

PATENTOVÝ SPIS

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2011-665**
(22) Přihlášeno: **18.10.2011**
(40) Zveřejněno: **10.10.2012**
(Věstník č. 41/2012)
(47) Uděleno: **29.08.2012**
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **10.10.2012**
(Věstník č. 41/2012)

(11) Číslo dokumentu:

303 481

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:
G01M 13/02 (2006.01)
F16H 3/00 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:

CN 2116896 U; CN 201653713 U; JP 2002286585 A.

(Sledování množství otěrových kovů v mazacích olejích, přednáška na semináři Tribotechnika v provozu a údržbě, Ing. M. Holec a kol. [http://www.crc.cz/data/publications/sledovani_oterovych_kovu_v_mazacich_olejich.pdf], 2.11.2010.

(73) Majitel patentu:

Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ

(72) Původce:

Mazůrek Ivan Doc. Ing. CSc., Brno, CZ

(74) Zástupce:

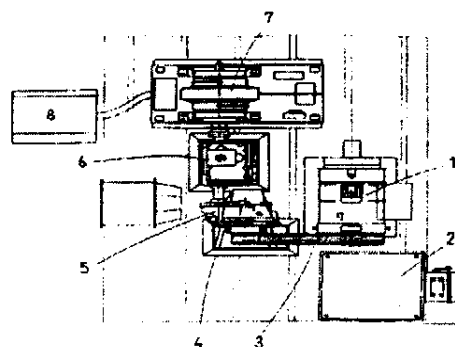
Ing. Libor Markes, Grohova 54/145, Brno, 60200

(54) Název vynálezu:

**Způsob stanovení míry opotřebení převodovky
a zařízení k provádění tohoto způsobu**

(57) Anotace:

Míra opotřebení převodovky (5) podle obsahu otěrových částic v olejové náplni se stanoví tak, že se nejprve v reálném provozu vozidla zjistí zátěžové spektrum pro každý převodový stupeň, tj. počet otáček vykonaných tímto stupněm v po sobě následujících intervalech hodnoty krouticího momentu přeneseného tímto stupněm vztaženo na jednotku dráhy vozidla, čímž se získá poměrná hodnota práce přenesené stupněm v jednotlivých intervalech - momentových hladinách. Pro jednotlivé stupně se sestaví náhradní zátěžové bloky tak, že se vybere jedna kladná a jedna záporná momentová hladina s největší převedenou prací a do ní se připočte práce všech ostatních momentových hladin se stejným znaménkem. Sestava takto vytvořených dílčích zátěžových bloků pro jednotlivé stupně vytvoří souhrnný zátěžový blok pro převodovku, určí se délka souhrnného zátěžového bloku odpovídající zvolené dráze vozidla nebo přenesené práci, na zkušebním standu s reverzibilním pohonem a brzdícím zařízením se testovaná převodovka provozuje tak, že se při konstantních otáčkách v hodnotě 0.5 až 0.8 maximálních otáček podrobuje zatížení po sobě následujícími zátěžovými bloky, přičemž mezi jednotlivými zátěžovými bloky, vždy ihned po jejich ukončení, se z převodovky odeberou vzorky olejové náplně, které se podrobí analýze ke zjištění koncentrace částic železa v jednotlivých fázích zkoušky. Příslušné zařízení je tvořeno stejnosměrným hnacím motorem (1) s tyristorovým regulátorem (2) otáček, redukční převodovkou (6), zkušebním stojanem (4) s hnacím větvenem, na který se upíná zkoušená převodovka (5) a dále vířivým dynamometrem (7) propojeným s regulátorem (8) momentu.



CZ 303481 B6

Způsob stanovení míry opotřebení převodovky a zařízení k provádění tohoto způsobu

Oblast techniky

5

Vynález se týká způsobu stanovení míry opotřebení převodovky podle obsahu otěrových částic v olejové náplni a zařízení k provádění tohoto způsobu.

10

Dosavadní stav techniky

Provozní zkoušky převodovek testují skutečný agregát v běžném provozu. Je to spojeno se značnými provozními náklady při poměrně nízké zkušební produktivitě. Další nevýhodou provozních zkoušek je při jejich omezeném počtu nízká statistická významnost výsledků. Chyba může být vnesena nejen rozptylem provozních podmínek, ale zejména rozptylem vstupních technologických parametrů. Při sledování opotřebení může například rozdíl v počátečních podmínkách způsobený nepřesnostmi výroby, tepelného zpracování i montáže překrýt očekávaný vliv různých maziv.

20

Oproti tomu laboratorní modelové zkoušky využívají typizované převodovky (např. FZG). Jejich hlavní výhodou je vysoká produktivita a velmi dobrá reprodukovatelnost výsledků. Systém zkoušky většinou umožňuje sledovat závislost výsledku na změně jediného vstupního parametru. Pozitivně se zde projevuje možnost zkrácení zkoušky preferováním té části zátěžového spektra, která sledované účinky ovlivňuje nejvíce. Otázkou je, jak dalece odpovídají zkušební podmínky standardizovaných zkoušek provozním podmínkám skutečným. Vynález si klade za úkol navrhnout způsob laboratorní zkoušky opotřebení převodovky, který by co nejvíce odpovídal reálným provozním podmínkám a přinášel výsledky s maximální výpovědní schopností.

30

Podstata vynálezu

Uvedený úkol řeší způsob stanovení míry opotřebení převodovky podle obsahu otěrových částic v olejové náplni, jehož podstata spočívá v tom, že se nejprve v reálném provozu vozidla zjistí zátěžové spektrum pro každý převodový stupeň, tj. počet otáček vykonaných tímto stupněm v po sobě následujících intervalech hodnoty krouticího momentu přenášeného tímto stupněm vztaženo na jednotku dráhy vozidla, čímž se získá poměrná hodnota práce přenesené stupněm v jednotlivých intervalech – momentových hladinách, načež se sestaví pro jednotlivé stupně náhradí zátěžové bloky tak, že se vybere jedna kladná a jedna záporná momentová hladina s největší převedenou prací a do ní se připočte práce všech ostatních momentových hladin se stejným znaménkem, přičemž sestava takto vytvořených dílčích zátěžových bloků pro jednotlivé stupně vytvoří souhrnný zátěžový blok pro převodovku, určí se délka souhrnného zátěžového bloku odpovídající zvolené dráze vozidla nebo přenesené práci, na zkušebním standu s reverzibilním pohonem a brzdovým zařízením se testovaná převodovka provozuje tak, že se při konstantních otáčkách v hodnotě 0,5 až 0,8 maximálních otáček podrobuje zatížení po sobě následujícími zátěžovými bloky, přičemž mezi jednotlivými zátěžovými bloky, vždy ihned po jejich ukončení, se z převodovky odeberou vzorky olejové náplně, které se podrobí analýze ke zjištění koncentrace částic železa v jednotlivých fázích zkoušky.

