

ZŁOŻONE WARUNKI ZUŻYCIA MECHANICZNO-ŚCIERNO-KOROZYJNEGO, WYSTĘPUJĄCE W CUKROWNIACH

Przemysław Tyczewski

Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Politechnika Poznańska,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: przemyslaw.tyczewski@put.poznan.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono koncepcje interpretacyjnych modeli zużywania, z uwzględnieniem wymuszeń: mechanicznych, ściernych i korozyjnych. W celu poznania relacji ilościowych jednoczesnego działania procesów destrukcyjnych wykonano eksperymentalne badania poznawcze. Przeprowadzono pomiary zużycia na rzeczywistych obiektach linii ekstrakcyjnej w cukrowni.

Słowa kluczowe: badania eksperymentalne, zużycie ścierne, korozyjne.

WPROWADZENIE

W wielu węzłach maszyn i urządzeń występują uszkodzenia będące efektem jednoczesnego wpływu destrukcyjnych czynników mechanicznych, ściernych i korozyjnych. Destrukcyjne procesy mają charakter złożony nie tylko z uwagi na jednoczesne występowanie w obszarze kontaktu kilku procesów zasadniczych, ale i na możliwości występowania ich wzajemnego współoddziaływania, co powoduje, że skutki końcowe są trudne do przewidzenia [4, 5]. Analiza literatury wykazała, iż problematyką jednoczesnego zużywania ścierno-korozyjnego interesowało się wielu badaczy [1, 3, 7, 9, 10]. Z uwagi na różnorodne uwarunkowania badań wyniki uzyskane przez poszczególnych autorów nie są w prosty i jednoznaczny sposób porównywalne. Zauważyć można brak modeli ilościowych o charakterze kinetycznym.

Celem pracy było poznanie relacji ilościowych między skutkami zużyciowymi, będącymi efektami jednoczesnego działania procesów destrukcyjnych tarcowych i korozyjnych, przy występowaniu oddziaływań fazy stałej pełniącej rolę ścierniwa w węzłach tribologicznych.

BADANIA CZYNNIKOWE

Teoretyczny model opisujący zużywanie (I_C^T) (w odniesieniu do problematyki poruszanej w pracy) można przedstawić jako sumę składowych będących skutkiem oddziaływań mechanicznych (I_M), korozyjnych (I_K), ściernych (I_S) oraz skutków ich wzajemnych współoddziaływań (I_A) (1) [6]. Jako „teoretyczny model” należy rozumieć w pracy taki model, którego wszystkie składo-

we z założenia dałoby się jednoznacznie wyznaczyć, ich wartości w specyficznych sterowanych warunkach wymuszeń, niekiedy poza węzłem tribologicznym.

$$I_C^T = I_M + I_K + I_S + I_A. \quad (1)$$

Składową interakcyjną I_A można przedstawić jako sumę składników będących efektem takich procesów destrukcyjnych jak: ścierno – mechanicznych ($I_{\Delta SM}$), korozyjno – mechanicznych ($I_{\Delta KM}$), ścierno – korozyjnych ($I_{\Delta SK}$) oraz jednoczesnego wpływu procesów ścierno – korozyjno – mechanicznych ($I_{\Delta SKM}$):

$$I_A = I_{\Delta SM} + I_{\Delta KM} + I_{\Delta SK} + I_{\Delta SKM}. \quad (2)$$

Oddziaływanie ścierno – mechaniczne jest zależne od wpływu czynnika ściernego na procesy mechaniczne oraz wpływu czynnika mechanicznego na procesy ścierne:

$$I_{\Delta SM} = I'_{\Delta SM} + I'_{\Delta MS}. \quad (3)$$

Oddziaływanie korozyjno – mechaniczne jest zależne od wpływu czynnika korozyjnego na procesy mechaniczne oraz wpływu czynnika mechanicznego na procesy ścierne:

