

Piaskowski, Jerzy

Analiza sieciowa postępu technicznego w przemyśle

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 19/1, 19-27

1974

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



ANALIZA SIECIOWA POSTĘPU TECHNICZNEGO W PRZEMYŚLE

W pracach nad historią techniki rozpatruje się zwykle oddzielnie poszczególne procesy technologiczne, jak np. wytop surówki w wielkim piecu, świerzenie w piecu fryszerskim lub pudlarskim. W pewnych wypadkach postępowanie takie jest uzasadnione i wystarczające, w studiach jednak nad rozwojem przemysłu trzeba uwzględniać układ wszystkich procesów, które prowadzą do wytworzenia posiadającego wartość handlową półproduktu lub produktu.

Układ taki w formie sieci opracowano dla hutnictwa żelaza i stali, wydaje się jednak, że przedstawiona tu metoda może znaleźć zastosowanie także i w innych dziedzinach przemysłu.

1. PODSTAWOWE POJĘCIA I DEFINICJE

A. ELEMENTY SIECI

Omówiona tu metoda badań postępu technicznego w przemyśle rozpatruje poszczególne procesy produkcyjne ułożone w postaci sieci, składającej się z elementów, które reprezentują urządzenia służące do realizacji poszczególnych procesów technologicznych. W ten sposób, np. rozróżnia się proces świerzenia surówki we fryszerce oraz w piecu pudlarskim lub konwertorze jako różne elementy sieci.

Poszczególne elementy sieci mogą składać się z jednego lub kilku jednostek produkcyjnych, w których prowadzi się równolegle ten sam proces technologiczny.

Pomiędzy poszczególnymi elementami sieci istnieją wiązania, które mogą być luźne lub sztywne. Wiązanie jest luźne, jeśli charakter produkcji sprawia, że procesy produkcyjne w obu połączonych urządzeniach są prowadzone w znacznym stopniu niezależnie. Przy wiązaniu sztywnym, produkcja obu tych urządzeń jest ściśle ze sobą związana, nie tylko pod względem technicznym, lecz także organizacyjnie.

Przykładem połączenia luźnego może być starożytny lub wczesnośredniowieczny układ dymarka i kuźnia, w której łupka była przerabiana na półprodukty (pręty) lub wyroby gotowe. Dymarka mogła wówczas, przynajmniej przez pewien czas, produkować łupki i nie zachodziła techniczna lub organizacyjna konieczność ich natychmiastowej dalszej przeróbki. Natomiast przykładem wiązania sztywnego może być wielki piec i konwertor, gdzie ciekła surówka, wytopiona w wielkim piecu musi być natychmiast przerabiana na stal w konwertorze.

Istniejące w rzeczywistości wiązania elementów sieci mają najczęściej charakter pośredni, można jednak je podzielić na dwie przedstawione grupy, tj. wiązania luźne i sztywne.

B. RODZAJE SIECI

Dla określonego procesu produkcyjnego można przygotować kilka rodzajów sieci, zależnie od rodzaju, warunków oraz rozpatrywanego zagadnienia.

Sieć techniczna uproszczona zawiera jedynie urządzenia, w których prowadzone są procesy technologiczne przeróbki surowca w produkt. Sieć taka jest na ogół wystarczająca przy rozpatrywaniu zagadnień technicznych związanych z rozwojem procesu produkcyjnego.

Sieć techniczna rozwinięta zawiera, obok urządzeń technicznych, również urządzenia służące do transportu surowca, półproduktu itd. Ten sposób opracowania sieci jest na ogół konieczny przy rozpatrywaniu ogólnych zagadnień produkcji, a w szczególności takich wyrobów, przy których istotne znaczenie posiada dowóz surowców i materiałów pomocniczych, a więc w warunkach produkcji na dużą skalę.

Sieć uogólniona uwzględnia, poza urządzeniami technicznymi i urządzeniami do transportu, również i zbyty produktu. W ten sposób następuje powiązanie produkcji z jej zbytem, tj. z możliwościami nabycia przez społeczeństwo, a stąd z warunkami ekonomicznymi i społeczno-politycznymi. Istnienie zależności pomiędzy warunkami społeczno-politycznymi społeczeństwa, a rozwojem techniki nie budzi na ogół wątpliwości, dotychczas jednak nie udało się określić tej zależności i dlatego postęp techniczny jest zwykle rozpatrywany jako zagadnienie niezależne. Przedstawione w niniejszej pracy procesy produkcyjne w postaci sieci uogólnionej umożliwiają ściśle i ilościowe powiązanie warunków społeczno-politycznych i ekonomicznych z postępem techniki.

