ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1977

Seria: GÓRNICTWO z. 80 Nr kol. 547

KONFERENCJA: MODELOWANIE GÓRNICZYCH MASZYN WYCIĄGOWYCH
9-10.XII.1977

JACEK M.CZAPLICKI
STEFAN ZIEMBA
INSTYTUT MECHANIZACJI GÓRNICTWA POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
GLIWICE
INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN
WARSZAWA

PRÓBA ZBUDOWANIA MODELU SYSTEMOWO UJĘTEJ PROBLEMATYKI NAUKOWO-TECHNICZNEJ GÓRNICZYCH MASZYN WYCIĄGOWYCH

W referacie dokonano próby konstrukcji modelu systemowo ujętej problematyki górniczych maszyn wyciągowych poprzez rozważenie takich zagadnień jak: określenie przedmiotu rozważań, maszyna jako system, problemy modelowania, projektowania, niezawodności i eksploatacji maszyn wyciągowych.

Spis treści

1. Wstęp
2. Koncepcja systemowa
3. Górnicza maszyna wyciągowa - GMW
4. GMW jako system
   4.1. Otoczenie systemu, nadsystemy
   4.2. Struktura systemu, podsystemy
5. Modelowanie
   5.1. Model i modelowanie
   5.2. Podział modeli
   5.3. Metodyka budowy modelu
6. Projektowanie
   6.1. Krótki opis projektowania GMW
   6.2. Problemy zapewniania niezawodności na etapie projektowania i wytwarzania
7. Eksploatacja
   7.1. Proces eksploatacji GMW
   7.2. Problemy niezawodności i gotowości GMW
8. Zakończenie

1. Wstęp

Przedmiotem rozważań niniejszej konferencji jest modelowanie określonej klasy obiektów technicznych: górniczych maszyn wyciągowych. Nie jest rzeczą przypadku, że tej właśnie klasie obiektów, problemom ich modelowania poświęcone zostało obecne spotkanie naukowe.

Polskie górnictwo przeżywa fazę swego intensywnego rozwoju. Rozwój ten dotyczy zarówno liczby wydobywanych ton kopalin użytecznych osiąganych rokrocznie, jak też stopnia mechanizacji i automatyzacji górnictwa. W miarę wzrostu wydobycia konieczne staje się wydobywanie surowców z coraz to większych głębokości. I ten właśnie rozwój wydobycia oraz coraz większe głębokości, z których wydobywane są niezbędne dla gospodarki narodowej bogactwa naturalne, stwarzają potrzebę projektowania, konstruowania, produkowania i eksploatowania górniczych maszyn wyciągowych o niespotykanych dotychczas w kraju parametrach. Wiadomo, że projekty maszyn wyciągowych ośmio - do dwunastolinowych dla skipów o ładownościach dochodzących do 75 Mg rozważane są w biurach projektowo-konstruktorskich. Z tym wszystkim związane są liczne, bardzo poważne problemy natury naukowej zarówno o charakterze teoretycznym jak i praktycznym.

Niewątpliwie jedną z podstawowych form rozwiązywania tych problemów jest modelowanie. Można się o tym przekonać, mając bezpośrednią styczność z fazą powstawania i eksploatowania górniczych maszyn wyciągowych; można się o tym również przekonać, studiując materiały niniejszej konferencji.

W celu wprowadzenia w ogólne zagadnienia modelowania przedstawiona zostanie próba konstrukcji modelu systemowego ujęcia problematyki naukowo-technicznej górniczych maszyn wyciągowych. Zagadnienia szczegółowe modelowania matematycznego i fizycznego wybranych własności omawianej klasy obiektów rozważane są w kolejnych referatach niniejszej konferencji.

2. Koncepcja systemowa

Podejście systemowe należy traktować jako zasadę porządkowania całościowego ujmowania, a zarazem wkład w metody, zmierzające do adekwatnego wyrażenia obiektywnej rzeczywistości jej problematyki, ścisłego rozwiązywania skomplikowanych zadań. Podejście systemowe może być też rozumiane jako sposób myślenia, sposób rozwiązywania problemu lub sposób postępowania, w których zjawiska traktowane są kompleksowo w swoich zależnościach zewnętrznych i wewnętrznych.

O ujęciu systemowym decyduje nie tyle kwestia racji co dogodności. Istnieje bowiem dążenie do budowy fundamentów teoretycznych jednoczących wiedzę różnych dziedzin. Potrzeba ta wynika stąd, że większości problemów praktycznych, dotyczących jakichkolwiek zadań przekształcania rzeczywistości, z jakimi się spotykamy, nie można rozwiązać

w zakresie jednej dyscypliny. Całkowite zrozumienie problemu wymaga integracji wiedzy, obejmującej różne zaangażowane dyscypliny. Integracja ta potrzebna jest zarówno w świecie nauki, dla poprawy naszego zrozumienia zjawisk i ich natury, jak i w świecie praktyki dla wypracowania lepszych metod syntezy i sterowania złożonymi systemami.

Należy zauważyć, iż trzy własności składają się na najbardziej twórcze ujęcie tego lub innego rodzaju rzeczywistości. Pierwszą z tych cech jest cecha wielopłaszczyznowości lub wielorodzajowości rzeczywistości i podejścia do niej od strony człowieka. Drugą taką cechą jest wielopoziomowość. Ujmuje ona daną rzeczywistość hierarhicznie, a więc wprowadza elementy wartościowania i elementy celów. Jeżeli to ujęcie nie ma być zbyt schematyczne, to musi się wiązać z nim jeszcze jedna cecha procesu rozwojowego - ujmowania danej rzeczywistości w rozwoju.

Istotą koncepcji systemowej jest jej zorientowanie na problemy, a nie na techniki ich rozwiązywania. Dlatego też, celowe jest sformułowanie kompleksowo ujętej problematyki danego wycinka rzeczywistości, albowiem stwarza to podstawy do rozwiązywania problemów także interdyscyplinarnych w ujęciu kompleksowym, a uzyskane wyniki wydają się być bardziej uniwersalne i przydatne aniżeli otrzymane inną drogą postępowania.

Próbę konstrukcji modelu systemowo ujętej problematyki naukowo-technicznej górniczych maszyn wyciągowych rozpoczniemy od określenia przedmiotu, którego dotyczy problematyka, jego zadań i wymagań. Następnie przedmiot ten rozpatrzony zostanie jako system, tzn. rozpatrzone zostaną jego podsystemy składowe oraz nadsystemy, którego podsystemem jest omawiany przedmiot. Kolejnym etapem rozważań będą zagadnienia modelowania, projektowania. Referat zakończy omówienie problemów eksploatacji omawianej klasy obiektów technicznych.

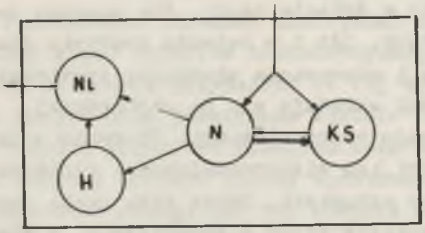
3. Górnicza maszyna wyciągowa - GMW

Przez górniczą maszynę wyciągową rozumiemy obiekt techniczny przeznaczony do napędzania lin nośnych, na których zawieszone są naczynia wydobywcze. Jest on podstawowym elementem urządzenia wyciągowego, które realizując podstawowe i pomocnicze zadania transportu szybem kopalni głębinowej, określa stawiane mu zadania i wymogi.

Tak więc, zadaniem GMW jest przekazywanie /w sposób jednoznaczny/ określonego ruchu na naczynia wydobywcze /za pośrednictwem lin nośnych/ tzn. ich przemieszczanie w szybie pomiędzy dolnym i górnym skrajnym położeniem wg zadanego automatycznie lub przez sterowanie ręczne - programu, przy czym podstawowe parametry tego ruchu /droga, prędkość, przyspieszenie/ są ściśle wyznaczone odpowiednimi przepisami.

Zasadniczymi elementami - zespołami górniczej maszyny wyciągowej są:
- napędy /N/,
- nośnik lin /Nl/,
- hamulce /H/,

- układ kontrolno-sterujący /K-S/



→ działanie

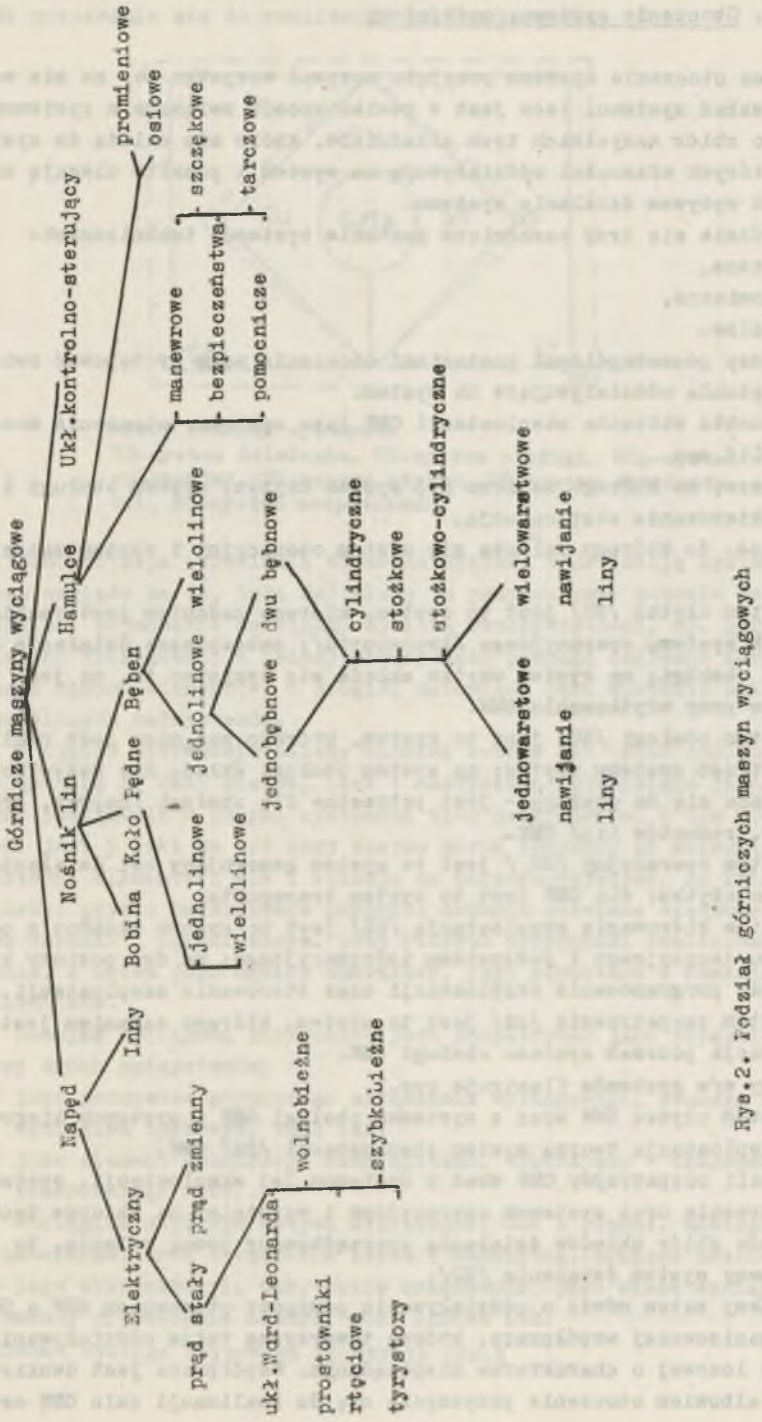
Rys.1. Górnicza maszyna wyciągowa

Podział GMW na typy i rodzaje w zależności od stosowanych napędów, nośników lin i hamulców prezentuje rys.2.
Oprócz wymagań technicznych, stawianych maszynom wyciągowym na etapie projektowania, wykonania, wdrożenia i eksploatacji, istotne jest również uwzględnienie czynników ekonomicznych i bezpieczeństwa, co powinno zapewnić odpowiednią efektywność i bezpieczeństwo eksploatacji urządzenia wyciągowego. Ten postulat jest niezbędny, gdyż nie wystarcza, by maszyna wyciągowa robiła i zrobiła to co od niej wymagamy, ale chcemy, aby czyniła to w sposób funkcjonalnie niezawodny, opłacalny i z odpowiednim bezpieczeństwem dla życia ludzkiego.

