ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria: GÓRNICTWO z. 159 Nr kol. 932

Witold WAGNER

Instytut Organizacji i Ekonomiki Górnictwa
Politechniki Śląskiej

ANALIZA STRUKTURY CZŁONNOŚCI PRACY DLA WYBRANYCH STANOWISK PRACY W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. W prezentowanym artykule w celu wyznaczenia prognoz struktury chłonności pracy dla wybranych stanowisk pracy w różnych elementach procesu technologicznego w kopalni, dokonano analizy tendencji rozwojowych opartej na szeregach czasowych. Wykazano, że na wielu stanowiskach pracy kształtuje się wyraźnie określone tendencje malejące lub rzadziej rosnące chłonności pracy.

Do badań przyjęto znaczny materiał źródłowy z kopalń węgla kamiennego, obejmujący 36 okresów miesięcznych, korzystając z oficjalnych statystyk kopalnianych. Uzyskane wyniki poddano bardzo rzetelnej analizie i ocenie ekonometrycznej z punktu widzenia precyzji oszacowań. Posługiwano się analizą korelacji i regresji, korzystano z odpowiednich testów statystycznych, przyjmując za istotny najniższy poziom prawdopodobieństwa 0,95.

Dobór postaci analitycznej funkcji oparto wyłącznie na analizie danych empirycznych w próbie i szukaniu takiej funkcji, która daje możliwie dobrą zgodność z wynikami empirycznymi. Otrzymane funkcje poddano weryfikacji, a całość wyników zilustrowano wykreślnie.

Opierając się na tak przedstawionym toku postępowania opracowano program na EMC, którego schemat blokowy załączono w artykule.

Jednym z podstawowych zadań, jakie stoją przed kierownictwem kopalni węgla kamiennego, jest takie zsynchronizowanie w czasie i przestrzeni czynników produkcji, a więc ludzi wraz z ich umiejętnościami wytwórczymi, środków pracy i przedmiotów pracy, aby osiągnięte zostało optymalne ich współdziałanie zapewniające maksimum efektywności. Aby sprostać takiemu zadaniu, przy podejmowaniu prawidłowych decyzji nie wystarczy już rutyna inżynierska i długoletnia praktyka górniczych kadr kierowniczych, ale potrzebna jest wnikliwa analiza statystyczno-matematyczna, bez której poprawne sformułowanie przesłanek dla podejmowania perspektywicznych decyzji jest niemożliwe. Niezwykle istotne w warunkach gospodarki planowej staje się zagadnienie prognozowania wielu różnorodnych zjawisk techniczno-ekonomicznych.

Wnioskowanie w przyszłość można przeprowadzić przy użyciu zasadniczo odmiennych podejść; w artykule jako narzędziem badawczym posłużono się predykcją typu ekonometrycznego, ze względu na następujące okoliczności:

- prognozy budowane na podstawie tych metod mają charakter obiektywny, tzn. wypracowuje się je w wyniku zastosowania ścisłego, jednoznacznie określonego sposobu postępowania,
- metody te pozwalają z góry określić horyzont i rząd dokładności prognoz.

W wyniku tego otrzymane modele opisują rzeczywistość bardzo dokładnie, gdyż występujące w nich parametry strukturalne są oparte na faktycznie przebiegających procesach.

Przyjęte w artykule wskaźniki członności pracy można wyjaśnić tym, że:

- charakteryzują nakłady pracy żywej,
- dają się rozczłonkowywać na poszczególne operacje, stanowiska i procesy w formie wygodnej do agregowania,
- pozwalają przez wyrażenie nakładów w dniówkach dokonać prostych porównań członności pracy i kosztów robocizny jako elementu kosztu własnego wydobycia węgla.

Uwzględniając powyższe stwierdzenia, celem przeprowadzenia analizy oceny i prognozy zmian zachodzących w chłonności pracy dla niektórych wybranych stanowisk:

1) ustalono charakter zmienności chłonności pracy w czasie i miejscu,
2) wyznaczono analityczne postacie funkcji oraz prognozy chłonności pracy dla wybranych stanowisk pracy.

