

**Войтов В.А.,
Цимбал Б.М.**

Харківський національний технічний
університет с/г ім. П. Василенка,
м. Харків, Україна
E-mail: tsembalbogdan@ukr.net

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА
ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ЗНОШУВАННЯ
ТА СУМІСНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ
ДЕТАЛЕЙ ЕКСТРУДЕРА**

УДК 621.891

В роботі представлена експериментальна оцінка негативного впливу активної кислотності рН, абразивності та навантаження на швидкість зношування, силу тертя та сумісність матеріалів робочих деталей екструдера для виробництва паливних брикетів з рослинної сировини. Досліджені поверхні тертя трібосистем, які в своєму складі мають сталі та чавуні в залежності від рівня активної кислотності та абразивності та сформуована гіпотеза про механізм їх зношування.

Ключові слова: трібосистема, швидкість зношування, сила тертя, поверхні тертя, активна кислотність, абразивність, сумісність матеріалів, абразивне-корозійне зношування.

Актуальність проблеми

В Україні та у Європі виробництво твердого палива з рослинної сировини, яка є відновлювальним джерелом енергії, є перспективним напрямком. Для виробництва твердого палива використовуються рослинні відходи сільськогосподарського та лісного виробництва, до таких відходів можливо віднести: солому, лушпиння соняшнику, рису, гречки, кострицю прядильних культур, не кормові відходи елеваторного виробництва, стебла кукурудзи та соняшнику, деревинні відходи. З цієї сировини отримують тверде паливо шляхом пресування шнековим пресом. В зв'язку з тим, що рослинна сировина у своєму вмісті має значний рівень абразивності та кислотності, який призводить до корозійно-механічного зношування шнека та філь'єр екструдера, зменшення ресурсу шнека та філь'єр, терміну експлуатації екструдера, збільшенню витрат на виробництво твердого палива, та підвищення зносостійкості екструдерів для виробництва твердого палива з рослинної сировини є актуальним завданням.

Аналіз публікацій, присвячених даній проблемі

Сировина, яка використовується для виробництва паливних брикетів, така як деревна тирса, лушпиння соняшнику, відходи зернового виробництва, солома та ін. біомаса, а також мінеральні частинки (пісок, ґрунт та невелике каміння) [1], при контакті з робочими органами призводять до механічного руйнування поверхонь, які труться, в результаті ріжучого або дряпаючої дії твердих тіл та частинок, що призводить до абразивного зношування [2, 3]. Цей вид зношування характерний для всіх зон екструдера [4]. Для екструдерів воно характерне в зоні стиснення, найбільш схильні до абразивного зносу останні два витки хвостовика екструдера [5]. Коли зусилля притиснення гребня шнека недостатньо високе, або відсутня схильність до заїдання, відбувається абразивне зношування. Метали з яких виробляють гільзи циліндрів мають більшу поверхневу твердість після азотування, ніж метали, з яких виробляють черв'як, при цьому мікрорельєф гільзи здатен абразивно зношувати поверхню гребня черв'яка. Чим більше засмічена сировина мінеральними домішками, тим більше буде зношуватися поверхня робочих органів [6]. На поверхні витка шнека виникають зони пластичної деформації та вторинні структури, які спричинені абразивними частками матеріалу [7]. Зола, яка утворилася при окислюванні продукту, складається з мінеральних речовини, які призводять до високого абразивного зношування [5].

При виготовленні паливних брикетів утворюються такі хімічні сполуки, як акролеїн, діоксид азоту, діоксид вуглецю, діоксид кремнію, лігнін внаслідок адсорбції, хемосорбції і дифузії атомів, змінюють хімічний склад поверхні робочих органів [8]. Під дією високої температури, звільненої вологи та слабкислого середовищу біомаси, відбувається хімічна реакція з поверхнею металу, яка провокує корозійно-механічне зношування [9]. Внаслідок цього виникають нові вторинні структури, товщина яких коливається в межах 0,05-0,1 мкм [10]. Як правило це зношування характерне для зони формування та спікання, але найбільш протікає в зоні стиснення. Корозійно-механічне зношування відбувається тільки в трібосистемі пресований матеріал – елемент конструкції [6].

Для підвищення зносостійкості та довговічності екструдерів для переробки фуражного зерна з домішками мінералів В. А. Гончар використав сталь Х12, дослідив інтенсивність зношування після гартування та іонного азотування та знайшов оптимальні режими іонного азотування сталі Х12 для кожної з досліджуваних характеристик. Встановивши, що зносостійкість сталі Х12 після іонного азотування в 1,6 рази вища в порівнянні з її зносостійкістю після гартування запропонував, що для забезпечення максимальної зносостійкості трібосистем в абразивному середовищі необхідно, щоб поверхневі шари мали ви-

соку твердість, яка досягається при температурі гартування 560 - 580 °С, та максимальну товщину азотованого шару, яку отримують при дифузійного насиченні протягом 6 - 8 год. [11]. В дослідженні В.А. Гончара не враховане корозійне середовище, високий тиск та температура, які негативно впливають на зносостійкість робочих органів екструдера.

