

Stanisław Woelke
Marek Zientkowski
WSP Bydgoszcz

PRZEGLĄD PROBLEMATYKI NAUKOWO-BADAWCZEJ DOTYCZĄCEJ
ZAGADNIEN DYNAMIKI I WIBROIZOLACJI DRGAŃ UDAROWYCH
NARZĘDZI PNEUMATYCZNYCH

1. W s t ę p

W mechanizacji prac ręcznych duże znaczenie mają przenośne przyrządy pneumatyczne o uderzeniowym działaniu narzędzia roboczego. Niżej wymieniono kilka najbardziej rozpowszechnionych takich właśnie przyrządów przewidzianych do wykonywania zadań szczegółowych oraz krótko scharakteryzowano ich przeznaczenie.

Jedną z odmian są młotki do zakuwania nitów o średnicy do 34 mm. Szeroko stosuje się ścinaki do lokalnego wygniatania metalu i odcinania nadlewów. Następną grupą to odbijacze do podcinania i odbijania stromo wznoszących się pokładów węgla, rud metali, łupków wapiennych i piaskowych. Dużą grupę wśród rozważanych narzędzi stanowią wyłamywacze stosowane do rozkuwania betonu i skalistych gruntów, wykorzystywane przy budowie kolei podziemnych i dróg. W kolejnictwie znajdują zastosowanie podbijacze do zagęszczania kamieni podłoża torów kolejowych. W odlewnictwie rozpowszechnionymi narzędziami są ubijaki do ubijania mas formierskich. Przy konserwacji urządzeń kotłowych stosuje się odbijacze do usuwania kamienia kotłowego. Rozpowszechnionymi przyrządami są również wiertłokołomy o uderzeniowo-obrotowym działaniu narzędzia roboczego, stosowane w pracach rozbiórkowych, górnictwie i kamieniołomach do rozkuwania otworów pod odstrzały.

Wymienione odmiany i zakres zastosowań udarowych narzę-

dzi pneumatycznych dają pogląd na rozmiary ich produkcji, przy czym największymi producentami są firmy:

- Chicago Pneumatic Tool Company oraz Ingersoll Rand w USA,
- Deprag w NRF,
- Atlas Copco w Szwecji,
- Virax we Francji.

Znaczącym producentem tych narzędzi jest ZSRR. W Polsce narzędzia pneumatyczne są wytwarzane w Zjednoczonych Zakładach "Archimedes" we Wrocławiu. Jednakże za ogromną produkcją i rozpowszechnieniem przyrządów udarowych kryją się bardzo poważne, negatywne następstwa. Powszechnie wiadomo [21], że drgania towarzyszące pracy tych narzędzi są przyczyną zapadania obsługi na chorobę wibracyjną, która w chwili obecnej wysunęła się na czoło wszystkich chorób zawodowych /w sensie liczby przypadków zachorowań/. Jak wynika ze stwierdzeń lekarskich [21], [31], [37], wystąpienie objawów choroby wibracyjnej u operatora omawianych narzędzi jest po kilku latach sprawą przesądzoną. Dla zobrazowania właściwej skali problemu szkodliwych następstw stosowania narzędzi pneumatycznych celowe wydaje się przytoczenie pewnych danych ilościowych, dotyczących jednego tylko wycinka polskiej rzeczywistości technicznej. Otóż według poufnych wyników badań przeprowadzonych w jednej z politechnik - w 42 odlewniach krajowych, w których są stosowane pneumatyczne ubijaki - stwierdzono na przestrzeni 10 lat 1396 przypadków zachorowań na chorobę wibracyjną. Można przypuszczać, że dane te są raczej zaniżone, a przy tym nie obejmują nawet jednego resortu - przemysłu odlewniczego. Problem potęguje się w odniesieniu do wszystkich obszarów zastosowania młotów pneumatycznych w Polsce, a cóż dopiero mówić o problemie w skali światowej. Skutkiem takiego stanu rzeczy straty społeczne i materialne powodowane przez chorobę wibracyjną są ogromne. Z drugiej strony w nowoczesnej technice mechanizacji prac ręcznych z tych narzędzi zrezygnować nie można i nie da się. Pozostaje zatem rozwiązanie zagadnienia redukcji szkodliwych drgań, bądź też zabezpieczenia przed nimi rąk i organizmu operatora. Wzrost kosztów wytwor-

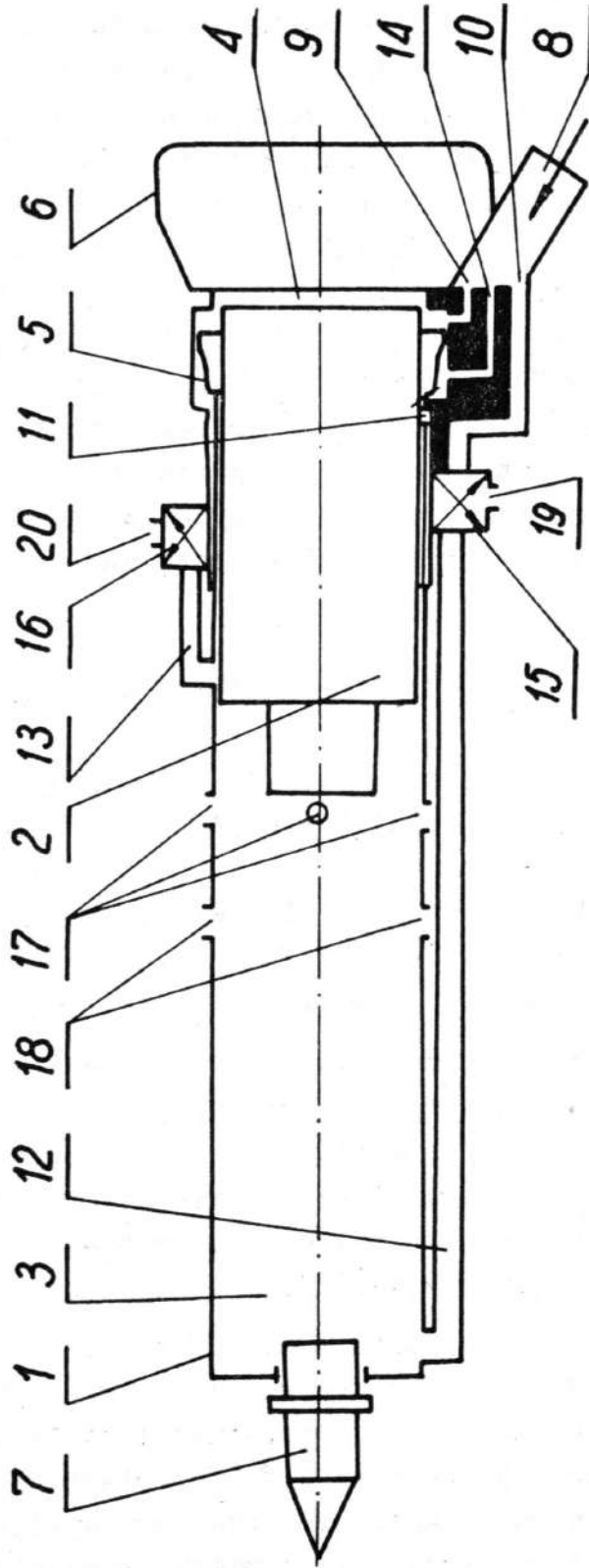
rzenia narzędzia spełniającego takie warunki jest koniecznością i tego nie można uważać za mankament. Jednakże niemal wszystkie opracowane do tej pory systemy zabezpieczeń przedmiotowych narzędzi mają wadę - nie chronią w stopniu dostatecznym operatora przed ujemnymi skutkami drgań. Z tego powodu żadne rozwiązanie nie weszło w skali powszechnej do produkcji narzędzi pneumatycznych, a zagadnienie jest od lat przedmiotem prowadzonych na całym świecie badań. Badania takie podjęto również w Polsce w czterech wytypowanych politechnikach. Zagadnienie redukcji szkodliwych skutków wibracji uznane zostało przez resort odlewnictwa za problem węzłowy. Niżej dokonano przeglądu i poddano krytycznej ocenie prace, w których problem dynamiki i wibroizolacji drgań udarowych narzędzi pneumatycznych był stawiany i z różnym skutkiem rozwiązywany.