Warunki eksploatacji GMW, abstrakując od maszyn wyciągowych dołowych, są na ogół dobre. Maszyna wyciągowa jest wyizolowana od otoczenia, albo dokładniej mówiąc, stworzone jest specjalne otoczenie, które zapewnia korzystne warunki jej pracy. Zapewnienie tych korzystnych warunków pracy jest ważne szczególnie przy nowoczesnych maszynach wyciągowych, zwłaszcza zautomatyzowanych, ze względu na to, że posiadają one dość skomplikowane i przy tym delikatne elektryczne i elektroniczne układy kontroli i sterowania. Od sprawności tych układów i od niezawodności ich działania zależy między innymi poprawna i efektywna praca maszyny wyciągowej, a tym samym bezpieczna i efektywna praca całego wyciągu szybowego.

4. GMW jako system

Różne są definicje pojęcia systemu [21]. Wydaje się, iż dla potrzeb rozważanej przez nas problematyki górniczych maszyn wyciągowych celowe jest określenie systemu - systemu działaniowego i celowościowego jako układu zbioru elementów i ciągu relacji między tymi elementami jak też między tymi elementami a otoczeniem. Przy tym układ ten ujmuje warunki, umożliwiające funkcjonowanie, tzn. realizację procesów prowadzących do osiągnięcia postawionego celu.



Rys.2. Podział górniczych maszyn wyciągowych

4.1. Otoczenie systemu, nadsystemy

Przez otoczenie systemu przyjęto nazywać wszystko to, co nie wchodzi w skład systemu, lecz jest w pewien sposób związane z systemem. Jest to zbiór wszystkich tych składników, które nie należą do systemu, lecz których własności oddziaływują na system i ponadto ulegają zmianie pod wpływem działania systemu.

Wyróżnia się trzy zasadnicze postacie systemów technicznych:
- fizyczne,
- ekonomiczne,
- socjalne.

Między poszczególnymi postaciami otoczenia mogą występować związki i sprzężenia oddziaływujące na system.

Z punktu widzenia eksploatacji GMW jako systemu, otoczenie możemy podzielić na:
- bliższe, do którego zalicza się system użytku, system obsługi i system kierowania eksploatacją,
- dalsze, do którego zalicza się system operacyjny i system zaopatrzenia.

System użytku /SU/ jest to system, którego zadaniem jest realizacja potrzeb systemu operacyjnego /transportu/; zabezpiecza działanie SU system obsługi; na system użytku składa się wszystko to, co jest potrzebne przy użytkowaniu GMW.

System obsługi /SO/ jest to system, którego zadaniem jest realizacja potrzeb systemu użytku; na system obsługi składa się wszystko to, co składa się na obsługę - jest potrzebne dla obsługi /napraw, przeglądów, remontów itp/ GMW.

System operacyjny /SO_p/ jest to system generujący cel działania systemu użytku; dla GMW jest to system transportu.

System kierowania eksploatacją /SK/ jest to system złożony z podsystemu decyzyjnego i podsystemu informacyjnego; ma dwa poziomy kierowania: programowanie eksploatacji oraz sterowanie eksploatacji.

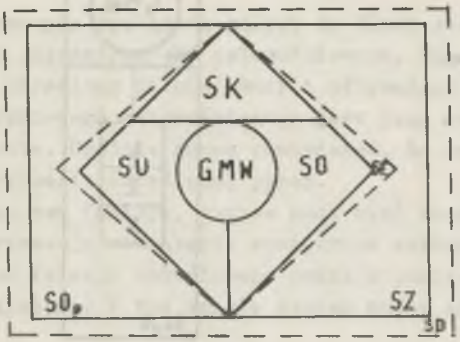
System zaopatrzenia /SZ/ jest to system, którego zadaniem jest realizacja potrzeb systemu obsługi GMW.
Zakresy w/w systemów ilustruje rys.3.

System użytku GMW wraz z systemem obsługi GMW i systemem kierowania eksploatacją tworzą system eksploatacji /SE/ GMW.

Jeżeli rozpatrzymy GMW wraz z systemem jej eksploatacji, systemem zaopatrzenia oraz systemem operacyjnym i wyróżnimy na zbiorze tych systemów zbiór układów działania uporządkowany pewną relacją, to otrzymamy system działania /SD/.

Możemy zatem mówić o oddziaływaniu pomiędzy otoczeniem GMW a GMW; o zorganizowanej współpracy, której towarzyszą także oddziaływania natury losowej o charakterze niepożądanym. Współpraca jest dwukierunkowa, albowiem otoczenie przyczynia się do realizacji celu GMW oraz

GMW przyczania się do realizacji celów otoczenia.



Rys.3 Zakresy systemów:
SD-system działania, SO-system obsługi, SOp-system operacyjny, SU-system użytku, SE-system eksploatacji, SZ-system zaopatrzenia

Konfrontacja określenia toczenia systemu z definicją systemu /bez względu na to, jaką definicję tu przytoczymy/ pozwala na zrozumienie i pojmowanie dowolnego wycinka rzeczywistości, np. górniczej maszyny wyciągowej, z jednej strony jako pewnego celowego zorganizowania zbioru elementów, z drugiej natomiast jako elementu składowego określonych nadsystemów.

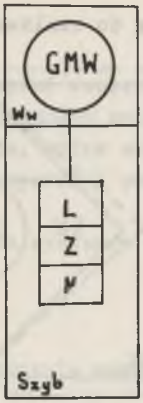
W ujęciu systemowym należy widzieć zawsze nie tylko podsystemy składające się na dany system, lecz i nadsystemy, stanowiące jego kontekst oraz powiązania z innymi systemami tych nadsystemów. O tym bowiem jaki jest i jaki ma być dany system mówią tworzące go składniki /podsystemy, elementy/, ale i opisują go także nadsystemy, do których on należy, gdyż z nadsystemów pochodzą zadania stawiane systemowi, jak też warunki i ograniczenia, przy których przychodzi realizować te zadania, a zatem jego ogólny charakter, jego struktura i funkcja jego składników.

Maszynę wyciągową korzystnie jest rozpatrywać jako podsystem składowy dwóch nadsystemów:

1/ jako podsystem górniczego urządzenia wyciągowego, zwanego również wyciągiem szybowym, bądź też:
2/ jako element górniczego meta-systemu, urabiająco - transportująco - przeróbczego /UTP/.

Wyciągiem szybowym nazywa się zespół; GMW z linami, zawiesiami i naczyniami oraz urządzenia szybu i nadszybia, służące bezpośrednio do jego eksploatacji, tzn. takie urządzenia, jak: wieża wyciągowa, elementy prowadzenia naczyń, koła linowe itd.
Schemat wyciągu szybowego ilustruje rys.4

W w - wieża wyciągowa,
L - liny,
Z - zawiesia,
N - naczynia wyciągowe.

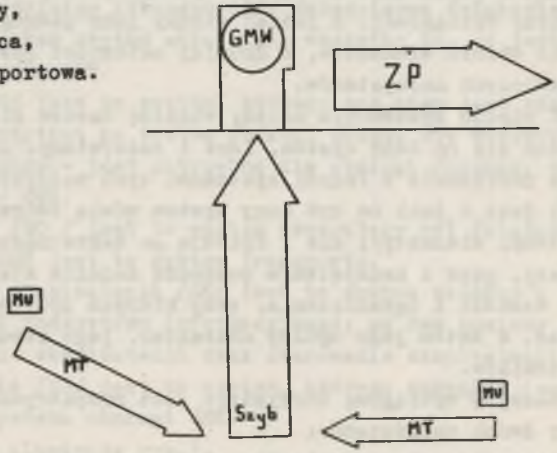


Rys.4 Wyciąg szybowy

Systemem UTP nazywa się zespół maszyn urabiających /kombajny, strugi/, transportujących /przenośniki, kolej/ i przeróbczych /przesiewacze, wzbogacalniki, flotowniki itp./.

Schemat meta - systemu /UTP/ przedstawiony jest na rys.5.

Z P - zakład przeróbczy,
M U - maszyna urabiająca,
M T - magistrala transportowa.



Rys.5 System urabiająco-transportująco--przeróbczy

Wnikliwa analiza tych nadsystemów, ich własności pozwala na sprecyzowanie wymagań stawianych GMW oraz ma przeprowadzenie kompleksowych badań niektórych podstawowych własności systemów, a mianowicie niezawodności, gotowości czy efektywności eksploatacji.

4.2. Struktura systemu, podsystemy

Górnicza maszyna wyciągowa należy do klasy sterowalnych systemów działaniowych /dynamicznych/ celowościowych. Działanie jest realizowane poprzez określony zainicjowany i odbywający się proces. Istotą systemu działaniowego celowościowego jest jego cel, postawione przed systemem zadanie. Ogólnie można powiedzieć, że celem GMW, jako systemu, jest wykonanie określonej pracy.

Aby wykonać swą funkcję, system musi mieć zadaną określoną strukturę, którą wykazują powiązania wewnętrzne systemu. Strukturą systemu nazywamy układ relacji określonego rodzaju pomiędzy elementami składowymi danego systemu. W tym sensie system można zdefiniować jako dwójkę 18 :

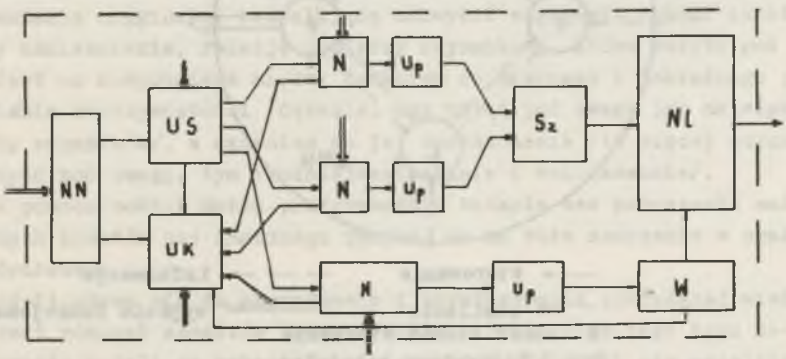
$$S = O_1 \, R \, O_2$$

gdzie: $O = O_1 + O_2$, zbiory elementów systemu,
R - ciąg relacji między elementami zbiorów O_1 i O_2.