Для підвищення зносостійкості циліндрів екструдера В. В. Деркач розробив метод термодифузійної біметалізації, який полягає в тому, що у внутрішню порожнину заготовки, яка нагрівається індуктором та обертається, подають середовище, що цементує. Для системи Fe - C при температурі, близькій до евтектичної (1150 - 1200 °С), відбувається інтенсивне насичення поверхні вуглецем, а при досягненні його евтектичної концентрації поверхня заготовки підплавляється, що ще більше інтенсифікує процес дифузії вуглецю. У результаті товщина оплавленого шару збільшується, досягаючи за короткий проміжок часу (150 - 200 с) величини 2 - 3 мм. Після остигання на внутрішній поверхні деталі формується зносостійкий шар чавуну. Суттєвого поліпшення фізико - механічних властивостей та зносостійкості одержаного на циліндрах покриття досягається за рахунок додаткового економного легування різними елементами [4]. На поверхні циліндру формується шар чавуну, який не витримує динамічних навантажень, утворює тріщини та має низьку зносостійкість в агресивних середовищах, які призводять до корозійного зношування.

Тому для експериментального дослідження та уповільнення зношування шнека та філь'єр екструдера необхідно враховувати не тільки абразивність сировини, а й активну кислотності.

Мета дослідження

Експериментально оцінити негативний вплив активної кислотності, абразивності та навантаження на швидкість зношування, силу тертя та сумісність матеріалів шнека і філь'єр екструдера для виробництва паливних брикетів з рослинної сировини. Підібрати найбільш сумісні матеріали та умови при яких буде відбуватися найменше зношування робочих органів екструдера. Дослідити поверхні тертя трібосистем зі сталей та чавунів в залежності від рівня активної кислотності та абразивності та сформулювати висновки про механізм їх зношування.

Матеріали та методи дослідження

Для дослідження швидкості зношування робочих органів трібосистем екструдера ЕВ-350 при використанні різних середовищ рослинної сировини та визначення сили тертя, було використано спеціальну машину тертя, яка представлена на рис. 1. Для того, щоб зменшити витрати та час, необхідний для вивчення тріботехнічних характеристик тих чи інших трібосистем, застосовували методику фізичного моделювання, яка представлена в роботах [12, 13]. Фізичне моделювання – це дослідження подібних процесів на установках (моделях), які зберігають фізичну природу явищ, але відтворюють їх в іншому фізичному або геометричному масштабі. При фізичному моделюванні тертя та зношування модель має однаковою природу з натурою (натурним об'єктом), тобто використовуються однакові (змінні в масштабі) трібосистеми, матеріали з яких вони виготовлені та робочі середовища [13].



Рис. 1 – Зовнішній вигляд машини тертя

При використанні фізичного моделювання вирішуються задачі виявлення залежностей швидкості зношування, сили тертя для натурної трібосистеми за даними досліджень при експерименті. Закон моделювання відображається в формі розрахункового масштабного фактора, який є сукупністю масштабних коефіцієнтів переходу від моделі до натурної для параметрів, що входять в критерії подібності [14].

Приведена машина тертя має можливість визначити швидкість зношування змодельованих в зменшеному масштабі трібосистем з урахуванням конструкційних особливостей, матеріалів робочих органів та середовища. За допомогою електронного тензодатчика-приладу, який вимірює прикладену силу,

і комп'ютера, вона дозволяє визначити силу тертя. Дослідження по визначенню швидкості зношування робили за схемою «кільце - кільце», розміри та форма зразків для модельних тріботехнічних випробувань були згідно з ДСТУ 30480-97, при цьому коефіцієнт взаємного перекриття $k_{\text{вз.}} = 0,2$. Час дослідження склав 10 - 30 хв з попереднім припрацюванням зразків [15]. Гострі кромки дослідних зразків пригуплялися до радіуса 0,5 мм, а шорсткість зразків складала $R_a \leq 0,20$ та відбувався контроль спраження торцевих поверхонь за величиною контактної площі, яка повинна, бути не менше 90% робочої поверхні будь якого зразка.

Вивчивши особливості конструкції та умови експлуатації екструдера EB-350 та EB-350M, для максимального наближення та відтворення процесів тертя, витрати робочої рідини були постійними, тому що створювалось середовище з постійним рівнем кислотності та абразивності, так як в реальній машині. Під час випробувань контролювали та фіксували силу тертя, за величиною якої характеризували механічні втрати.

Під час аналізу роботи [16], де приведено аналіз існуючих методів визначення зносу, найбільш підходящим для рішення поставленого завдання було обрано метод штучних баз, завдяки якому можливо визначити лінійний знос усіх елементів трібосистеми. Даний метод регламентується ГОСТ 23.301-78, сутність визначення зносу описана в роботі [17]. Головною відмінністю методики, яка була використана, від методики, що приведена в роботі [18], є застосування алмазного конуса з кутом при вершині 120° замість квадратної алмазної піраміди з кутом при вершині між протилежними гранями 136° . При виконанні відбитка на плоскій поверхні матеріалу за допомогою конуса (рис. 2, а), тоді величина лінійного зносу Δa можливо визначити за формулою:

$$\Delta a = a_1 - a_2 = \frac{c_1 - c_2}{z}, \quad (1)$$

де a_1 – глибина відбитка до випробування;

a_2 – глибина відбитка після випробування;

c_1 – діаметр проєкції відбитка на випробуваній поверхні до випробування;

c_2 – діаметр проєкції відбитка на випробуваній поверхні після випробування;

z – коефіцієнт пропорційності, що залежить від кута при вершині конуса.