2. A k t u a l n y s t a n z a g a d n i e n i a

Wymienione we wstępie odmiany narzędzi pneumatycznych różnią się mało istotnymi szczegółami i pracują według takiej samej zasady. Typowym reprezentantem narzędzi o udarowym charakterze pracy jest młotek pneumatyczny. Z tego względu w dalszych rozważaniach określenia: narzędzie pneumatyczne, młotek pneumatyczny czy krótko młotek potraktowano jako równoważne.

Na rysunku 1. pokazano schematycznie budowę udarowego narzędzia pneumatycznego. Niektóre elementy, jak rozdzielacze 15 i 16 /wg opisu do rys. 1./ nie stanowią odrębnych zespołów, lecz spełniają zaznaczone nazwą funkcje przez kojarzenie odpowiedniego systemu kanałów w korpusie 1. z kanałami w dwupołożeniowym względem korpusu suwaka 5.

Działanie narzędzia jest następujące. W położeniu suwaka 5 i bijaka 2 jak na rys. 1. powietrze przepływa z wlotu 8 przez krezy 9 do komory roboczej 4 i przesuwając bijak w lewo. W tym czasie rozdzielacz 15 łączy kanały 12 z otworami wylotowymi 19. Na skutek ruchu bijaka powietrze jest wytłaczane z komory narzędziowej 3 do atmosfery najpierw przez otwory



Rys.1. Schemat udarowego narzędzia pneumatycznego

1-korpus/lufa/, 2-bijak, 3-komora narzędziowa, 4-komora robocza, 5-suwak, 6-rękojeść, 7-narzędzie robocze, 8-wlot powietrza, 9-kreza ruchu roboczego/ilość-6/, 10-kreza ruchu nawrotnego/ilość-2/, 11-kreza wyrównawcza, 12-kanal/ilość-2/, 13-kanal/ilość-2/, 14-kanal, 15-rozdzielacz, 16-rozdzielacz, 17-otwory wylotowe/ilość-6/, 18-otwory wylotowe/ilość-2/, 19-otwory wylotowe/ilość-6/, 20-otwory wylotowe/ilość-6/

17, 18 i kanały 12, a pod koniec roboczego ruchu bijaka tylko przez kanały 12, bowiem otwory 17 i 18 są stopniowo zasłaniane przez poruszający się bijak. Gdy prawa krawędź bijaka odsłoni otwory wylotowe 17, ciśnienie w komorze 4 gwałtownie spada. Wówczas suwak znajduje się pod działaniem układu sił:

- skierowanej w lewo składowej od ciśnienia powietrza w komorze 4,
- skierowanej w prawo składowej od ciśnienia powietrza w kanale 13,
- skierowanej w prawo składowej od ciśnienia powietrza dopływającego kanałem 14.

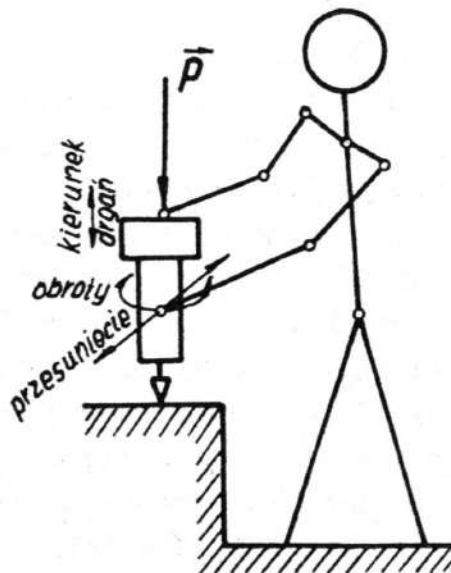
Pod działaniem tego układu sił suwak porusza się w prawo. Po osiągnięciu położenia krańcowego system połączeń kanałów powietrznych zapewnia:

- zamknięcie dopływu powietrza do komory 4 kanałami 9,
- wypływ powietrza przez kresę wyrównawczą 11 do komory 4,
- dopływ powietrza przez kresy 10, rozdzielacz 15 i kanały 12 do komory 3 przy odcięciu wypływu przez otwory 19,
- wypływ powietrza z komory 4 do atmosfery przez kanały 13, rozdzielacz 16 i otwory 20.

Opisane skojarzenia kanałów ustalają się w chwili, gdy bijak znajduje się w pobliżu narzędzia roboczego 7, w które następnie uderza przekazując energię kinetyczną. Na skutek działania sił ciśnienia powietrza w komorze 3 oraz udzielonej w zderzeniu prędkości zwrotnej bijak zawraca i rozpoczyna ruch zwrotny /jałowy/. Powietrze z komory 4 wypływa wówczas do atmosfery - początkowo przez otwory 17 i kanały 13, a potem tylko przez kanały 13. Gdy prawa krawędź bijaka zasłoni wloty do kanałów 13, w komorze 4 rozpoczyna się sprężanie pozostałego tam powietrza, a bijak stopniowo wytraca swą prędkość. Kiedy ciśnienie w komorze 4 wzrośnie do odpowiedniej wartości, na suwak zaczyna działać niezrównoważona siła skierowana w lewo, pod wpływem której suwak przesterozuje się do położenia jak na początku cyklu, tzn. jak na rys. 1. Komora 4 uzyskuje wówczas połączenie z wlotem 8, a ciśnienie w niej dalej wzrasta. Na skutek działania sił

ciśnienia bijak w swym ruchu zwrotnym zatrzymuje się i następnie rozpoczyna ruch w nowym cyklu pracy.

Z przytoczonego opisu działania młotka wynika, że w trakcie pracy na korpus działa zmienna w czasie siła ciśnienia powietrza. W celu zapewnienia pracy ciągłej na korpus musi prócz tego działać siła zewnętrznego nacisku, wywierana zwykle przez operatora. Jeśli ograniczyć się do siłowych przyczyn głównych, to suma obu wymienionych sił stanowi zmienny w czasie, przyłożony do korpusu, siłowy wektor główny. Swym działaniem wywołuje on drgania, które wyrażają się zmiennymi w czasie przemieszczeniami i prędkościami przemieszczeń w kierunku jego podłużnej osi. Drgania te przenoszą się na rękę i dalej na organizm operatora, przy czym są one odczuwane przez dociskającą, zazwyczaj prawą rękę w sposób bardziej przykry niż przez lewą, kierującą tylko narzędziem /rys. 2./. Zasygnalizowany we wstępie problem polega właśnie na ograniczeniu drgań korpusu, bądź też na ich separacji od operatora.



Rys.2. Schemat pracy narzędziem pneumatycznym

Literatura przedmiotu obejmuje dwa kierunki badań:

- dynamikę uderowych narzędzi pneumatycznych oraz wibroizolację drgań tych narzędzi. Jeśli chodzi o prace z zakresu dynamiki, to można wymienić trzy podejścia do zagadnienia.

Są to:

- budowa modelu mechanicznego dla młotka i badanie dynamiki tego modelu,
- powiązanie dynamiki napędu pneumatycznego z przemianami termodynamicznymi czynnika roboczego,
- badania teoretyczne i doświadczalne dynamiki rzeczywistych narzędzi pneumatycznych.