Zaproponowane sieci są w zasadzie *liniowe*. Ogólnie jednak biorąc, mogą występować także sieci złożone z dwóch lub więcej linii. W takich przypadkach występują dodatkowe warunki dla wydajności elementów poszczególnych linii sieci, co może sprawiać trudności techniczne lub organizacyjne, zwłaszcza przy istnieniu wiązań sztywnych pomiędzy odpowiednimi elementami.

Sieci mogą być opracowane w trzech różnych poziomach:

a) *sieć maksymalna*, reprezentująca potencjalne możliwości procesów technologicznych w ogóle, praktycznie oparta o najwyższe wskaźniki techniczne pochodzące z krajów przodujących w rozpatrywanej technice,

b) *sieć regionalna*, oparta o wskaźniki techniczne dla określonego regionu (kraju),

c) *sieć indywidualna*, oparta o wskaźniki techniczne dla pojedynczego zakładu produkcyjnego.

2. OGÓLNE ZASADY I PRAWIDŁOWOŚCI

Rozpatrując przedstawione w postaci sieci procesy produkcyjne w historii hutnictwa żelaza można zauważyć pewne zasady i prawa, które — jak się wydaje — mają charakter bardziej ogólny i występują także przy innych rodzajach produkcji. Te zasady i prawa mogą być sformułowane w następujący sposób.

a) Prawo (I) wydłużającej się sieci

W miarę rozwoju techniki następuje wydłużenie się sieci produkcji. W początkowym okresie produkcji prymitywnej sieć (uproszczona)

składa się tylko z jednego lub dwóch elementów (dymarka + kuźnia), w dalszym rozwoju w sieci (uproszczonej) występują trzy elementy (wielki piec + piec pudlarski lub inny piec do świerzenia + walcownia.)

b) Prawo (II) zwiększającej się sztywności wiązań sieci

W miarę rozwoju techniki wiązania pomiędzy elementami sieci produkcyjnej stają się coraz bardziej sztywne, jeśli nie ze względów technicznych, to z powodów organizacyjno-produkcyjnych.

c) Prawo (III) zwiększających się kosztów urządzeń (kosztów inwestycji)

W miarę rozwoju techniki koszt poszczególnych urządzeń stanowiących elementy sieci zwiększa się. Jeśli K_{i1} oznacza koszt, i — urządzenia — elementu sieci i — wówczas

$$K_{i1} < K_{i2} < K_{i3} \quad (1)$$

jeśli 1, 2, 3 oznacza kolejne sieci reprezentujące coraz wyższy poziom techniczny.

d) Prawo (IV) wzrastającej wydajności elementów sieci

Postęp techniczny polega przede wszystkim na zastępowaniu elementów sieci o mniejszej wydajności przez elementy (urządzenia bardziej wydajne.

Jeśli v_{i1} oznacza wydajność i — tego urządzenia — elementu sieci j — wówczas

$$v_{i1} < v_{i2} < v_{i3} \dots \quad (2)$$

jeśli 1, 2, 3 oznacza sieć reprezentującą coraz wyższy poziom techniczny.

Chociaż na postęp techniczny składają się różne udoskonalenia (poprawianie warunków pracy, lepsze wykorzystanie materiałów itd.), to jednak decydujące znaczenie posiada wydajność procesu. Stąd też wśród wynalazków i osiągnięć, składających się na postęp techniczny, szczególnie istotne znaczenie posiadają te, które pozwalają na zwiększenie wydajności.

W tym ujęciu wynalazkami rewolucjonizującymi produkcję są takie urządzenia (lub procesy), które znacznie, np. wielokrotnie, zwiększają wydajność. Takie wynalazki powinny być również podstawą technicznej (tj. opartej na technice) periodyzacji w historii rozwoju danej gałęzi przemysłu.

e) Prawo (V) równej wydajności elementów sieci

Wydajność poszczególnych elementów sieci musi być równa, spełniać równanie:

$$(v_1 \pm \delta v_1) \approx a_2 (v_2 \pm \delta v_2) \approx a_2 a_3 (v_3 \pm \delta v_3) \approx \dots \quad (1)$$

gdzie $v_1, v_2, v_3 \dots$ wydajność kolejnych elementów sieci 1, 2, 3,
 a_2 — współczynnik uwzględniający straty materiału przy przeróbce produktu elementu sieci 1 w produkt elementu sieci 2,
 a_3 — współczynnik uwzględniający straty materiału przy przeróbce produktu elementu sieci 2 w produkt elementu sieci 3 (itd.)

