

## HYDROMECHANIZACJA ROBÓT ODKRYWKOWYCH (1961 R.)

### HYDROMECHANIZATION OF OPENCAST WORKS (1961)

Mgr inż. Włodzimierz Parzonka, Dolnośląskie Biuro Projektów Górniczych, Wrocław

*W artykule podano podstawy teoretyczne i praktyczne dotyczące projektowania urabiania nadkładu metodą hydrauliczną.*

*The article presents theoretical and practical foundations for the design of hydraulic overburden mining.*

Artykuł ten jest uzupełnieniem wypowiedzi autora zamieszczonej w numerze 4(6) „Węgla Brunatnego” i podaje podstawy teoretyczne i praktyczne, wykorzystane przy projektowaniu urabiania nadkładu metodą hydrauliczną w części południowej Łuku Mużakowskiego.

#### Ogólne założenia

Pod pojęciem hydromechanizacji rozumiemy taką mechanizację robót odkrywkowych, w której wszystkie lub niektóre czynności wykonywane są za pomocą energii strumienia wody.

Roboty odkrywkowe składają się z trzech podstawowych czynności: a) odspojenie gruntu, b) transportu mas ziemnych, c) zwałowania.

W związku z takim podziałem rozróżnia się następujące rodzaje hydromechanizacji: a) pełną hydromechanizację, b) częściową hydromechanizację, c) metodę kombinowaną.

Pełna hydromechanizacja polega na zastosowaniu wody do odspojenia, transportu i zwałowania nadkładu. Wszystkie czynności wykonuje woda, bez uprzedniego rozluźnienia albo odspojenia gruntu. Sulima-Samujłło [17] twierdzi, że metoda ta nadaje się dla gruntów łatwo urabialnych wodą i zalegających pod kątem zgodnym z kątem spływania rozwodnionego gruntu do rzepia.

Częściowa hydromechanizacja polega na odspojeniu gruntu koparkami lub spycharkami i na hydraulicznym transporcie gruntu, po jego rozwodnieniu wodomiotaczami na usypisku lub w pojemniku (wagonie zmywczym). Nadaje się ona dla gruntów bardzo zwiezłych, trudnych do rozmycia.

Metoda kombinowana jest często stosowaną odmianą metody hydraulicznej pełnej, w której odspojenie decydującej części gruntu odbywa się hydraulicznie, a resztki odpajają się spycharkami lub koparkami.

Przy zdejmowaniu nadkładu metodą hydrauliczną odspojenie następuje głównie poprzez bezpośrednie działanie na ścianę wykopu strumienia wody z wodomiotacza o szybkości wylotowej 15-50 m/sek. Jest to tak zwana hydrauliczna metoda ładowa.

Rzadziej stosuje się w hydromechanizacji robót odkrywkowych pompowanie gruntu spod zwierciadła wody. Przy sprzyjających warunkach, np. gdy na terenie odkrywki znajduje się

jezioro lub staw o dnie z piasku czy płynnego mułu, należy zastosować tę metodę, bazującą na pogłębiarce jako sprzęcie podstawowym.

Transport rozwodnionego gruntu może się odbywać: a) grawitacyjnie, b) rurociągami tłocznymi, c) sposobem mieszanym (kombinowanym).

W transporcie grawitacyjnym stosuje się głównie koryta drewniane lub rowy ziemne, a rzadziej rurociągi.

Dla uniknięcia osadzania się stałych cząstek gruntu podczas transportu rozwodniony grunt winien mieć odpowiednią szybkość przepływu, rzędu 1,5-5,0 m/sek. Przy transporcie grawitacyjnym uzyskuje się ją przez odpowiednie pochylenie dna koryt lub rowów.

#### Klasyfikacja gruntów wg stopnia rozmywalności

Na przebieg procesu odpajania gruntu mają wpływ głównie następujące właściwości: a) stopień spoistości gruntu, b) wilgotność naturalna gruntu, c) plastyczność gruntu, d) jego porowatość, e) jego nasiąkliwość, f) rozmywalność gruntu, g) tarcie międzycząsteczkowe, h) przyczepność cząstek gruntu.

Pod wpływem zwiększania zawartości wody cząstki stałe gruntu zatracając przyczepność powodują rozluźnienie gruntu. Kiedy na grunt działa strumień wody pod ciśnieniem, występują wtedy: czołowy nacisk wody na powierzchnię gruntu oraz naprężenia styczne przy przepływie wody między cząstkami gruntu.