Oceny otrzymanych prognoz pozwolą na przegrupowanie środków do ogniw, gdzie prognozy te wykazują tendencje wzrostu lub spadku, wskażą kierunki prac dla projektantów i użytkowników maszyn i urządzeń górniczych, jak również mogą być przydatne przy ustalaniu praktyki kształcenia i doskonalenia zawodowego na potrzeby górnictwa.

Zróżnicowany charakter oraz poziom nasycenia maszynami i urządzeniami górniczymi, różny poziom kultury technicznej i technologicznej powodują istotne zmiany w strukturze chłonności pracy, a jej obniżenie można uzyskać przez wzrost technicznego uzbrojenia miejsc pracy, przez wzrost produktywności środków pracy lub przez oba te czynniki razem.

Badaniami ekonometrycznymi objęto kilka grup stanowisk pracy wynikających ze struktury organizacyjnej kopalni. Zbiór danych statystycznych uzależniono od momentu wystąpienia ustabilizowanej tendencji rozwojowej oraz dostępności tych danych. Sam sposób budowy modelu matematycznego podzielono na 5 etapów:

1. Sprecyzowanie zakresu badań, tzn. podjęcie decyzji, jakie zmienne odgrywać będą rolę zmiennych objaśniających.
2. Zebranie danych statystycznych.
3. Estymacje parametrów modelu.
4. Weryfikacja modelu i wyrobienie sobie poglądu o rzędzie dokładności otrzymanych oszacowań.
5. Praktyczne wykorzystanie modelu polegające na:

- podaniu tendencji kształtowania się prognozy,
- skorygowaniu tendencji kształtowania się prognozy ze względu na zależność pomiędzy: realizacjami szeregu czasowego i podaniem horyzontu prognozy.

Procedura doboru zmiennych na drodze eliminacji metodą a posteriorii rozpoczyna się możliwie od najbardziej rozbudowanej funkcji regresji, zawierającej wszystkie zmienne objaśniające, poprzez kolejne ich eliminowanie dochodzimy do momentu podjęcia decyzji o przydatności modelu. Dobór postaci analitycznej funkcji oparto wyłącznie na analizie danych empirycznych w próbie i szukaniu takiej funkcji, która daje możliwie dobrą zgodność z wynikami empirycznymi.

Przed wyborem końcowego modelu prognostycznego rozpatrzono i zweryfikowano przydatność różnorodnych funkcji, między innymi:

- liniowo-trygonometrycznych,
- kwadratowo-trygonometrycznej,
- logarytmiczno-trygonometrycznej,
- wykładniczo-trygonometrycznej,
- wielomianu-trygonometrycznego.

Przystępując do konstrukcji modelu, dokonano w niektórych przypadkach eliminacji anomalii w wynikach obserwacji za pomocą testu Grubbsa. W celu wyznaczenia parametrów funkcji przyjętych do realizacji posłużono się metodami najmniejszej sumy kwadratów i największej wiarygodności. Otrzymane tą drogą funkcje poddano weryfikacji. W tym celu wyznaczono:

Współczynnik korelacji wielokrotnej

$$R = \sqrt{\frac{\hat{\beta}^T X^T Y - n\bar{Y}^2}{Y^T Y - n\bar{Y}^2}}$$

Współczynnik zbieżności

$$\varphi^2 = 1 - R^2$$

Przedziały ufności dla parametrów modelu

$$\hat{\beta}_k - t_{kr}\hat{S}_R\sqrt{C_{kk}} < \beta_k < \hat{\beta}_k + t_{kr}\hat{S}_R\sqrt{C_{kk}}$$

gdzie:

$\hat{\beta}_k$ - ocena parametru otrzymana za pomocą metod najmniejszej sumy kwadratów lub największej wiarygodności,

C_{kk} - element diagonalny macierzy określający wariancje współczynników regresji.