$\delta v_1, \delta v_2, \delta v_3$ — odchyłki wydajności poszczególnych elementów sieci 1, 2, 3...

Jeśli element produkcyjny składa się z pewnej ilości jednostek produkcyjnych, np. pieców, wówczas równanie (1) przyjmuje postać:

$$\sum_{i=1}^{i=j} n_{1i} (v_{1i} \pm \delta v_{1i}) \approx a_2 \sum_{i=1}^{i=j} n_{2i} (v_{2i} \pm \delta v_{2i}) \approx \dots \quad (4)$$

gdzie $n_{1i}, n_{2i} \dots$ — ilość jednostek produkcyjnych elementu 1, 2...

$\delta v_{1i}, \delta v_{2i} \dots$ odchyłki wydajności poszczególnych jednostek produkcyjnych elementu 1, 2...

Ilość jednostek produkcyjnych tworzących element sieci jest ze względów organizacyjnych ograniczona, w hutnictwie żelaza wynosi zwykle około pięciu lub mniej.

W przypadku gdy wydajność i odchyłki wydajności poszczególnych jednostek produkcyjnych elementów sieci są dla każdej jednostki jednakowe, wówczas:

$$v_1 \pm \delta v_1 \approx a_2 n_2 (v_2 \pm \delta v_2) \approx a_2 a_3 n_3 (v_3 \pm \delta v_3) \approx \quad (5)$$

gdzie n_2, n_3 — ilość jednostek produkcyjnych elementu 2, 3...

$v_1, v_2 \dots$ — wydajność pojedynczych jednostek produkcyjnych elementu 1, 2...

$\delta v_1, \delta v_2 \dots$ odchyłki wydajności poszczególnych jednostek produkcyjnych elementu 1, 2...

Dwie pierwsze (I i II) prawidłowości mają ogólny charakter — jakościowy i wskazują tylko na pewne tendencje rozwojowe, podobnie jak i trzecia (III), która jednak może być określona liczbowo (koszt urządzenia, inwestycji itp.). Czwarta (IV) zasada (prawo wzrastającej wydajności) pozwala ponadto na dokonanie oceny wynalazków i udoskonaleń, wskazując na najważniejsze.

Szczególnie istotne znaczenie dla analizy postępu technicznego ma prawo równej wydajności elementów sieci (V), zwłaszcza jeśli uwzględni się sieć uogólnioną, obejmującą także rozpowszechnienie produktów, związane ze stosunkami polityczno-społecznymi i ekonomicznymi kraju.

$$v_1 \pm \delta v_1 \approx a_2 (v_2 \pm \delta v_2) = a_2 \cdot a_3 (v_3 \pm \delta v_3) \approx \dots \pm (v_z \pm \delta v_z) \quad (5)$$

gdzie v_z — szybkość przejmowania produktu przez ludność,

δv_z — wahania szybkości przejmowania produktu przez ludność.

Z równania (4) wynika, że istotne, a właściwie nawet decydujące znaczenie dla realizacji postępu technicznego ma szybkość przejmowania (zakupu) produktu przez społeczeństwo, będąca wynikiem zapotrzebowania i możliwości zakupu. Jeśli ilość przejmowania produktu jest zbyt mała w stosunku do wydajności sieci produkcyjnej, wówczas procesy takie nie mogą zostać zrealizowane.

Zbyt mała szybkość przejmowania produktu — obok trudności ze zgromadzeniem potrzebnego kapitału inwestycyjnego — powoduje utrzymywanie się procesów technologicznych o niskiej wydajności, tj. opóźnienie techniczne w kraju.

3. ZASTOSOWANIE ANALIZY SIECIOWEJ

DO BADAŃ POSTĘPU TECHNICZNEGO W HUTNICTWIE ŻELAZA

Przedstawione podstawowe pojęcia analizy sieciowej zostały wykorzystane do studiów nad rozwojem techniki w hutnictwie żelaza. Postęp techniczny w tej dziedzinie przemysłu ilustrują, kolejno, następujące sieci techniczne (uproszczone):

a) Układ dymarka + kuźnia, występujące w układzie luźnym; jest to układ charakterystyczny dla produkcji prymitywnej, jaka miała miejsce w Europie w starożytności i we wczesnym średniowieczu;

b) Układ dymarka + kuźnia, występujące w układzie zasadniczo sztywnym; jest to układ charakterystyczny dla zorganizowanej produkcji (manufaktury) występującej w Europie w XIV—XVIII w.;