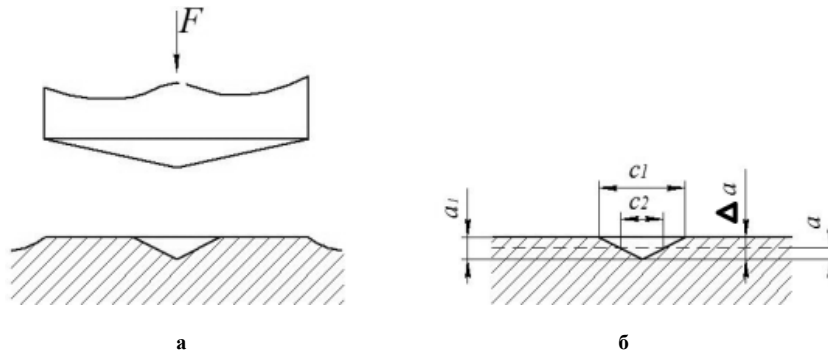


Рис. 2 – Принципова схема вимірювання зносу методом штучних баз:
а – відбиток після вдавнення;
б – відбиток перед початком випробувань і після випробувань

При куті $120^\circ z = 3,434$, тому:

$$\Delta a = \frac{c_1 - c_2}{3,434}. \quad (3)$$

Швидкість зношування визначили за формулою:

$$I = \frac{\Delta a}{t_{mp}}, \quad (4)$$

де t_{mp} – час травлення, с.

На дослідній поверхні матеріалу утворюється спучування, при вдавненні конуса (рис. 2, б), який спотворює вимір діаметра відбитка. Вимірювання розмірів відбитка, який утворився після вдавнення алмазного конуса в поверхню робився після видалення спучування наждаковим папером з наступним припрацюванням. Лунки робились алмазним конусом на твердомірі [16].

Результати дослідження

Для визначення впливу активної кислотності рН, абразивності та навантаження, які характерні для рослинної сировини, на швидкість зношування та силу тертя робочих органів екструдера для виробництва паливних брикетів, виникає необхідність проведення трьохфакторного експерименту, вирішення оптимізаційної задачі та підбір сумісних матеріалів шнека та філь'єр екструдера.

Таблиця 1

**Матриця планування та результати дослідів по визначенню впливу
рівня активної кислотності, абразивності та навантаження
на трибологічні характеристики шнека та філь'єр екструдера**

№ експерименту	Фактори			Функція відгуку трибосистеми сталь 40X та чавун ЧХ22Н2		Функція відгуку трибосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2		Функція відгуку трибосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2	
	рівень рН X_1	абразивність %, в масі X_2	P , (Н) X_3	I , (мкм/год) Y_1	$F_{тер.}$, (Н) Y_2	I , (мкм/год) Y_1	$F_{тер.}$, (Н) Y_2	I , (мкм/год) Y_1	$F_{тер.}$, (Н) Y_2
1	8	0	800	85,62	130,15	48,92	94,94	73,38	112,55
2	8	10	800	146,82	246,65	156,61	218,78	156,61	232,71
3	8	0	1200	257	258,01	146,47	229,13	163,09	243,57
4	8	10	1200	293,53	273,08	246,21	257,15	256,94	265,11
5	4	5	800	207,92	240,05	159,00	262,18	161,07	251,12
6	11	5	800	232,38	347,00	220,15	293,11	220,15	320,05
7	4	5	1200	425,46	284,01	329,57	281,49	366,32	282,75
8	11	5	1200	699,95	441,85	366,07	407,21	402,80	424,53
9	4	0	1000	244,61	228,32	146,76	200,39	175,69	214,35
1	11	0	1000	439,42	370,43	195,69	338,27	220,15	354,35
1	4	10	1000	293,54	268,32	244,61	290,49	269,07	279,40
1	11	10	1000	476,04	399,74	342,46	366,56	366,92	383,15
1	8	5	1000	183,46	220,36	171,15	193,41	171,23	206,88
1	8	5	1000	190,5	221,06	177,29	194,09	185,42	207,57
1	8	5	1000	198,11	221,77	171,15	194,76	180,89	208,27

Для вирішення оптимізаційної задачі було сплановано експеримент, результати якого представлено у вигляді матриць в табл. 1 та регресійних рівнянь (7 - 12).

Параметрами оптимізації служили: швидкість зношування (Y_1) та сила тертя (Y_2).

Для перевірки можливості використання методу найменших квадратів при обробці отриманих результатів було виконано розрахунок характеристик випадкових величин та перевірка гіпотези нормального розподілення. На першому етапі було визначено середнє абсолютне відхилення (Ω) за формулою:

$$\Omega = \frac{\sum |y_j - \bar{y}|}{n}, \quad (5)$$

де y_j – поточне значення відгуку;

\bar{y} – середнє значення відгуку;

n – кількість дослідів.

Для вибірки, яка має нормальний закон розподілення, повинен бути справедливий вираз:

$$\left| \frac{\Omega}{\bar{S}} - 0,7979 \right| < \frac{0,4}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

де \bar{S} – середньоквадратичне відхилення.

Результати перевірки гіпотези нормальності розподілення значень середнього абсолютного відхилення наведені в табл. 2.