50

Ke zpřesnění výsledků se koncentrace částic železa ve vzorcích koriguje započtením poměrné části částic odebraných v předchozích vzorcích a částic usazených na stěnách převodovky a rovněž se zohlední rozvrstvení částic v olejové náplni.

Ke zjištění středního nárůstu koncentrace částic železa během zkoušky je výhodné podrobit hodnoty koncentrace regresní analýze.

55

Zařízení k provádění způsobu podle nároku 1 je tvořeno stejnosměrným elektromotorem s tyristorovou regulací otáček a převodovou skříní a dále vířivým dynamometrem propojeným s regulátorem momentu.

5

Přehled obrázků na výkresech

Vynález bude dále objasněn pomocí výkresu, na němž obr. 1 představuje schéma sestavení zátěžového bloku pro 3. stupeň příkladné převodovky, obr. 2 je vývojový diagram iteračního procesu ke korekci zohledňující rozvrstvení částic v olejové náplni, obr. 3 představuje porovnání vývoje koncentrace částic železa zjištěné ve vzorcích s vypočtenou průměrnou koncentrací v náplni, na obr. 4 je průběh koncentrací částic podrobený regresní analýze a na obr. 5 je schéma zkušebního zařízení.

15

Příklady provedení vynálezu

Způsob stanovení míry opotřebení podle vynálezu byl aplikován na pětistupňovou převodovku osobního automobilu. Na základě zkušeností byla pro test převodovky určena délka celé zkoušky odpovídající ujetí 25 000 km. Jako podklad pro sestavení náhradního zatížení bylo použito jednotkové otáčkové spektrum vytížení hnacího ústrojí při jízdě automobilu. Toto spektrum bylo získáno při jízdě na zkušební dráze a představuje počty otáček v jednotlivých momentových intervalech/hladinách přepočtené na 1 km zkušební dráhy. V tabulce 1 je uvedeno toto spektrum pro každý z 5 převodových stupňů rozdělené do 17 momentových hladin podle velikosti vstupního momentu převodovky.

Hl.	M_i (Nm)	1. p. st.	2. p. st.	3. p. st.	4. p. st.	5. p. st.
17	160.0	0.00	0.00	0.15	0.26	0.57
16	144.0	0.01	0.48	0.97	0.52	0.11
15	128.0	0.18	0.34	0.97	0.74	0.23
14	112.0	1.02	0.86	5.22	2.88	2.25
13	96.0	3.01	36.89	215.42	85.05	162.41
12	80.0	12.24	110.26	235.86	24.49	159.51
11	64.0	16.74	48.07	15.31	6.16	40.31
10	48.0	4.51	39.14	5.02	79.51	14.24
9	32.0	2.83	32.25	13.55	59.14	11.44
8	16.0	3.55	87.56	236.11	72.12	22.00
7	0.0	3.84	62.47	80.07	95.94	5.76
6	-16.0	12.03	65.44	117.84	92.07	4.62
5	-32.0	1.27	15.72	8.16	52.94	0.13
4	-48.0	0.03	2.54	1.17	27.19	0.00
3	-64.0	0.00	0.25	2.83	6.24	0.02
2	-80.0	0.00	0.00	0.15	0.05	0.03
1	-96.0	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
Suma otáček		51.36	500.47	938.83	606.40	433.63
Dráha (km)		0.009	0.114	0.328	0.288	0.264
Čas (s)		1.234	7.554	15.014	11.100	9.409

Tab. 1

Následně byl ze zátěžových spekter jednotlivých převodových stupňů sestaven pro každý stupeň zátěžový blok. Na obr. 1 je graficky znázorněno zátěžové spektrum pro 3. převodový stupeň podle hodnot z tabulky 1. Na ose x jsou vstupní krouticí momenty na převodovce resp. sled momentových hladin. Šířka sloupce histogramu je dána zvolenou hodnotou hladiny, tedy intervaly vstupního krouticího momentu a výška počtem otáček na 1 km dráhy. Plocha sloupce tedy představuje práci přenesenou na dané momentové hladině, tj. v daném rozmezí momentů.

Rychlostní stupeň není namáhán jen při akceleraci a ustáleném pohybu vozidla – kladná část spektra, nýbrž i při brzdění motorem – záporná část spektra. Při sestavování zátěžového bloku je třeba zohlednit obě části spektra, takže zátěžový blok bude mít dvě části. Zátěžový blok je znázorněn na obr. 1 šrafovanými plochami. Dospělo se k němu tak, že se vybrala jedna kladná a jedna záporná momentová hladina s největší převedenou prací a do ní se připočetla práce všech ostatních momentových hladin se stejným znaménkem. Zátěžový blok znázorněný šrafovanou oblastí tak představuje náhradu práce celého spektra přepočtenou na hladinu resp. hladiny přenášející největší procento celkové práce v kladném i záporném smyslu.

Zátěžový blok navržený tímto postupem je tedy pro každý převodový stupeň dvouhladinový, jedna hladina je s kladnou a jedna se zápornou hodnotou krouticího momentu. Protože práce převedená prvním převodovým stupněm představuje pouze 2,5 % z celkové převedené práce, je tento převod ze zátěžového bloku vyřazen (H-1, H+1). Ze stejných důvodů je vypuštěna záporná hladina pátého převodového stupně (H-5). Řazením zátěžových bloků jednotlivých rychlostních stupňů za sebou byl vytvořen souhrnný zátěžový blok pro celou převodovku.

Velký význam pro urychlení zkoušky má volba zkušebních otáček. S ohledem na růst vnitřních dynamických sil byly jako mezní přijaty otáčky rovnající se 3/4 maximálních otáček motoru. V konkrétním případě testované převodovky to představuje frekvenci otáčení 3900 n/min.

Bylo také nutno vyřešit problém délky (celkové práce) jednoho zátěžového bloku. Snaha o získání co největšího množství dat k jedné zkoušce vede ke stanovení poměrně krátkých zátěžových bloků a vyšší hustotě odebrání vzorků oleje. To ovšem vyvolává značné nároky na obsluhu, protože zkušební doby na jednotlivých hladinách jsou poměrně krátké. Snaha o kompromis v tomto směru vedla k vytvoření zátěžového bloku odpovídajícího 2500 km, což podle naměřeného otáčkového spektra odpovídá převedení práce ve výši asi 1900 MJ. Jeho rozpis pro zkoušenou převodovku je v tabulce 2.