$$I_{\Delta KM} = I'_{\Delta KM} + I'_{\Delta MK}. \quad (4)$$

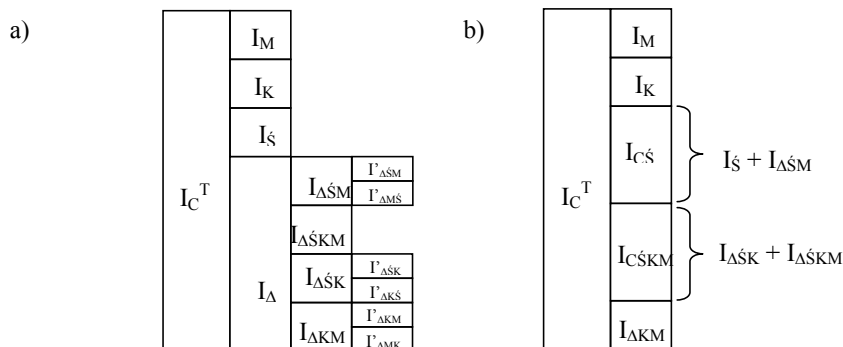
Również oddziaływanie ścierno – korozyjne jest zależne od wpływu czynnika ściernego na procesy korozyjne oraz wpływu czynnika korozyjnego na procesy ścierne:

$$I_{\Delta SK} = I'_{\Delta SK} + I'_{\Delta KS}. \quad (5)$$

Podstawiając sformułowane zależności do równania (1) otrzymuje się model w postaci:

$$I_C^T = I_M + I_K + I_S + I'_{\Delta SM} + I'_{\Delta MS} + I'_{\Delta KM} + I'_{\Delta MK} + I'_{\Delta SK} + I'_{\Delta KS} + I_{\Delta SKM}. \quad (6)$$

Dodatkowo graficzny obraz modelu przedstawiono na rysunku 1a.



Rys. 1. Składowe teoretyczne wzajemnego oddziaływania procesów ścierno – korozyjno – mechanicznych; a) wszystkie składowe, b) model uproszczony

Fig. 1. Theoretical components of mutual interactions of abrasive – corrosive – mechanical processes; a) all components, b) simplified model

Wyznaczenia składowej mechanicznej (I_M) oraz korozyjnej (I_K) można dokonać wykonując badania eksperymentalne zapewniające występowanie tylko wymuszeń o charakterze mechanicznym albo tylko korozyjnym. Występowanie zużycia ściernego wymaga doprowadzenia ścierniwa do powierzchni współpracujących. Kontakt ścierniwa z powierzchnią współpracującą (podczas tarcia) może się odbyć tylko z jednoczesnym udziałem wymuszeń mechanicznych. Należy zatem rozpatrywać zużywanie $I_{\Delta S}$ jako sumę oddziaływań czynnika ściernego oraz wpływu czynnika ściernego na intensywność zużywania mechanicznego:

$$I_{CS} = I_S + I_{\Delta SM}. \quad (7)$$

Obecność ścierniwa może też mieć wpływ na procesy zużywania korozyjnego, jak i korozyjno – mechanicznego, co w zapisie formalnym przedstawia poniższa zależność:

$$I_{CSKM} = I_{\Delta SK} + I_{\Delta SKM} \quad (8)$$

Dla uproszczenia dalszej analizy zrezygnowano z rozdzielania jednostkowych oddziaływań ścierniwo – mechanicznych ($I_{\Delta SM}$), korozyjno – mechanicznych ($I_{\Delta KM}$) oraz ścierniwo – korozyjnych ($I_{\Delta SK}$).

Zatem uproszczony teoretyczny model opisujący zużywanie z jednoczesnym udziałem procesów ściernych, korozyjnych oraz mechanicznych przyjmie postać:

$$I_C^T = I_M + I_K + I_{CS} + I_{CSKM} + I_{AKM} \quad (9)$$

Interpretacja graficzna powyższej uproszczonej zależności przedstawiona jest na rysunku 1b.

W celu znalezienia poszczególnych składowych (teoretycznych) zaproponowanego modelu, należy wykonać badania czynnikowe według wariantów metodycznych przedstawionych w tabeli 1 (eksperymenty od I – VI).