c) Układ wielki piec + piec fryszerski + kuźnia; w układzie tym połączenie dwóch pierwszych elementów jest luźne, natomiast dwóch ostatnich — zasadniczo sztywne (okres XV—XVIII w.);

d) Układ wielki piec + piec pudlarski + walcownia. W początkowym okresie rozwoju tego układu technologicznego wiązanie dwóch pierwszych elementów mogło być luźne, przy rozwiniętej produkcji przechodziło — przynajmniej ze względów organizacyjnych — w wiązanie sztywne; wiązanie dwóch ostatnich elementów było, zasadniczo, sztywne (koniec XVIII w. — XIX w.);

e) Układ wielki piec + konwertor + walcownia. W układzie tym wiązanie dwóch pierwszych elementów jest sztywne zarówno ze względów organizacyjnych, jak i technicznych, sztywne jest także wiązanie dwóch ostatnich procesów technologicznych (koniec XIX — XX w.);

f) Układ wielki piec + piec martenowski + walcownia. W układzie tym wszystkie wiązania są sztywne, przynajmniej ze względów organizacyjnych i ekonomicznych (koniec XIX—XX w.).

Równocześnie obserwuje się wzrost kosztów budowy poszczególnych urządzeń stanowiących elementy sieci. Choć autorowi nie udało się zebrać nawet przybliżonych kosztów budowy takich urządzeń (inwestycji), które można byłoby porównać, jednak dokonując jakościowej oceny widoczne jest, że np. koszt dymarki był niższy aniżeli wielkiego pieca (także w XVI—XVIII w.), koszt fryszerski był niższy, aniżeli koszt pieca pudlarskiego itd.

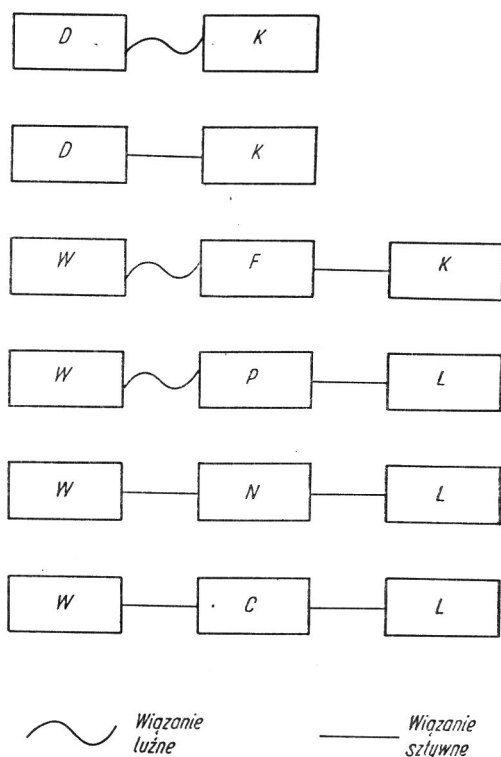
Wzrastającą wydajność urządzeń stanowiących elementy sieci występujących w hutnictwie żelaza w XVIII—XIX w. ilustrują dane przytoczone dalej przy rozpatrywaniu prawa równej wydajności elementów sieci.

Wskaźniki wydajności zestawione w równaniu prawa V pozwalają wyjaśnić zmiany procesów technologicznych w hutnictwie żelaza, stają się one całkowicie zrozumiałe jeśli rozpatruje się wydajność poszczególnych elementów sieci. Przygotowanie ścisłych danych reprezentatywnych wymaga dokładniejszych studiów, tu ograniczono się najczęściej do wydajności urządzeń technicznych na ziemiach Polski. Wydajności te były na pewno mniejsze niż dla takich urządzeń w wysoko-
uprzemysłowionych krajach Europy zachodniej.

Okres zastępowania dymarek przez wielkie piece w Polsce przypada głównie na XVIII w. Według H. Łabęckiego¹ średnia wydajność dymarki w 1790 r. wynosiła 0,162 t żelaza/tydz. (160 cetn. rocznie) pod-

¹ H. Łabęcki: *Górnictwo w Polsce*. T. 2. Warszawa 1844 s. 455.

czas gdy średnia wydajność wielkiego pieca osiągała 4,26 t surówki/tydz. (4200 cetn. rocznie). Jeśli przeliczy się tę produkcję na ilość żelaza, wówczas wydajność wielkiego pieca byłaby równoważna produkcji 19 dymarek.