Najprostszymi składnikami systemów, które mogą być rozważane jako jednostki struktury, są elementy. Są one utworzone zwykle z jeszcze prostszych fizycznie składników, lecz do opisu systemu dogodniej jest ustalić określoną dolną granicę podziału, poza którą nie wychodzi się w rozważaniach.

Podział systemu na składniki jest dokonywany w zależności od potrzeb, np. projektowania, analizy, syntezy. Kryterium podziału mogą stanowić własności systemu np. funkcjonalne, konstrukcyjne, niezawodnościowe czy inne.

Na rys.6 przedstawiono przykładową strukturę działaniową GMW



Rys.6 Struktura działaniowa GMW
N-napęd, Nl-nośnik lin, Sz-szczęki hamulcowe, Up-układ pośredniczący, W-wał główny, US-układ sterujący, UK-układ kontrolny, NN-zbiór napędów zasilających US I UK

→ Działanie ⟹ zasilanie

Ze względów łatwości analizy i syntezy systemów działaniowych wyróżnia się cztery rodzaje podsystemów specjalnych [14]:

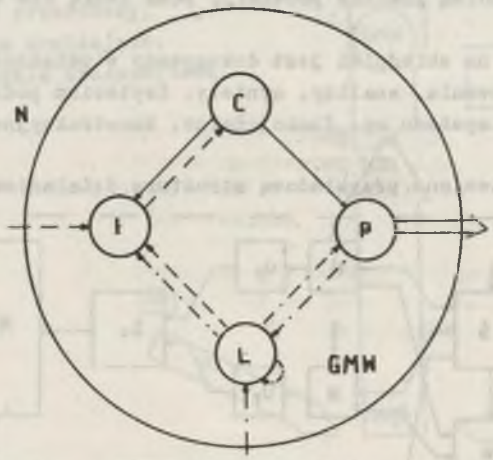
a/ podsystem procesowy /procesor/, /P/, który zapewnia zdolność systemu do funkcjonowania czyli realizacji, osiągania przez system swoich celów; w górniczej maszynie wyciągowej są to hamulce /H/, nośnik lin /NL/ i napędy /N/,

b/ podsystem sterowania /C/, który służy do kierowania i koordynacji działalności pozostałych systemów specjalnych dla realizacji celów całego systemu; w GMW system ten mieści się w podsystemie kontrolno-sterującym /K-S/; czasem elementem tego systemu jest człowiek,

c/ podsystem informacyjny /I/ służący do organizacji, przetwarzania i dystrybucji strumieni informacji, zarówno w obrębie systemu jak i z zewnątrz systemu zgodnie z potrzebami prawidłowego działania pozostałych systemów specjalnych; w GMW system ten mieści się w podsystemie kontrolno - sterującym /K-S/ oraz elementem tego systemu jest człowiek,

d/ podsystem zasileniowy służący do utrzymywania i zaopatrywania pozostałych systemów specjalnych i samego siebie, aby działanie całego systemu przebiegało prawidłowo; dla maszyny wyciągowej są to napędy /N/ oraz zespół ludzi - obsługa.

Powiązanie pomiędzy wymienionymi systemami ilustruje rys.7.



sterowanie — — — informacja

zasilanie ═══ wyjścia funkcjonalne

N zbiór stanów otoczenia

Rys.7 Podsystemy specjalne

5. Modelowanie

Rozważania teoretyczne prowadzące do rozwiązania zagadnień badawczych przeprowadza się na ogół na tzw. modelach. Są to więc dociekania dotyczące tylko pośrednio badanego przedmiotu. I chyba właśnie użycie modeli można uznać za cechę wyróżniającą badania teoretyczne.

Modelowanie fizyczne i abstrakcyjne części, podzespołów, zespołów i całej maszyny wyciągowej oraz ich własności, występuje na wszystkich trzech etapach życia maszyny tj. w fazie projektowania, wytwarzania i samego projektu oraz ocen a priori podstawowych własności projektowanej maszyny bądź jej elementów. Faza wytwarzania jest chyba najmniej nasycona modelowaniem. W fazie eksploatacji modelowanie związane jest z wyznaczaniem rzeczywistych ocen własności eksploatowanej maszyny wyciągowej, takich jak: niezawodność, efektywność, gotowość, naprawialność itp. oraz z właściwą organizacją samego procesu eksploatacji i procesów towarzyszących, takich jak: konserwacje i przeglądy, remonty, gospodarka częściami zamiennymi itp.

Spróbujmy prześledzić jak przedstawiają się problemy modelowania górniczych maszyn wyciągowych, widziane od strony ogólnej teorii modelowania. Rozpatrzymy nieco bliżej istotę modelu i modelowania, rodzaje modeli oraz rozważmy jak przedstawia się ogólny proces budowy modelu.

5.1. Model i modelowanie

Istotą modelowania jest takie przedstawienie, w sposób uproszczony modelowanego oryginału - wycinka rzeczywistości, aby otrzymany wzór /reprezentacja, model/ dobrze reprezentował istotne, z danego punktu widzenia, własności oryginału przy abstrahowaniu innych, nieistotnych własności. Pod pojęciem oryginału rozumiemy tu istniejące, przeszłe lub przyszłe przedmioty lub zdarzenia, natomiast pod pojęciem modelu - przedstawienie, odwzorowanie wycinka rzeczywistości, jakby postać zastępczą oryginału, która to postać jest mniej złożona aniżeli rzeczywistość i przez to łatwiejsza w użyciu do celów badawczych.

Model jest ilościową lub jakościową lub ilościowo - jakościową reprezentacją oryginału, pozwalającą uchwycić względnie poznać istotne cechy uzależnienia, relacje pomiędzy czynnikami, które wzięto pod uwagę. Jest on kompromisem między dążeniem do wiernego i dokładnego przedstawienia rzeczywistości /dążenie, aby wziąć pod uwagę jak największą liczbę czynników/, a dążeniem do jej uproszczenia /im więcej czynników wziętych pod uwagę, tym trudniejsze badanie i wnioskowanie/.

Za pomocą modeli można przeprowadzić badania bez ponoszenia nadmiernych kosztów czy znacznego ryzyka, co ma duże znaczenie w praktyce górniczej.

Modeli używa się do gromadzenia i przekazywania posiadanej wiedzy na temat różnych aspektów rzeczywistości. Przykładem tego typu zastosowania modeli są materiały niniejszej konferencji czy wszelkie modele używane w szkolnictwie. Modeli używa się także do wyjaśniania przeszłości i teraźniejszości. Można również na podstawie odpowiednich modeli, wnioskować w przyszłość i na tej podstawie wpływać na nią. Za pomocą modeli możemy sterować procesami, albowiem dobre modele pozwalają zrozumieć prawidłowości rządzące przedmiotem sterowania.

Modele posiadają swoiste cechy. Do najważniejszych cech modeli można zaliczyć [28]:

- hipotetyczność; model jest "przypuszczeniem" /bardziej lub mniej wiarygodnym/, że przedstawiony w sposób uproszczony oryginał dobrze go reprezentuje; zwykle model jest tak skonstruowany, aby można było uzyskać jak najwięcej interesujących nas wniosków oraz stosunkowo łatwo przeprowadzić choćby częściową weryfikację, przykładem tego może być model przebiegów sił w linach nośnych i wyrównawczych urządzenia wyciągowego w stanie awaryjnym przy krańcowym położeniu naczyń wydobywczych, prezentowany w referacie przez J.Czaję,
- subiektywizm; ma on swoje źródło w takim doborze danych, jaki jest dla nas z pewnych względów dogodny /jednakże należy zauważyć, iż dogodność nie jest głównym kryterium doboru danych - jest nim cel jakiemu model ma służyć/. Każdy model jest odwzorowaniem obiektu badań tylko ze względu na te aspekty, które wzięto pod uwagę,
- względna prostota; model jest uproszczeniem, polegającym zwykle albo na ograniczeniu liczby wielkości występujących w modelu i wiążących je zależności albo na uproszczeniu formy tych zależności, np. wszystkie równania regresji liniowej i krzywoliniowej prezentowane między innymi w referatach J.Hankusa i W.Cieślaka, stanowią uproszczenia względem rzeczywistej liczby zmiennych objaśniających, które wpływają naopisywane przez te równania zmienne endogeniczne,
- różnorodność; mogą, a nawet często powinny współistnieć różne modele, wykorzystywane przy badaniu tego samego zdarzenia, lub obiektu lub tych samych własności i uwzględniające rozmaite aspekty przedmiotu badań.

Modelowanie oparte jest na zasadzie izomorfizmu, to jest na wzajemnej odpowiedzialności zjawisk czy własności. Zasada ta pozwala odtwarzać bądź wyrażać zjawiska i przedmioty rzeczywiste za pomocą izomorficznych, ale różniących się od oryginału swoim charakterem fizycznym. Sensem modelowania jest to, że model izomorficzny może i powinien być bardziej dogodny do badań, syntezy i analizy aniżeli oryginał.

Oprócz zasady izomorfizmu korzysta się przy konstrukcji modeli także i z zasady analogii. Modele analogowe obecnie najczęściej realizowane są przy zastosowaniu elementów maszyn analogowych i hybrydowych [17,22].

Izomorfizm oryginału i modelu umożliwia dokonanie symulacji badania, które pozwala na określeniu zachowania się oryginału na podstawie zachowania się modelu poddanego określonym próbom [27]. Symulacja szerzej pojęta, realizowana maszynami analogowymi i hybrydowymi, może także oprócz samego odtwarzania zdarzeń właściwych oryginałowi, obejmować procedury nadrzędne, takie jak np. optymalizację czy automatyczną zmianę parametrów modelu. Procedury takie są realizowane - przy zastosowaniu automatycznego sterowania elementami hybrydowymi - programem narzuconym przez układ sterujący iteracyjnej maszyny analogowej.

Reasumując można stwierdzić, iż modelowanie stanowi niezwykle cenne a zarazem dogodne narzędzie badania otaczającej nas rzeczywistości; także i badania górniczych maszyn wyciągowych.

5.2. Podział modeli

Z formalnego punktu widzenia modele stosowane w nauce i technice można podzielić na:
- fizyczne, rzeczywiste odwzorowania materialne, np. modele bębnów, hamulców, wykładzin ciernych maszyn wyciągowych,
- abstrakcyjne; odwzorowania matematyczne bądź symboliczne, np. modele niezawodności działania maszyn wyciągowych i ich podzespołów, modele wykorzystania czasu dyspozycyjnego w eksploatacji maszyny wyciągowej, matematyczne modele drgań maszyn wyciągowych lub w układzie naczynia wydobywcze - zbrojenie szybowe.