Hladina bloku	Hladina ot. sp.	M (Nm^1)	Prev. st.	Čas (h)	Práce (MJ)
H+2	12	80	2	2.5	294
H+4	13	95	4	2.0	258
H+5	13	95	5	3.5	508
H-4	5	-32	4	1.5	71
H-2	5	-15	2	1.0	24
H-3	6	-15	3	1.5	35
H+3	13	95	3	5.0	705

Tab. 2

Popsaný postup při sestavení zátěžového bloku vychází z těchto poznatků a úvah:

Převodovka je na zkušebním stavu zatěžována při konstantních otáčkách cyklicky se opakujícími zátěžovými bloky, jejichž účinek je adekvátní v provozu zjištěnému momentovému spektru. Hodnota zkušebních otáček má pochopitelně velký význam pro urychlení zkoušky. S ohledem na růst vnitřních dynamických sil však nemohou být použity větší zkušební otáčky, než jsou maximální provozní. Urychlení zkoušky lze dosáhnout při sestavování náhradního zatížení tím, že se přihlédne k fyzikální podstatě vzniku opotřebení ozubených kol. Metoda výpočtu opotřebení ozubených kol s pomocí hodnoty lineární intenzity opotřebení I_h je rozpracována v [1]. Mírou relativního prokluzování profilů zubů jsou tzv. měrné skluzy ϑ , které se rovnají poměru skluzové rychlosti v bodě doteku k tečným složkám obvodových rychlostí v tomto bodě. Tloušťka opotře-
bené vrstvy u soukolí ze stejného materiálu za dobu t potom bude:

$$h_o = 3,2 \cdot I_h \cdot \sqrt{w'_{Ht} \cdot \frac{1-v^2}{E} \cdot \rho_{pr} \cdot \vartheta \cdot n \cdot t}, \quad (1),$$

kde w'_{Ht} je měrná výpočetní síla na bok zubu, E modul pružnosti, v je hodnota Poissonovy konstanty ρ_{pr} je vstupní poloměr křivosti kontaktních ploch, n je frekvence otáčení a i je součinitel vícepárového záběru kola. Měrnou výpočetní sílu na bok zubu lze vyjádřit vztahem:

$$w'_{Ht} = \frac{2 \cdot M_l \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hv}}{b_w \cdot d_{wl} \cdot \cos \alpha_{wt} \cdot \cos \beta}, \quad (2),$$

kde M_l je hnací moment, $K_{H\alpha}$ součinitel podílu zatížení jednotlivých zubů, $K_{H\beta}$ součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubu, K_{Hv} součinitel vnitřních dynamických sil, b_w pracovní šířka ozubení, d_{wl} valivý průměr hnacího kola, α_{wt} valivý záběrový úhel v čelní rovině a β je úhel sklonu ozubení. Při konstrukci náhradního zatížení, tzv. zátěžového bloku, je cílem sestavit při konstantních vstupních otáčkách takový sled zátěžových hladin, který způsobí v co nejkratší době stejné opotřebení převodovky jako reálný zátěžový cyklus. Jako podklad je vhodné použít naměřené jednotkové otáčkové spektrum zatížení převodovky. Například u hnacího ústrojí osobního automobilu může být toto spektrum získáno při jízdních zkouškách na vhodně zvolené zkušební dráze [2]. Při náhradě reálného zatížení zkušebním blokem lze předchozí vztahy formálně zjednodušit na tvar:

$$h_o = I_h \cdot K_l \cdot \sqrt{M_l} \cdot n \cdot t, \quad (3),$$

kde K_l představuje obecně závislost na kinematice záběru. Součinitel I_h lze vyjádřit jako:

$$I_h = \frac{\sigma_H}{HB} \cdot K_2, \quad (4),$$

kde HB je tvrdost boku zubu podle Brinella, K_2 vyjadřuje závislost na parametrech charakterizujících kvalitu mazání a σ_H je kontaktní tlak v ozubení:

$$\sigma_H = K_3 \cdot \sqrt{M_l}, \quad (5),$$

když K_3 vyjadřuje závislost kontaktního tlaku na geometrických poměrech v kontaktu. Je-li potom K_4 funkce nezávislá na M_l , n a t lze výše uvedené shrnout do vztahu:

$$h_o = \frac{K_l \cdot K_2 \cdot K_3}{HB} \cdot M_l \cdot n \cdot t = K_4 \cdot M_l \cdot n \cdot t = K_4 \cdot A. \quad (6).$$

5 Opotřebení převodu je tedy úměrné práci A převodem převáděné. Náhradní zátěžový blok byl sestaven tak, aby pro každý převodový stupeň (u vícestupňových převodovek) obsahoval pouze dvě zátěžové hladiny při konstantních otáčkách (jednu v zátěžovém a druhou v brzdném smyslu zatížení). Vybrána je vždy momentová hladina s největší převedenou prací, do které se připočte práce všech ostatních momentových hladin. To velmi urychlí zkoušku, protože odpadnou dlouhé fáze s malým hnacím momentem. Postupné střídání těchto bloků pro všechny převodové stupně tak bude působit stejné opotřebení všech ozubených kol jako reálný provoz převodovky.

10 Znečištění oleje otěrovými částicemi při zkoušce způsobují především ozubení kola a tvoří je v naprosté většině částice železa. Protože jsou zátěžové bloky krátké, musí být metoda citlivá, ale z provozních důvodů nesmí být příliš nákladná. Ideální je proto analyzátor pracující na principu atomové absorpční spektrometrie (AAS), který je běžnou součástí tribotechnických laboratorí. Výhodou je, že hořák analyzátoru spaluje i směs s poměrně velkými otěrovými částicemi
15 ($<10\ \mu\text{m}$).

Vždy po absolvování jednoho zátěžového bloku je proveden vzorkovací odběr. Množství odebraného oleje je důležitou volbou. Za odebíraný objem je nutno neustále doplňovat čerstvý olej, takže je tímto procesem narušeno modelování skutečných provozních podmínek. Je tedy snaha
20 toto množství minimalizovat. Na druhé straně však metody analýzy exploatovaného oleje vyžadují konkrétní minimální objem.