Przedziały ufności dla zmiennej objaśnianej

$$\hat{Y} - t_{kr}\hat{S}_R\sqrt{|x^T|\,|x^Tx|^{-1}\,x} < Y < \hat{Y} + t_{kr}\hat{S}_R\sqrt{|x^T|\,|x^Tx|^{-1}x}$$

Test normalności składnika losowego

$$U^{(1)} = \frac{\hat{G}_1}{\sigma\hat{g}_1} \qquad U^{(2)} = \frac{\hat{2}}{\sigma\hat{g}_2}$$

Test losowości reszt

$$\max\begin{cases} K(n) < \text{ENTIER}\left[3{,}3(\lg n + 1)\right] \\ K(n) > \text{ENTIER}\left[\frac{1}{2}(n+1) - U_\alpha\sqrt{n-1}\right] \end{cases}$$

gdzie

U_α - jest kwantylem rozkładu N(0,1).

Test Durbing-Watsona na autokorelację

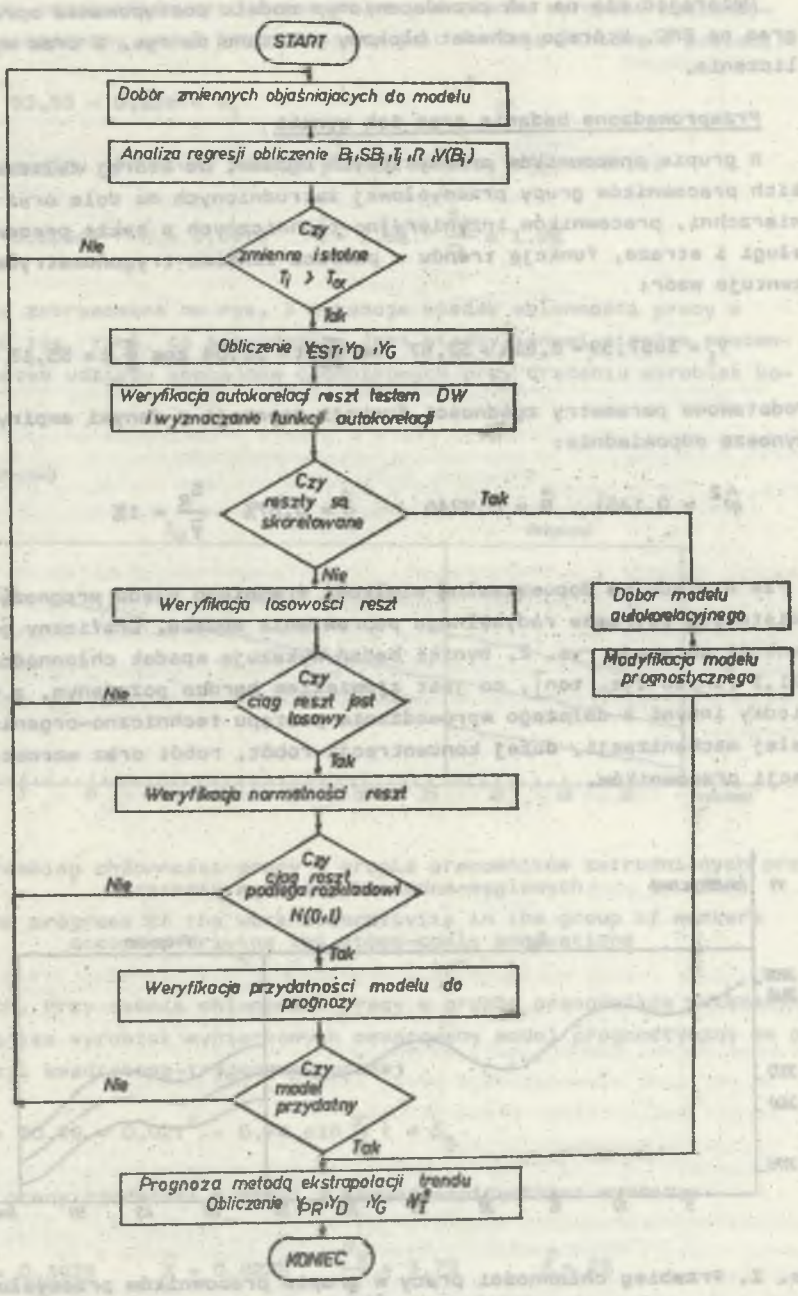
$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}(\hat{\varepsilon}_t - \hat{\varepsilon}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n}\hat{\varepsilon}_t^2}$$

gdzie:

$\hat{\varepsilon}_1 \ldots \varepsilon_n$ - ciąg zaobserwowanych reszt według wartości odpowiadającego im wskaźnika bieżącego t.

