягового зусилля на різних ділянках технологічної траси показує, що максимальні навантаження виникають на вертикальній ділянці. При цьому, для суцільних скребоків величина  $F_T$  в 1,09...1,15 разів перевищує величину  $F_T$  для скребоків з отворами, через які відбувається пересипання кормової суміші.

Для забезпечення відповідної продуктивності трубчатого конвеєра зі скребками з отворами доцільно вибрати більш високі поступальні швидкості робочого органу ніж із суцільними скребками.

Встановлено, що зміна поступальної швидкості робочого органу в межах 1,15...1,3 м/с фактично не призводить до суттєвої зміни величини тягового зусилля на різних ділянках технологічної траси конвеєра.

На основі попередніх досліджень було встановлено, що домінуючими факторами, які впливають на ступінь просипання і відповідно змішування компонентів кормів є поступальна швидкість  $V$  (м/с) робочого органу в направляючій трубі, діаметр внутрішнього отвору  $d_o$  (мм) скребкових шайб, а також кут конусності  $\chi$  (град) робочої поверхні шайб.

Для визначення інтенсивності впливу даних факторів на ступінь просипання та відповідно змішування компонентів кормів запропоновано методику проведення багатофакторного експерименту, яка була наступною. В якості матеріалу, який підлягав дослідженню було вибрано мікрогранульований комбікорм, з розмірами частинок 1...1,5 мм.

Для встановлення ступеня просипання матеріалу на тяговій частині робочого органу, який переміщався з різною поступальною швидкістю  $V$  було закріплено п'ять шайбових скребок, які в процесі дослідження змінювали в залежності від діаметру внутрішнього отвору  $d_o$ , а також кута конусності  $\chi$  робочої поверхні шайб.

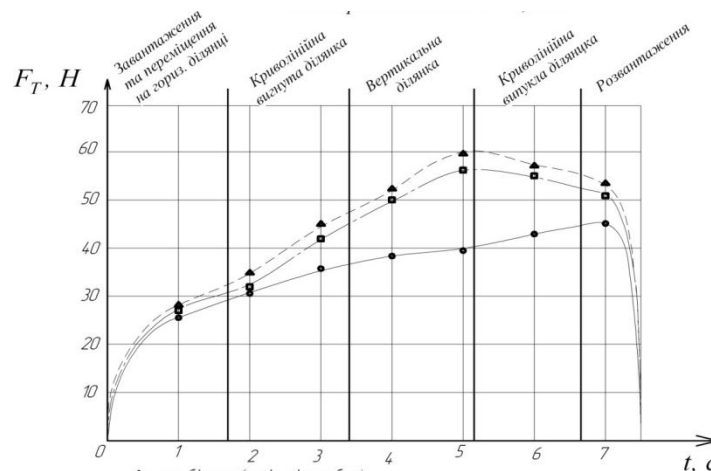


Рис.6. Графічні залежності зміни тягового зусилля  $F_T$  при переміщенні блоку шайбових скребок в часі  $t$  на різних ділянках технологічної траси при поступальній швидкості робочого органу  $V = 0,3$  м/с: ▲ - суцільні шайбові скрепки; ■ – шайбові скрепки з внутрішнім отвором  
● – переміщення скребок без вантажу

Перший шайбовий скребок розташовували під бункером, який був заповнений мікрогранульованим комбікормом. Далі вмикали електропривод і матеріал по вертикальній ділянці транспортували в зону вивантаження в місткість для збирання комбікорму.

В процесі транспортування частина матеріалу через внутрішні отвори шайб просипалась, а ступінь (коефіцієнт)  $k_{mp}$  транспортованого матеріалу, який вивантажувався в місткість визначали за залежністю

$$k_{o,d} = \frac{m_{o,d}}{m_{\Sigma}} 100\%,$$

де  $m_{mp}$  – маса транспортованого матеріалу;  $m_{\Sigma}$  - загальна маса матеріалу, який захоплювався п'ятьма скребками.

Загальний вигляд процесу транспортування мікрогранульованого комбікорму зображено на рис.7.