Tab. 1. Warianty metodyczne badań pierwiastkowych

Tab. 1. Methodical variants of components tests

Eksperyment	wymuszenia – czynnik			Model
	mechaniczny	ścierny	korozyjny	
	P = 20 [N], n = 0,1 [m/s]	d = 0,2 [mm]	m = 4 % H ₂ SO ₄	
I	X	-	-	$I_I = I_M$
II	-	X	-	-
III	-	-	X	$I_{III} = I_K$
IV	X	X	-	$I_{IV} = I_M + I_S + I_{\Delta SM}$
V	X	-	X	$I_V = I_M + I_K + I_{\Delta KM}$
VI	-	X	X	-
VII	X	X	X	$I_{VII} = I_C^E = I_M + I_K + I_S + I_{\Delta}$
X – czynnik występujący w danym doświadczeniu				
- – czynnik nie występujący w danym doświadczeniu				

Z zaproponowanych wariantów eksperymentów otrzymujemy składowe: I_M , I_K , $I_{\Delta KM}$, $I_{CS} = I_S + I_{\Delta SM}$. Wartością nieznaną zatem jest $I_{CSM} = I_{\Delta SK} + I_{\Delta SKM}$.

Otrzymujemy wartość całkowitego zużycia wyznaczonego na podstawie rozważań teoretycznych I_C^T (wzór 9) oraz całkowitego zużycia wyznaczonego na drodze eksperymentu I_C^E (eksperyment nr VII z tabeli 1).

Zatem współoddziaływanie zależne od oddziaływania ścierniwa (ΔJ) będzie różnicą między całościowym zużyciem eksperymentalnym, a sumą składowych wyznaczanych w eksperymentach pierwiastkowych:

$$\Delta J = I_C^E - I_C^T = I_C^E - [I_M + I_K + (I_S + I_{\Delta SM}) + I_{\Delta KM}] = I_{\Delta KS} + I_{\Delta SKM} \quad (10)$$

Podstawiając otrzymane wyniki składowych zużycia spowodowanych indywidualnymi oddziaływaniami do koncepcyjnych równań modelowych (od 1 do 5) i porównując ich sumę ze zużyciem całkowitym I_C^E (wariant VII), z równania 6 można oszacować skutki oddziaływań interakcyjnych ($I_{\Delta KS} + I_{\Delta SKM}$) = ΔJ .

Badania modelowe wykonano na zmodernizowanej maszynie tarciowej UMT-2168, w złożonych warunkach wymuszeń – według przedstawionej koncepcji przyniosły rezultaty przedstawione w tabeli 2 [8].

Tab. 2. Wartości zużycia dla całościowego procesu przy zmiennym czynniku ściernym

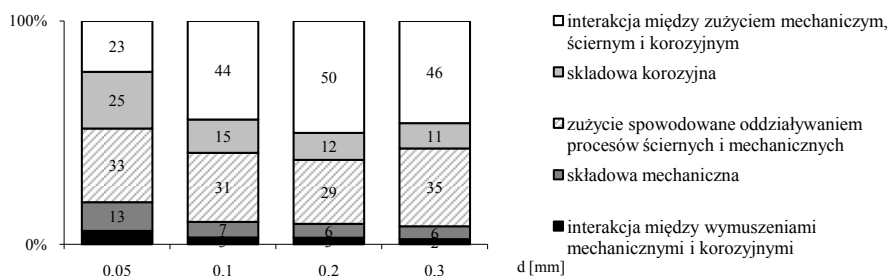
Tab. 2. Wear value for the complete process at the variable abrasive factor

4% H ₂ SO ₄	d = 0,05 mm		d = 0,1 mm		d = 0,2 mm		d = 0,3 mm	
	I [g]	[%]	I [g]	[%]	I [g]	[%]	I [g]	[%]
I _M	0,0030	13	0,0030	7	0,0030	6	0,0030	6
I _{CS}	0,0079	33	0,0122	31	0,0141	29	0,0181	35
I _K	0,0058	25	0,0058	15	0,0058	12	0,0058	11
I _{AKM}	0,0013	6	0,0013	3	0,0013	3	0,0013	2
ΔJ	0,0053	23	0,0174	44	0,0250	50	0,0238	46
I _C ^E	0,0233	100	0,0397	100	0,0492	100	0,0520	100

Zestawione w tabeli 2 rezultaty wyników badań, jak i obliczeń zostały przedstawione w postaci wykresów słupkowych (histogramów), które stanowią interpretacyjne modele graficzne zmian udziałów procentowych składowych zużycia całkowitego.

Z przedstawionego modelu (rys. 2) wynika, iż udział składowej będące wynikiem jednoczesnego oddziaływania mechanicznego i ściernego stanowią przeciętnie około 1/3 globalnego zużycia oraz składowa sumaryczna oddziaływań interakcyjnych mechaniczno – ściernie – korozyjnych, kształtuje się w większości przypadków w zakresie 40 – 50%.