Opierając się na tak wyznaczonych modelach z oszacowanymi i zweryfikowanymi parametrami, wyznaczono prognozy zgodnie z zasadą "status qvo" polegającej na tym, że jeżeli występujące w modelu ekonometrycznym relacje zmiennych zostały opisane dobrze, tzn. procedura weryfikacji modelu dawała na wszystkich etapach odpowiedź "tak", to nie ma podstaw do przypuszczenia, że relacja ta ulegnie zmianie w przyszłości i prognozując należy ekstrapolować model poza próbę.

Mając określoną wartość zmiennej y_t^* w okresie prognozowanym, wyznaczono precyzję prognozy, tzn. ustalono jej przedział ufności na podstawie błędu średniego oraz współczynnika w. Z przedziałem ufności wiąże się ściśle pojęcie dopuszczalności prognozy, którą mierzymy wielkością względnego błędu średniego prognozy. Graniczną wartość tego współczynnika określa zamówienie społeczne. W artykule przyjęto za prognozy dopuszczalne te, których uwzględniony błąd prognozy nie przekraczał 10%.



Rys. 1. Schemat blokowy doboru i modyfikacji modelu prognostycznego

Fig. 1. The block diagram of selection and modification of the forecasting model

Opierając się na tak przedstawionym modelu postępowania opracowano program na EMC, którego schemat blokowy pokazano na rys. 1 oraz wykonano obliczenia.

Przeprowadzone badania oraz ich wyniki

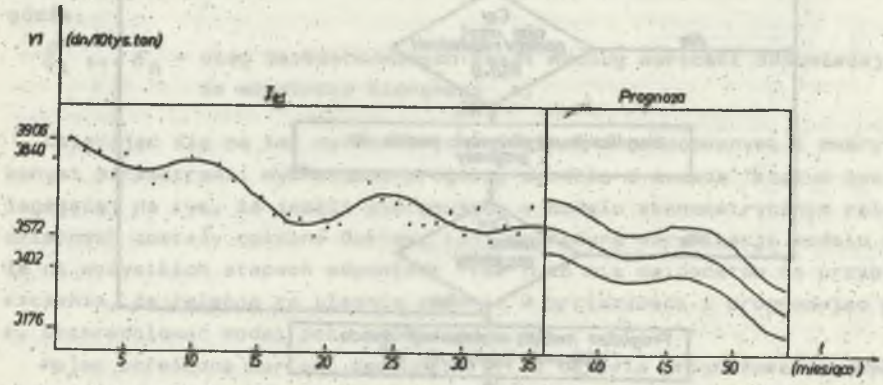
W grupie pracowników przemysłowych ogółem, do której zaliczono wszystkich pracowników grupy przemysłowej zatrudnionych na dole oraz na powierzchni, pracowników inżynieryjno-technicznych a także pracowników obsługi i straże, funkcję trendu w postaci liniowo-trygonometrycznej prezentuje wzór:

$$Y_1 = 3857{,}59 - 8{,}81t + 33{,}57 \cos \frac{\pi}{18} t - 31{,}04 \cos \frac{\pi}{9} t + 55{,}13 \cos \frac{\pi}{6} + \varepsilon_t$$

Podstawowe parametry zgodności funkcji represji z danymi empirycznymi wynoszę odpowiednio:

$$\hat{\varphi}^2 = 0{,}1451 \quad \hat{R} = 0{,}9246 \quad \hat{\varepsilon} = 0{,}87\% \quad \frac{S_R}{\bar{Y}} = 1\%$$

Ze względu na dopuszczalną wielkość średniego błędu prognozy nie zaistniała potrzeba radykalnego poprawienia modelu. Graficzny przebieg funkcji obrazuje rys. 2. Wyniki badań wykazują spadek chłonności pracy o 321,3 [dn/10 tys. ton], co jest zjawiskiem bardzo pożądanym, a wynika to między innymi z dalszego wprowadzania postępu techniczno-organizacyjnego małej mechanizacji, dużej koncentracji robót, robót oraz wzrostu kwalifikacji pracowników.