W tablicy 1 podano średnie wartości sił spójności i kątów tarcia wewnętrznego dla podstawowych rodzajów gruntu.

Rozmywalność gruntów piaszczystych i żwirowych zależy w głównej mierze od uziarnienia i od porowatości gruntu, natomiast rozmywalność gruntów ilastych i gliniastych od ich plastyczności i porowatości.

Tablica 1

Lp.	Nazwa gruntu	Siła spójności kg/cm <sup>2</sup>	Kąt tarcia wewnętrzny w °
1	Piaszczysty	0-0,01	26-33
2	Gliniasto-piaszczysty	0,05-0,20	20-28
3	Piaszczysto-gliniasty	0,15-0,60	17-25
4	Gliniasty	0,40-1,50	14-22

Zwiększenie spistości naturalnej powoduje zwiększenie jednostkowego zużycia wody do odspojenia gruntu oraz zwiększenie potrzebnego ciśnienia strumienia wody na grunt.

W tablicy 2 podano za Roerem [12] klasyfikację gruntów według stopnia ich rozmywalności oraz potrzebne ciśnienie strumienia wody na grunt.

Tablica 2

Kategorie rozmywalności gruntu	Rodzaj gruntu	Potrzebne ciśnienie strumienia wody na grunt kG/cm <sup>2</sup>
I	Torf, muł, luźna ziemia, sycki piasek	0,5-1,0
II	Piasek pylasty i drobnoziarnisty	1,0-2,0
	Less pulchny	1,0-1,5
	Grunt gliniasto-piaszczysty lekki	1,5-2,0
III	Piasek średnioziarnisty	1,0-2,0
	Less zwięzły	1,5-2,5
	Grunt piaszczysto-gliniasty lekki	2,0-2,5
IV	Piasek gruboziarnisty	1,5-2,5
	Grunt piaszczysto-gliniasty ciężki	2,5-3,0
	Grunt piaszczysto-gliniasty średni i ciężki	3,0-4,0
V	Gлина tłusta	3,0-4,5

#### Zalety i wady metody hydraulicznej

W porównaniu z metodami lądowymi metoda hydromechanizacji robót odkrywkowych wykazuje następujące zalety:

1. prostotę urządzenia i jego niską cenę,
2. mały koszt prowadzenia robót,
3. wysoką wydajność robotników,
4. uniknięcie potrzeby wstępnego odwodnienia.

Wydajność pracy jest przy tej metodzie około 2-3-krotnie wyższa w porównaniu z metodami lądowymi. Przeciętna wydajność na 1 robotnika w ciągu 8 godzin pracy wynosi od 40 do 120 m<sup>3</sup>, maksymalna do 200 m<sup>3</sup> gruntu.

Taniość urządzenia, możliwość zatrudnienia niewykwalifikowanych pracowników, małe koszty eksploatacyjne — wszystkie te czynniki składają się na niski koszt prowadzenia robót. Według danych radzieckich (Moskwa-Wołgostroj) koszt wydobycia gruntu metodą hydrauliczną jest przeszło 2-krotnie niższy od kosztu robót prowadzonych metodami klasycznymi.

Jednak metoda ta ma również wady, a mianowicie:

1. W warunkach zimowych zmniejsza się wydajność pracy. Grawitacyjny transport rozwodnionego gruntu korytami przy temperaturze niższej od -15°C jest niewygodny, a przy niższej od -20°C niemożliwy. Przy transporcie rurociągami tłocznymi wpływ warunków zimowych na wydajność jest mniejszy niż przy transporcie w korytach otwartych.

2. Wydajność pracy i koszt robót zależą od warunków miejscowych. Wydajność pogarsza się znacznie przy zmniejszeniu wysokości urabianej skarpy wykopu. Koszt robót zwiększa się przy znacznym oddaleniu ujęcia wody od odkrywki i przy transporcie tłocznym na większe odległości.

3. Duże zużycie energii elektrycznej (od 4- do 10-krotnie wyższe niż przez koparki).

4. Zależność wydajności do rodzaju gruntu i ograniczona stosowalność tej metody do urabiania niektórych gruntów, np. kamiennych i skalnych.