Zatem spośród rozpatrywanych oddziaływań niszczących dominującą rolę odgrywają procesy ściernie oraz ich interakcyjne współoddziaływania ściernie – mechaniczne, ściernie – korozyjne oraz ściernie – korozyjno – mechaniczne.



Rys. 2. Wartości składowych zużycia dla procesu zużycia przy zmiennych oddziaływaniach ścierniwa

Fig. 2. Values of composition wear for the wear process at variable abrasive material interactions

USZKODZENIA W BRANŻY CUKROWNICZEJ

Jednymi z najbardziej podatnymi na złożone warunki destrukcyjne są linie ekstrakcyjne w branży cukrowniczej [5].

Na rzeczywistych obiektach linii ekstrakcyjnej w cukrowni, dokonano analizy i pomiarów zużycia. Celem badań było określenie rodzaju oraz intensywności zjawisk destrukcyjnych występujących w wybranych elementach maszyn i urządzeń branży cukrowniczej.

Występowanie procesów destrukcyjnych

W przypadku urządzeń linii ekstrakcyjnej pracujących w specyficznych warunkach środowiskowych trudne jest jednoznaczne określenie jednego zasadniczego procesu niszczącego. Zaobserwowane skutki złożonych oddziaływań przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Zużycie ścierno – korozyjne elementu pompy wysłokków [2]

Fig. 3. Abrasive – corrosive wear of the element of the pulp pump [2]

Część powstałych uszkodzeń elementów linii ekstrakcyjnej cukrowni, podzielono pod względem dominacji występowania procesów mechanicznych, ściernych i korozyjnych (tabela 3).

Tab. 3. Uszkodzenia linii ekstrakcyjnej, wraz z rodzajem uszkodzenia [2]

Tab. 3. Damages of the extraction line together with the damage kind [2]

uszkodzenia mechaniczne			
Poszycie platerowe za- parzacza	Ślimak prasy wysłokowej	Czołowe sito odciągowe zaparzacza	Sito prasy wysłokowej
			
Zerwanie poszycia	Zgięcie zwoju	Przerwanie sita	Wyrwanie sita
uszkodzenia ścierne			
tuleja uszczelnienia pompy wysłoków	przenośnik ślimakowy wysłoków	ślímaki pras wysłokowych	
			
Tarcie w miejscu kontaktu z uszczelnieniem	oddziaływanie ścierniwa – piasku i wysłoków	Oddziaływanie ścierniwa – piasku i wysłoków	
uszkodzenia korozyjne			
Kanał przenośnika ślimakowego wysłoków	Konstrukcja zaparzacza (pod warstwą plateru)	Kosz sitowy prasy wysłokowej	Sprzęgacz prasy wysłokowej
			

W tabeli 4 zestawiono uszkodzenia eksploatacyjne urządzeń linii ekstrakcyjnej, przyczyn oraz ich mechanizm powstawania.

Tab. 4. Uszkodzenia eksploatacyjne urządzeń linii ekstrakcyjnej, przyczyny

Tab. 4. Service damages of extraction line devices, reasons

Lp.	Urządzenie	Część, element	Uszkodzenie	Przyczyna uszkodzenia	Mechanizm powstawa-nia uszkodzenia
1.	Zaparzacz	listwy wału przenoszenia	wytarcia, rysy	piasek, krajanka, zanieczyszczenia	zużycie ściernie
			zgięcia, pęknięcia	wysoka temperatura, oddziaływania mechaniczne	pęknięcie zmęczeniowe
		elementy konstrukcji	ubytki materiału	sok dyfuzyjny, H_2SO_4 , wysoka temperatura	korozja elektrochemiczna
2.	Ekstraktor	konstrukcja	ubytki materiału	sok dyfuzyjny, H_2SO_4 , woda poprasowa	korozja elektrochemiczna
		ślimak wyładowczy	wytarcie	krajanka, piasek, zanieczyszczenia	zużycie ściernie
3.	Przenośnik ślimakowy	wstęga ślimaka	wytarcie	krajanka, piasek	zużycie ściernie
		elementy konstrukcji	ubytki materiału	krajanka, piasek, zanieczyszczenia	zużycie ściernie, ściernie korozyjne, korozja
4.	Prasy wysłodkowe	wstęgi ślimaków pras	wytarcie, odkształcenia	krajanka, piasek	zużycie ściernie
		kosz sitowy	ubytki materiału, wżery miejscowe	woda poprasowa, jej opary	korozja elektrochemiczna
		konstrukcja	ubytki materiału	pary wody popasowej, woda	korozja elektrochemiczna, atmosferyczna