На основі запропонованої методики та проведених експериментальних досліджень за багатофакторним експериментом з визначення впливу поступальної швидкості  $V$  (м/с) робочого органу в направляючій трубі, діаметра внутрішнього отвору  $d_o$  (мм) скребкових шайб, а також кута конусності  $\chi$  (град) робочої поверхні шайб на ступінь просипання і відповідно змішування компонентів кормів, який визначається коефіцієнтом  $k_{mp}$  транспортованого матеріалу в натуральних координатах отримано рівняння регресії

$$k_{mp} = 576,749 - 23,020V - 40,118 \cdot d_o - 0,217\chi + 0,875Vd_o + \\ + 0,305V\chi + 1,079 \cdot 10^{-2} d_o\chi + 2,425 \cdot V^2 + 0,756d_o^2 - 3,128 \cdot 10^{-3} \chi^2.$$

Факторне поле визначалось таким діапазоном зміни параметрів:  $0,1 < V < 0,5$  (м/с);  $20 < d_o < 26$  (мм);  $14 < \chi < 42$  (град).

За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакета прикладних статистичних

програм обробки та аналізу результатів експериментальних досліджень для ПК побудовані тривимірні просторові залежності поверхонь відгуку коефіцієнту  $k_{mp}$  транспортованого матеріалу та їх двовимірний переріз для наочного зображення результатів проведених експериментальних лабораторних досліджень та проведення висновків.



Рис.7. Процес транспортування мікрогранульованого комбікорму з різним коефіцієнтом завантаження шайбових скребків

**Висновки.** Розроблені конструкції секційних скребково-шайбових робочих органів, стендового обладнання та лабораторно-експериментальної установки дозволили провести комплекс експериментальних досліджень.

Встановлено, що на криволінійній ділянці технологічної траси зусилля на процес транспортування матеріалів суттєво відрізняються від їх переміщення на прямолінійній ділянці. Так, зміна зусилля  $P_0$  при транспортуванні різних сільськогосподарських матеріалів для металевих скребків знаходиться в межах 3,5...7%, а для полікарбонатних – 4,6...10%, для різних коефіцієнтів завантаження направляючої труби  $\psi$ . В той же час домінуючий вплив на зусилля транспортування має коефіцієнт тертя між поверхнею скребка і поверхнею труби.

На основі проведеного багатофакторного експерименту отримано регресійну залежність, з якої можна зробити висновок, що домінуючим фактором, який впливає на величину коефіцієнту  $k_{mp}$  транспортованого матеріалу є діаметр внутрішнього отвору  $d_o$  (мм) скребкових шайб. Поступальна швидкість робочого органу в даному діапазоні зміни її величини призводить до незначного зростання коефіцієнта  $k_{mp}$ . Зміна кута конусності  $\chi$  робочої поверхні шайб в межах від 14 до 28 (град) спричиняє несуттєве збільшення  $k_{mp}$ , а подальше збільшення кута  $\chi$  до 42 град призводить до зменшення коефіцієнта  $k_{mp}$ , оскільки спостерігається клинення матеріалу.

#### Література

1. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта.- М.: Машиностроение, 1980.- 367.
2. Громов С.В. Разработка метода расчета распределенных сопротивлений движению тягового органа трубчатого скребкового конвейера с пространственной трассой.- Дис. д-ра техн. наук: 05.05.11.- М., МГГУ, 2006.- 211с.
3. Долгунин В.Н. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения, закономерности, технологическое применение / В.Н. Долгунин, В.Я. Борщев. – М. : Изд. Машиностроение -1, 2005. – 112 с.
4. Пат. 56182 Україна, МПК<sup>51</sup> В 65 G 19/00. Робочий орган шайбового транспортера /Токарчук О. А., Гевко Р. Б., Любін М. В., Кричківський В. Й.; заявники і власники патенту Тернопільський національний економічний університет – № u201005721 ; заявл. 12.05.2010 ; опубл.10.01.2011, Бюл.№1.
5. Пат. 71728 Україна, МПК<sup>51</sup> В 65 G 19/00, В 01 F 3/00. Робочий орган скребкового транспортера-змішувача / Гевко Р. Б., Токарчук О. А., Кричківський В. Й.; заявник і власник патенту Тернопільський національний економічний університет – № u201200138 ; заявл. 04.01.12 ; опубл. 25.07.12 , Бюл. №14.