Modele fizyczne budowane są na podstawie podobieństwa, przy czym stopień podobieństwa może być różny. Modele abstrakcyjne, to matematyczne opisy obiektów i zjawisk, a także symboliczne, umowne odwzorowania rzeczywistości.

Przyjmując z kolei za podstawę klasyfikacji kardynalne cechy charakterystyczne własności oryginału, modele możemy podzielić na:
- strukturalne, tzn. takie, które określają sposób, w jaki oryginał był, jest lub będzie skonstruowany, może to więc być np. rysunek roboczy części składowych maszyny wyciągowej, szkic, schemat,
- funkcjonalne, tzn. takie, które określają sposób działania oryginału, np. układ równań matematycznych opisujących przebieg procesu hamowania w hamulcach maszyn wyciągowych,
- strukturalno-funkcjonalne, tzn. takie, które oddają istotę obu kardynalnych cech naraz, np. prototyp.

Sposób przedstawienia rzeczywistości, uwzględniający bądź nieuwzględniający zmienną czasową pozwala podzielić modele na:
- statyczne,
- dynamiczne,

w praktyce projektowej natomiast najczęściej rozróżnia się [1]:
- modele graficzne,
- modele fizyczne ,
- modele matematyczne.

Modele graficzne to wszelkiego rodzaju szkice, rysunki, nomogramy, wykresy /np. momentów, mocy, jazdy, przyspieszeń itp./. Stanowią one zasadniczy składnik większości projektów technicznych, górniczych maszyn wyciągowych. Rodzaj stosowanych modeli graficznych zależy od ich przeznaczenia. W fazach wstępnych projektowania rysunki mogą służyć tworzeniu czy utrwalaniu koncepcji; w fazach końcowych są one nastawione na wizualne komunikowanie informacji przyszłym wykonawcom. W modelowaniu graficznym posługujemy się kodowaniem informacji przy użyciu zapisu symbolicznego i umownych oznaczeń. Im doskonalsze sto-

suje się kody graficzne, tym łatwiej jest korzystać z modeli i tym większa jednoznaczność rozpoznania idei i rozwiązań wyrażonych przez modele.

Wśród modeli fizycznych rozróżnia się modele kształtu i struktury oraz modele doświadczalne przedmiotów i zdarzeń. Modele kształtu i struktury mogą być dwu lub trójwymiarowe.

Modele dwuwymiarowe buduje się z elementarnych modeli, tak zwanych wykrojów płaskich, które są zwykle rzutami konturów obiektu na płaszczyznę. Służą m.in. do projektowania rozmieszczenia składników systemu na płaszczyźnie. Modele trójwymiarowe służą do odtworzenia w skali brył i dalej,analizy rozmieszczenia przestrzennego składników w systemie.

Modele doswiadczalne przedmiotów stosuje się do badania obiektów projektowanych, dla weryfikacji nowych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych. Można tu wyróżnić modele konstrukcji i prototypy poszczególnych maszyn i urządzeń.

Modele doświadczalne zdarzeń, nierzadko procesów, wykonuje się dla potrzeb zbadania prawidłowości rządzących tymi zdarzeniami, dla wnioskowania o przyczynach i następstwach tych zdarzeń.

Ze względu na sposób wykorzystania rozumowania modele dzielimy na:
- logiczne
- logiczno - matematyczne,
- matematyczne.

Jeżeli w modelach matematycznych odwzorowywana rzeczywistość uwzględnia losowy charakter wielkości modelowanych, wówczas modele takie nazywamy stochastycznymi; w przeciwnym przypadku mamy do czynienia z modelami deterministycznymi.

W modelach stochastycznych, w zależności od stopnia wiedzy o własnościach losowych przedstawianej rzeczywistości, możemy mówić o:
- modelach probabilistycznych, w których znane są rozkłady wielkości losowych, np. rozkład wielkości błędów przypadkowych danej wielkości badanej /np. siły zrywającej linę wyciągową/ jest na ogół normalny,
- modelach statystycznych, w których nieznane rozkłady wielkości losowych należy oszacować z próby, np. rozkład liczby uszkodzeń danego elementu maszyny wyciągowej,
- modelach strategicznych, w których nieznane są rozkłady wielkości losowych i brak jest możliwości uzyskania informacji o nich, np. modele niezawodności działania nowo konstruowanych elementów, czy zespołów GMW.

5.3. Metodyka budowy modelu

Jak w każdym działaniu, tak i w przypadku budowy modelu, punktem wejścia jest inspiracja, potrzeba konstrukcji modelu z jasno sprecyzo-

wanym celem odwzorowywania oryginału. Wszystkie modele buduje się dla celów badawczych, kontrolnych bądź dydaktycznych.

Podstawą realizacji celu modelowania są informacje, jakimi dysponujemy o odwzorowywanej rzeczywistości. Na przeszkodzie do osiągnięcia zamierzonego celu stoją ograniczenia. Dotyczą one: ilości informacji o oryginale, możliwości metod modelowania i możliwości środków obliczeniowych. Zarówno informacje o oryginale, jak i istniejące ograniczenia mogą w sposób istotny wpłynąć na osiągnięcie celu modelowania. Należy zatem dokonać wstępnej konfrontacji informacji jakimi dysponujemy oraz istniejących możliwości. W wyniku tego ustalone zostaną zasady i wybrane metody modelowania oraz uczynione niezbędne założenia i uproszczenia.

Następnym krokiem jest konstrukcja modelu. Budowa modelu może być kilku etapowa. Może to być najpierw synteza opisu koncepcji modelu za pomocą parametrów i zmiennych decyzyjnych, a następnie ułożenie niezbędnych równań opisujących badaną rzeczywistość. W przypadku konstrukcji modelu natury mechanicznej, może to być takie działanie, które zachowując geometryczną strukturę obiektu badań i pozbawiając go wszystkich tych cech, które nie mają związku z realizowaną funckją celu modelowania, sprowadzałoby ten obiekt do pewnej reprezentacji zastępczej, złożonej z typowych elementów modelowych. Następnym etapem byłyby uproszczenia polegające na eliminacji niektórych mas, redukcji stopni swobody i przyjmowanie jeszcze innych założeń.

Wreszcie budowa modelu kinematycznego. Etap budowy modelu uważać możemy za wstępnie zakończony, jeżeli po dokonaniu jego konstrukcji przeprowadzona zostanie pomyślna weryfikacja z danymi pierwotnymi o odwzorowywanej rzeczywistości. Na uwagę zasługuje w tym miejscu konieczność sprawdzenia modelu w warunkach granicznych. Jeżeli pojawią się niezgodności, mogą być potrzebne rewizje wstępnych sformułowań.

Czasem skonstruowany model jest zbyt ubogi dla naszych potrzeb, bądź też weryfikacja nie jest w pełni pomyślna. Wówczas zachodzi potrzeba zwiększenia posiadanych informacji o obiekcie poprzez odpowiednie pomiary i doświadczenia. Proces doświadczalnego określania matematycznego modelu nazywa się identyfikacją. W przypadku obiektów stosunkowo prostych zagadnienie identyfikacji można rozbić na cztery etapy:

- opracowanie metodyki identyfikacji,
- zainstalowanie aparatury pomiarowej,
- dokonanie pomiarów,
- opracowanie wyników.

W przypadku obiektów stosunkowo złożonych zagadnienie identyfikacji jest bardziej skomplikowane. Najpierw prowadzi się prace przygotowawcze obejmujące:

- analizę identyfikowanego obiektu,
- zaznajomienie się z możliwościami pomiarowymi,

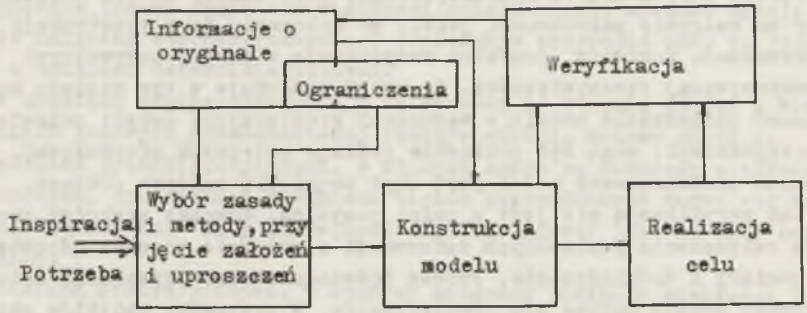
- opracowanie wstępnego modelu.

Opierając się na pracach przygotowawczych przeprowadza się:
- określenie zakresu identyfikacji,
- zainstalowanie aparatury pomiarowej.

Następnie przystępuje się do identyfikacji wstępnej obejmującej:
- opracowanie metodyki identyfikacji wstępnej,
- dokonanie pomiarów,
- opracowanie wyników.

Ponieważ uzyskane wyniki są rezultatem opracowanej wstępnego modelu dlatego też nierzadko pojawia się konieczność opracowania skorygowanego /nowego/ modelu i na tej podstawie dokonania identyfikacji, tzn. opracowanie metodyki identyfikacji, dokonanie pomiarów i opracowanie wyników.

Etap budowy modelu możemy uważać za zakończony, jeżeli pomyślnie zostanie zrealizowany cel modelowania. Moment realizacji celu jest ostateczną formą weryfikacji. I tak np. jeżeli celem modelowania było takie badanie oryginału, by mogła być podjęta określona decyzja, to słuszność tej decyzji jest miarą dobrocie skonstruowanego modelu. Może się tak zdarzyć, że mimo pomyślnej wstępnej weryfikacji modelu podjęta decyzja będzie błędna. Wówczas niezbędne jest sprawdzenie przyjętych założeń i uczynionych uproszczeń oraz wykonanych obliczeń. Dobry model powinien dobrze reprezentować opisywaną przez niego rzeczywistość, co umożliwia realizację zamierzonego celu odwzorowywania.