#### Wybór sposobu wydobycia gruntu metodą hydrauliczną — podstawowe schematy technologiczne

Przy projektowaniu hydromechanizacji robót odkrywkowych należy dokładnie zapoznać się z warunkami terenowymi, dokładnie rozpoznać wszystkie występujące rodzaje gruntu oraz miąższości poszczególnych jego warstw. Jest to potrzebne dla właściwego ustalenia technologii prowadzenia robót.

W zależności od warunków miejscowych, a zwłaszcza od naturalnej wilgotności gruntu, jego składu granulometrycznego i stopnia urabialności, można odpajać grunty według trzech głównych schematów technologicznych:

I. grunty piaszczyste i średniozwięzłe — odspojenie bezpośrednio w calźnie wodomiotaczami;

II. grunty o dużej spistości — rozmycie gruntu strumieniem wody po uprzednim odspojeniu (wstępnym rozluźnieniu) hydraulicznym lub mechanicznym; sposób ten stosuje się przede wszystkim w celu zmniejszenia jednostkowego zużycia wody i zmniejszenia ciśnienia;

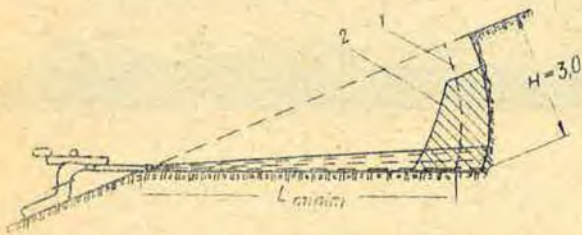
III. grunty na dnie stawów lub w zalanych celowo wodą wykopach — wydobycie spod wody i transport pogłębiarkami wyposażonymi w spulchniacze mechaniczne.

Anikeev [1] uważa, że każdy z tych sposobów może być stosowany na tej samej odkrywce. Np. górne warstwy; zawierające głównie grunty piaszczyste, odpaja się wodomiotaczami, a niżej położone grunty zwięzłe urabia się wstępnie koparkami. Również Rucki [15] podaje, że koparek używa się do wstępnego rozluźnienia tylko w gruntach o znacznej spistości, wymagających przy ich wydobyciu metodą hydrauliczną dużego zużycia wody i wysokiego ciśnienia. Zadaniem Samujły [17] koparki pozwalają na zmniejszenie zużycia wody i zwiększenie wydajności urządzeń o 25-30%. Sposób ten, według niego,

uzasadniony jest tylko w gruntach trudno rozmywalnych, i to wtedy, kiedy powiększenie ciśnienia wody wypadłoby drożej niż wprowadzenie do pracy koparki.

#### Sposoby rozmycia gruntów o małej spoistości na odkrywkach (z wykopu lądowego)

Istnieją dwa podstawowe sposoby wydobywania gruntu metodą hydrauliczną pełną z wykopu znajdującego się powyżej zwierciadła wody: a) odgórny, b) oddolny.



Rys. 1. Schemat wypłukiwania gruntu przy odgórnym zastosowaniu wodomiotacza.

1 — pierwotna skarpa, 2 — skarpa osuniętego gruntu

W czasie wykonywania robót sposobem odgórnym (rys. 1) ustawia się wodomiotacz w pobliżu górnej krawędzi wykopu i splukuje się grunt pochyłymi warstwami. Sposób ten jest dogodny tylko przy wykopach płytkich, o głębokościach do 3 m. Prowadzenie prac sposobem odgórnym na większej głębokości jest niebezpieczne ze względu na występowanie usuwisk skarpy wykopu razem z wodomiotaczem.

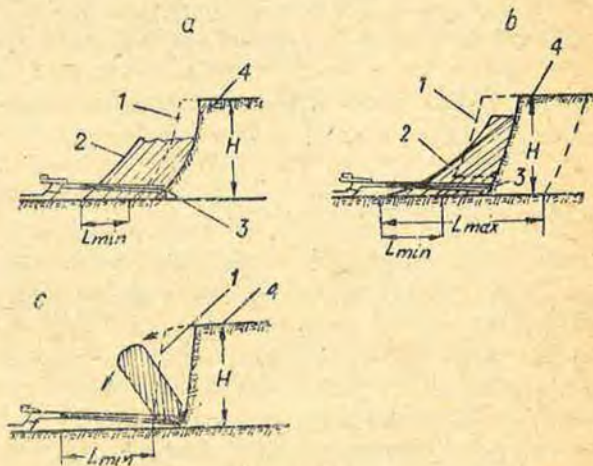
Przy sposobie oddolnym (rys. 2) ustawia się wodomiotacz wewnątrz wykopu, skierowując strumień wody na dolną część skarpy. Po podcięciu ściany wykopu następuje osunięcie się

Przy ścianach wyższych od 3 m o wiele większą wydajność uzyskuje się prowadząc roboty sposobem oddolnym.