Rys. 2. Przebieg chłonności pracy w grupie pracowników przemysłowych ogółem

Fig. 2. The progress of the work absorptivity in the industrial workers group al-together

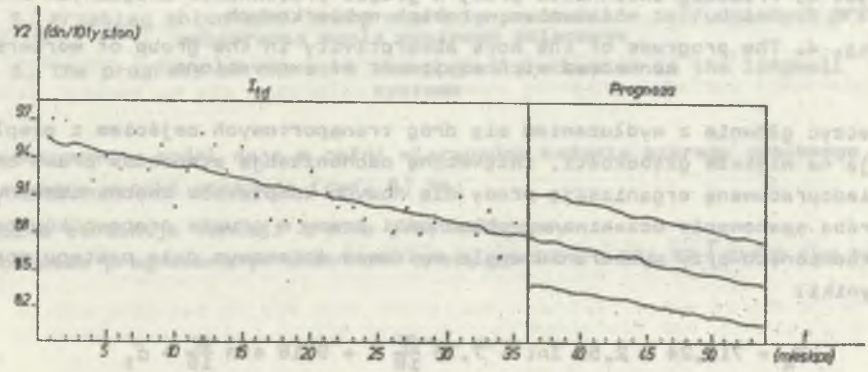
Dla grupy pracowników zatrudnionych przy drążeniu wyrobisk kamienno-węglowych oszacowany model prognostyczny jest funkcją liniową w postaci:

$$Y_2 = 95{,}53 - 0{,}22t + \varepsilon_t$$

którego parametry struktury statystycznej wynoszą odpowiednio:

$$\hat{\varphi}^2 = 0{,}2054 \qquad \hat{R} = 0{,}8910 \qquad \hat{\varepsilon} = 1{,}6\% \qquad \frac{S_R}{\bar{Y}} = 1{,}9\%$$

Prognoza zobrazowana na rys. 3 wykazuje spadek chłonności pracy o 3,73 [dn/10 tys. ton], co spowodowane jest między innymi ciągłym procentowym wzrostem udziału kombajnów chodnikowych przy drążeniu wyrobisk ko-



Rys. 3. Przebieg chłonności pracy w grupie pracowników zatrudnionych przy drążeniu wyrobisk kamienno-węglowych

Fig. 3. The progress of the work absorptivity in the group of workers occupied driving the stone-coaly excavations

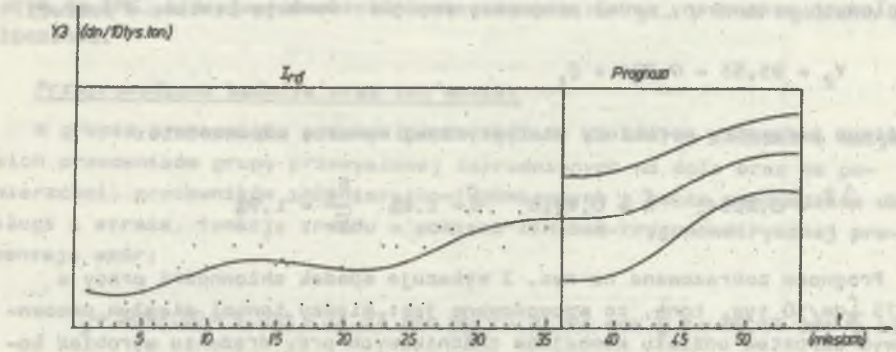
rytarzowych. Przy ocenie chłonności pracy w grupie pracowników związanych z wyposażeniem wyrobisk wybierkowych oszacowany model prognostyczny ma postać funkcji kwadratowo-trygonometrycznej

$$Y_3 = 20{,}98 - 0{,}02t^2 - 0{,}74 \sin \frac{\pi}{9} t + \varepsilon_t$$

Parametry oceny zgodności funkcji z danymi empirycznymi wynoszą:

$$\hat{\varphi}^2 = 0{,}3929 \qquad \hat{R} = 0{,}8229 \qquad \frac{S_R}{\bar{Y}} = 3{,}7\% \qquad \hat{\varepsilon} = 2\%$$

Graficzny przebieg funkcji zilustrowany na rys. 4 wykazuje w okresie prognozy trend rosnący o 4,2 [dn/10 tys. ton], a zjawisko to można wytłu-