Результати перевірки гіпотези нормального розподілення

Трібологічні характеристики	$\left \frac{\Omega}{S} - 0,7979 \right $	$\frac{0,4}{\sqrt{n}}$
Сталь 40X та чавун ЧХ22Н2		
I	0,05575	0,10328
$F_{мер.}$	0,04214	0,10328
Сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2		
I	0,01837	0,10328
$F_{мер.}$	0,02635	0,10328
Сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2		
I	0,01918	0,10328
$F_{мер.}$	0,04307	0,10328

В результаті математичної обробки експериментальних даних отримані закодовані регресійні рівняння, що адекватно описують вплив активної кислотності рН, абразивності та навантаження на швидкість зношування та силу тертя:

- для сталі 40X та чавуну ЧХ22Н2:

$$Y_1 = 190,69 + 8453,25X_1 + 22,91X_2 + 125,4X_3 - 3,0775X_1 X_2 + 62,5075X_1 X_3 - 6,1675X_2 X_3 + 184,1988X_1^2 - 11,4863X_2^2 + 16,53875X_3^2; \quad (7)$$

$$Y_2 = 221,0632 + 67,29146X_1 + 25,10872X_2 + 36,63839X_3 - 2,67197X_1 X_2 - 25,3574X_1 X_3 + 67,29146X_2 X_3 + 98,44671X_1^2 - 2,80874X_2^2 + 8,717993X_3^2; \quad (8)$$

- для сталі 95X18 та чавуну ЧХ22Н2:

$$Y_1 = 173,1965 + 30,55363X_1 + 56,50463X_2 + 62,955X_3 + 12,23075X_1 X_2 - 6,16325X_1 X_3 - 1,988X_2 X_3 + 89,163X_1^2 - 29,9793X_2^2 + 6,33675X_3^2; \quad (9)$$

$$Y_2 = 194,0864 + 46,32513X_1 + 33,7816X_2 + 38,24713X_3 - 15,4509X_1 X_2 + 23,69945X_1 X_3 - 23,9552X_2 X_3 - 107,9199X_1^2 - 3,07704X_2^2 + 8,990851X_3^2; \quad (10)$$

- для сталі 40X10С2М та чавуну ЧХ22Н2:

$$Y_1 = 179,18 + 29,734X_1 + 52,15263X_2 + 72,24188X_3 + 13,34625X_1 X_2 - 5,64925X_2 X_3 + 2,6555X_2 X_3 + 101,9288X_1^2 - 23,1505X_2^2 + 6,477X_3^2; \quad (11)$$

$$Y_2 = 207,5748 + 59,80829X_1 + 29,44516X_2 + 37,44276X_3 - 9,06141X_1 X_2 + 18,21117X_1 X_3 - 24,6563X_2 X_3 + 103,1833X_1^2 - 2,94289X_2^2 + 8,854422X_3^2; \quad (12)$$

Проаналізувавши регресійні рівняння (7 - 12) можливо зробити висновок про ступінь впливу факторів на функцію відклику.

З рівняння (7) слідує, що на швидкість зношування трібосистеми сталь 40X та чавун ЧХ22Н2 в першу чергу впливає навантаження, а потім активна кислотність, та в меншій мірі – абразивність. Для трібологічної пари сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, рівняння (9): в першу в першу чергу навантаження, потім - небагато менше абразивність, а в останню чергу активна кислотність. Для трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2, рівняння (11): в першу чергу впливає навантаження, потім - небагато менше абразивність, а в останню чергу активна кислотність.

На силу тертя для трібосистеми сталь 40X та чавун ЧХ22Н2, рівняння (8), в першу чергу впливає активна кислотність, потім – навантаження, та в останню чергу абразивність. Для трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2 та трібосистеми сталь 4010С2М спостерігається така сама тенденція.

На рис. 3 зображені залежності швидкості зношування та сили тертя. Дослідження проводили при постійному навантаженні 1000 Н, абразивності 0 % в масі та певному рівні активної кислотності. Роль сировина для виробництва твердого палива має слабокисло середовище та активну кислотність 5 рН. Швидкість зношування підібраної трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, на 37,70 % менша ніж швидкість зношування базової трібосистеми сталь 40X та чавун ЧХ22Н2 та на 16,82 % менша ніж швидкість зношування трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2. Сила тертя трібосистеми сталь

95X18 та чавун ЧХ22Н2, при такій самій абразивності та навантаженні, на 8,24 % менша, ніж сила тертя базової трібосистеми та на 4,30 % менша, ніж сила тертя трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2.

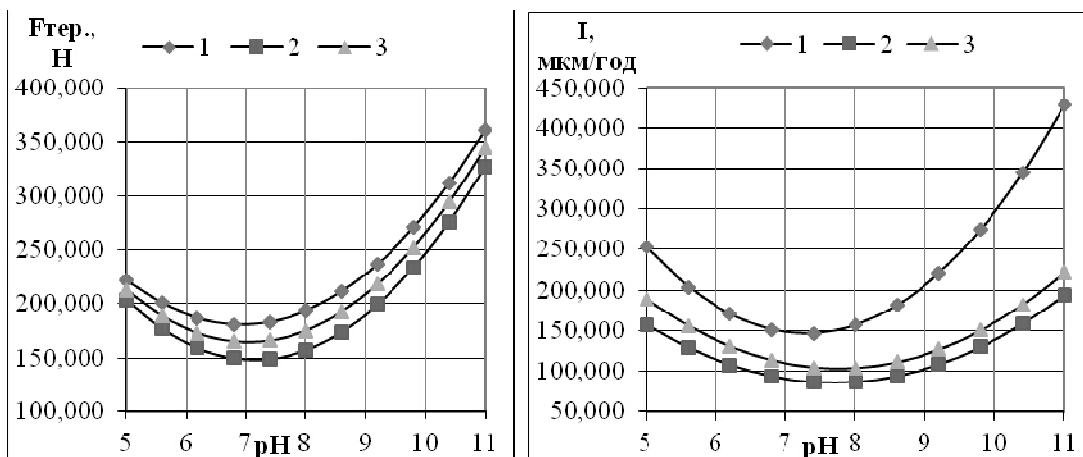


Рис. 3 – Залежності швидкості зношування та сили тертя трібосистем від рівня активної кислотності при постійному навантаженні та абразивності:
 1 – сталь 40X та чавун ЧХ22Н2;
 2 – сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2;
 3 – сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2