Velmi významně závisí výsledek zkoušky na zjištění vzorků oleje po ukončení zkoušky. Celá náplň je po odebrání posledního vzorku vypuštěna z převodovky, poté promíchána a odebrán vzorek. Vypouštění má být prováděno se snahou, aby v převodovce zbylo co nejméně reziduálního oleje. Ještě za provozní teploty je skříň naplněna odmašťovadlem a za pomalého protáčení
25 proplachována. Po vypuštění je skříň demontována a vymyta znovu v lázni odmašťovadla. Po odpaření odmašťovadla v digestoři jsou tyto úsady naředěny známým množstvím čistého oleje a rovněž analyzovány na otěr.

30 Nejjednodušším modelem experimentu by bylo po odejití jistého počtu zátěžových cyklů podrobit analýze vypuštěnou olejovou náplň i vymyté úsady. V tomto případě však nelze ve výsledcích podchytit různou intenzitu tvorby otěrových částic v jednotlivých etapách zkoušky (např. fázi záběhu). V případě havárie převodovky v závěru experimentu jsou prakticky znehodnoceny
35 výsledky časově i ekonomicky velmi nákladného procesu. Z těchto důvodů bylo přistoupeno ke vzorkování olejové náplně v průběhu experimentu. Pravidelné vzorkování olejové náplně také poskytuje vyšší počet naměřených hodnot a zvyšuje tak statistickou významnost vyhodnocení zkoušky, kterou často nelze opakovat.

40 S ohledem na skutečnost, že analýza odebraných vzorků popisuje pouze stav olejové náplně, nikoliv usazeniny a odběry předchozích vzorků, je nutno v metodice zohlednit usazování a odebrání otěrových částic. Základními příčinami odlučování otěru z oleje jsou usazovací procesy na pohyblivých a pevných dílech převodovky, mající za následek přilnutí částic zejména na nepohyblivých dílech. Magnetická separace se při experimentu neprojevuje, protože magnetický separátor částic musí být před zkouškou vždy odstraněn.
45

Pro stanovení závislosti mezi generovaným množstvím otěrových částic a jeho dispergovaného podílu je potřebné definovat následující zjednodušující předpoklady:

- 50
- otěrové částice mezi sebou navzájem nereagují, tj. nevytvářejí se chemické sloučeniny ani aglomeráty částic,
 - neuvažují se ztráty v náplni (únik netěsnostmi, opal atd.) exploatovaného oleje,

- výše uvedené procesy odlučování částic jsou proporcionální počtu částic v mazivu a tato proporce je neměnná v průběhu celé zkoušky,
- ve výše uvedeném smyslu je předpokládáno chování částic všech sledovaných velikostí $\ll 5 \mu\text{m}$.

Je-li za časový úsek $\Delta\tau$ vyprodukováno množství částic o stejné hmotnosti m_x a z původní hmotnosti m_z částic v oleji se odloučil α -tý díl, je nová hmotnost částic dispergovaných v oleji za úsek $\Delta\tau$.

$$m_1 = m_z \cdot (1 - \alpha) + m_x \quad (7)$$

Bude-li produkce otěrových částic při konstantním momentovém zatížení neměnná, bude v čase $t \cdot \Delta\tau$ množství volného otěru v oleji:

$$m_t = m_z \cdot (1 - \alpha)^t + m_x \cdot \frac{1 - (1 - \alpha)^t}{\alpha} \quad (8)$$

Za předpokladu, že zkouška nebude narušena vzorkováním, je možno tedy ze znalosti dispergovaného množství otěru v oleji po zkoušce m_q , počátečního znečištění m_z a množství vymytého ve formě usad m_u vyjádřit hmotnost vyprodukovaného otěru:

$$m_c = m_q + m_u - m_z \quad (9)$$

Množství vyprodukovaných částic, nacházejících se neusazených v oleji bude:

$$m_d = m_q - m_z \cdot (1 - \alpha)^t \quad (10)$$

Nyní je možné stanovit intenzitu produkce částic m_x za časový úsek $\Delta\tau$.

$$m_x = \frac{m_c}{t} \quad (11)$$

a dosud neznámý součinitel odlučování α :

$$\alpha = \frac{m_c \cdot (1 - (1 - \alpha)^t)}{t \cdot m_d} \quad (12)$$

Tento implicitní vztah lze řešit numerickou iterací a je jádrem analytického programu, který simuluje rozvoj opotřebení při zkouškách, které se mohou výrazně lišit v časové ose. Pokud nastane situace, že není známa hmotnost usazených (vymytých) částic opotřebení, lze na základě znalosti součinitele α z předchozích experimentů stanovit:

$$m_x = \frac{\alpha \cdot m_d}{1 - (1 - \alpha)^t} \quad (13)$$

Zavedeme-li z praktických důvodů pojmy průměrné koncentrace otěrových částic $\bar{N} = m/V_L$, a měrné intenzity zvyšování koncentrace částic $X = m_x/V_L$, kde V_L je celkový objem oleje v převodovce, budou platit výše uvedené vztahy i po naměřené koncentraci (s tím rozdílem, že hodno-

ta X bude mít jiný rozměr než m_x). $\bar{N}_u$ je v tomto případě fiktivní koncentrace představující hmotnost zvážených úsad přepočtenou na objem olejové lázně.

Při vzorkování znečištění olejové náplně je odebráno reprezentativní množství V_v oleje a je zjišťována koncentrace nečistot $\bar{N}$. Olejový systém převodovky je po odběru ihned doplněn stejným množstvím čistého maziva. Celková koncentrace znečištění v převodovce $\bar{N}$ tedy poklesne na hodnotu $\bar{N}'$:

$$\bar{N}' = \bar{N} \cdot \left(1 - \frac{V_v}{V_L}\right) = \bar{N} \cdot (1 - i_v), \quad (14),$$

kde i_v je poměr objemu vzorku a celkového objemu. Bylo-li v průběhu zkoušky provedeno q odběrů o různých koncentracích $\bar{N}_L$, je nutno toto odebrané množství otěru zohlednit jak v hodnotě vyprodukované koncentrace otěru:

$$\bar{N}_c = \bar{N}_q + \bar{N}_u - \bar{N}_z + i_v \cdot \sum_{L=1}^{q-1} \bar{N}_L = \bar{N}_q + \bar{N}_u - \bar{N}_z + i_v \cdot S_1, \quad (15),$$

tak jejího dispergovaného podílu:

$$\bar{N}_d = \bar{N}_q - (1 - a)^t \cdot \left(\bar{N}_z + i_v \cdot \sum_{L=1}^{q-1} \frac{\bar{N}_L}{(1 - a)^{t_L}} \right) = \bar{N}_q + (1 - a)^t \cdot (\bar{N}_z + i_v \cdot S_2), \quad (16),$$

kde t_L reprezentuje čas odběru vzorku měřený od počátku zkoušky. Další postup stanovení X a součinitele a je stejný.