Rys. 4. Przebieg chłonności pracy w grupie pracowników związanych z wyposażeniem wyrobisk wybierkowych

Fig. 4. The progress of the work absorptivity in the group of workers connected with equipment of excavations

maczyć głównie z wydłużaniem się dróg transportowych zejściem z eksploatacją na większe głębokości, zwiększoną mechanizacją stanowisk pracy oraz niedopracowaną organizacją pracy dla nowych kompleksów zmechanizowanych. Próba szacowania oczekiwanej chłonności pracy w grupie pracowników zatrudnionych przy wybieraniu węgla systemem ścianowym dała następujące wyniki:

$$Y_4 = 717{,}24 - 2{,}51\ \mathrm{Int} + 7{,}76\ \frac{\pi}{18}\ t + 9{,}18 \sin \frac{\pi}{18} + \varepsilon_t$$

$$\hat{\varphi}^2 = 0{,}0385 \qquad \hat{R} = 0{,}9805 \qquad \hat{\varepsilon} = 1\% \qquad \frac{S_R}{\bar{Y}} = 1\%$$

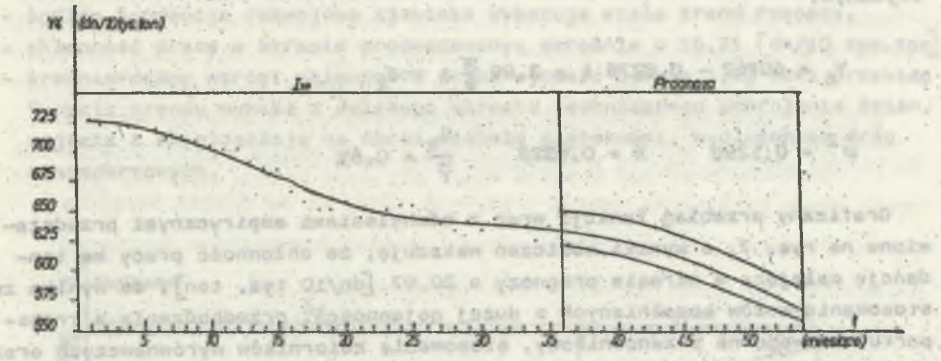
Funkcja trendu wykazuje malejącą tendencję chłonności pracy o 59,69 [dn/10 tys. ton] - rys. 5. Duży wpływ na te obniżenia miały:

- kompleksowa mechanizacja ścian,
- zwiększenie niezawodności pracy maszyn i urządzeń,
- wzrost kwalifikacji pracowników,
- poprawa organizacji pracy.

Ogółem w grupie pracowników zatrudnionych w wyrobiskach wybierkowych i korytarzowych ocenę chłonności pracy dokonano opierając się na szacowanej funkcji trendu następującej postaci:

$$Y_5 = 1318{,}13 - 4{,}77t + 21{,}62 \cos \frac{\pi}{6}\ t + \varepsilon_t$$

$$\hat{\varphi}^2 = 0{,}1607 \qquad \hat{R} = 0{,}9161 \qquad \hat{\varepsilon} = 1{,}5\% \qquad \frac{S_R}{\bar{Y}} = 2\%$$

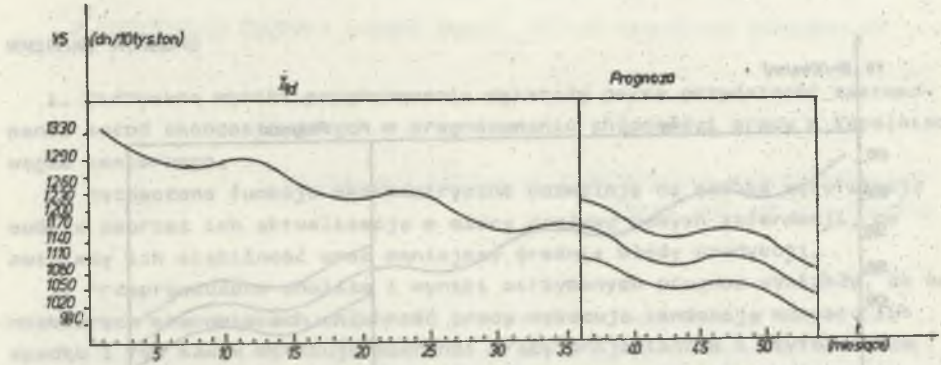


Rys. 5. Przebieg chłonności pracy w grupie pracowników zatrudnionych przy wybieraniu węgla systemem ścianowym