При додаванні до сировини луги - гідроксиду натрію, відбувається зменшення сили тертя та швидкості зношування. При збільшенні рН від 5 до 7,4 сила тертя зменшується на 17,39 - 26,64 % та зменшується швидкість зношування на 42,21 - 45,03 %. Сила тертя, при рН 7,4 трібологічної пари сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, на 18,52% менша ніж сила тертя базової трібосистеми та на 10,20 % менша ніж сила тертя трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2. Швидкість зношування трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2 на 40,73 % менша, ніж швидкість зношування базової трібосистеми та на 17,25 % менша швидкості зношування трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2.

При подальшому додаванні луги, створюється сильнолужне середовище, відбувається зворотний процес, при якому зростає швидкість зношування та сили тертя. При збільшенні рН від 7,4 до 11 сила тертя збільшується на 49,36 - 54,37 % та збільшується швидкість зношування на 52,89 - 65,86 %. Сила тертя трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2 при рН 11, на 9,58 % менша ніж сила тертя базової трібосистеми та менша на 5,03% ніж сила тертя трібосистема сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2. Швидкість зношування при рН 11 трібологічної пари сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2 на 54,64% менша, ніж швидкість зношування базової трібосистеми та на 12,60 % менша швидкості зношування трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2.

На рис. 4 представлені залежності швидкості зношування та сили тертя, при постійному навантаженні 1000 Н, нейтральному рівні активної кислотності, від абразивності.

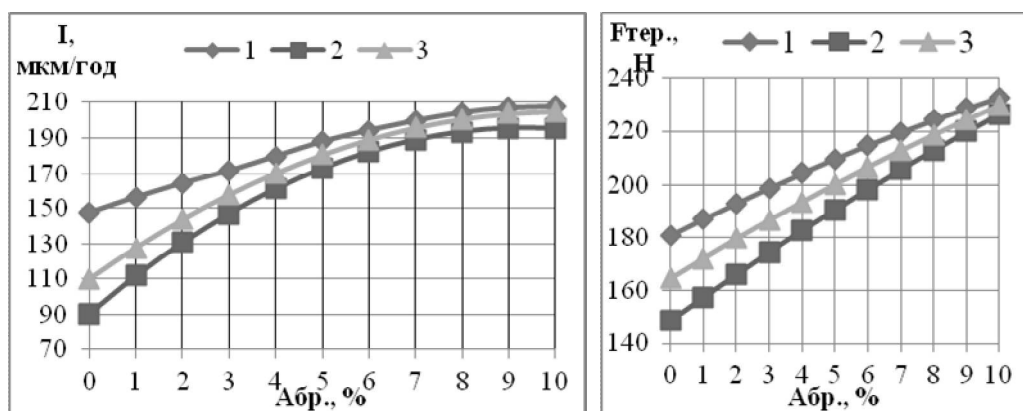


Рис. 4 – Залежності швидкості зношування та сили тертя трібосистем від рівня абразивності при постійному навантаженні та рівні активної кислотності:
 1 – сталь 40X та чавун ЧХ22Н2;
 2 – сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2;
 3 – сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2

Рослина сировина для виробництва твердого палива має абразивність близько 10 %. При таких умовах швидкість зношування підібраної трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, на 5,81 % менша ніж швидкість зношування базової трібосистеми та на 4,77 % більша ніж швидкість зношування трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2. Сила тертя трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, при такій самих умовах на 1,37 % менша, ніж базової трібосистеми та на 2,69 % менша, ніж сила тертя трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2.

При очищенні сировини від абразивних домішок на 5 %, відбувається зменшення сили тертя та швидкості зношування. Так при абразивності 5% в масі сировини сила тертя трібосистем зменшується на 13,25 - 17,47 %, менша ніж при абразивності 10%. Швидкість зношування при абразивності 5 % трібосистем на 15,25 - 19,32 % менша ніж при абразивності 10%. Сила тертя трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, на 10,54 % менша ніж сила тертя базової трібосистеми та на 5,56 % менша ніж сила тертя трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2. Швидкість зношування трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2 на 10,29 % менша, ніж швидкість зношування базової трібосистеми та на 5,23 % менша, ніж швидкість зношування трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2.

При подальшому очищенні сировини від абразивності до 0 %, відбувається зменшення швидкості зношування та сили тертя. При відсутності абразивності сила тертя трібосистем зменшується на 11,50 - 18,66 % менша ніж при абразивності 5 %. Швидкість зношування трібосистем на 17,90 - 43,86 % менша ніж при абразивності 5 %. Сила тертя трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, на 17,78 % менша ніж сила тертя базової трібосистеми та на 9,76 % менша ніж сила тертя трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2. Швидкість зношування трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2 на 38,66 % менша, ніж швидкість зношування трібосистеми сталь 40X та чавун ЧХ22Н2 та на 17,52 % менша ніж швидкість зношування трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2.