Během zkoušky není intenzita produkce otěrových částic stále konstantní. Výrazně se mění v závislosti na vstupním točivém momentu při postupném střídání jednotlivých momentových hladin zátěžového bloku. Svůj vliv na proměnnost produkce otěru uplatní také různé provozní podmínky v průběhu zkoušky (záběh, havarijní stav). Má-li zůstat měrná intenzita zvyšování koncentrace částic X po celý experiment nezávislá na těchto vlivech, je nutno reálnou intenzitu generování otěru v každém úseku zkoušky X_i vyjádřit ve tvaru:

$$X_i = M_i \cdot k_z \cdot X, \quad (17),$$

kde M_i je hodnota hnacího momentu a mění se plánovitě několikrát mezi následujícími odběry, zatímco k_z je parametr charakterizující opotřebení mezi dvěma následujícími odběry a v tomto úseku bude pro zjednodušení považován za konstantní. Po zavedení indexování m , označující chronologické pořadí zátěžové hladiny zvyšující svou hodnotu při změně této hladiny, a index L , označující chronologické pořadí odběru. Index m dosahuje hodnot 1 až p , a L se pohybuje v intervalu 1 až q . Označíme-li odpovídající hodnoty M_{lm} a k_{zL} . Lze za předpokladu, že $t_p = t_q = t$, odvodit:

$$a = \frac{\bar{N}_c \cdot S_3 \cdot (1 - a)^t}{S_4 \cdot \bar{N}_d} \quad (18)$$

$$X = \frac{\bar{N}_c}{S_4} \quad (19)$$

pro známé $\bar{N}_c$ a $\bar{N}_d$. Známe-li pouze $\bar{N}_d$ a parametr a , potom:

$$X = \frac{a \cdot \bar{N}_d}{S_3 \cdot (1-a)^i}, \quad (20)$$

5 kde hodnoty S_3 a S_4 zohledňují proměnlivost produkce otěru:

$$S_3 = \sum_{\substack{m=p \\ L=q \\ m=1 \\ L=1}} M_{lm} \cdot k_{zL} \cdot ((1-a)^{-t_{m+1}} - (1-a)^{-t_m}) \quad (21)$$

$$S_4 = \sum_{\substack{m=p \\ L=q \\ m=1 \\ L=1}} M_{lm} \cdot k_{zL} \cdot (t_{m+1} - t_m) \quad (22)$$

10 Je nutno uvažovat s přesně danou časovou souvislostí mezi indexováním m a L . Po ukončení experimentu nejsou známy hodnoty součinitelů k_{zL} . V prvním kroku je tedy nutno při výpočtu X a parametru a použít odhadnutých hodnot ($k_{z1} = k_{z2} = \dots = k_{zq} = 1$) a poté přistoupit k vyčíslení součinitelů k_{zL} na základě naměřených koncentrací odebíraných vzorků.

15 Jsou-li v časech daných t_L a t_{L+1} vzorkováním naměřeny koncentrace $\bar{N}_L$ a $\bar{N}_{L+1}$, lze při znalosti a , X a časového průběhu změn M_{lm} (v časech daných t_m začínají momentové hladiny o M_{lm}) stanovit hodnotu k_{zL} mezi těmito odběry:

$$k_{zL} = \frac{a}{X} \cdot \frac{\bar{N}_{L+1} - \bar{N}_L \cdot (1-a)^{t_{L+1}-t_L}}{\sum_{m=L}^{m=L+1} \frac{M_{lm} \cdot (1 - (1-a)^{t_{m+1}-t_m})}{(1-a)^{t_{m+1}-t_m}}} \quad (23)$$

20 Nyní je možno znovu přikročit k opětovnému stanovení parametrů a a X . Iterační cyklus je nutno opakovat do splnění cílových podmínek. Je vhodné, vzhledem k závislosti X na a , dodatečně upravit po každém výpočtu součinitelů jejich velikost na hodnoty $k'_{zL} = c \cdot k_{zL}$, kde konstanta c je volena tak, aby při iteračních krocích docházelo pouze ke změnám parametru a (X zůstává neměnné). Má-li zůstat měrná produkce otěrových částic X po každé iteraci stejná, musí být koeficienty k_{zL} upraveny tak, aby i součet násobků $k_{zL} \cdot M_{lm} \cdot \Delta\tau$ pro celou zkoušku (představující celkovou převedenou práci) byl stále stejný. Konstantu c proto vypočteme ze vztahu:

$$c = \frac{\sum_{\substack{m=p \\ L=q \\ m=1 \\ L=1}} M_{lm} \cdot (t_{m+1} - t_m)}{\sum_{\substack{m=p \\ L=q \\ m=1 \\ L=1}} M_{lm} \cdot k_{zL} \cdot (t_{m+1} - t_m)} \quad (24)$$

30 Za provozu převodovky dochází k výraznému rozvrstvení otěrových částic v olejové náplni. Jde o dynamické rozvrstvení způsobené prouděním maziva ve skříní. Protože vzorek oleje je odebíráán vzorkovacím kohoutem vždy ze stejného prostoru skříně, je potřebné znát závislost mezi koncentrací částic N v tomto prostoru a průměrnou koncentrací $\bar{N}$ v celé náplni. Po myšlenkovém rozdělení olejového prostoru na k vrstev byl proto do matematického modelu zaveden souči-

nitel rozvrstvení b , který vyjadřuje, jaký podíl částic opotřeбенí z celkového množství ve vrstvě přestoupí za časový úsek $\Delta\tau$ do vrstvy následující.