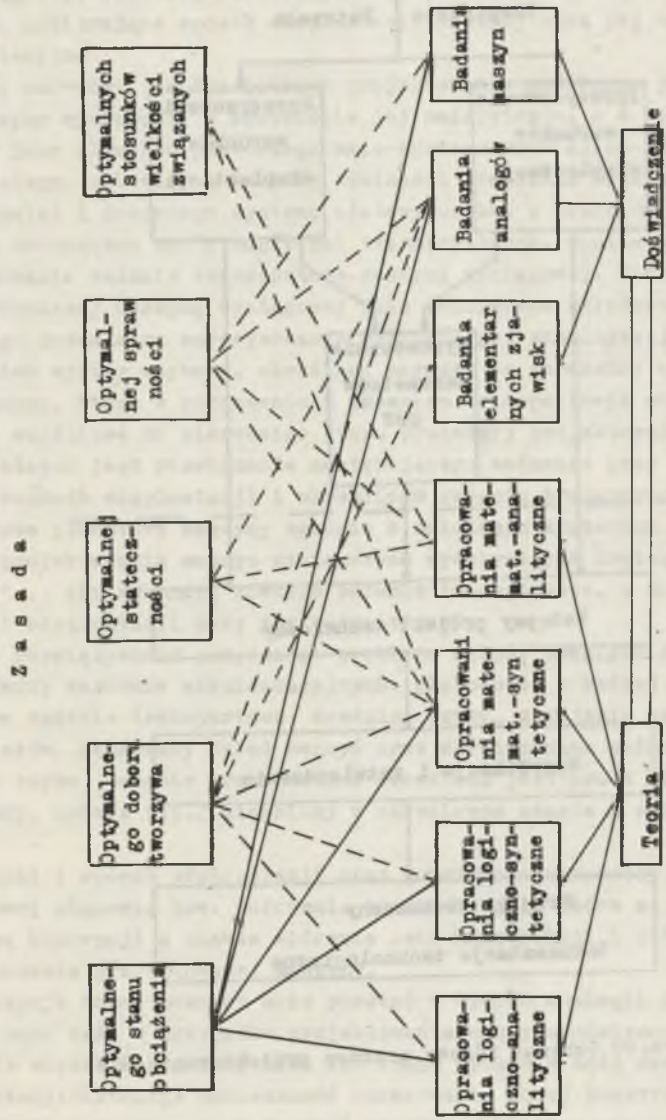


Rys.8 Metodyka budowy modelu

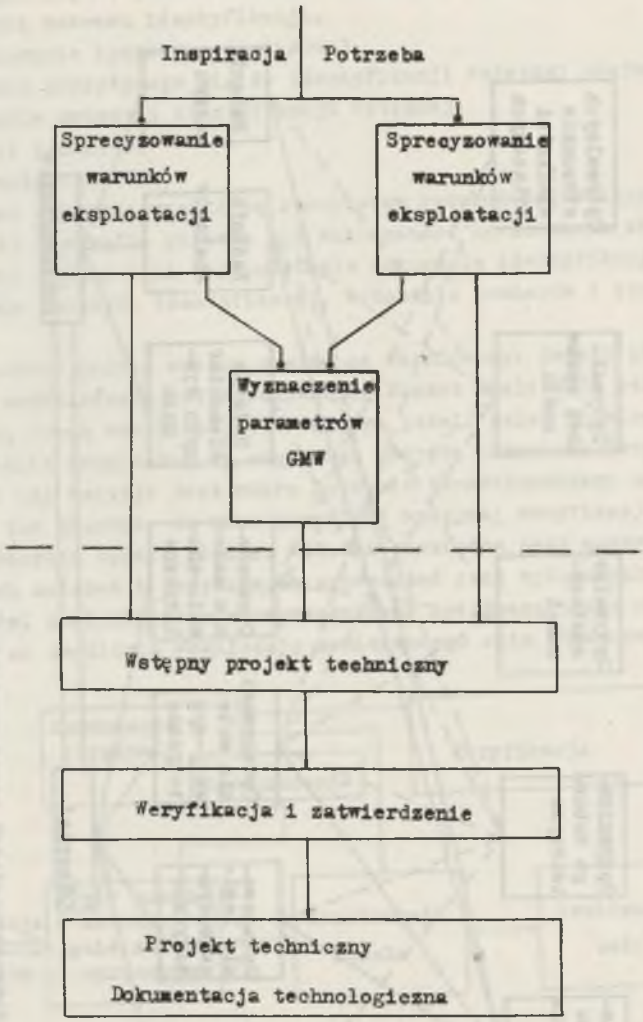
6. Projektowanie i wytwarzanie

6.1. Krótki opis projektowania GMW

Projektowanie jest jednym z ogniw łączących naukę z techniką. Projektowanie górniczych maszyn wyciągowych należy do klasy projektowania wyrobów mechanicznych. Zasady projektowania takich obiektów przedstawione są na rys.9, natomiast rys.10 ilustruje schemat ideowy procesu projektowania.



Rys.9 Schemat powiązań zasad projektowania konstrukcji maszyn [6]



Rys.10 Schemat ideowy procesu projektowania GMW

Projektowanie jest również odmianą działalności ludzkiej, więc punktem wejścia jest inspiracja, potrzeba konstrukcji górniczej maszyny wyciągowej. Podstawą realizacji celu projektowania są informacje wstępne, zawierające sposób eksploatacji maszyny oraz jej warunki eksploatacyjne.

Łatwo zauważyć, że dla potrzeb projektowania niezbędne jest widzenie maszyny wyciągowej w kontekście jej nadsystemów, a w pierwszym rzędzie jako elementu górniczego meta-systemu urabiająco-transportująco-przeróbczego, albowiem z analizy zdolności urabiania maszyn urabiających kopalni i dobranego systemu odstawy urobku z przodków wydobywczych, systemu tworzącego zbiór magistral transportowych, wynika konieczne do zrealizowania zadanie transportowe maszyny wyciągowej. Widzenie natomiast górniczej maszyny wyciągowej jako podsystemu składowego wyciągu szybowego pozwala na sprecyzowanie warunków jej eksploatacji. Określając bowiem wyciąg szybowy, określamy zarazem te parametry wejściowe dla maszyny, które w połączeniu z zadaniem transportowym stanowią założenia wejściowe do pierwszego etapu procedury projektowej.

Tym etapem jest rozwiązanie następującego zadania: przy sprecyzowanych warunkach eksploatacji i określonym zadaniu transportowym znaleźć podstawowe parametry maszyny zgodnie z założonym kryterium. W odniesieniu do projektowania maszyn wyciągowych wydobywczych kryterium to brzmi: "... aby wykonane zostało zadanie transportowe, a koszty jego budowy i eksploatacji były jak najmniejsze".

Przy rozwiązywaniu powyższego problemu należy uwzględnić następujące elementy warunków eksploatacyjnych: głębokość, z której ma być realizowane zadanie transportowe, średnicę szybu, zbrojenie szybu, ilość przedziałów, stosowany układ naczyń oraz sprecyzowane zadanie wentylacyjne szybu. Zadanie transportowe określone jest przez udźwig /urobek, materiały, ludzie itp./ ciągniony w określonym czasie z zadanej głębokości.

Warunki i sposób eksploatacji oraz podstawowe parametry maszyny wyciągowej stanowią tzw. założenia konstrukcyjne, które są sprecyzowaną formą koncepcji z punktu widzenia celu konstrukcji i potrzeb procesu konstruowania projektowanej maszyny.

Koncepcja nowej maszyny może powstać w wyniku analogii do już istniejących bądź też, w przypadku projektowania maszyno odmiennych /czasem znacznie większych/ parametrach lub innym sposobie bądź warunkach eksploatacji istnieje konieczność opracowania nowej konstrukcji. Nowość konstrukcji rozumiana jest tu dość szeroko, albowiem przy tylko nieco odmiennych parametrach, sposobie lub warunkach eksploatacji nowość może oznaczać niewielkie zmiany konstrukcyjne. Przy całkowicie innych założeniach konstrukcyjnych niezbędne może okazać się dokonanie studiów i prac wstępnych oraz analizy krytycznej istniejących rozwiązań, aby uzyskać koncepcję /korzystniej, kilka koncepcji/ nowej konstrukcji o istotnie odmiennej formie w porównaniu do istniejących. Należy rów-

nież pamiętać o tym, że jeżeli nawet ma być zaprojektowana maszyna o typowych założeniach konstrukcyjnych, to i tak może się ona różnić od dotychczasowych rozwiązań ze względu na stałe badania nad doskonaleniem konstrukcji w sensie stosowanych materiałów, rozwiązań funkcjonalnych itp. Proces doskonalenia ma charakter ciągły i nie tylko polega na badaniach laboratoryjnych, poligonowych - ogólnie - empirycznych i studialnych - teoretycznych, lecz także można uzyskać bardzo dobre efekty korzystając i adoptując pewne rozwiązania, uzyskane w innych dziedzinach techniki.

W wyniku procesu konstruowania otrzymujemy konstrukcję, do której opracowany zostaje projekt wstępny. Projekt ten przechodzi dwa etapy: weryfikację i w razie pomyślnego sprawdzenia, akceptację. Następnym etapem jest projekt techniczny i dokumentacja technologiczna.

Projekt techniczny zawiera m.in.:
- opis techniczny konstruowanej maszyny,
- obliczenia,
- komplet rysunków wraz z ogólnymi i szczegółowymi schematami elektrycznymi i kinematycznymi oraz rysunkami i instrukcjami montażowymi,
- listy części znormalizowanych, zunifikowanych i stypizowanych,
- wstępne zestawienie materiałów,
- rozwinięcie konstrukcyjne.

Przy opracowywaniu projektu dąży się do uzyskania takich walorów, jak: technologiczność konstrukcji, niski koszt, dobra użytkowość /łatwość eksploatacji/, funkcjonalność, niezawodność operacyjna i bezpieczeństwa, ergonomiczność naprawialność, efektywność itp.

Zwraca się też między innymi uwagę na następujące czynniki:
- stosowanie obowiązujących norm i normatywów,
- stosowanie materiałów i części znormalizowanych,
- korzystanie w jak najszerszym zakresie z części już wytwarzanych,
- minimalizację gabarytów i degrawizację konstrukcji,
- zmniejszenie liczby części potrzebnych do uzyskania wymaganej funkcji /użytkowej/,
- zmniejszenie kosztów eksploatacji poprzez prostotę funkcjonalną i uproszczenie czynności konserwacyjnych.

Przy projektowaniu maszyny wyciągowej, tak jak każdego wyrobu przemysłu maszynowego i elektrotechnicznego, opracowuje się dokumentację technologiczną. Powinna ona zawierać m.innymi:
- karty technologiczne,
- instrukcje technologiczne,
- karty kontroli technicznej,
- rysunki odlewów, odkuwek itd.,
- rysunki oprzyrządowania,
- warunki tedhniczne montażu,
- zestawienie pracochłonności wyrobu,

- normatywy czasu wykonania poszczególnych operacji,
- normatywy zużycia pomocy warsztatowych.

Ostateczna dokumentacja technologiczna jest nazywana dokumentacją produkcyjną.

6.2. Problemy zapewniania niezawodności na etapie projektowania i wytwarzania

Jedną z podstawowych cech górniczej maszyny wyciągowej jest własność do spełniania stawianych przed nią wymagań - czyli niezawodność. Niezawodność związana jest także z bezpieczeństwem - pewnością działania maszyny. Tak więc problemy zapewnienia odpowiedniej niezawodności są niezmiernie istotne zarówno w fazie projektowania, wytwarzania jak i eksploatacji GMW.

Spośród wielu rozmaitych metod zapewniania niezawodności, klasa metod przedeksploatacyjnych charakteryzuje się dużą skutecznością i efektywnością ekonomiczną. Klasyfikacja tych metod przędstawiona jest w tabl.1.

Przedeksploatacyjne metody zapewniania niezawodności

Etap	Rodzaj metody
projektowanie	Optymalizacja dynamiczna, zastosowanie lepszych elementów, redundacja, optymalizacja struktury niezawodnościowej, podwyższenie jakości dokumentacji projektowej, metody technologiczne.
wytwarzanie	dokładność i stabilność procesu technologicznego optymalizacja metod kontroli
	racjonalny montaż i rozruch

Tabl.1. Klasyfikacja przedeksploatacyjnych metod zapewnienia niezawodności

Ogólnie można rozróżnić dwa zasadnicze kryteria kształtowania poziomu niezawodności, a mianowicie:

1. kryterium bezpieczeństwa,
2. kryterium ekonomiczne.