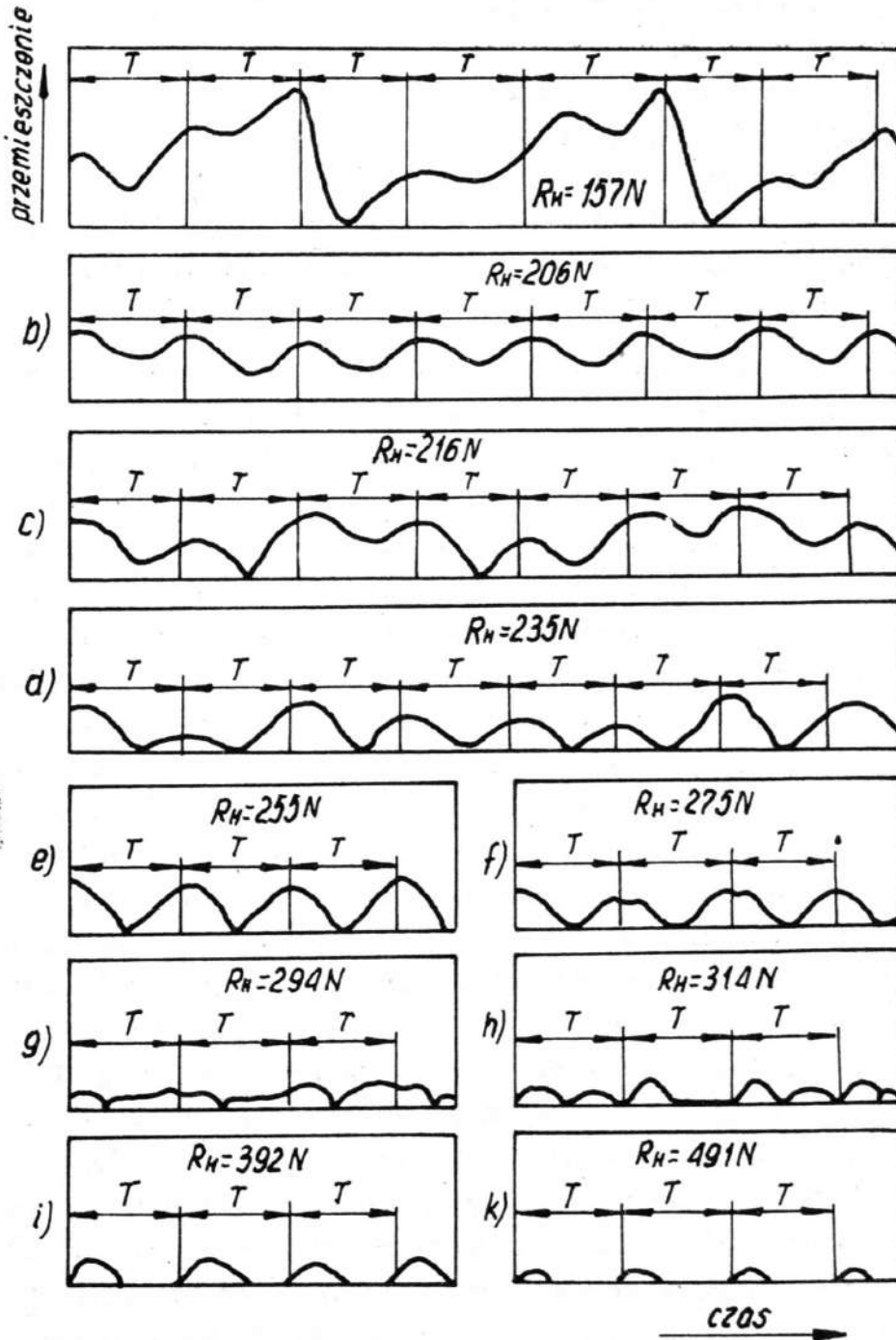
Niżej omówiono kolejno prace reprezentujące wymienione podejścia.

Prosty model narzędzia pneumatycznego oraz równie prosty opis zjawiska odrzutu jako przyczyny wywołującej drgania podano w publikacji [39]. W pracy [35] przedstawiono model pneumatycznego perforatora o budowie zbliżonej do młotka. Otrzymane równania ruchu bijaka rozwiązano numerycznie. O budowie modelu mechanicznego dla narzędzia pneumatycznego traktują też prace [32] i [33]. W pozycji [33] teoretyczne badanie modelu miało na celu ustalenie wpływu wibroizolacji rękojeści w narzędziu pneumatycznym na energię kinetyczną bijaka. Siłę pochodzącą od ciśnienia powietrza napędzającego bijak przyjęto w postaci przebiegu harmonicznego.

Przechodząc do charakterystyki drugiego kierunku badań w dynamice narzędzi pneumatycznych można stwierdzić, że przyjęte w publikacji [39] założenie o stałości ciśnienia napędzającego bijak jest znacznym odstępstwem od rzeczywistości. Stąd w ambitniejszych pracach dotyczących dynamiki napędu pneumatycznego ruch bijaka /tłoka/ wiąże się już z przemianami termodynamicznymi czynnika roboczego. Takim zagadnieniem, które tutaj będą nazywane zagadnieniami sprzężonymi są poświęcone dalsze prace. A mianowicie w [29] rozpatrzono teoretycznie problem sprzężony dla kuźniczego młota pneumatycznego z systemem napełniania zapewniającym duże ciśnienia u-

żyteczne i dużą energię uderzenia. Ze względu na złożoną postać otrzymanych równań rozwiązano je dla szczególnych przypadków przebiegu ciśnienia. W pracy [9] postawiono i numerycznie rozwiązano zagadnienie ruchu tłoka sprężającego w cylindrze powietrze według przemiany politropowej. Z innych prac na podobny temat można wymienić pozycje [10], [16] i [38]. Równania opisujące zagadnienia sprzężone mają złożoną postać, a ich rozwiązania nie są znane. Z tego względu rozwiązuje się je numerycznie [10], bądź też przy pewnych założeniach upraszczających, np. o jednostajności ruchu tłoka [16] czy o stałości temperatury podczas przemiany [38]. W najnowszych badaniach dotyczących problemów sprzężonych [3], [11] i [18] uwzględnia się już przemiany termodynamiczne otwarte, a więc realizowane przy jednoczesnym doprowadzaniu i odprowadzaniu gazu. Problem sprzężony, w którym uwzględnia się zasady termodynamiki zmiennej ilości gazu prowadzi do bardzo skomplikowanego układu równań różniczkowych na przesunięcie tłoka, temperaturę powietrza oraz ciśnienie [18].

Trzeci kierunek badań w dynamice narzędzi pneumatycznych jest reprezentowany przez prace dotyczące młotków rzeczywistych. W należącej do tej grupy pozycji [3] rozważono sprzężony problem ruchu bijaka w wiertłolomie typu PR-30. Opisujący zagadnienie układ równań różniczkowych rozwiązano metodą różnic skończonych otrzymując dobrą zgodność z wynikami badań doświadczalnych /rozwiązania te nie są jednak funkcjami czasu/. W pracy [1] dokonano rozkładu siły zewnętrznego nacisku na korpus na dwie składowe, z których jedna zależy od siły uderzenia bijaka w narzędzie robocze, a druga od siły zwrotnych uderzeń narzędzia roboczego w korpus. W rozwinięciu tej myśli w pracy [12] wyodrębniono trzecią składową od siły ciśnienia w komorze narzędziowej, działającego na narzędzie robocze. Istnienie wymienionych składowych zostało potwierdzone doświadczalnie w tym sensie, że wykryto pewne zależności pomiędzy siłą nacisku a kinematycznym obrazem drgań korpusu. Ilustrację tych zależności, zaczerpniętą z pracy [13] zamieszczono na rys. 3. W pracach [2], [14] ustalono kilka reżymów pracy charakterystycznych dla stopniowo zwiększanej



Rys.3. Przebiegi drgań korpusu w zależności od sił nacisku

o stosunkowo niewielką wartość siły nacisku. Reżymom tym przypisano nazwy:

- pierwszy przejściowy, rys. 3a.,
- pływający, rys. 3b.,
- drugi przejściowy, rys. 3c.,
- podstawowy, rys. 3d. i 3e.,
- trzeci przejściowy, rys. 3f., 3g. i 3h.,
- reżym pracy, w którym drgania korpusu pochodzą tylko od zwrotnych uderzeń narzędzia roboczego w korpus, rys. 3i oraz 3k.