- 5 V každé vrstvě se tedy za tento okamžik zvyšuje koncentrace o množství otěru vytvořeného třecími kontakty a o množství infiltrované ze sousední vrstvy. Současně však nastává úbytek vlivem odlučování a přechodem částic do vrstvy sousedící na druhé straně. Koncentraci j -té vrstvy v čase daném t_j -tým násobkem $\Delta\tau$ lze vyjádřit vztahem (pro $l < j < k$):

$$N_{i,j} = N_{i-l,j} \cdot (1 - a - b) + N_{i-l,j-l} \cdot b + X \quad (25).$$

10

Pro stanovení koncentrace pro $j=l$ a $j=k$ použijeme logických okrajových podmínek. První vrstva je charakterizována tím, že do ní nepřechází částice z žádné jiné vrstvy; bude tedy:

$$N_{i,l} = N_{i-l,l} \cdot (1 - a - b) + X \quad (26).$$

15

Poslední vrstva se vyznačuje tím, že z této oblasti již nemají částice kam přecházet a proto:

$$N_{i,k} = N_{i-l,k-l} \cdot b + X \quad (27).$$

20

Problém se řeší zejména z toho důvodu, že koncentrace N_l zjištěná ve vzorku odebraném v čase t_l zdaleka nemusí odpovídat průměrné koncentraci v tomto okamžiku $\bar{N}_l$. Za předpokladu, že na počátku zkoušky je disperze částic dostatečně homogenní (tedy $N_z = \bar{N}_z$), bude se rozdíl mezi nimi postupně zvětšovat. Většinou jsou známy obě hodnoty koncentrace při posledním odběru po ukončení zkoušky, kdy se průměrná koncentrace $\bar{N}_q$ vypočte z koncentrace odebraného vzorku N_q a koncentrace homogenizované vypuštěné lázně $\bar{N}'_q$:

25

$$\bar{N}_q = i_v \cdot N_q + (1 - i_v) \cdot \bar{N}'_q \quad (28).$$

30

Vzhledem k tomu, že do výše uvedených vztahů pro zjištění intenzity produkce částic X a odlučovacího parametru a je nutno dosazovat hodnoty průměrných koncentrací, musí se tyto hodnoty stanovit. Byla zvolena metoda postupného modelování rozvrstvování za stanovených podmínek s krokem $\Delta\tau$. V první fázi se vychází z hodnot a , k_{ZL} a X stanovených ze zjednodušeného předpokladu, že koncentrace je vždy homogenní. Ze získaných výpočtových hodnot průměrných a vzorkovaných koncentrací $\bar{N}_{l,v}$ a $N_{l,v}$ a známé skutečné vzorkované koncentrace N_l se úměrou stanoví vstupní hodnoty průměrných koncentrací $\bar{N}_l$ do dalšího iteračního kroku:

35

$$\bar{N}_l^{(v+1)} = N_{l,v} \cdot \frac{\bar{N}_{L,v}^{(v)}}{N_{L,v}^{(v)}}, \quad (29).$$

40

kde $\langle v \rangle$, $\langle w \rangle$, $\langle u \rangle$ jsou příznaky kroku iterace. Pozornost je nutno věnovat také stanovení hodnoty součinitele rozvrstvení b . Pro první iterační krok je volen odhadem a pro jeho korekci v průběhu iteračního cyklování se použije vztah:

$$b^{(w+1)} = b^{(w)} \cdot \frac{N_q \cdot \bar{N}_{qv}}{\bar{N}_q \cdot N_{qv}} \quad (30).$$

45

Cílem je tedy dosáhnout stejného rozložení výpočtové a naměřené koncentrace k okamžiku ukončení zkoušky. Při modelování vzorkování olejové náplně a s ním spojeném poklesu koncentrace

předpokládáme, že otěrové částice jsou odebírány ze všech vrstev, úměrně jejich zastoupení. Kritériem pro ukončení celého iteračního procesu je stabilizace součinitele rozvrstvení b .

Za situace, kdy z nejrůznějších důvodů není k dispozici koncentrace vypuštěné náplně $\bar{N}_q$ (např. havárie, průběžné vyhodnocení experimentu) a v předcházejících zkouškách byla ověřena hodnota parametru b pro stejné podmínky, lze výpočet realizovat náhradním způsobem. Na počátku iterace je za tuto hodnotu dosazena koncentrace posledního vzorku N_q , v dalších krocích je tato hodnota korigována pomocí vztahu:

$$\bar{N}_q^{(u+1)} = \bar{N}_q^{(u)} \cdot \frac{N_q}{N_{qv}} \quad (31)$$

Iterace je ukončena požadovanou stabilizací této hodnoty.

Aplikací výše uvedených vztahů vznikl analytický program, který na základě výsledků zjištěných po ukončení experimentu (koncentrace vypuštěné náplně, koncentrace naředěných úsad atd.) a údajů získaných vzorkováním umožňuje odhadnout skutečnou intenzitu produkce otěrových částic X , v libovolném okamžiku zkoušky. Vývojový diagram programu je na obr. 2.

Na obr. 3 je ukázka modelování vývoje koncentrace Fe částic v olejové náplni. Naměřené vzorkované hodnoty jsou vyznačeny kroužky, a čarami jsou znázorněny průběhy vypočtených průměrných koncentrací – plná čára 1 a koncentrace v blízkosti vzorkovacího kohoutu – čárkovaná čára 2.

Jsou-li známy hodnoty intenzity produkce otěru X , ve všech úsecích zkoušky a chronologie zatěžování agregátu, lze s pomocí měrné intenzity tvorby otěru, určené vztahem $X_p = X / M_t$, sestrojit závislost měrného nárůstu koncentrace otěru v olejové lázni (při jednotkovém hnacím momentu) na čase zkoušky – viz obr. 4.

K tomu byla provedena regresní analýza této závislosti. S přihlédnutím na přijatý fyzikální model lineární závislosti opotřebovaného objemu na čase zkoušky, vyhoví nejlépe přímková regresní funkce. V této fázi je zachována interaktivita programu, protože obsluha se musí na základě grafického znázornění závislosti rozhodnout, zda podrobí analýze celý rozsah experimentu, či bude sledovat a vyčíslovat pouze fázi záběhu nebo jiné časové údobí. Je také možno cenzurovat chybně odebrané či chybně analyzované vzorky, způsobující často klamnou informaci o záporném opotřebování (viz obr. 2). Regresní analýza se provádí pomocí standardních vzorců. Získaná hodnota regresní měrné intenzity tvorby otěru $\bar{X}$ představuje odhad střední hodnoty produkce otěrových částic v převodovce při hnacím momentu 1 Nm za časový úsek Δt . Je-li zkušební metodika založena na cyklickém opakování zátěžového bloku, lze potom hodnoty intenzity tvorby částic za časový úsek přepočítat na intenzitu tvorby částic za jednotku převedené práce.

Postup při zajišťování míry opotřebování převodovky probíhal na zařízení podle obr. 5. Tvořil je stejnosměrný hnací motor 1 s cizím buzením: $P_{\max} = 38,5$ kW, $n_{\max} = 1500$ ot/min tyristorovým regulátorem 2 otáček, nepřímý převod 3 klínovými řemeny o převodovém poměru $i = 0,4$, zkušební stojan 4 s hnacím vřetenem, na který se upíná zkoušená převodovka 5, přičemž výstup zkoušené převodovky 5 je spojen kloubovou hřídelí s redukční převodovkou 6, která zvyšuje vstupní otáčky do dynamometru 7 s ohledem na jeho charakteristiku a disponuje převodovými stupni: $i_1 = 0,37$, $i_2 = 0,61$, $i_3 = 1$, a konečný vířivý dynamometr 7 o parametrech: $P_{\max} = 125$ kW, $n_{\max} = 8000$ ot/min propojený s regulátorem 8 momentu.