Fig. 5. The progress of the work absorptivity occupied in the longwall systems

Wyestymowany model daje w pełni wiarygodne badania szeregu czasowego, a otrzymane wyniki wskazuje (rys. 6) że:

- ogólna tendencja funkcji trendu jest malejąca,
- w okresie prognozowanym chłonność pracy spadnie o 121,47 [dn/10 tys.ton]



Rys. 6. Przebieg chłonności pracy ogółem w grupie pracowników zatrudniony w wyrobiskach wybierkowych i korytarzowych

Fig. 6. The progress of the work absoptivity altogether occupied in the excavations and the dog headings

Ocenę chłonności pracy poza przodkami w grupie pracowników związanych z transportem urobku dokonano pierając się na modelu liniowo-trygonometrycznym:

$$Y_6 = 60762 - 0{,}8278\ t + 3{,}69\ \frac{\pi}{6}\ t + \varepsilon_t$$

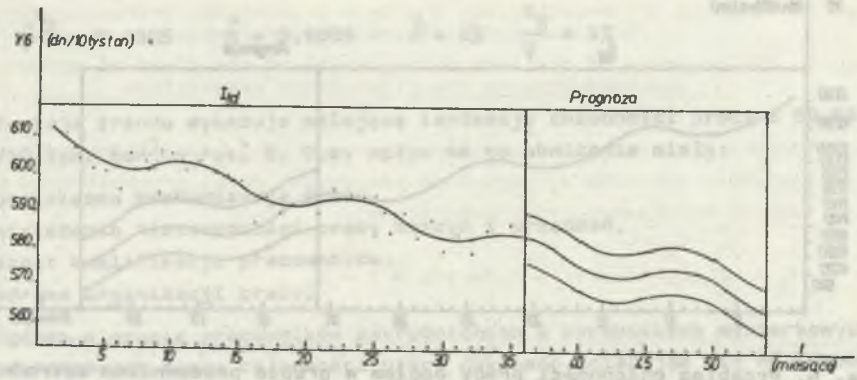
$$\hat{\varphi}^2 = 0{,}1298 \qquad \hat{R} = 0{,}9328 \qquad \frac{S_R}{\bar{Y}} = 0{,}6\%$$

Graficzny przebieg funkcji wraz z odchyleniami empirycznymi przedstawiono na rys. 7, a wyniki obliczeń wskazują, że chłonność pracy ma tendencję malejącą w okresie prognozy o 20,97 [dn/10 tys. ton], co wynika ze stosowania wozów kopalnianych o dużej pojemności, przechodzenia z transportu kołowego na przenośnikowy, stosowania zbiorników wyrównawczych oraz wyciągów skipowych.

Odwrotnie przedstawia się ocena chłonności pracy w grupie pracowników zatrudnionych poza przodkami przy transporcie materiałów i urządzeń. Oczekiwane wartości prognozy wyznaczono opierając się na funkcji liniowej.

$$Y_7 = 326{,}42 + 0{,}98\ t + \varepsilon_t$$

$$\hat{\varphi}^2 = 0{,}1237 \qquad \hat{R} = 0{,}9361 \qquad \frac{S}{\bar{Y}} = 1\%$$

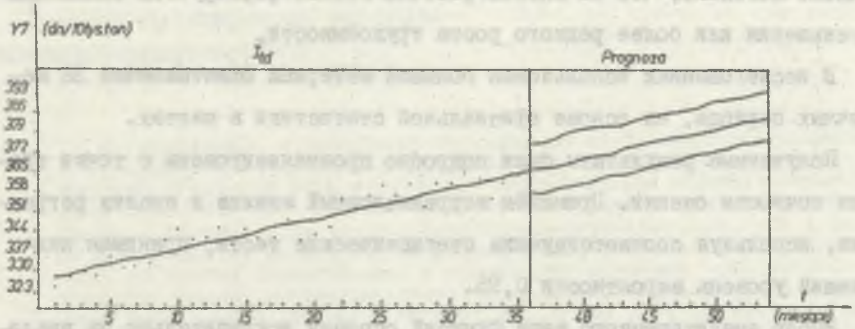


Rys. 7. Przebieg chłonności pracy poza przodkami w grupie pracowników związanych z transportem urobku