На рис. 5 представлені залежності швидкості зношування та сили тертя, при постійній абразивності 0%, нейтральному рівні активної кислотності, від навантаження. При навантаженні 1200 Н швидкість зношування підібраної трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, на 40,38 % менша ніж швидкість зношування базової трібосистеми та менша на 12,70 % ніж швидкість зношування трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2. Сила тертя трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, при таких самих умовах, на 14,28% менша, ніж сила тертя базової трібосистеми та на 7,69 % менша, ніж сила тертя трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2.

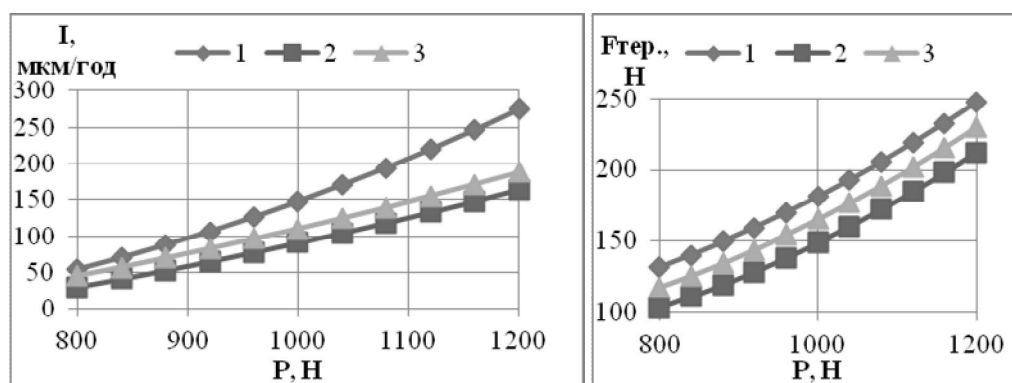


Рис. 5 – Залежності швидкості зношування та сили тертя трібосистем від навантаження при постійній абразивності та рівня активної кислотності:

- 1 – сталь 40X та чавун ЧХ22Н2;
- 2 – сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2;
- 3 – сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2

При зменшенні навантаження до 1000 Н, відбувається зменшення сили тертя та швидкості зношування. Сила тертя базової трібосистеми при навантаженні 1000 Н на 26,89 % менша ніж при навантаженні 1200 Н. Сила тертя при зменшенні навантаження від 1200 до 1000 Н трібосистем зменшується на 29,87 - 46,31 %. При зменшенні навантаження від 1200 до 1000 Н швидкість зношування трібосистем зменшується на 41,53 - 44,76 %. Сила тертя трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, на 38,66 % менша ніж сила тертя базової трібосистеми та на 17,52 % менша ніж сила тертя трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2. Швидкість зношування трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2 на 17,78 % менша, ніж швидкість зношування базової трібосистеми та на 9,76 % менша, ніж швидкість зношування трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2.

При подальшому зменшенні навантаження до 800 Н, відбувається зменшення швидкості зношування та сили тертя. При зменшенні навантаження від 1000 до 1200 Н, сила тертя трібосистем зменшується на 27,13 - 30,49 % та зменшується швидкість зношування на 59,22 - 68,83 %. Сила тертя трібосис-

теми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, на 21,57 % менша ніж сила тертя базової трібосистеми та на 12,09 % менша сили тертя трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2. Швидкість зношування трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2 на 44,06% менша, ніж швидкість зношування трібосистеми сталь 40X та чавун ЧХ22Н2 та на 33,29 % менша ніж швидкість зношування трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2.

В табл. 3 зведені оптимальні значення швидкості зношування та сили тертя при трьох умовах:

- при відсутності абразивності та постійному навантаженню 1000 Н найменше значення швидкості зношування 86,61 мкм/год. та сили тертя 149,19 Н, має трібосистема сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2;
- при нейтральному середовищу та постійному навантаженню 1000 Н найменше значення швидкості зношування 90,51 мкм/год. та сили тертя 148,63 Н, має трібосистема сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2;
- при відсутності абразивності і нейтральному середовищі найменше значення швидкості зношування 109,74 мкм/год. та сили тертя 164,69 Н, має також трібосистема сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2.

Таблиця 3

**Трібологічні характеристики:
швидкість зношування та сила тертя в залежності
від активної кислотності, абразивності та навантаження**

Трібосистема	Абразивність 0 % та навантаження 1000 Н		рН7,0 та навантаження 1000 Н		рН7,0 абр. 0 %	
	I , мкм/год/рН	$F_{тер.}$, Н/рН	I , мкм/год/абр., %	$F_{тер.}$, Н/абр., %	I , мкм/год/Р, Н,	$F_{тер.}$, Н / Р, Н
Сталь 40X та чавун ЧХ22Н2	146,14/7,4	180,91/6,8	147,56/0	180,76/0	53,36/800	131,73/800
Сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2	86,61/7,4	149,19/7,4	90,51/0	148,63/0	29,85/800	103,31/800
Сталь 40X та чавун ЧХ22Н2	104,68/7,4	166,14/7,4	109,74/0	164,69/0	44,75/800	117,52/800

Висновки

1. Сплановано та проведено трьохфакторний експеримент по вибору найбільш сумісних матеріалів в залежності від їх трібологічних характеристик: швидкість зношування та сила тертя, на які впливають рівень активної кислотності, абразивності та навантаження. За результатами проведеного експерименту було обрано найбільш сумісну, трібосистему: сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2.