Przebieg drgań w kolejnych reżymach pracy różnią się znacznie, zarówno w sensie jakościowym, jak i ilościowym. W reżymie pierwszym przejściowym stwierdzono [2], [13] efekt "unoszenia się" młota, na skutek czego narzędzie nie może - w odróżnieniu od pozostałych przypadków - pracować płynnie w sposób ciągły. W niektórych pracach [13], [17] i [19] wykazano, że najmniejsze amplitudy przy ciągłym przebiegu drgań korpusu mają miejsce w reżymie pływającym, a więc przy minimalnej sile nacisku zapewniającej ciągłą pracę młotka. Okres drgań narzędzia jest wtedy równy okresowi podstawowemu ruchu bijaka. Wykazano również, że przy zwiększeniu nacisku ponad wartość minimalną, tj. w reżymie drugim przejściowym amplituda drgań znacznie wzrasta, a okres tych drgań wydłuża się nawet do czterokrotnej wartości okresu podstawowego. Dopiero przy znacznym zwiększeniu nacisku i pracy w reżymach wyższych od podstawowego amplitudy maleją i są w przebiegu nieciągłym mniejsze niż w reżymie pływającym. W pracy [15] stwierdzono, że przebiegi drgań w reżymie trzecim przejściowym mają dwa lokalne maksima w okresie podstawowym /rys. 3f., 3g. i 3h./. W tej samej pracy wyznaczono interesujące z punktu widzenia dynamiki układu narzędzie robocze - młotek siły uderzenia zwrotnego w korpus przy uderzeniowej współpracy narzędzia roboczego ze stalą i drewnem. Wzory empiryczne określające wartości sił nacisku w poszczególnych reżymach pracy podano w publikacji [13]. W pracach radzieckich badaczy [30] i [36] rozważono możliwość zmniejszenia sił nacisku poprzez zmiany przebiegu ciśnień w cyklu roboczym młotka.

Można to zrealizować drogą zmian w rozrządzie powietrza. Prace zbiorowe wydane przez Politechnikę Poznańską [32], [33] dotyczą dynamiki rzeczywistych narzędzi pneumatycznych, ale już z wibroizolacją.

Nawiązując do kierunku badań, w których za cel stawia się wibroizolację drgań narzędzi pneumatycznych w pierwszej kolejności wymieniono prace patentowe. W rozwiązaniu patentowym [23] dla ochrony przed drganiami lewej ręki operatora zastosowano osłonę korpusu stanowiącą dla tej ręki uchwyt. Osłona ta jest połączona z drgającym korpusem za pomocą gumowo-sprężynowego wkładu. Zasadniczym jednak celem wibroizolacji rozważanych narzędzi jest ochrona przed drganiami dociskającej, prawej ręki. Tutaj znane są inne układy wibroizolacji według dalszych patentów. Wśród nich przedmiotem patentu [27] jest koncepcja połączenia korpusu narzędzia z rękojeścią za pomocą sprężyny kabłąkowej. Podobne w swej istocie jest rozwiązanie [25], gdzie korpus jest izolowany od rękojeści przekładką gumową. Praca patentowa [24] dotyczy wibroizolacji rękojeści za pomocą zespołu sprężyn. W rozwiązaniu ograniczenia drgań rękojeści wykorzystano jako element podatny powietrze sprężane za pomocą tłoczków przesuwanych ruchomym korpusem w cylinderkach połączonych z rękojeścią [26]. Inny sposób wibroizolacji polega na tym, że korpus całego narzędzia jest podzielony na cztery masy połączone układem trzech sprężyn [28]. W projekcie wynalazczym [7] zaproponowano wibroizolację rękojeści za pomocą układu sprężyn o nieliniowej charakterystyce.

Prócz prac patentowych [7] i [23] do [28] inne sposoby ograniczania drgań rękojeści są przedstawione i omówione w pozycji [4]. Są to rozwiązania oparte na wykorzystaniu efektów odpowiednio sterowanych zmian ciśnienia w wibroizolującej poduszce powietrznej i dalszym przekazywaniu pochodzących od ciśnień sił na rękojeść.

Tylko nieliczne prace [6], [8] są poświęcone syntezie i analizie modeli mechanicznych przewidzianych do redukcji drgań narzędzi pneumatycznych. Prace te dotyczą dźwigniowych

układów dynamicznych z masą kompensacyjną. Jako wymuszenie przyjęto przebiegi harmoniczne, przy czym w jednym przypadku jest to wymuszenie kinematyczne [6], a w drugim kinematyczne i siłowe [8]. W pracy [5] sformułowano kryteria konieczne do zapewnienia minimum przyspieszeń ręki operatora przy jej współpracy z narzędziem pneumatycznym.

Zagadnienie badań efektów wibroizolacji w rzeczywistych narzędziach pneumatycznych było podejmowane przez badaczy Politechniki Poznańskiej [32], [33]. W pracy [32] podano wyniki badań poziomu drgań rękojeści wibroizolowanej za pomocą układu według projektu wynalazczego [7]. Korpus narzędzia był pobudzony do drgań harmonicznym wymuszeniem kinematycznym. W pracy [33] badania efektów wibroizolacji pogłębiono rozwijając dwa kierunki:

- pomiary wartości przyspieszeń wibroizolowanej elementem podatnym rękojeści przy działaniu na element harmonicznego wymuszenia kinematycznego o zmiennej częstotliwości,
- zbudowanie stanowiska do pomiaru drgań rękojeści przy wymuszeniach pochodzących od rzeczywistego narzędzia pneumatycznego zasilanego powietrzem jak w warunkach eksploatacyjnych.

Na zakończenie przeglądu prac można wyrazić przypuszczenie, że nie jest on pełny ze względu na to, że opierał się na jawnych wynikach badań. Z uwagi na techniczne znaczenie problemu uzasadnione jest domniemanie, że przez producentów narzędzi pneumatycznych są prowadzone badania, które traktuje się jako tajemnice przemysłowe, a ich wyników nie ujawnia się. Stopień rozwiązania zagadnienia w ramach tych badań nie jest więc znany. Niemniej o podejmowaniu takich badań świadczy fakt, że w ostatnim czasie firma Atlas Copco wprowadziła na rynek pewien typ lekkiego młotka, którego poziom drgań jest obniżony aż o 90 % w porównaniu z podobnym narzędziem o budowie tradycyjnej. Efekt ten osiągnięto poprzez zrealizowanie /po raz pierwszy/ koncepcji młotka bezodrzutowego [20]. Rozwiązanie to dotyczy jak dotąd jednego typu młotka i jest zastrzeżone patentem nie dającym możliwości powszechnego

wykorzystania. Prócz tego, niezależnie od nowych tendencji w budowie narzędzi pneumatycznych istnieje nie rozwiązany problem separacji bądź redukcji drgań w ogromnej ilości narzędzi już wyprodukowanych.

3. Krytyczna ocena prac dotyczących zagadnień dynamiki i wibroizolacji drgań udarowych narzędzi pneumatycznych

Przechodząc do oceny stanu zagadnienia należy uprzedzić, że dla uniknięcia powtórzeń wspólne elementy krytyki zawarte w różnych pracach są łączone.

W pracach, w których za punkt wyjścia bierze się pewien model mechaniczny czy to młotka [32], [33], [35], czy wibroizolatora [6] i [8], czy też zjawiska przekazywania drgań na rękojeść narzędzia [33] brak jest dostatecznej motywacji, że przyjmowany model opisuje choćby jakościowo podstawowe własności obiektu bądź zjawiska rzeczywistego. Modele są bowiem budowane w dużej mierze na podstawie indywidualnych wyobrażeń o tym, co model ma przedstawiać. Brak też na ogół eksperymentalnego potwierdzenia, że przewidywania oparte na analizie modelu są słuszne. Taką konfrontację przeprowadzono co prawda w pracy [35], ale zbieżność z rzeczywistością osiągnięto dopiero po znacznej korekcie.

Oprócz samej budowy modelu krytykę budzą również inne elementy zawarte w wymienionych pracach. Powszechnie przyjmuje się, że wymuszenia kinematyczne i siłowe są typu harmonicznego. Wyniki prac [2] i [14] wskazują na to, że tylko w płynącym reżymie pracy ruch korpusu można w przybliżeniu uważać za przebieg harmoniczny. Natomiast we wszystkich pozostałych reżymach odstępstwa od tego przebiegu są znaczne /rys. 3./. Jak to już powiedziano, charakter tych przebiegów zależy od siły zewnętrznego nacisku, przy czym zmiany jakościowe zachodzą już przy niewielkich zmianach siły nacisku. Jest przesądzone, że nacisk ręki ludzkiej na młotek rzeczywisty zawsze wykazuje istotne różnice. Dlatego też założenie

o harmonicznym przebiegu ruchu korpusu jest na ogół nieuzasadnione.