Kryterium bezpieczeństwa odnosi się do przypadku, gdy od niezawodności działania maszyny zależy życie ludzkie. Wówczas staramy się zapewnić także poziom niezawodności, aby prawdopodobieństwo awarii zagrażającej życiu było odpowiednio niskie. Jak wynika z przeprowadzonych analiz [5] prawdopodobieństwo takie, w odniesieniu do maszyn wyciągowych jest dużo mniejsze aniżeli 10^{-5}.

W przypadku gdy z niezawodnością działania danego obiektu technicz-

nego nie wiąże się kwestia bezpieczeństwa, wówczas kształtowanie poziomu niezawodności w oparciu o kryterium ekonomiczne jest jak najbardziej uzasadnione. Idea tego kryterium jest następująca. Można podwyższać niezawodność obiektu poprzez stosowanie lepszych materiałów, zaostrzenia kontroli dotrzymania wymagań z dokumentacji itp., jednakże z tym wszystkim związane jest poniesienie pewnych kosztów. Z drugiej strony podniesienie niezawodności działania zwiększa efektywność eksploatacji /np. wydajność/ tego obiektu, a więc przynosi konkretne efekty ekonomiczne. Zwiększanie zatem niezawodności obiektu jest dotąd uzasadnione, dopóki wzrost efektów ekonomicznych jest niemniejszy od wzrostu poniesionych kosztów. Punkt, w którym następuje przekroczenie jedynki w ilorazie kosztów do efektów nazywamy ekonomicznie uzasadnionym poziomem niezawodności dla danego obiektu.

W odniesieniu do górniczej maszyny wyciągowej mamy do czynienia z obydwoma kryteriami naraz. Istnieją bowiem takie części, podzespoły czy zespoły maszyny, których awaria zagraża życiu ludzi, istnieją także części, podzespoły i zespoły maszyny, których niezawodność powinna się kształtować tylko w oparciu o kryterium ekonomiczne.

Abstrahując od szczegółowych rozważań, które z elementów maszyny wyciągowej należy projektować i wytwarzać w oparciu o dane kryterium, rozwiązywane metody i sposoby zapewniania żądanej własności.

Pierwszą z takich metod jest optymalizacja dynamiczna. Jest to taki sposób zaprojektowania maszyny, jej zespołów i podzespołów, aby warunki i sposób ich współpracy w eksploatacji GMW były jak najkorzystniejsze. Bardzo ważnym elementem w tej metodzie jest widzenie warunków i sposobu współdziałania w kontekście dynamicznym, tj. w kontekście procesów zachodzących w czasie eksploatacji projektowanej maszyny.

Zastosowanie lepszych elementów, w sensie lepszych materiałów konstrukcyjnych, zespołów z podzespołów o korzystniejszych wskaźnikach i charakterystykach wyjściowych itp., jest sprawą oczywistą.

Powyższe dwie metody były stosowane od dawna, wcześniej aniżeli zaczęto rozpatrywać same problemy zapewniania niezawodności. Zrodziła je bardziej praktyka inżynierska niż wyspecyfikowane metody naukowego dociekania. Odwrotnie ma się sprawa z stosowaniem redundacji, czyli nadmiarów. Nadmiary zaczęto również stosować już dawno, jednakże dopiero rozwój naukowego podejścia do tych zagadnień przyczynił się do większego i niewątpliwie bardziej racjonalnego ich stosowania.

Rozróżniamy następujące rodzaje nadmiarów:

- nadmiar strukturalny - niektóre elementy maszyny mogą być rezerwowane, przy czym wyróżniamy rezerwę gorącą, chłodną i zimną równoległą oraz "k z n"; przykładem rezerwy gorącej jest dodatkowa liczba par szczęk, w hamulcu maszyny wyciągowej, poza wymaganą racjami wytrzymałościowymi,
- nadmiar funkcjonalny - inne elementy mogą w określonym zakresie rea-

lizować funkcje danego elementu; np. w zautomatyzowanych maszynach wyciągowych istnieje możliwość, w przypadku awarii automatyki, sterowania ręcznego pracą maszyny,
- nadmiar informacyjny - informacja jest podawana wielokrotnie lub z kilku różnych źródeł; przykładem nadmiaru informacyjnego jest sygnalizacja wzrokowa i słuchowa - dźwiękowa /o dojechaniu i zatrzymaniu naczynia na żądanym poziomie sygnalista otrzymuje sygnał dźwiękowy, wskaźnik głębokości wskazuje głębokość , a na linie wydobywczej najczęściej naznaczone jest farbą miejsce jej prawidłowego usytułowania względem nośnika lin/,
- nadmiar wytrzymałościowy - przyjmowanie dużego współczynnika bezpieczeństwa; jest to obecnie jedna z generalnych zasad w projektowaniu maszyny wyciągowej,
- nadmiar parametryczny - ustalenie wąskich granic tolerancji dla cech mierzalnych maszyny; np. stosowane w niektórych połączeniach typu wałek - tuleja,
- nadmiar czasowy - maszynę wyciągową przeznaczoną do normalnej eksploatacji dla realizacji zadania transportowego docelowego, montuje się i eksploatuje nieraz już w fazie głębienia szybu.

Równolegle do stosowanych nadmiarów można stosować różnego rodzaju zabezpieczenia, które nie tyle podnoszą czy zapewniają żądaną niezawodność /co czasem ma miejsce/ ile podnoszą, a na pewno zapewniają odpowiednie bezpieczeństwo eksploatacji maszyny.

Stosowanie redundacji i zabezpieczeń jest ogólnie rzecz biorąc jak najbardziej uzasadnione, jednakże powinno być oparte na wnikliwej analizie celowości i racjonalności. Czasem może się bowiem okazać, co ma miejsce w eksploatacji niektórych zautomatyzowanych maszyn wyciągowych, iż zastosowany zbiór zabezpieczeń wyłancza i blokuje maszynę w bardzo wielu przypadkach nieistotnych, drobnych tylko nieprawidłowości jej pracy. Niektóre z stosowanych nadmiarów weszły na stałe do procesu projektowania w postaci norm, jak np. stosowanie niezależnych napędów w hamulcach manewrowych i bezpieczeństwa. Czasem, niestety stosowana redundacja jest wyrazem naszej niewiedzy o rzeczywistych procesach i zależnościach zachodzących między nimi. Wyrazem tego jest np. stosowany współczynnik bezpieczeństwa dla kopalnianych lin nośnych.

Ważnym etapem projektowania z punktu widzenia uzyskania ekonomicznie uzasadnionego poziomu niezawodności jest wybór struktury niezawodnościowej. Z góry można powiedzieć, iż praktycznie rzecz biorąc, szukanie optymalnych struktur niezawodnościowych na etapie projektowania maszyny wyciągowej nie ma niestety miejsca. Rozmaite warianty poszukiwanych struktur różnić się bowiem mogą między sobą zarówno ilością elementów rezerwowych i sposobem ich powiązania jak i niezawodnością substytucyjnie użytych elementów. A zatem do każdego wariantu można przypisać różnorodne skutki ekonomiczne i techniczne. Daje to w efekcie to, że już przy stosunkowo mało skomplikowanych zorganizowanych zbiorach ele-

mentów poważnie utrudnione lub zgoła nie możliwe staje się wyznaczenie w sposób analityczny optimum struktury niezawodnościowej. Znane algorytmy poszukiwania optimum struktury, np. [2,8] mają w zasadzie charakter heurystyczny /oprócz algorytmu opartego na zastosowaniu metod programowania dynamicznego/, a więc de facto nie gwarantują uzyskania optymalnego rozwiązania. Ponadto proponowane modele są w znacznym stopniu uproszczone, zaś wymagany na etapie obliczeń poziom informacji stosunkowo wysoki. Dlatego też, jedynie w przypadku projektowania podsystemów elektrycznych w układach sterowania maszyną wyciągową, czasem możemy mówić o poszukiwaniu korzystnych struktur niezawodnościowych.

Do praktycznie stosowanych metod podwyższania i zapewniania żądanej niezawodności należą niewątpliwie metody technologiczne. Konstruktor maszyny zadaje określone cechy elementom przez ustalenie ich kształtów, wymiarów, materiałów z których będą wykonane, tolerancji, gładkości powierzchni i sposobu ich wzajemnego połączenia oraz wymagań dotyczących dokładności połączenia. W dokumentacji konstrukcyjnej podaje się również wymagania dotyczące twardości materiału, rodzaju struktury geometrycznej powierzchni, a także niekiedy sposób obróbki elementu. Łatwo zauważyć, że istnieje możliwość podniesienia bądź zapewnienia odpowiedniego poziomu niezawodności poprzez celową, korzystną zmianę istotnych wymogów technologicznych, jak np. poprzez zastosowanie bardziej odpornych materiałów, podwyższenie odporności tylko warstwy wierzchniej, stosowanie różnych sposobów obróbki itp. Dokonując jednakże zmiany należy pamiętać o konieczności zapobiegania skutkom ubocznym, by te nie zniweczyły korzyści płynących z projektowanych zmian. W chwili obecnej zastosowanie technologicznych metod zapewniania niezawodności elementów maszyn wyciągowych jest jednak niezadawalające.

Nieco inaczej przedstawiają się metody zapewniania niezawodności na etapie wytwarzania. Uważa się, iż można wyróżnić następujące czynniki określające poziom niezawodności obiektów technicznych na etapie produkcji:

- dokładność i stabilność procesu technologicznego,
- optymalizacja metod kontroli zarówno bezpośrednio w procesie produkcji, jak i gotowej maszyny,
- analiza uszkodzeń i wad, a także odchyleń od dokumentacji technicznej,
- okresowe badanie gotowych maszyn.

Metody zabezpieczenia niezawodności na etapie produkcji w dużym stopniu zależą od samej konstrukcji, sposobu produkcji, jak też przeznaczenia maszyny. Podstawą zapewnienia niezawodności jest na omawianym etapie życia maszyny, właściwe sterowanie procesem technologiczno-produkcyjnym oraz jego kontrolą, przy czym należy z góry zaznaczyć, iż inaczej przedstawia się ten problem w przypadku produkcji seryjnej pewnych elementów maszyny, a inaczej w przypadku produkcji jednostkowej innych elementów. Stosowane metody sterowania i kontroli są na ogół

ogół istotnie różne.

7. Eksploatacja

7.1. Proces eksploatacji GMW

Z chwilą zainstalowania maszyny wyciągowej i rozpoczęcia wydobycia rozpoczyna się eksploatacja GMW. Oznacza to, że zainicjowany zostaje pewien celowy proces przebiegający w czasie, w trakcie którego zachodzą zmiany własności obiektu eksploatacji. Zbiór wartości opisujący własności obiektu eksploatacji w danej chwili t nazywamy stanem eksploatacyjnym obiektu. Zbiór stanów eksploatacyjnych określa się mianem repertuaru eksploatacyjnego.