Fig. 7. The progress of the work absorptivity outside faces in the group of workers occupied in the output transport

Wynika z niej, że:

- ogólna tendencja rozwojowa zjawiska wykazuje stale trend rosnący,
- chłonność pracy w okresie prognozowanym wzrośnie o 16,71 [dn/10 tys.ton],
- średnioroczny wzrost chłonności pracy wynosić będzie 3,2% taki przebieg funkcji trendu wynika z dalszego wzrostu technicznego uzbrojenia ścian, zejścia z eksploatacją na coraz większe głębokości, wydłużeniem dróg transportowych.



Rys. 8. Przebieg chłonności pracy poza przodkami w grupie pracowników zatrudnionych przy transporcie materiałów i urządzeń

Fig. 8. The progress of the work absoptivity outside faces in the group of workers occupied in the transport of materials and devices

WNIOSKI KOŃCOWE

1. Otrzymane wyniki prognozowania wykazały pełną przydatność zastosowania metod ekonometrycznych w prognozowaniu chłonności pracy w kopalniach węgla kamiennego.

2. Wyznaczone funkcje ekonometryczne pozwalają na szybką weryfikację modelu poprzez ich aktualizację w miarę dopływu nowych informacji, co zwiększy ich stabilność oraz zmniejszy średnie błędy predykcji.

3. Przeprowadzona analiza i wyniki otrzymanych prognoz wykazały, że na niektórych stanowiskach chłonność pracy wykazuje tendencję wzrostu lub spadku i tym samym wskazuje kierunki pracy projektantom i użytkownikom maszyn i urządzeń górniczych, jak również kierunki i programy kształcenia i doskonalenia zawodowego na potrzeby górnictwa.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Jan STACHOWICZ

Wpłynęło do Redakcji w lutym 1987 r.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТРУДОЁМКОСТИ НА ИЗБРАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТАХ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Р е з ю м е

В представленной работе для прогноза структуры трудоёмкости на избранных рабочих местах в различных стадиях технологического процесса шахты произведён анализ тенденций развития на основе числовых рядов. Показано, что на многих рабочих местах формируется тенденция уменьшения или более редкого роста трудоёмкости.

В исследованиях использован большой материал охватывающий 36 месячных периода, на основе официальной статистики в шахтах.

Полученные результаты были подробно проанализированы с точки зрения точности оценки. Применён корреляционный анализ и анализ регрессии, используя соответствующие статистические тесты, принимая наинизший уровень вероятности 0,95.

Выбор аналитического вида функций основан исключительно на анализе эмпирических данных в экспериментах и поисках такой функции, которая даёт возможность хорошего согласования с эмпирическими результатами.

Полученные функции проверены и графически проиллюстрированы.

Разработана программа на ЭВМ, схема блоков которой приводится в работе.

ANALYSIS OF WORK ABSORPTIVITY STRUCTURE FOR CHOSEN WORK-STANDS IN COAL MINES

S u m m a r y

The paper is supposed to determine the predictions of work absorptivity structure for chosen work-stands in different elements of technological process in a mine; also the analysis of depeloping trends has been carried out on the basis of time series. It has been shown that on many work-stands the work absorpivity tends to decrease while its increase is rather rare.

Investigations made use of the data from coal mine statistics.

The reseived results were carefully analysed and estimated econometrically from the point of view of estimation precision. Correlation and

regression analysis was used with application of proper statistical tests, the lowest level of probability was assumed as 0,95. Selection of analytical function form was based only on the analysis of empirical data from the tests and looking for such a function which gives a good correlation with empirial results.

The received function have been verified and all results have been illustrated on diagrams. On the basis of this procedure the programme for EMC has been worked out; its block diagram has been enclosed.