Jeśli chodzi o siły wymuszające, to w pracach [41] i [42] pokazano, że:

- siły działające na bijak wykazują dalekie odstępstwo od przebiegu harmonicznego,
- siły działające na korpus młotka nie mogą być - prócz reżymu pływającego - uważane za przebiegi harmoniczne.

Może banalne wyda się dziś stare stwierdzenie Newtona, że za wszystko, co się dzieje są odpowiedzialne siły [40], zaś skutek ich działania jest jednoznacznie przesądzony. Przywiązując do tego poglądu wielką /może przesadnie wielką/ wagę, należy podniesione zastrzeżenia, jako dotyczące sił, uznać za bardzo istotne. Odpowiednie ich uzasadnienie wraz z potrzebnymi do tego wynikami zamieszczono w pracach [41] i [42]. Tutaj nie wystarczy stwierdzenie, że w czasowym przebiegu siły ciśnienia powietrza działającej na bijak szczytowa wartość siły po jednej stronie osi czasu przewyższa o ok. 90 % szczytową wartość po drugiej stronie osi czasu. Chodzi bowiem o rozbieżności wykluczające możliwość przyjmowania wymuszeń siłowych w postaci przebiegów harmonicznych.

Reasumując uwagi dotyczące budowy modeli oraz zakładanych w ich analizie przebiegów wymuszeń można wyrazić pogląd, że ocena wyników uzyskanych z rozważań nad modelami musi być bardzo ostrożna, a formułowane wnioski nie muszą być prawdziwe.

Wierniejszy opis dynamiki narzędzi pneumatycznych można uzyskać rozpatrując zagadnienie ruchu bijaka czy korpusu w sprzężeniu z termodynamiką zachodzących w narzędziu przemian. Ten kierunek badań dotyczy innego modelowania siłowych oddziaływań na rozważany obiekt rzeczywisty nie poprzez wprowadzanie sprężyn, tłumików, czy przyjmowanie siłowych wymuszeń zewnętrznych, lecz poprzez odtwarzanie przebiegu sił wymuszających ruch bijaka czy korpusu drogą modelowania przemian termodynamicznych. W narzędziu pneumatycznym zachodzi

w każdym okresie kilka przemian przy różniących się znacznie warunkach. Dlatego też opis zagadnień sprzężonych musi być z konieczności w czasowym obrębie okresu podzielony na fragmenty. Taki opis w małych przedziałach czasu, przy odpowiednim zamodelowaniu przemian będzie wierniejszy, niż uzyskany przy założeniu przebiegu o charakterze globalnym za okres ruchu bijaka /czy korpusu/, jakim jest np. przyjęcie harmonicznego wymuszenia siłowego.

Jeśli chodzi o założenia leżące u podstaw modelowania przemian termodynamicznych w zagadnieniach sprzężonych oraz założenia przyjmowane do rozwiązań odpowiednich równań, to w odniesieniu do szybkich napędów pneumatycznych - za jakie trzeba uważać młotki - konieczne jest nałożenie pewnych ograniczeń na wprowadzane założenia upraszczające.

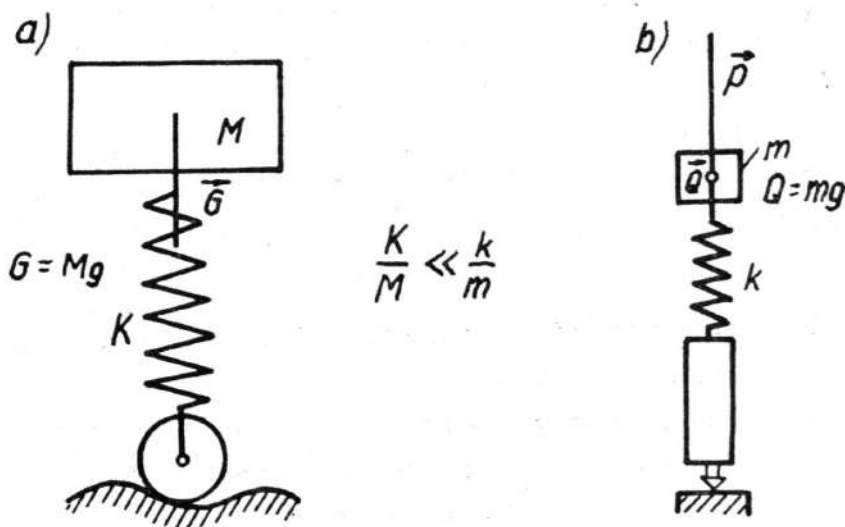
Nie można jak w pracy [29] rozwiązywać zagadnienia zakładając z góry ułatwiającą obliczenia funkcję ciśnień. Nie da się utrzymać jak w publikacji [16] założenia o jednostajności ruchu bijaka. Również przyjęcie stałej temperatury gazu podczas przemiany [38] może w odniesieniu do przemian zachodzących w narzędziu pneumatycznym prowadzić do znacznych błędów. Jak wynika z analizy równań opisujących sprzężone procesy przy realizacji przemiany izotermicznej i przemiany politropowej założenie o stałości temperatury upraszcza problem i jest chętnie przyjmowane dlatego, że prowadzi do opisujących zagadnienie równań różniczkowych rzędu niższego o jeden /względem czasu jako zmiennej niezależnej/. Tymczasem zmienność wszystkich parametrów podczas przemiany jest ujęta dopiero w przemianie politropowej, przy czym najlepiej przystają do rzeczywistości przemiany zachodzące przy zmiennej ilości powietrza [11] i [18]. Tutaj jednak budzi zastrzeżenie przyjęcie dla dopływu i wypływu powietrza praw obowiązujących przy przepływach przez dysze idealne. W rzeczywistości w narzędziach pneumatycznych /jak i w innych siłownikach/ powietrze dopływa i wypływa przez otwory ostrokrawędziowe, często połączone z kanałami o mniej lub bardziej skomplikowanej geometrii. W takich przypadkach w porównaniu z przepływami czynnika przez dysze są pewne różnice jakościowe [22],

a różnice ilościowe są znaczne [34]. Ponieważ powietrze /w sensie ilości czynnika i odpowiednich parametrów/ jest bezpośrednią przyczyną wszystkich efektów dynamicznych składających się na pracę młotka, przeto możliwie dokładne określenie natężenia dopływu jest szczególnie ważne. Zatem słusniejsze by było uwzględnienie trudniejszych w opisie, ale dokładniejszych praw przepływu gazu przez krezy z równoczesnym dławieniem w kanałach.

Prace trzeciego kierunku badań w dynamice narzędzi pneumatycznych, w zasadzie doświadczalne, są istotnym elementem wpływającym na stan wiedzy o rozpatrywanym zagadnieniu. Taka ocena dotyczy pracy [32], a w szczególności publikacji [33], w których podjęto próbę określenia efektu zastosowania wibroizolacji. Ten kierunek badań jest ważny, bowiem do chwili obecnej nie ma odpowiedniego sprecyzowania warunków dokonywania pomiarów, ani też nie ma jednolitych kryteriów oceny drgań uderowych narzędzi pneumatycznych. Nie są znane własności mechaniczne ręki ludzkiej /zagadnienie podejmowane w pracy [33]/ w sensie odpowiedniego kojarzenia tych własności z charakterystyką opracowywanych wibroizolatorów. Nie ustalono do tej pory stopnia zagrożenia organizmu operatora w zależności od kinematycznego przebiegu drgań narzędzia. Taki stan rzeczy sprawi, że istnieją trudności w ocenie skuteczności wibroizolacji narzędzi uderowych rozumianej w sensie oddziaływań drganiowych przekazywanych na rękę i organizm operatora. Na skutek tego nie jest możliwe porównywanie według tego samego kryterium oddziaływań różnych narzędzi. Na ogół dla oceny efektu wibroizolacji podaje się stopień zmniejszenia maksymalnych przyspieszeń na rękodźci młotka. Wynik badania według takiego kryterium upoważnia do stwierdzenia, że w danym przypadku osiągnięto poprawę. Taka informacja jest jednak nieprecyzyjna i niepełna, bowiem do prawdziwej oceny potrzebna jest znajomość dokładniejszej charakterystyki drgań po zastosowaniu wibroizolacji, przede wszystkim z punktu widzenia chwilowych odczuć odbieranych przez operatora i trwałych skutków chorobowych w jego organizmie.