Z punktu widzenia realizacji głównego celu użytkowania GMW, możemy mówić o takiej własności jak zdatność lub niezdatność maszyny w danym układzie eksploatacji. Maszyna, bowiem niezdatna do użytkowania jest zdatna do obsługiwania i odwrotnie.

Drugą istotną własnością charakteryzującą eksploatacyjny stan obiektu jest potencjał eksploatacyjny. Podobnie jak odróżniana została zdatność użytkowa i obsługowa, odróżniamy dwa rodzaje potencjału: użytkowy i obsługowy.

Potencjał użytkowy jest miarą zdolności GMW do użytkowania. Potencjał ten jest najczęściej utożsamiany z potencjałem eksploatacyjnym obiektu.

Potencjał obsługowy jest miarą potrzeb GMW w zakresie obsługiwania. W celu określenia repertuaru eksploatacyjnego GMW należy zauważyć, iż konieczne jest:

- przeanalizowanie znaków potencjału eksploatacyjnego s_{gn}
- przeanalizowanie znaków intensywności zmian potencjału s_{gn} φ przy czym

$$\varphi = \frac{z(t) - z(t - \Delta t)}{\Delta t}$$

Biorąc powyższe pod uwagę i dokonując obserwacji procesu eksploatacji GMW można określić repertuar eksploatacyjny jak następuje:

Tabl.2

e_i	Interpretacja	sgn z	sgn φ
e_1	użytek	$z > 0$	$\varphi < 0$
e_2	postój użytkowy	$z > 0$	$\varphi = 0$
e_3	obsługa doraźna	$z < 0$	$\varphi > 0$
e_4	obsługa planowana	$z < 0$	$\varphi > 0$

Postój użytkowy oznacza postój z przyczyny niewłasnej maszyny wyciągowej. Obsługa doraźna jest rozumiana jako obsługa wykonywana

w trakcie trwania wydobycia /a zatem postój z przyczyny własnej GMW/. Pod pojęciem obsługi planowanej rozumie się tutaj:

1. planowany postój maszyny w ciągu doby w czasie poza koncesyjnym, w trakcie którego wykonywane są przeglądy i konserwacje,
2. planowane obsługi takie, jak: remonty, naprawy itp.

Niekiedy rozważa się rozwinięty repertuar eksploatacyjny GMW wyszczególniając:

Tabl.3

e_i	Interpretacja	sgn z	sgn φ
e_1	instalowanie	$z > 0$	$\varphi = 0$
e_2	użytek	$z > 0$	$\varphi < 0$
e_3	postój użytkowy	$z > 0$	$\varphi = 0$
e_4	postój koncesyjny dobowy	$z > 0$	$\varphi > 0$
e_5	obsługa doraźna	$z < 0$	$\varphi > 0$
e_6	obsługa planowana	$z < 0$	$\varphi > 0$
e_7	złomowanie	$z = 0$	$\varphi = 0$

W celu przeanalizowania procesu eksploatacji GMW niezbędne jest, poza określeniem repertuaru eksploatacyjnego określenie zasad przejścia między wyróżnionymi stanami eksploatacyjnymi, a zatem określenie tzw. grafu eksploatacyjnego.

Grafem eksploatacyjnym nazywamy

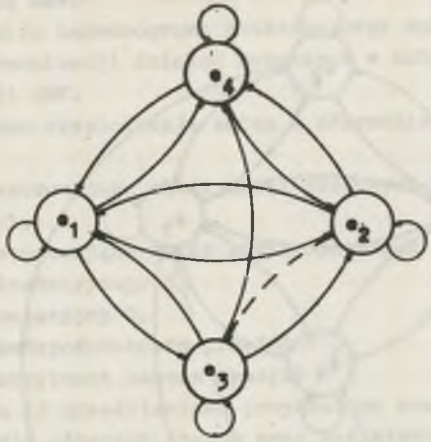
$$G = \langle E, \Gamma \rangle$$

gdzie: E - repertuar eksploatacyjny obiektu,
Γ - odwzorowanie $E \to E$.

Graf eksploatacyjny jest grafem skierowanym. Wierzchołkami grafu są stany eksploatacyjne obiektu, natomiast łukami możliwe przejścia między stanami. Opis graficzny grafu eksploatacyjnego dla czterostanowego procesu eksploatacji maszyny wyciągowej przedstawiany jest na rys.11.

Strzałką przerywaną zaznaczono teoretycznie możliwe, praktycznie zaś niewystępujące przejście pomiędzy stanami e_2 a e_3.

W interpretacji macierzowej graf eksploatacyjny procesu czterostanowego przedstawia tablica.



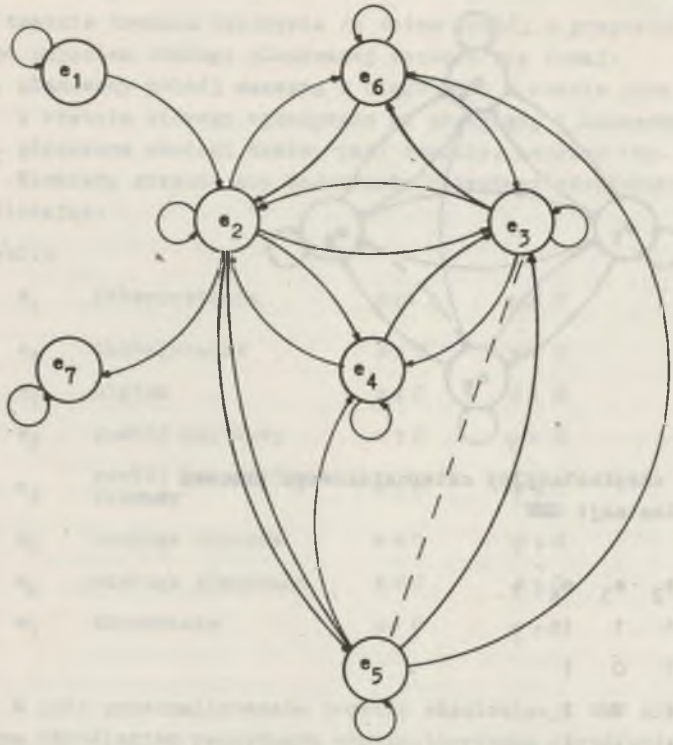
Rys.11. Graf eksploatacyjny czterostanowego procesu eksploatacji GMW

	e_1	e_2	e_3	e_4
e_1	1	1	1	1
e_2	1	1	0	1
e_3	1	1	1	1
e_4	1	1	0	1

Jeżeli rozważymy siedmiostanowy proces eksploatacji maszyny wyciągowej, to ilustracja graficzna procesu jest przedstawiona na rys.12.

Interpretacja macierzowa siedmiostanowego procesu GMW jest następująca:

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7
e_1	1	1	0	0	0	0	0
e_2	0	1	1	1	1	1	1
e_3	0	1	1	1	0	1	0
e_4	0	1	1	1	0	0	0
e_5	0	1	1	1	1	1	0
e_6	0	1	1	0	0	1	0
e_7	0	0	0	0	0	0	1



Rys.12 Graf eksploatacyjny siedmiostanowego procesu eksploatacji GMW

Łatwo zauważyć, że wśród wyróżnionych siedmiu stanów eksploatacji są następujące rodzaje stanów:
- jeden stan generujący,
- pięć stanów tranzytywnych,
- jeden stan pochłaniający.

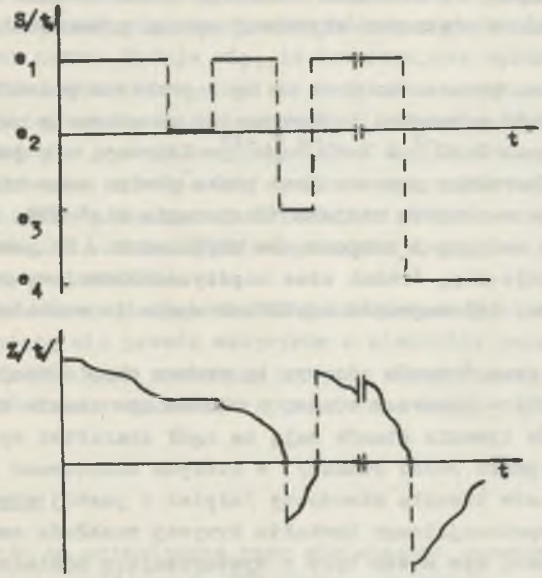
Proces eksploatacji obiektu polega na przejściu od stanu generującego poprzez tranzytywne do stanu pochłaniającego.

Ostatnim elementem opisu procesu eksploatacji maszyny wyciągowej jest określenie zegara /kalendarza/ eksploatacyjnego. Zegar eksploatacyjny jest to zbiór wyróżnionych chwil czasu eksploatacji GMW. Tak jak każdy proces eksploatacji można podzielić na proces zmiany stanów: użytek - obsługa, tak zegar eksploatacyjny można podzielić na zegar użytkowania oraz zegar obsługiwania. Bardzo istotnym problemem o charakterze decyzyjnym jest "skalowanie" zegara eksploatacyjnego, czyli podział czasu eksploatacji na poszczególne etapy. W celu właściwego wyskalowania zegara należy:
- dokonać wyboru harmonogramu użytkowania GMW,
- dokonać wyboru harmonogramu obsługiwania GMW,
- dokonać wyboru harmonogramu planowania i sterowania operatywnego

eksploatacją GMW,
- dokonać wyboru harmonogramu ewidencyjnego sprawozdawczego dla GMW,
- dokonać harmonizacji działań roboczych w ustalonym przedziale czasu eksploatacji GMW.

Opis procesu eksploatacji zatem w sformalizowanej postaci powinien obejmować:
- funkcję odwzorowującą zbiór chwil czasowych T_w zbiór stanów eksploatacyjnych E,
- funkcję odwzorowującą zbiór chwil czasowych T w zbiór wartości potencjału eksploatacyjnego Z,
- graf eksploatacyjny G,
- macierz prawdopodobieństw przejść W ,
- macierz dystrybuant czasów przejść F ,

Na rysunku 13 przedstawiono przykładową realizację procesu eksploatacji S (t) dla czterech stanów oraz przykładową zmianę potencjału eksploatacyjnego z (t) dla danego s (t).



Rys.13 Charakterystyki czterostanowego procesu eksploatacji GMW

W oparciu o te charakterystyki tworzy się rozmaite miary zwane wskaźnikami eksploatacyjnymi, jak np. współczynnik gotowości K_g, współczynnik wykorzystania K_w, współczynnik przestoju K_p itp.

7.2. Problemy niezawodności i gotowości GMW

W czasie realizacji procesu eksploatacji GMW zachodzą między innymi zmiany własności maszyny do spełniania stawianych przed nią wymagań.

Zachodzące zmiany stanowią niezmiernie istotny problem w eksploatacji GMW, a wykrycie i analiza prawidłowości kształtujących nimi są przedmiotem rozważań zarówno teoretyków jak i praktyków zajmujących się problemami eksploatacji maszyn wyciągowych.