POMIARY ZUŻYCIA W LINII EKSTRAKCYJNEJ

W miejscach największych oddziaływań procesów destrukcyjnych, związanych ze środowiskiem procesu ekstrakcji, dokonano szczegółowych pomiarów zużycia podczas jednej kampanii, za pomocą mikromierza MMZB o dokładności 0,01 mm [2]. Miejsca pomiarów zostały wybrane na podstawie wcześniejszych obserwacji i analizy jako obszary, w których jest największe oddziaływanie środowiska procesu ekstrakcji [5].

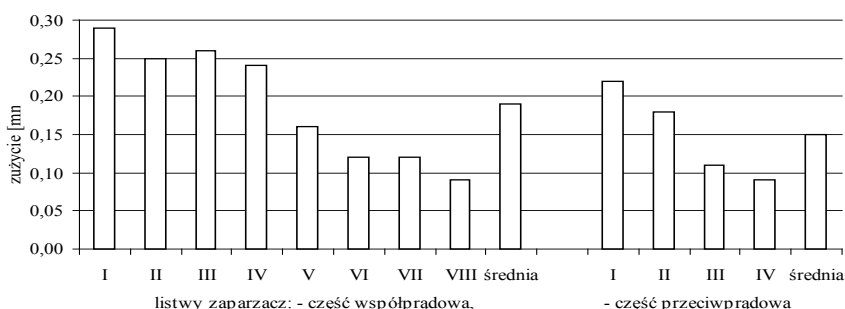
Jako punkty pomiarowe zostały wybrane następujące miejsca:

- listwy wału transportowego przeciwprądowego zaparzacza wysłodków (Zaparzacz składa się z części przeciwprądowej i współprądowej. W części przeciwprądowej są dwa rzędy wstęp, w pierwszym rzędzie jest 8 listw a w drugim 4 listwy. W części współprądowej występują cztery rzędy wstęp z dwoma rodzajami listw: listwy środkowe oraz listwy skrajne. Dokonano 4 pomiarów na każdej listwie, czyli 72 pomiary);
- zwoje ślimaka wyładowczego ekstraktora (Wysłodki z ekstraktora trafiają do 8 pras ustawionych szeregowo za pośrednictwem przenośnika ślimakowego. Wykonano po 3 pomiary na zwoju ślimaka w czterech miejscach na długości – 12 pomiarów);

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż pomiary dokonywane w obrębie tych samych urządzeń, narażonych na takie same oddziaływania, wartości zużycia nie są identyczne.

Średnie zużycie listew w zaparzaczu wynosi ok. 2 mm (podczas jednej kampanii średnio 0,17 mm, a maksymalnie nawet 0,30 mm).

Listwy zewnętrzne zaparzacza mają większe zużycie niż listwy wewnętrzne. W drugim rzędzie zużycie jest mniejsze niż w pierwszym. Biorąc pod uwagę listwy skrajne części przeciwpądowej oraz listwy skrajne w części mieszającej można stwierdzić, że w zużycie jest porównywalne (rys. 4).

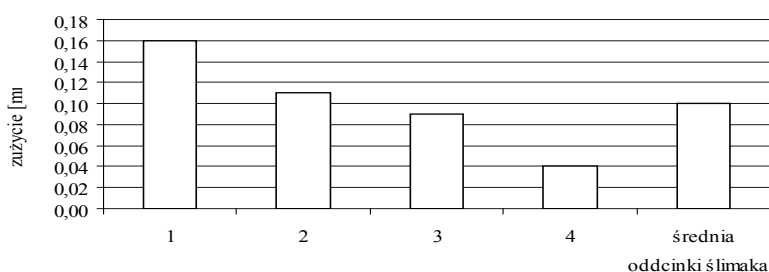


Rys. 4. Porównania wielkości zużycia w zaparzaczu

Fig. 4. Comparable wear value in the boiler

Na podstawie otrzymanych wyników zauważyć można, iż zróżnicowany charakter zużycia elementów zaparzacza jest skutkiem innych oddziaływań w różnych miejscach pomiarowych.