W grupie prac patentowych tylko [7] /z innych [4]/, na-

leżą do takich, w których synteza układu wibroizolującego jest oparta na wykorzystaniu pewnych własności dynamicznych zastosowanych wibroizolatorów przy uwzględnieniu oddziaływań siłowych młotka rzeczywistego. Pozostałe prace tej grupy są amatorską próbą rozwiązania trudnego problemu technicznego. Taką oceną wynika stąd, że w rozważanych pracach nie były brane pod uwagę nawet znane już efekty dynamiczne towarzyszące pracy narzędzi pneumatycznych. W niektórych z tych prac, jak np. w publikacji [28], przedstawiono rozwiązanie bez pokrycia w rzeczywistości technicznej. W rozwiązaniu tym brak jest konstrukcyjnego połączenia układu mas i sprężyn w całość oraz brak określenia sposobu doprowadzania sprężonego powietrza do poruszających się podczas pracy elementów narzędzia. Obserwując usiłowania wynalazców trudno oprzeć się wrażeniu, że twórcy patentów byli całkowicie zasugerowani dobrze im znanym efektem wibroizolacji samochodu podczas jazdy. Wydaje się jednak, że budowę swych wibroizolatorów oparli na pozorach zewnętrznego podobieństwa poruszającego się po nierównościach drogi samochodu i drgającego podczas pracy młotka. Tymczasem z punktu widzenia dynamiki te układy znacznie się różnią. Wspólny obu układom jest tylko element podatny - między kołami samochodu i nadwoziem /rys. 4a./ oraz między korpusem młotka i rękojeścią /rys. 4b./. Inny jest natomiast charakter



Rys.4. Model wibroizolowanego samochodu i młotka pneumatycznego

sił zewnętrznych obciążających nadwozie i rękojeść. Z wyłączeniem sił przekazywanych przez element podatny siła zewnętrzna w pierwszym przypadku jest w całości siłą ciężkości, zaś w drugim przypadku siła ciężkości rękojeści stanowi tylko nieznaczną składową siły całkowitej, koniecznej do zapewnienia pracy młotka. Stąd też w obu przypadkach stosunek sztywności elementu podatnego do wibroizolowanej masy znacznie się różni /rys. 4./. Można więc mieć wątpliwości, czy zastosowanie podobnego wibroizolatora w dwóch całkiem innych układach dynamicznych zapewni te same efekty.

Podobne wątpliwości nasuwają się w związku z wyrażonym w pracy [32] poglądem, że najlepsze efekty wibroizolacji ręki operatora zapewni się przy "bezmasowej" rękojeści umieszczonej na końcu sprężyny o bardzo małej sztywności. Koncepcja podatnej sprężyny jest słuszna, /odrębny problem, czy technicznie wykonalna, bowiem sprężyna taka w związku z koniecznością przekazywania znacznych sił musi być silnie napięta, a zatem musi być bardzo długa/, natomiast masa rękojeści powinna być - jak się zdaje - możliwie największa. W pracy [32] badano pewien typ wibroizolatora o nieliniowej charakterystyce siłowo-przemieszczeniowej /dotyczy również publikacji [7]/. W stanowiącym przedmiot badań młotku wibroizolowana rękojeść była obciążona ciężarem 108 N. Stwierdzono dość wysoką skuteczność wibroizolacji. W nowszych badaniach tego samego wibroizolatora /wyniki jeszcze nie opublikowane/, przy docisku zewnętrznym zrealizowanym za pomocą napięcia dodatkowo wprowadzonej sprężyny efekty były jeszcze lepsze. To jednak nie musi oznaczać, że podobne skutki osiągnie się na rękojeści młotka dociskanego ręką w rzeczywistych warunkach pracy.

Na temat skuteczności wibroizolacji opartej na wykorzystaniu elementów podatnych były w ostatnim czasie prowadzone interesujące badania, których wyniki są zawarte w pracy [33]. Na podstawie tych wyników sformułowano wniosek /ale z ostrożnym zastrzeżeniem o niedostatecznej motywacji/, że układy sprężynowe czy w ogóle podatnościowe nie nadają się do wibro-

izolacji narzędzi pneumatycznych. W zakresie częstości odpowiadających warunkom pracy właściwie wszystkich narzędzi udarowych stwierdzono ujemny wpływ wibroizolacji na drgania rękojeści, natomiast skutki dodatnie występują dopiero w zakresie częstości wyższych. Wydaje się, że wyciągnięte wnioski są zbyt pesymistyczne i nie muszą być prawdziwe, bowiem badany model wykazuje odstępstwa od wibroizolowanego młotka rzeczywistego. Raczej bliższe prawdy są stwierdzenia zawarte w pracy [32], z których wynika, że układy podatnościowe ograniczają drgania rękojeści. Próbę wyjaśnienia, dlaczego efekt ten nie jest i nie może być dostateczny, przedstawiono w dalszej części artykułu.

Zasygnalizowano również krytyczne uwagi w związku z pewnymi wadami udarowych narzędzi pneumatycznych, wynikającymi w sposób zależny z braku czy też niezadowalającej skuteczności wibroizolacji.

Duża niestacjonarność oddziaływań siłowych na rękojeści młotka nie pozwala na zwiększanie średnic bijaków i tym samym na zwiększenie energii pojedynczego uderzenia, bowiem siły odrzutu zwrotnego rosną w przybliżeniu proporcjonalnie do kwadratu tej średnicy.

Konieczność maksymalnego ograniczenia sił odrzutu powoduje, że zasilanie komór powietrznych w narzędziach pneumatycznych odbywa się poprzez krezy dławiące, gdyż tylko wtedy można otrzymać w tych komorach przebieg ciśnień możliwy do przyjęcia ze względu na wielkość sił odrzutu. Krezy dławiące są przyczyną nieodwracalnego rozproszenia znacznych ilości energii doprowadzanego powietrza, a i same przebiegi termodynamiczne realizowane przy dopływie powietrza przez krezy są energetycznie mało wydajne. Stąd niska sprawność narzędzi pneumatycznych.

Jak wynika z przedstawionego przeglądu stanu wiedzy zagadnienie dynamiki i wibroizolacji drgań udarowych narzędzi pneumatycznych jest nadal otwarte.

4. P r ó b a w y t y c z e n i a k i e r u n k ó w
d a l s z y c h b a d a ń i w n i o s k i
k o ń c o w e

W zakończeniu obszernej pracy przeglądowej celowe wydaje się sformułowanie pewnych ustaleń wynikających z zamieszczonej w punkcie 3. krytycznej oceny wiedzy na rozważany temat. W pierwszej kolejności - biorąc za punkt wyjścia przytoczone wcześniej stwierdzenie Newtona - przedstawiono własny pogląd na przyczyny powodujące, że efekt wibroizolacji rękojeści za pomocą układów podatnościowych ciągle nie jest dostateczny.