Osunięcie się ściany powoduje rozluźnienie gruntu, które zmniejsza w porównaniu ze sposobem odgórnym nakład pracy i ilość zużytej wody.

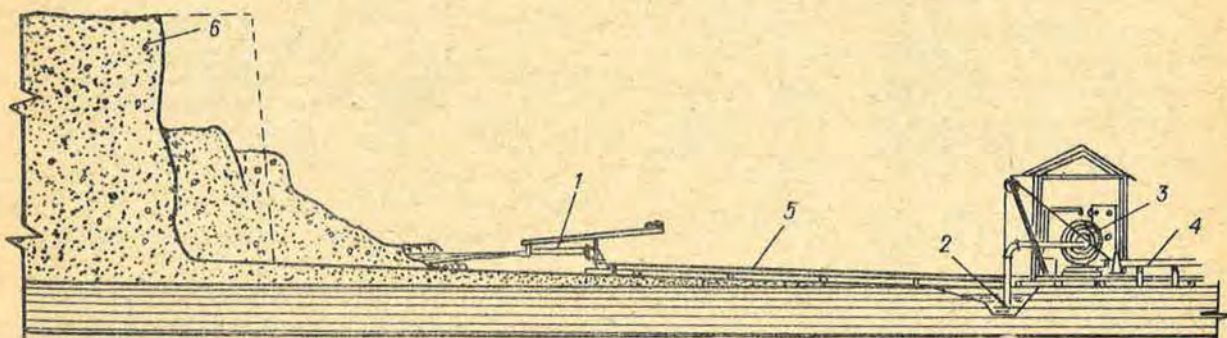
Roboty prowadzi się dwoma wodomiotaczami, ustawionymi na spodzie wykopu. Jeden z wodomiotaczy podcina ścianę, a drugi rozluźnia osunięte masy gruntu.

Dla zapewnienia lepszego odpływu rozwodnionego materiału należy nadać w kierunku do rowu zbiorczego duże spadki po-



Rys. 2. Schemat usuwania się ściany wykopu przy podmyciu jej podstawy (wg Ruckiego).

a — w gruntach piaszczystych, b — w gruntach gliniastych, c — w gruntach lessowych; 1 — skarpa pierwotna, 2 — skarpa osuniętego masywu, 3 — bruzda pozioma, 4 — skarpa pozostałej ściany wykopu



Rys. 3. Schemat prowadzenia robót przy odspajaniu wodomiotaczami i transporcie tłocznym.

1 — wodomiotacz, 2 — rzep, 3 — pompa gruntowa, 4 — rurociąg do rozwodnionego gruntu, 5 — rurociąg odprowadzający czystą wodę, 6 — ściana wykopu

jej, przy czym najszybciej występuje to zjawisko w gruntach piaszczystych. W gruntach gliniastych podcięcie ściany należy wykonać bruzdą poziomą, o głębokości zależnej od spoistości gruntu. Często stosuje się też wstępne rozluźnienie gruntów zwięzłych.

przecznę dna wykopu. W zależności od rodzaju gruntu spadki te winny wynosić od 3 do 7%. Większe spadki stosować należy w wykopach na gruntach gruboziarnistych. Zmniejszają one znacznie jednostkowe zużycie wody, wzrasta jednak wtedy objętość tzw. resztówek (wg terminologii rosyjskiej „niedomywy”).

Resztki nie wybranego gruntu, powstałe wskutek stosowania dużego spadku dna wykopu, usuwa się w praktyce za pomocą spycharki.

**Nachylenie skarp wykopu**

W gruntach gliniastych osuwanie się ściany wykopu następuje po podcięciu jej bruzdą poziomą, i to wzdłuż stromych skarp.