2. Отримано регресійні рівняння та побудовані залежності впливу рівня активної кислотності, рН на швидкість зношування та силу тертя. Встановлено, що рослина сировина для виробництва твердого палива має слабокисле середовище та активну кислотність 5 рН. Швидкість зношування підбраної трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2, на 37,70 % менша ніж швидкість зношування базової трібосистеми сталь 40X та чавун ЧХ22Н2. Швидкість зношування трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2 на 16,82 % менша ніж швидкість зношування трібосистеми сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2.

3. Визначено, що при додаванні до сировини луги - гідроксиду натрію, відбувається зменшення сили тертя та швидкості зношування. Так при рН 7,4 сила тертя сталі 40X, сталі 95X18 та 40X10С2М з чавуном ЧХ22Н2 відповідно на 16,13 %, 18,47 %, та 16,85 % менша ніж при рН 5.

4. При подальшому додаванні луги, створюється сильнолужне середовище, відбувається зворотний процес, при якому зростає швидкість зношування та сили тертя. При рН 11 сил а тертя сталі 40X, сталі 95X18 та 40X10С2М з чавуном ЧХ22Н2 відповідно на 60,57 %, 41,74 %, та 42,96% більша ніж при рН 7,4.

5. В трьох різних умовах трібосистема сталь 95X18 та чавун ЧХ22Н2 має найменшу швидкість зношування та силу тертя, ніж трібосистема сталь 40X і чавун ЧХ22Н2 та трібосистема сталь 40X10С2М та чавун ЧХ22Н2.

Література

1. Сырье для брикетирования топливных брикетов [Электронный ресурс]: (Сайт) / Топливные брикеты. Оборудование для производства топливных брикетов. – Электрон. дан. – 2016. – Режим доступа: <http://briquet.zp.ua/sirie/>. – Название с экрана.

2. Костецкий Б.И. Соппротивление изнашиванию деталей машин / Б. И Костецкий. – М. : Машгиз, 1959. – 478 с.

3. Измалков Л. И. К вопросу об оптимальной чистоте поверхности деталей шнеков / Л. И. Измалков // Пищевая технология. – 1959. – № 3.
4. Гончар В.А. Підвищення зносостійкості і довговічності екструдерів для переробки фуражного зерна з домішками мінералів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : спец. 05.02.04 – «Тертя та зношування в машинах» / В.А. Гончар. – Хмельницький, 2014. – 20 с.
5. Гончар В.А. Дослідження зносостійкості азотованої сталі Х12 в корозійно-абразивному середовищі / В.А. Гончар // Інформатика та механіка : тези доповідей VIII українсько-польської конференції молодих науковців. – Хмельницький, 2011. – С. 45-46.
6. Износ оборудования при переработке пластмасс / [Стамбурский Е.А. Бейль А. И., Карливан В. П., Беспалов Ю. А.]. – М.: Химия, 1985. – 208 с.
7. Деркач В.В. Підвищення зносостійкості циліндра екструдера методом термодифузійної біметалізації : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : спец. 05.02.04 – «Тертя та зношування в машинах» / В.В. Деркач. – К.: Наук. думка. – 2000. – 20 с.
8. Ястреба С.П. Підвищення ефективності роботи і довговічності олійних пресів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : спец. 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв» / С.П. Ястреба. – К.: Наук. думка. – 2012. – 19 с.
9. Briquettes de biomasse de presse [Ressource électronique]: (Site Web) // Anyang Gemco Energy Machinery Co., Ltd. - Mode d'accès: WWW.URL: www.biodiesel-machine.com/fr/biomass-briquette-press.html. - Dernière visite: 2016. - Titre de l'écran.
10. Васильків В.В. Види зношення спіралей гвинтових робочих органів / В.В. Васильків, Д.Л. Радик // Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 100. – С. 197 – 202.
11. Костецкий Б.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин / Б. И Костецкий. – М. : Машгиз, 1959. – 478 с.
12. Гончар В.А. Зносостійкість сталі Х12 в водному розчині муки з добавками мінералу сапоніту / В.А. Гончар // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету, 2013. – Вип. 12 (75). – С. 6-14.
13. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов. – М.: Мир, 1981. – 448 с.
14. Обеспечение износостойкости изделий. Метод оценки фрикционной теплостойкости материалов. ГОСТ 23.210-80. – [Введ. 1981-07-01]. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 10 с. – (Межгосударственный стандарт).
15. Войтов В. А. Конструктивна зносостійкість вузлів тертя гідромашин. Частина 149. Методологія моделювання граничного змащування в гідромашинах / В. А. Войтов. – Х.: Центр Леся Курбаса. – 1997. – 154 с.
16. Борисов М. В. Ускоренные испытания машин на износостойкость как основа повышения их качества // М. В. Борисов, И. А. Павлов, В. И. Постников. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 352 с.
17. Словарь-справочник по трению, износа и смазке деталей машин / [В. Д. Зозуля и др.]. – К.: Наук. думка, 1990. – 259 с.
18. Разработка методики и исследование проявления эффекта Ребиндера при различных смазочных средах / С. В. Венцель, Н. Н. Курманова, В. А. Баздеркин [и др.] // Трение и износ. – 1985. – Т. 6, № 4. – С. 661 – 665.