W istniejących rozwiązaniach wibroizolacji wspólną przyczyną trudności w skutecznym ograniczeniu drgań rękojeści jest to, że elementy amortyzujące nie mają stałej charakterystyki siłowo-przemieszczeniowej. Wiadomo bowiem, że element wibroizolujący w postaci sprężyny przy jej napinaniu bądź rozluźnianiu na skutek ruchu korpusu ma liniową charakterystykę siłowo-przemieszczeniową. Inne kombinacje połączenia układu sprężyn też dają w efekcie charakterystykę liniową bądź nieliniową, guma i wszelkiego rodzaju poduszki powietrzne dają charakterystyki nieliniowe. Ręka ludzka nigdy nie naciska na rękojeść siłą stałą, wobec tego ruch korpusu może się w zasadzie realizować według przebiegów charakterystycznych dla ustalonych w pracy [2] i [14] reżymów pracy. Na skutek zmiennego /w sensie charakteru przebiegów, amplitud drgań i okresów powtarzalności, [rys. 3.]/ ruchu korpusu na połączony z narzędziem koniec elementu wibroizolującego działa siła o przebiegu mniej lub bardziej niestacjonarnym w czasie. Ponieważ ręka ludzka nie może w tempie kilkudziesięciu Hz odpowiadającym pracy narzędzi pneumatycznych dostosowywać się do równoważenia zmiennych sił, przeto na rękę i jej najbliższe otoczenie działa zawsze pewna niezrównoważona i zmienna w czasie siła. Siła ta zależy od ruchu korpusu, ruchu i masy rękojeści oraz od charakterystyki siłowo-przemieszczeniowej wibroizolatora. Istnienie efektów drganiowych można udowodnić metodami i aparatem dynamiki, przy czym jakość konkretnego sposobu wibroizolacji zależy właśnie od charakteru niestacjonar-

ności oddziaływań siłowych między korpusem narzędzia i wibroizolowaną rękojeścią. Zależność ta jest tego rodzaju, że im przebieg oddziaływań siłowych jest bardziej stacjonarny, a masa rękojeści większa, tym poziom drgań ręki jest mniejszy. Tak więc drgania te mogą być mniejsze przy zastosowaniu wibroizolatorów podatnościowych, gdyż układy takie zawsze zmieniają przebieg oddziaływań siłowych przenoszonych z korpusu na rękę, ale za pomocą opracowanych do tej pory wibroizolatorów wydatnego zmniejszenia drgań osiągnąć się nie da. Trudno jest bowiem dobrać układ wibroizolacji, który będzie dobrze pracował bez względu na zmieniający się okres drgań korpusu zapewniając równocześnie we wszystkich reżymach pracy odpowiednią charakterystykę siłowo-przemieszczeniową. Należy tutaj zwrócić uwagę na jeszcze jeden aspekt wibroizolacji narzędzi pneumatycznych. A mianowicie: zawsze jest konieczne oddzielenie rękojeści od korpusu. Gdyby masa rękojeści mogła być duża, to jej poziom drgań przy osiągniętych funkcjach przenoszenia sił byłby niewielki. Jednakże konstruktor zawsze ograniczy masę rękojeści do niezbędnego minimum. Dla rękojeści o stosunkowo małej masie wymagania stawiane wibroizolatorowi w sensie dużej stacjonarności przekazywanych sił muszą być bardzo ostre, jeśli chce się zapewnić niski poziom drgań. Duża masa korpusu, często kilka razy większa od masy rękojeści, nie jest zatem do bezpośredniego ograniczania drgań ręki wyczerpana. Konieczność rozdzielenia mas jest więc pod tym względem niekorzystna.

Wydaje się, że na trudności w syntezie wibroizolatora o skutecznym działaniu rzutuje przede wszystkim niezadowalający stopień rozwiązania zagadnienia dynamiki narzędzi udarowych. Poparciem dla takiego stwierdzenia są niezwykle skromne rezultaty prac patentowych. Zatem klucz do rozwiązania zagadnienia redukcji drgań narzędzi pneumatycznych leży w ich dynamice, a problemów dynamiki i wibroizolacji rozdzielić się nie da. Inaczej niewielkie będą szanse na znalezienie wibroizolatora, który przy złożonym oddziaływaniu dynamicznym narzędzia zapewni dobrą wibroizolację rękojeści we wszystkich reżymach pracy. Konieczność pogłębienia badań nad zagadnieniem

dynamiki narzędzi udarowych jest więc bezsporna.

Jeśli chodzi o ograniczenie drgań przedmiotowych narzędzi, to tutaj, niezależnie od poszukiwań w dziedzinie syntezy układów wibroizolujących, można postawić jakościowo inny problem zmiany przyczyn wywołujących drgania. Rozwiązanie takiego problemu polega na znacznym /teoretycznie całkowitym/ wyrównoważeniu zmiennych w czasie sił, działających na korpus narzędzia, przy czym musi to być osiągnięte już w obrębie samego korpusu. Wtedy układ wibroizolujący nie byłby już potrzebny i ręka mogłaby naciskać na korpus narzędzia bezpośrednio. Przy nacisku siłą większą od minimalnej nadwyżka siły byłaby przeniesiona w przebiegu stacjonarnym na otoczenie, o które narzędzie jest oparte podczas pracy. Przy takiej charakterystyce przenoszenia nadwyżek sił nacisku nie wystąpią negatywne efekty drganiowe, znamienne dla wyższych reżymów pracy zwykłego narzędzia. Tak stawiany problem zmiany przebiegów sił wywołujących drgania nie jest więc zagadnieniem wibroizolacji, lecz jakościowo reprezentuje kierunek zapoczątkowany pracami [30] i [36]. W kontynuacji tego kierunku bardzo dobre efekty uzyskała już we wspomnianym wcześniej młotku firma Atlas Copco, przy czym jest to osiągnięcie niemal ostatnich dni. Proponując taki kierunek badań oparto się na trudnym do uzasadnienia przekonaniu, że w budowie narzędzi pneumatycznych o minimalnym oddziaływaniu szkodliwym na człowieka przyszłość należy nie do układów wibroizolujących, lecz do układów ingerujących w przyczyny powstawania drgań. Układy te mogą bowiem ograniczyć drgania skuteczniej niż podatnościowe systemy wibroizolacji. Być może pełne rozwiązanie zagadnienia ograniczenia drgań narzędzi pneumatycznych uzyska się dopiero po skojarzeniu najlepszych rezultatów obu wymienionych kierunków badań.

Z przytoczonego podsumowania wyłaniają się dwa główne zagadnienia do rozwiązania:

- dynamika udarowych narzędzi pneumatycznych,
- synteza i analiza układu mechanicznego modyfikującego generowanie drgań korpusu.

Rozwiązanie pierwszego zagadnienia sprowadza się do wyznaczenia ruchu bijaka, ruchu korpusu w różnych reżymach pracy oraz sił działających na bijak i korpus - wszystko jako funkcje czasu. Tak sformułowany problem jest klasycznym, całkowym zagadnieniem dynamiki.

Rozwiązanie zagadnienia dynamiki narzędzia udarowego powinno dać materiał pozwalający na określenie podstawowych parametrów mechanicznych pracy tegoż narzędzia, ustalenie zależności między tymi parametrami i sformułowanie warunków wyrównoważenia sił działających na korpus narzędzia pneumatycznego.

Kolejnym etapem badań byłaby budowa modelu mechanicznego, który w swym działaniu mógłby zamienić jeden przebieg oddziaływań siłowych na korpus na inny, bardziej odpowiedni z punktu widzenia generowania drgań narzędzia. W rozwinięciu tego zagadnienia dalszym celem byłaby ocena efektywności działania opracowanego układu mechanicznego, zaproponowanie jego odmian oraz rozważenie możliwości zastosowań technicznych.

W celu rozwiązania sformułowanych zagadnień proponuje się drogę badań teoretycznych, pomimo wyrażonego w pracach [12] i [13] pesymistycznego sądu o możliwości uzyskania wyników na takiej drodze. Można się zgodzić, że ustalenie pewnych efektów podczas badania doświadczalnego jest dokładniejsze. Z drugiej strony w tak złożonym zagadnieniu jak dynamika narzędzia udarowego materiał doświadczalny, obejmujący w zasadzie skutki zjawisk utrudnia rozróżnienie skutków od przyczyn, a odtworzenie przyczyn na podstawie znajomości skutków może nie być łatwe. W związku z tym ustalenie podstawowych parametrów mechanicznych pracy narzędzia oraz wykrycie zależności między nimi jest utrudnione. Obok znanych wad teoretycznego podejścia do problemu ta droga ma jednak zaletę, że granica między przyczynami i skutkami rysuje się wyraźnie, zaś ustalenie charakterystycznych dla pracy młotka wielkości mechanicznych oraz ustalenie odpowiednich zależności między nimi jest łatwiejsze. Aby jednak nie zawiodły pokładane w teorii oczekiwania, muszą być spełnione dwa warunki:

- konieczne jest uwzględnienie w sensie jakościowym wszystkich zasadniczych przyczyn wywołujących efekty dynamiczne składające się na pracę młotka,
- dane ilościowe, opis zjawisk i zastosowane procedury rachunkowe muszą zapewnić dobre przystawanie do rzeczywistości obrazu wynikającego z rozważań teoretycznych.