Vířivý dynamometr 7 a redukční převodovka 6 jsou chlazeny vodou, zkoušená převodovka 5 vzduchem pomocí axiálního ventilátoru 9. Teplota redukční i zkoušené převodovky 6, 5 je udržována ve zvoleném rozmezí. Na obou převodovkách 5, 6 jsou za tímto účelem umístěna na několi-

ka místech teplotní čidla, spolu se snímači hladiny chvění pro bezdemontážní diagnostiku technického stavu agregátů.

Způsob podle vynálezu na základě výsledků zjištěných po ukončení experimentu a údajů získaných vzorkováním modeluje odlučovací a rozvrstvovací procesy olejové lázně převodovky. Umožňuje zpětně určit nejen průměrnou koncentraci otěrových částic v libovolném okamžiku zkoušky, ale i odhadnout intenzitu produkce otěrových částic v daném úseku mezi vzorkovacími odběry, vyjádřenou v mg na 1 GJ převedené práce. Tato hodnota je potom objektivním měřítkem otěruvzdornosti testovaného převodového oleje nebo převodové skříně ve vybrané fázi testu.

PATENTOVÉ NÁROKY

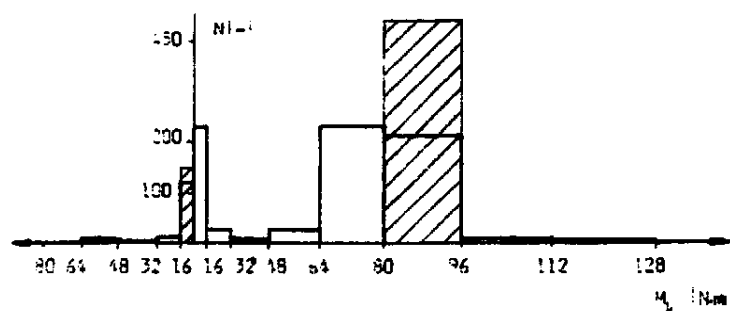
1. Způsob stanovení míry opotřebení převodovky (5) podle obsahu otěrových částic v olejové náplni, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že se nejprve v reálném provozu vozidla zjistí zátěžové spektrum pro každý převodový stupeň, tj. počet otáček vykonaných tímto stupněm v po sobě následujících intervalech hodnoty krouticího momentu přenášeného tímto stupněm vztaženo na jednotku dráhy vozidla, čímž se získá poměrná hodnota práce přenesené stupněm v jednotlivých intervalech – momentových hladinách, načež se sestaví pro jednotlivé stupně náhradní zátěžové bloky tak, že se vybere jedna kladná a jedna záporná momentová hladina s největší převedenou prací a do ní se připočte práce všech ostatních momentových hladin se stejným znaménkem, přičemž sestava takto vytvořených dílčích zátěžových bloků pro jednotlivé stupně vytvoří souhrnný zátěžový blok pro převodovku, určí se délka souhrnného zátěžového bloku odpovídající zvolené dráze vozidla nebo přenesené práci, na zkušebním standu s reverzibilním pohonem a brzdým zařízením se testovaná převodovka provozuje tak, že se při konstantních otáčkách v hodnotě 0,5 až 0,8 maximálních otáček podrobuje zatížení po sobě následujícími zátěžovými bloky, přičemž mezi jednotlivými zátěžovými bloky, vždy ihned po jejich ukončení, se z převodovky odeberou vzorky olejové náplně, které se podrobí analýze ke zjištění koncentrace částic železa v jednotlivých fázích zkoušky.

2. Způsob podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že se zjištěná koncentrace částic koriguje započtením poměrné části částic odebraných v předchozích vzorcích a částic usazených na stěnách převodovky (5) a rovněž se zohlední rozvrstvení částic v olejové náplni.

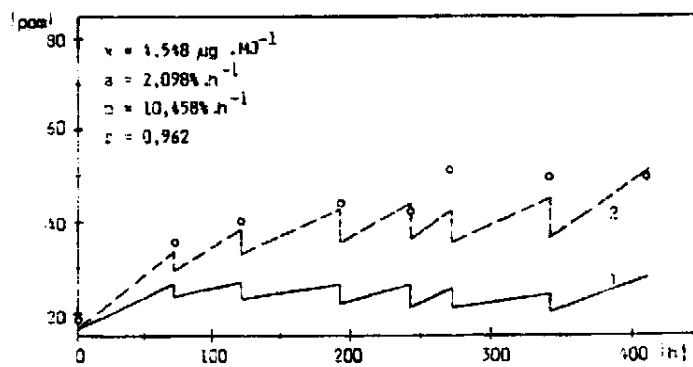
3. Způsob podle nároku 2, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že se ke zjištění středního nárůstu koncentrace částic během zkoušky podrobí hodnoty koncentrace regresní analýze.

4. Zařízení k provádění způsobu podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že je tvořeno stejnosměrným hnacím motorem (1) s tyristorovým regulátorem (2) otáček, redukční převodovkou (6), zkušebním stojanem (4) s hnacím vřetenem, na který se upíná zkoušená převodovka (5) a dále vířivým dynamometrem (7) propojeným s regulátorem (8) momentu.