Na listwy skrajne trafia bezpośrednio strumień krajanki oraz listwy te poruszają się w obszarze dna zaparzacza, gdzie występuje najwięcej piasku, który stanowi materiał ścierny.



Rys. 5. Wartości zużycia przenośnika ślimakowego

Fig. 5. Worm conveyor wear values

Z uzyskanych badań wyraźnie wynika, iż zużycie wstęg ślimaka jest tym większe im większa jest ilość transportowanego medium – krajanki (rys. 5). W odcinku początkowym, który przenosi całą ilość wysłódków z ekstraktora wartości zużycia są prawie czterokrotnie wyższe niż w odcinku końcowym, który transportuje już tylko niewielką część wysłódków.

Po przeprowadzonej analizie wyników badań można stwierdzić, iż głównym procesem destrukcyjnym powodującym zużycie w badanych obiektach jest zużycie wywołane przez materiał ścierny (wysłódki, piasek, zanieczyszczenia twarde).

PODSUMOWANIE

W przypadku linii ekstrakcyjnej, można twierdzić, że pojawiające się zużycie całkowite ma charakter synergiczny to znaczy, że zużycie wzrasta w wyniku połączenia kilku oddziaływań. Przedstawione w pracy wyniki badań wskazują, że elementy linii ekstrakcyjnej ulegają zużyciu pod wpływem jednoczesnego oddziaływania wymuszeń mechanicznych, ściernych i korozyjnych.

LITERATURA

1. 1. Burstein G.T., Sasaki K.: Effect of impact angle on the slurry erosion – corrosion of 304L stainless steel. *Wear* 240/2000, 80 – 94.
2. 2. Jadanowski B.: Systemy regeneracji instalacji ekstrakcyjnych w przemyśle cukrowniczym, Praca magisterska 2008. Politechnika Poznańska, MRiT, Poznań (promotor P. Tyczewski)
3. 3. Kwok C.T., Cheng F.T., Man H.C.: Synergistic effect of capitation erosion and corrosion of various engineering alloys in 3.5 % NaCl solution. *Materials Science and Engineering* 2000, A290, 145 – 154.
4. 4. Nadolny K., Tyczewski P.: Specyfika zużycia elementów urządzeń w cukrowniach. XXII Jesienna Szkoła Tribologiczna. Materiały konferencyjne. Ustroń 1998, 233 – 238.
5. 5. Nadolny K., Tyczewski P.: Czynniki wpływające na zużycie cierne i korozyjne w maszynach przemysłu cukrowniczego Mat. konf. IX konferencja naukowo-techniczna Budowa i eksploatacja maszyn przemysłu spożywczego, Opole 2000, 245 – 251.
6. 6. Nadolny K., Tyczewski P.: Experimental study of process abrasive – corrosive. *Functional Surfaces*, Trencin 2002, s. 110 – 115.
7. 7. Tsai Wen-Ta, Huang Tsung-Min: Abrasion and dissolution interaction of Al in a phosphoric acid solution. *Thin Solid Films* 379/2000, 107 – 113.
8. 8. Tyczewski P.: Rozprawa doktorska 2002, Politechnika Poznańska MRiT, Poznań
9. 9. Watson S.W., Friedersdorf F.J., Madsen B.W., Cramar S.D. Methods of measuring wear – corrosion synergism. *Wear* 181-183/1995, 476 – 484.
10. 10. Zheng Y.G., Yao Z.M., Ke W.: Erosion – corrosion resistant alloy development for aggressive slurry flows. *Materials Letters* 46/2000, 362 – 368.

COMPLEX CONDITIONS OF MECHANICAL- ABRASIVE-CORROSIVE WEAR OCCURRING IN SUGAR FACTORIES

Abstract. This paper presents interpretive wear models ideas including mechanical, abrasive and corrosive forcing. In order to get acquainted with quantitative relations of simultaneous occurring destructive processes the cognitive experimental tests have been carried out. They involved wear measurements on real objects of the extraction line in a sugar factory.

Key words: experimental tests, abrasive and corrosive wear.