Поступила в редакцію 19.02.2016

Vojtov V.A., Tsymbal B.M. **Experimental evaluation of influence factors on wear and materials compatibility of the parts of the extruder.**

The paper presents an experimental evaluation of the negative impact of active acidity pH, abrasion and wear burden on speed, strength and friction material compatibility of working parts the extruder for the production of fuel pellets from plant material. Tribology investigated surface friction pairs steel and iron depending on the active acidity and abrasiveness and formed a theory about the mechanism of wear.

Keywords: Tribology steam rate of wear, friction, friction surface active acidity, abrasiveness, compatibility of materials, abrasive-corrosive wear.

References

1. Syrye dlya briketirovaniya toplivnykh briketov [Elektronnyy resurs]: (Sayt). Toplivnyye brikety. Oborudovaniye dlya proizvodstva toplivnykh briketov. Elektron. dan. 2016. Rezhim dostupa: <http://briket.zp.ua/sirie>. Nazvaniye s ekrana.
2. Kostetskiy B.I. Soprotivleniye iznashivaniyu detaley mashin. M. : Mashgiz. 1959. 478 s.
3. Izmailov L. I. K voprosu ob optimalnoy chistote poverkhnosti detaley shnekpressov. Pishchevaya tekhnologiya. 1959. № 3.
4. Gonchar V.A. Pidvishchennya znosostiykosti i dovgovichnosti ekstruderiv dlya pererobki furazhnogo zerna z domishkami mineraliv : avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk : spets. 05.02.04 – «Tertya ta znoshuvannya v mashinakh». Khmelnytskyi. 2014. 20 s.
5. Gonchar V.A. Doslidzhennya znosostiykosti azotovanoї stali Kh12 v korozivno-abrazivnomu sere-dovishchi. Informatika ta mekhanika : tezi dopovidey VIII ukrainsko-polskoї konferentsii molodikh naukovtsiv. Khmelnytskyi. 2011. S. 45-46.
6. Iznos oborudovaniya pri pererabotke plastmass. Stamburskiy E.A. Beyl A. I., Karlivan V. P., Bespa-lov Yu. A. M.: Khimiya. 1985. 208 s.
7. Derkach V.V. Pidvishchennya znosostiykosti tsilindra ekstrudera metodom termodifuziynoi bimetalizatsii : avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk : spets. 05.02.04 – «Tertya ta znoshu-vannya v mashinakh». Kiiiv. 2000. 20 s.
8. Yastreba S.P. Pidvishchennya efektyvnosti roboti i dovgovichnosti oliynikh presiv : avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk : spets. 05.18.12 «Protsezi ta obladnannya kharchovikh. mikrobiologichnikh ta farmatsevtichnikh virobnitstv». Kiiiv. 2012. 19 s.
9. Briquettes de biomasse de presse [Ressource ?lectronique]: (Site Web). Anyang Gemco Energy Ma-chinery Co., Ltd. - Mode d'acc?s: WWW.URL: www.biodiesel-machine.com/fr/biomass-briquette-press.html. - Derni?re visite: 2016. Titre de l'?cran.
10. Vasilkiv V.V., Radik D.L. Vidi znoshennya spiraley gvintovikh robochikh organiv. Visnik KhNTUSG. Kharkiv: KhNTUSG. 2010. Vip. 100. S. 197 – 202.
11. Gonchar V.A. Znosostiykist stali Kh12 v vodnomu rozchini muki z dobavkami mineralu saponitu. Zbirnik naukovikh prats Vinnitskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu. 2013. Vip. 12 (75). S. 6-14.
12. Sedov L. I. Metody podobiya i razmernosti v mekhanike. M.: Mir. 1981. 448 s.
13. Venikov V.A., Venikov G. V. Teoriya podobiya i modelirovaniya. M.: Vyssh. Shkola. 1991. 419 s.
14. Obespecheniye iznosostoykosti izdeliy. Metod otsenki friktsionnoy teplostoykosti materialov. GOST 23.210-80. [Vved. 1981-07-01]. M.: Izdatelstvo standartov. 1981. 10 s. (Mezhgosudarstvennyy stan-dart).
15. Voytov V. A. Konstruktivna znosostiykist vuzliv tertya gidromashin. Chastina 149. Metodologiya modelyuvannya granichnogo zماشchuvannya v gidromashinakh. Kh.: Tsentri Lesya Kurbaso. 1997. 154 s.
16. Borisov M. V. Uskorennyye ispytaniya mashin na iznosostoykost kak osnova povysheniya ikh kachestva. M. V. Borisov, I. A. Pavlov, V. I. Postnikov. M.: Izd-vo standartov. 1976. 352 s.
17. Slovar-spravochnik po treniyu, iznosa i smazke detaley mashin. V. D. Zozulya i dr. K.: Nauk. dumka. 1990. 259 s.
18. Razrabotka metodiki i issledovaniye proyavleniya efekta Rebindera pri razlichnykh smazochnykh sredakh. S. V. Ventsel, N. N. Kurmanova, V. A. Bazderkin [i dr.]. Treniye i iznos. 1985. T. 6. № 4. S. 661– 665.