Ryc. 1. Sieci techniczne uproszczone w historii hutnictwa żelaza:

D — piec dymarski, K — kuźnia, W — wielki piec, F — fryszerka, P — piec pudlarski, L — walcownia, M — piec martenowski, C — konwertor

Рис. I. Упрощенные технические сети в истории металлургии железа:

D — суродутный горн, K — кузница, W — доменная печь, F — кричный горн, P — puddlingовая печь, L — прокатный цех, M — мартеновская печь, C — конвертер

Fig. 1. Simplified technical networks in the history of iron metallurgy:

D — bloomery furnace, K — forge, W — blast furnace, F — finery, P — puddling furnace, L — rolling-mill, M — open-hearth furnace, C — converter

W tym czasie średnia wydajność fryszerki wynosiła 0,995 t/tydz. (980 cetn. rocznie). Stąd, posługując się wzorem (3) dla sieci technicznej uproszczonej wielki piec + fryszerka można stwierdzić, że dla spełnienia tej równości trzeba przyjąć $n_2 = 3-5$, co oznacza, że z wielkim piecem współpracowało 3—5 fryszerok, co potwierdzają dane źródłowe².

Dla rozpatrywanego okresu (koniec XVIII w.), dzięki danym opublikowanym przez J. Osińskiego³, można wyznaczyć równanie wydajności dla huty żelaza w Antoninowie, gdzie znajdował się największy

² J. Osiński: *Opisanie polskich żelaza fabryk*. Warszawa 1782 s. 44.

³ J. Osiński, jw. s. 60.

wielki piec w Polsce; surówkę z tego pieca przerabiano w 3 fryszerkach. Dla wielkiego pieca w roku 1781/1782 w okresie ustabilizowanej produkcji wyliczono średnią wydajność 10,52 t/tydz. oraz wahania $\pm 1,07$ t/tydz. Brak statystyki produkcji fryszerki nie pozwolił jednak na wyznaczenie podobnej charakterystyki dla drugiego węzła sieci, trzech fryszerki ($n_2 = 3$).

Wracając do studiów nad dalszym postępowaniem technicznym w hutnictwie żelaza w Królestwie Polskim można stwierdzić, że w pierwszej połowie XIX w. wydajność wielkich pieców nadal zwiększyła się, osiągając w 1838 r. 12,37 t/tydz. (12 200 cetn. rocznie)⁴, a więc o 190,5%, podczas gdy wydajność dymarek nie uległa już zmianie. Równocześnie osiągnięty został, praktycznie, kres wydajności fryszerki, która doszła do 1,115 t/tydz. (110 cetn. rocznie), zwiększając się od 1790 r. tylko o 12,5%.

Zwiększenie wydajności wielkich pieców do 1838 r. spowodowało, że równanie wydajności (3) wymagało zastosowania dziesięciu fryszerki do współpracy z jednym wielkim piecem ($n_2 = 10$). Zastąpienie fryszerki przez piec pudlarski, tj. przejście do sieci wielki piec + piec pudlarski, pozwoliło na zmniejszenie ilości jednostek produkcyjnych stwierdzenia do 3 ($n_2 = 3$); średnia wydajność pieca pudlarskiego w Królestwie Polskim wynosiła bowiem 3,55 t/tydz. (3500 cetn. rocznie).

W krajach wysokoprzemysłowych uzyskiwano większą wydajność pieca pudlarskiego, a mianowicie dochodzącą do 14,4 t/tydz.⁵, jednak produkcja wielkiego pieca była tam również znacznie większa aniżeli w Królestwie Polskim. Podobnie jak poprzednio dla fryszerki tak i dla pieca pudlarskiego już w połowie XIX w. osiągnięto kres wzrostu wydajności. Czynnikiem ograniczającym były wymiary misy pieca, a ściślej długość narzędzi, służących do zabijania łupy i do jej wyciągnięcia z pieca.

Dlatego pomimo licznych udoskonaleń (np. w samej tylko Wielkiej Brytanii Urząd Patentowy zarejestrował w latach 1867—1876 łącznie 389 patentów usprawniających proces pudlarski⁶, jak wdmuchiwanie powietrza do kąpieli, zastosowanie regeneratorów i próby zmechanizowania obsługi) nie można było zwiększyć wydajności pieca pudlarskiego i dlatego właśnie piec ten musiał być zastąpiony przez inne urządzenie, tym bardziej, że wydajność wielkich pieców nadal wzrastała. Jak podaje L. Beck⁷, produkcja wielkiego pieca w Ileseder Hütte (koło Peine) w latach pięćdziesiątych XIX w. była równa 175 t/tydz. i zwiększyła się do 770 t/tydz. w 1875 r. i do 1582 t/tydz. w 1895 r. W jednej z amerykańskich hut koło Pittsburga osiągnięto w 1897 r. produkcję wielkiego pieca rzędu 4900 t/tydz.