W gruntach piaszczystych osuwanie się ściany wykopu występuje najszybciej. Masa gruntu zsuwa się na spód wykopu wzdłuż powierzchni o mniejszym pochyleniu niż w gruntach zwięzłych, zbliżonym do kąta stoku naturalnego. Dla gruntów ziarnistych kąt ten wynosi w zależności od średnicy ziarn od 26 do 40°.

Na rys. 3 przedstawiono schemat odspojenia gruntu wodomiotaczami z transportem tłocznym rozdwojonego gruntu.

**Sposoby odspojenia gruntów zwięzłych**

W gruntach o dużej spistości nieracjonalne byłoby odspajanie gruntu wodomiotaczami bez wstępnego rozluźnienia. Według Nikonova [8] zużywa się w takich gruntach przy stosowaniu pełnej metody hydraulicznej około 50-70% wody i energii na wstępne rozluźnienie zwięzłych mas ziemnych strumieniem wody z wodomiotacza. Sposoby wstępnego rozluźnienia gruntów zwięzłych podzielić można ogólnie na hydrauliczne i mechaniczne.

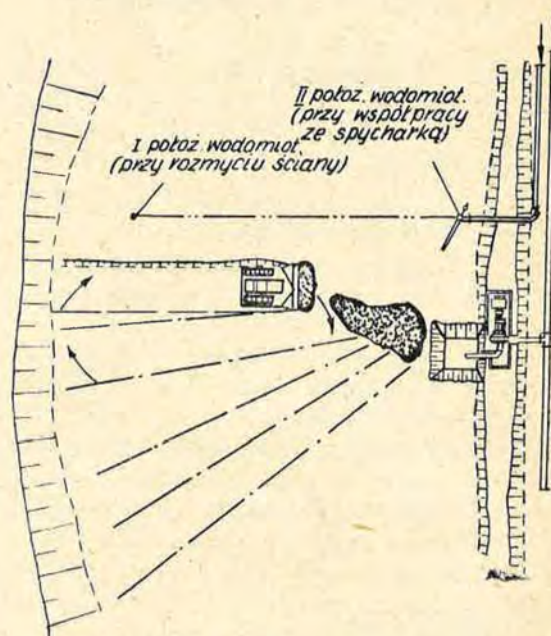
**Hydrauliczny sposób wstępnego rozluźnienia gruntu**

Jest to jeden z najprostszyc sposobów wstępnego rozluźnienia gruntu, polegający na wprowadzeniu wody w masyw gruntu pionowymi rurkami  $\varnothing$  12-19 mm, pod ciśnieniem kilku atmosfer. Pod wpływem nasycenia gruntu wodą następuje zmniejszenie tarcia wewnętrznego i spistości, a w konsekwencji wypływanie gruntu ze skarpy wykopu i obsuw ścian.

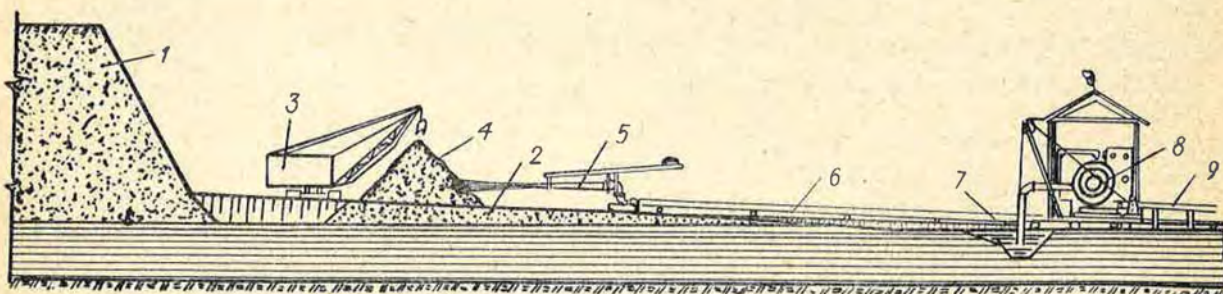
Zastosowanie tego sposobu, według pomysłu Karcewa, dla odkrywki Podolskich Zakładów Cementowych w ZSRR pozwoliło na zmniejszenie jednostkowego zużycia wody z 9,6 m<sup>3</sup>

do 5,2 m<sup>3</sup> i zwiększenie wydajności wodomiotacza z 50 do 80 m<sup>3</sup>/godz.