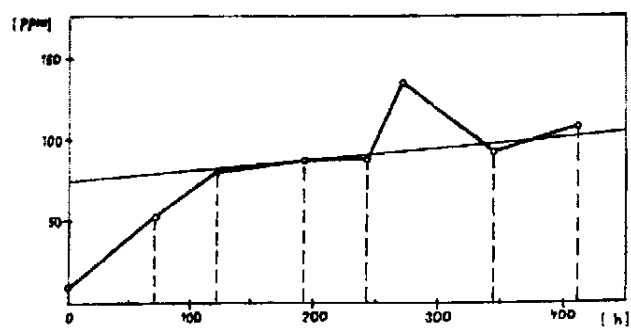
3 výkresy



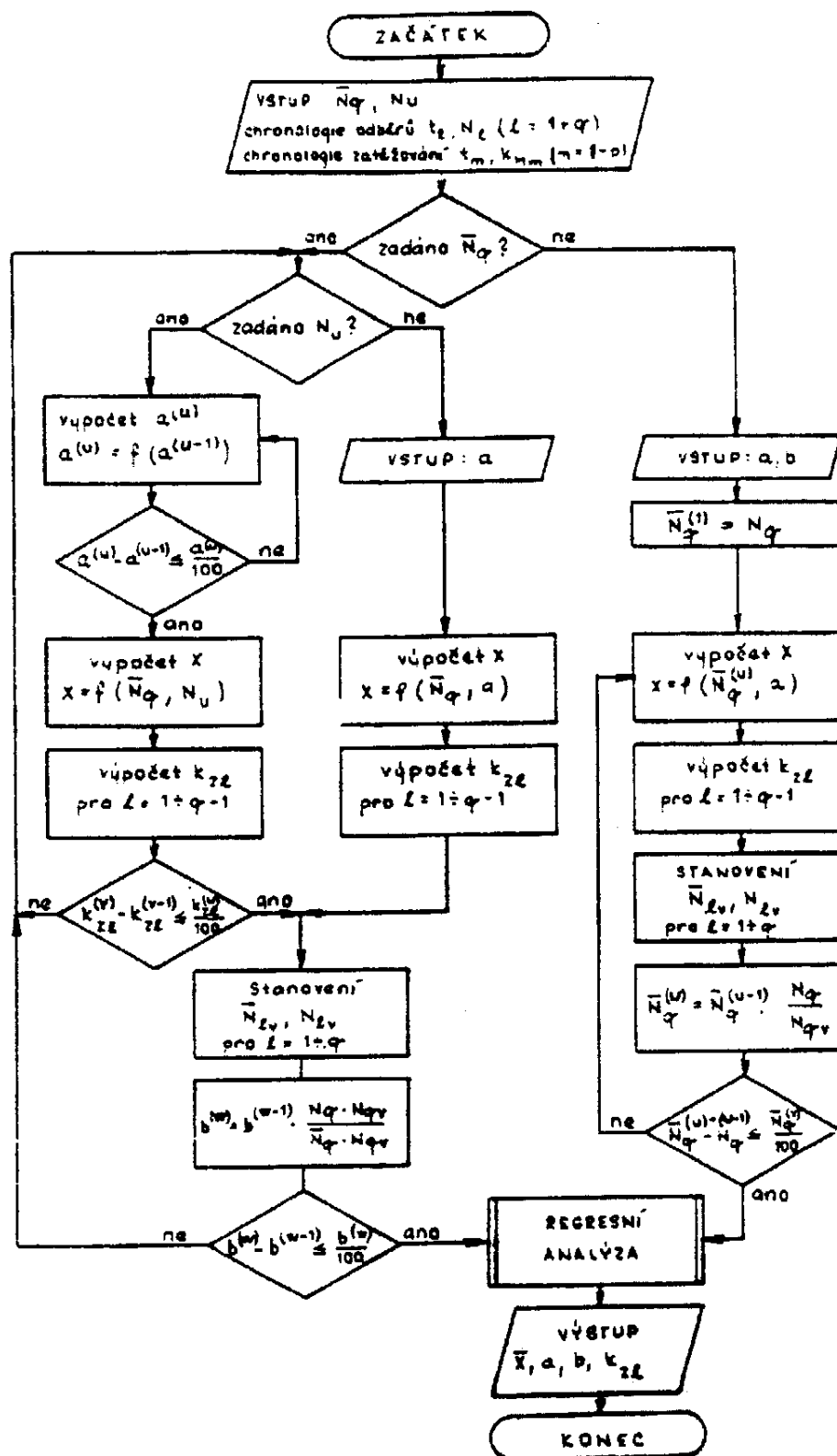
Obr. 1



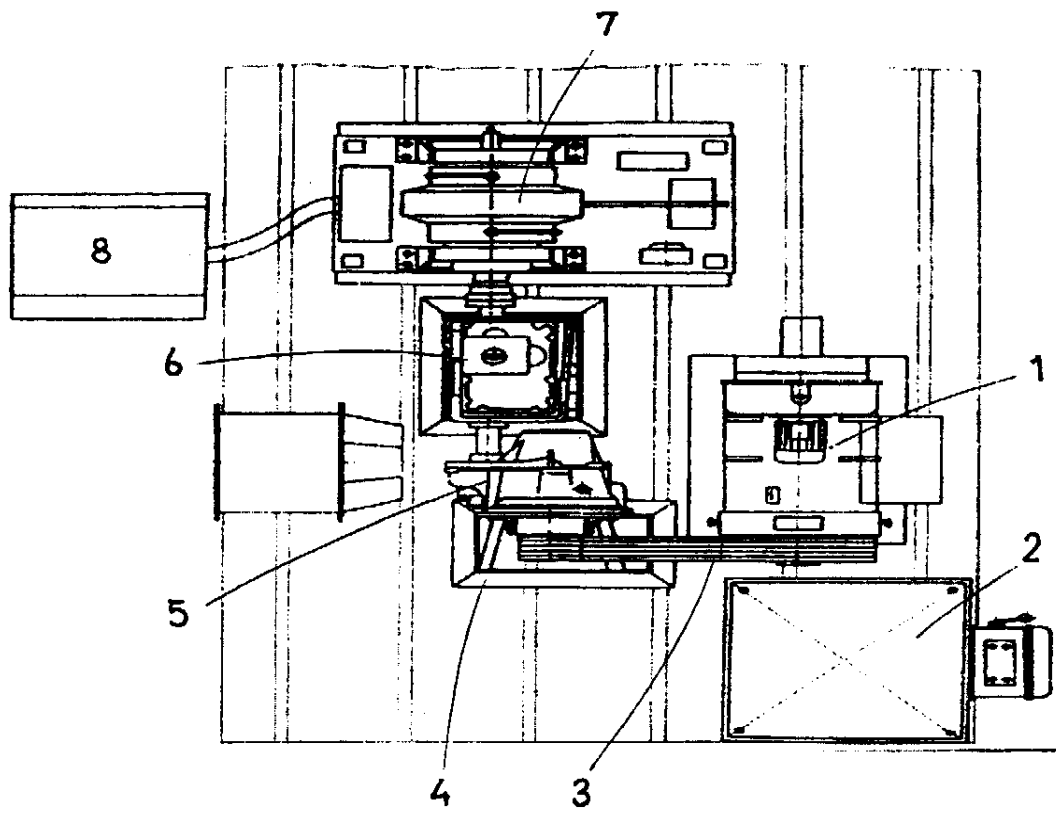
Obr. 3



Obr. 4



Obr. 2



Obr. 5

Konec dokumentu