Wobec ograniczonej wydajności pieca pudlarskiego jedyną możliwością było zwiększenie ilości tych pieców współpracujących z wielkim piecem. W 1865 r. angielskie huty w przemysłowym regionie między Wolverhampton i Birmingham (Black Country) posiadały najczęściej 20—30 pieców pudlarskich, a były dwa zakłady liczące 80—100 takich pieców⁸.

⁴ H. Łabęcki, jw. s. 455.

⁵ L. Beck: *Geschichte des Eisens*. Bd. 5. Braunschweig 1903 s. 134.

⁶ W. K. Gale: *The Black Country Iron Industry*. London 1966 s. 106.

⁷ L. Beck, jw. s. 449.

⁸ W. K. Gale, jw. s. 104.

Tego rodzaju rozwiązanie sprawiało jednak trudności organizacyjne i świadczenie surówki stawało się „wąskim gardłem” w hutnictwie żelaznym. W tej sytuacji zrozumiałe jest znaczenie wynalazku konwertora, którego wydajność równa początkowo ok. 70 t stali/tydzień (dla pieca o pojemności 1 t) mogła być zwiększona do 700 t stali/tydz. (dla pieca 10 t) oraz pieca martenowskiego, których pojemność w końcu XIX w. wynosiła zwykle 12—14 t, a w St. Zjednoczonych Ameryki Północnej nawet 75—100 t. Stąd wydajność pieca martenowskiego dochodziła do 1400—1800 t/tydz.

Jak duże znaczenie posiada wydajność urządzeń, której w niniejszej pracy przypisane zostało decydujące znaczenie, ilustruje proste obliczenie, które wskazuje, że wydajność wielkiego pieca w końcu XIX w. 4900 t/tydz. odpowiada produkcji ok. 28 000 dymarek. Do przerobienia tej ilości surówki w ciągu tygodnia z wielkim piecem musiałyby współpracować 3500 fryszerki lub 1140 pieców pudlarskich.

Z tych danych widać, że główną podstawą postępu w hutnictwie żelaza w XIV—XX w. był proces wielkopiecowy, który zastąpił proces dymarski. Wzrastającą wydajność wielkiego pieca będąca wynikiem wzrostu wymiarów urządzenia (dzięki zastosowaniu koksu — w miejsce węgla drzewnego i zastosowaniu grzanego dmuchu) spowodowała kolejno zastąpienie fryszerki przez piec pudlarski, a ten ostatni przez konwertory i piece martenowskie.

E. Пясковски

СЕТЬЕВОЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Представлен новый метод исследований технического прогресса в промышленности, основывающийся на представлении процесса производства в виде ряда элементов (оборудования, служащего для реализации технологических процессов) связанных свободными или тесными связями. Существует несколько видов сети: техническая упрощенная или развитая сеть (т.е. принимающая во внимание транспорт материала), а также обобщающая сеть принимающая во внимание сбыт продукта. Таким образом происходит связь развития техники с общественно-политическими условиями общества.

Представлены пять принципов (правильности) удлиняющейся сети (I), увеличивающей тесные связи сети (II), увеличивающихся затрат на оборудование (III), возрастающей производительности элементов сети (IV), а также различной производительности элементов одной сети (V).

Представлен пример использования сетевого анализа в исследованиях технического развития в металлургии железа и стали.

J. Piaskowski

A NET-WORK ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROGRESS IN INDUSTRY

A new method of studying technological progress in industry has been presented in the article; its main feature is a presentation of the production process in the form of a number of elements (equipment used to carry out the technological processes) linked together by means of loose or stiff bonds. There are a few types of net-works: a simple or developed (with the transport of

material taken into consideration) technological network as well as a generalized network allowing for the sales of the product. This way there is a connection between the advancement of technology and the society's socio-political conditions.

Five rules (regularities) of the extending network (I), the increasing stiffness in the links of the network (II), the increasing costs of equipment (III), the increasing productivity of the network elements (IV) as well as the varying productivity of the elements of an individual network (V) have been listed.

An example of applying the network analysis in studies concerning the technological advancement in the iron and steel metallurgy has been presented.