W znakomitej większości rozważania o charakterze niezawodnościowym dotyczą procesu zmian własności maszyny zachodzących podczas realizacji eksploatacyjnego stanu użytkowania w czasie koncesyjnym, tj. w czasie, który jest przeznaczony na pracę maszyny w ciągu każdej doby roboczej.

GMW należy do klasy odnawialnych obiektów technicznych. Dokonując bowiem obserwacji w czasie koncesyjnym procesu eksploatacji maszyny, z niezawodnościowego punktu widzenia, łatwo zauważyć, że proces ten jest procesem utraty zdolności do użytkowania i odnowy przywracającej utraconą zdolność. Można zatem, jako pierwsze przybliżenie, rozpatrzyć proces odnowy o pomijalnie małym czasie odnowy - tzw. proces uszkodzeń. Powyższe założenie o pomijalności czasu trwania odnowy wydaje się uzasadnione, jeżeli zauważymy, iż stosunek średniego czasu trwania odnowy do średniego czasu trwania zdatności użytkowej wynosi przeciętnie jak jeden do kilka tysięcy.

Jak wykazały badania, proces ten jest na ogół procesem poissonowskim, dla którego wartość parametru intensywności powstawania uszkodzeń waha się w granicach $2 \cdot 10^{-2} \div 2 \cdot 10^{-4}$ $[h^{-1}]$. Zdarzają się jednak przypadki, w których charakter procesu jest przez pewien czas niestacjonarny. Ma to miejsce w okresie niejako "docierania się" GMW, tj. od momentu zainstalowania maszyny i rozpoczęcia użytkowania. Po pewnym czasie proces stabilizuje się, średni czas międzyuszkodzeniowy wzrasta do przeciętnego poziomu; intensywność uszkodzeń spada do wartości średniej.

Jeżeli uwzględnimy czas trwania odnowy, to proces eksploatacji staje się tzw. procesem awarii - procesem odnowy o skończonym czasie trwania odnowy. Rozkłady czasów trwania stanów mają na ogół charakter wykładniczy. Zdarzają się przypadki /dość rzadko/, w których zanotowano niesymetryczne rozkłady czasów trwania nieodnowy /użytek + postój użytkowy/. Czasem także, mimo ekspotencjalnego kształtu krzywej rozkładu czasów trwania omawianego stanu, nie można było z wystarczającą dokładnością opisać danych empirycznych funkcją wykładniczą. Wydaje się, iż proces odnowy utworzony z tych czasów jest procesem Poissona z pamięcią, dla którego parametr procesu jest zmienną losową o rozkładzie gamma. Przemawiają za tym dane eksploatacyjne. W przypadku, gdy proces awarii jest procesem Markowa, wartości parametrów intensywności zanikania awarii kształtują się na ogół w granicach $0,6 \div 2,0$ $[h^{-1}]$; prawdopodobieństwo wystąpienia awarii wynosi ok. $0,0100 \div 0,0001$.

Dokonując obserwacji procesu eksploatacji łatwo zauważyć, że celowe jest wyszczególnienie trzech stanów niezawodnościowych, - mianowicie: pracy /użytek/, postoju /postój użytkowy - z przyczyny niewłasnej

maszyny wyciągowej/ i awarii /obsługa doraźna, odnowa/. Jak się okazuje, kształty krzywych rozkładów czasów trwania tych stanów są także na ogół wykładnicze, co sugeruje, iż mamy do czynienia z trójstanowym procesem Markowa. Jednakże i w tym przypadku pojawiają się nieraz trudności w przybliżeniu danych empirycznych do krzywych ekspotencjalnych. Eksploatacyjne badania niezawodności górniczych maszyn wyciągowych trwają.

Trwają także badania nad określeniem i wyznaczeniem gotowości GMW. W celu dokonania wnikliwej analizy tej bardzo istotnej własności maszyn przeprowadzone są nie tylko badania eksploatacyjne, lecz także dokonano analizy teoretycznej gotowości. Współczynnik gotowości potraktowano jako zmienną losową i wyznaczono szereg nowych miar omawianej własności GMW. Powyższe ujęcie koresponduje z wspomnianymi tu procesami Poissona z pamięcia [4].

Dokonano również analizy niezawodności działania GMW w aspekcie zastosowania awaryjnych przewoźnych maszyn wyciągowych [5]. Proces uszkodzeń, które sugerowały konieczność zastosowania powyższych urządzeń ratowniczych okazał się strumieniem odnowy o rozkładzie czasów trwania użytku klasy gamma. Wydaje się, iż interesujące będzie przytoczenie, że przeciętnie rzecz biorąc należy oczekiwać co około 5000 dni awarii GMW wymagającej zastosowanie przewoźnej ratowniczej maszyny wyciągowej.

Niezawodność w sensie bezpieczeństwa eksploatowanych maszyn wyciągowych jest bardzo wysoka. Jak wynika z wstępnych badań należy oczekiwać, średnio rzecz biorąc, co kilkadziesiąt lat awarii GMW zagrażającej życiu ludzkiemu. A zatem górnicza maszyna wyciągowa jest równie pewna jak samoloty czy statki.

Struktura niezawodnościowa GMW jako system jest strukturą kombinowaną składającą się przede wszystkim z elementów połączonych szeregowo, niektóre spośród nich posiadają rezerwę zimną /np. hamulec manewrowy i bezpieczeństwa/ oraz rezerwę gorącą /np. dodatkowa para szczęk hamulcowych/.

8. Zakończenie

Ze względu na ograniczone ramy niniejszego opracowania nie poruszono tu problematyki wytwarzania GMW /doboru materiału, zapewnienia technologiczności konstrukcji, naprawialności itp./, badań na etapie projektowania /obciążeń istotnych elementów, zespołów i podzespołów/ wytwarzania i eksploatacji /diagnostyka/ oraz zagadnień ewolucji omawianej klasy obiektów technicznych /górnicze maszyny wyciągowe należą do systemów rozwijających się/.

Wydaje się jednakże, iż zaprezentowane tu w sposób kompleksowy zagadnienia naukowo-techniczne górniczych maszyn wyciągowych pozwolą na wykrystalizowanie się systemowego spojrzenia - ujęcia problematyki tych maszyn oraz na pełniejsze zastosowanie metod i sposobów modelowania w rozwiązywaniu ich problemów praktycznych i teoretycznych.

LITERATURA

[1] Bąbiński Cz.: Elementy nauki o projektowaniu.WNT, W-wa 1972.

[2] Ballman R.E., Dreyfus S.E.: Programowanie dynamiczne. PWE, W-wa 67.

[3] Chestnust A.: Modeling and Simulation. Electr. Eng, 8, 1962.

[4] Czaplicki J.: O gotowości obiektu. Transport Poziomy. Prace własne, z.2, IMG Pol.Śl. Gliwice 1977.

[5] Czaplicki J., Lutyński A.: Analiza niezawodności działania urządzeń wyciągowych. ZN Pol.Śl., Górnictwo, 69, Gliwice 1976.

[6] Dietrych J.: Konstrukcja i konstruowanie. WNT, Warszawa 1968.

[7] Elamgharby E.: Design of Production Systems. Reinhold Publ.Co., New York 1966.

[8] Gandi S.L., Inove K., Henley E.J.: Computer Aided System Reliability Analysis and Optimization. "Computer - Aided Design", /red. Viliestra J., Wielinga R.F./, North Holland, Amsterdam 1973.

[9] Górski W.: Optymalny dobór rodzaju i parametrów techniczno-ekonomicznych górniczego urządzenia wyciągowego przy zadanych warunkach eksploatacyjnych. Rozpr.dokt. Pol.Śl., Gliwice 1976.

[10] Karge A.: Wielolinowe urządzenia wyciągowe w górnictwie. Wyd.Śląsk, Katowice 1967.

[11] Kierunki rozwoju górniczych urządzeń wyciągowych. Mat. II Konf. Nauk.-Techn. Gliwice 1972.

[12] Kiliński A.: Przemysłowe procesy realizacji. Podstawy teorii. WNT, Warszawa 1976.

[13] Kolendowski J.: Podstawy ogólnej teorii modelowania. ZN AGH, ser. Rozpr., z.61, Kraków 1966.

[14] Konieczny J.: Podstawy eksploatacji urządzeń. WMON, W-wa 1975.

[15] Konieczny J., Olearczuk E., Żelazowski W.: Elementy nauki o eksploatacji, WNT, W-wa 19.

[16] Kuhn A.: The Logie of Social Systems. San Francisco - Washington - London, Jossey - Bass Publ.,1974.

[17] Martin F.F.: Wstęp do modelowania cyfrowego. PWN, W-wa 76.

[18] Mazur M.: Pojęcie systemu i rygory jego stosowania. Mat. Szkoły Podst. Inżyn. Systemów, Orzysz 1976.

[19] Modelowanie w mechanice. Sympozjon PTMTiS, Pol.Śl., Gliwice 1969.

[20] Müller L.: Teoria podobieństwa mechanicznego. WNT, W-wa 1961.

[21] Niektóre elementy podstaw inżynierii systemów. Mat. wykład. Polit. Pozn., Poznań 27 II - G.III, 1977.

[22] Palusiński O., Skowronek M., Znaminowski L.: Modelowanie analogowe i hybrydowe. WNT, Warszawa 1976.

[23] Piasecki S.: Optymalizacja systemów obsługi technicznej. WNT, W-wa 1972.

[24] Problemy gotowości systemów. Mat. na Zebr.Nauk. SPEM PAN, W-wa 1975.

[25] Problemy: modele eksploatacji urządzeń. Mat. na Szkołę Zimową - 74, Jaszowiec 1974.

[26] Problemy zapewnienia niezawodności systemów technicznych. Mat. na Szkołę Zimową - 76, OPT, K-ce 1976.

[27] Symulacyjne metody badań niezawodności systemów technicznych. Mat. Szkoły Zimowej - 75, OPT, K-ce 1975.

[28] Wajs K.: Modelowanie i identyfikacja. Mat. [24]

[29] Wilson W.E.: Projektowanie techniczne w ujęciu systemowym. WNT, W-wa 1969.

[30] Zając E.: Istota modeli i ich podziału oraz zastosowania w pracach inżynierskich i ekonomiczno-organizacyjnych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 6, 49, 1972.

[31] Ziemba S.: Inżynieria systemów. Mat. [24]

ATTEMPS OF THE CONSTRUCTION OF THE MODEL SYSTEMATICALLY TAKING THE SCIENTIFICO-TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF MINING HOISTING MACHINES

In this paper attemps of the construction of the model systematically taking the scientifics-technological problems of mining hoisting machines with the help of consideration such problems as: machine as system, the problems of modelling, projecting, reliability and exploitation.

ПОПЫТКИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ СИСТЕМНО ВЗЯТОЙ НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМАТИКИ ГОРНЫХ ПОДЪЁМНЫХ МАШИН

В статье дается попытки конструкции модели системно взятой проблематики горних подъёмных машин рассуждая такие вопросы как: определение предмета рассуждений, машина как система, проблемы моделирования, проектирование, надёжность и эксплуатация подъёмных машин.