W zagadnieniach szczegółowych przy przyjmowaniu założeń modelowych i upraszczających należy zwracać uwagę, by wyszczególnione wyżej warunki były w miarę możliwości spełnione.

B i b l i o g r a f i a

- [1] Alimow O. D., Wzaimoswiaz' usilija podaczi s osnovnymi paramietrami burilnogo mołotka, Izwiestija Tomskiego Politechniczeskogo Instituta, Tom 108, 4, 1959.
- [2] Baburow W. I. /praca zbiorowa/, Pricziny wibracyji rucznych pniewmaticszeskich mołotkow i sposoby bor'by s niej, Izwiestija Tomskiego Politechniczeskogo Instituta, Tom 146, 1966.
- [3] Bieżanow B. B., K woprosu o rasczotie proczwoditielnosti pniewmaticszeskogo burilnogo mołotka, Trudy Leningradskogo Politechniczeskogo Instituta, Izd. "Maszynostrojenije", nr 250, 1965.
- [4] Bobin E., Bor'ba s szumom na železnodorożnom transportie, Transport, Moskwa 1973.
- [5] Cempel, C., Criteria of the Minimum Dynamical Effects for the Operator's Hand-Tool System, Zagadnienie Drgań Nieliniowych, 16, 1975.
- [6] Cempel, C., Damper of Kinematically Forced Vibrations, Archiwum Mechaniki Stosowanej, 24, 1, 1972.
- [7] Cempel, C., Projekt wynalazczy P-173546, Urząd Patentowy PRL.
- [8] Cempel, C., Synteza układów wibroizolacji z kompensacją,

- Rozprawy Inżynierskie, 21, 4, 1973.
- [9] Cronin D. L., Van N. K., Substitute for the Impact Damper, Transaction ASME, B97, No 4, 1975.
 - [10] Faust D. G., Calculating Pressure Drop in Compressed Air Systems, Hydraulics and Pneumatics, vol. 16, No 8, 1963.
 - [11] Gerc E. W., Napędy pneumatyczne, tłum. z ros., WNT, Warszawa 1973.
 - [12] Gorbunow W. F., K rasczotu minimalnych usilij nażatija prc rabotie rucznymi pniewmaticzeskimi mołotkami, Izwiestija Tomskiego Politiechniczeskogo Instituta, Tom 129, 1964.
 - [13] Gorbunow W. F., Baburow W. I., O dinamike sił diejstwujuščich na korpus pniewmaticzeskogo mołotka, Izwiestija Tomskiego Politiechniczeskogo Instituta, Tom 146, 1966.
 - [14] Gorbunow W. F. /praca zbiorowa/, Ocenka wibracyonnych charakteristik rubilno-klepalnych mołotkow po sanitarnym normom, Izwiestija Tomskiego Politiechniczeskogo Instituta, Tom 1929, 1965.
 - [15] Gorbunow W. F. /praca zbiorowa/, Issledowanije wibracyji rucznogo pniewmaticzeskogo mołotka po rozlicznym matieriałam, Gornyje maszyny i automatika, nr 56, Niedra 1964.
 - [16] Hirsh R. A., Dynamics of Gas-operated Mechanisms, Machine Design, vol. 33, No 15, 1961.
 - [17] Kłuszyn N. A., Pniewmaticzeskije mołotki s nowym cykloom sniżajuszym otdaczu, Kandidatskaja dissertacija, Nowosibirsk 1958.
 - [18] Larson R. H., Computer Sizes Parameters of a Pneumatic Scram System, Hydraulics and Pneumatics, vol. 17, No 10, 1964.
 - [19] Matida S., The Motion of a Cutting Drill, Transaction Japan Society Mechanical Engineering, 32, No 244, 1966.
 - [20] Mechanik, 2, 1977.
 - [21] Minecki L., Typowe objawy choroby wibracyjnej w zależ-

- ności od parametrów wibracji i stażu pracy, Biuletyn Instytutu Medycyny Morskiej w Gdańsku, 1, 1968.
- [22] Ochęduszek S., Termodynamika stosowana, WNT, Warszawa 1967.
- [23] Patent PRL nr 56618.
- [24] Patent PRL nr 61190.
- [25] Patent PRL nr 63918.
- [26] Patent PRL nr 63919.
- [27] Patent PRL nr 65250.
- [28] Patent NRF nr 2204160.
- [29] Pierielcwaug M. I., Issledowanije dinamiki udarnowo pniewmaticszeskogo porszniewogo priwoda. Analiz i sintiez maszyn-awtomatow, Nauka, Moskwa 1965.
- [30] Pietriejew A. M., O sniżenii otdaczi rucznych pniewmaticszeskich maszyn udarnowo diejstwija putiem sowierszenstwowanija raboczego cykła, Izwestija AN SSSR, sieriija tiechniczeskich nauk, nr 6, wypusk 2, 1963.
- [31] Piechociński R., Wpływ wibracji na morfologiczny obraz gruczołów dokrewnych, Patologia Polska, 2, 1966.
- [32] Praca zbiorowa, Określenie optymalnych warunków i zasad przeciwdziałania ujemnym wpływom wibracji na człowieka we współczesnych technologiach odlewniczych, Politechnika Poznańska, Poznań 1975.
- [33] Praca zbiorowa, Teoretyczne i eksperymentalne badania dynamiczności młotków i ręki człowieka-operatora, Politechnika Poznańska, Poznań 1976.
- [34] Prandtl L., Dynamika przepływów, PWN, Warszawa 1956.
- [35] Schindler M., Collier S., Development and Correlation of Mathematical Model for a Percussion Drill, Paper ASME, N-PE-25, 1965.
- [36] Sudnisznikow B. W., K tieorii otdaczi rucznych maszyn udarnogo diejstwija, Nowosibirsk 1958.

- [37] Ternawski A., Zmiany morfologicznych elementów krwi podczas wibracji, *Medycyna Pracy*, 4, 1969.
- [38] Turnquist R. O., Comparing Gas Flow Formulas for Control Valve Sizing, *ISA Journal*, 8, No 6, 1961.
- [39] Uzarowicz A., Przenośne przyrządy pneumatyczne, PWT, Warszawa 1957.
- [40] Voltaire, *Elementy filozofii Newtona*, PWN, Warszawa 1959.
- [41] Woelke S., External Dynamics of Impact Pneumactical Tools, praca złożona w Redakcji Archiwum Budowy Maszyn.
- [42] Woelke S., Internal Dynamics of Pneumactical Impact Tools, praca złożona w Redakcji Archiwum Budowy Maszyn.

THE REVIEW OF SCIENTIFIC RESEARCH CONCERNING PROBLEMS
OF DYNAMICS AND VIBROINSULATION OF THE PERCUSSIVE VI-
BRATION OF PNEUMATIC DEVICES

Summary

Following a brief introduction, this paper reviews the findings of current research on technologically crucial problems concerning the dynamics and vibroinsulation of the percussive vibration of pneumatic devices. We point out the many difficulties connected with the designing of this vibroinsulator which effectively eliminates vibration of the aforementioned devices. Our consideration of these matters has led us to certain conclusions which point up theoretical issues and directions for future research.

ПРОСМОТР НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРОБЛЕМАТИКИ,
КАСАЮЩЕЙСЯ ВОПРОСА ПРОБЛЕМ ДИНАМИКИ И ВИБРОИЗО-
ЛЯЦИИ УДАРНЫХ ВИБРАЦИЙ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Резюме

В работе после краткого вступления сделан просмотр явных результатов исследований, касающихся с технической точки зрения очень важных проблем динамики и виброизоляции ударных вибраций пневматических инструментов.

В критических рассуждениях указывается на трудности в связи с разработкой виброизолятора, эффективно ограничивающего вибрации пневматических инструментов.

Опираясь на сформулированные выводы, вытекающие из этих рассуждений, указывается на дальнейшие направления исследований, рекомендуя в первую очередь теоретические исследования.