Sposób ten nadaje się dla wysokich ścian (od 5 do 9 m). Przy niższych splaywanie gruntu ze skarp jest mało intensywne. Wymagana jest również jednolita struktura masywu gruntu — w przeciwnym wypadku woda przefiltruje do bardziej przepuszczalnych niż pozostałe warstwy gruntu.



Rys. 4. Schemat zbierania resztek spycharką. 1 — wodomiotacz, 2 — pompa do rozdwojonego gruntu, 3 — spycharka



Rys. 5. Schemat prowadzenia robót hydromechanicznych przy współpracy koparek. 1 — ściana wykopu odspojona wodomiotaczem, 2 — resztówka, 3 — „draglejn”, 4 — haldy gruntu odspojone przez „draglejn”. 5 — wodomiotacz, 6 — rurociąg do wody czystej, 7 — rząp, 8 — pompa gruntowa, 9 — rurociąg do rozdwojonego gruntu

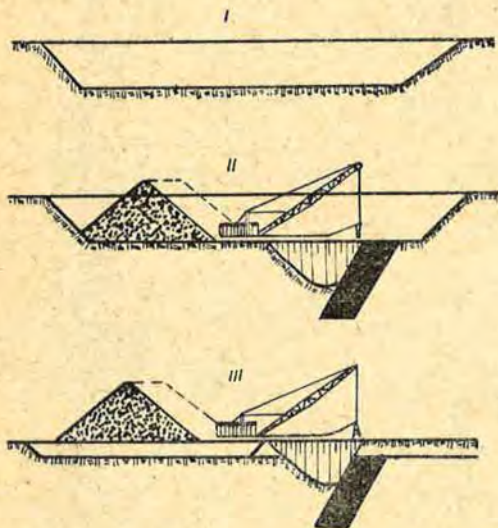
### Wstępne rozluźnienie gruntu spycharkami

Sposób ten (rys. 4) stosuje się do rozluźnienia małych objętości nadkładu o małej spoistości, głównie do zbierania resztek w końcowej fazie robót. Spycharka zbiera grunt warstwami grubości 5-10 cm, podając go w pobliże wodomiotacza ustawionego przy rzapiu.

Wydajność średniej spycharki wynosi około  $75 \text{ m}^3/\text{godz.}$  przy przemieszczaniu gruntu na odległość do 15 m i około  $50 \text{ m}^3/\text{godz.}$  na odległość 30 m. Może więc ona zapewnić odpowiednią ilość gruntu tylko dla mniejszych pomp, np. typu 8 NZ. Przy większych wydajnościach wodomiotaczy i pomp używa się do współpracy z nimi koparki względnie zgarniarki. Według doświadczeń radzieckich kąt skarpy roboczej dla pracy spycharki może wynosić  $30^\circ$ , a kąt skarpy dla przejazdu powrotnego  $14^\circ$ .

### Wstępne rozluźnienie gruntu koparkami lub zgarniarkami

Sposób ten stosuje się do rozluźnienia gruntów najbardziej zwięzłych, o miąższości w całości minimum 4-5 m. Wstępne rozluźnienie koparkami zbitych glin lub glin z dodatkiem żwiru



Rys. 6. Schematyczne przekroje wykopów w odkrywkach węgla brunatnego w Zagłębiu Kuźnickim

i piasku daje znaczne korzyści. Np. w ZSRR na bogosłowskiej odkrywce węgla uzyskano przy zastosowaniu tego sposobu zmniejszenie jednostkowego zużycia energii o 60%, a wody o 65%.

Wyróżnić można tutaj dwa schematy:

a) odspojenie gruntu koparkami lub zgarniarkami z podaniem go w obrocie o  $180^\circ$  na zwal, gdzie następuje rozmycie rozluźnionego gruntu za pomocą wodomiotacza przy średnim zużyciu wody  $5-6 \text{ m}^3$ .

b) odspojenie koparkami lub zgarniarkami, z podaniem gruntu do pojemnika (wagonu zmywczego).

W ZSRR stosuje się częściej sposób wymieniony pod a, przedstawiony schematycznie na rys. 5.

Rys. 6 pokazuje schematyczne przekroje wykopów w odkrywkach węgla brunatnego w Zagłębiu Kuźnickim: I — dla pełnej hydromechanizacji, II — przy współpracy ze zgarniarką i III — przy metodzie kombinowanej.

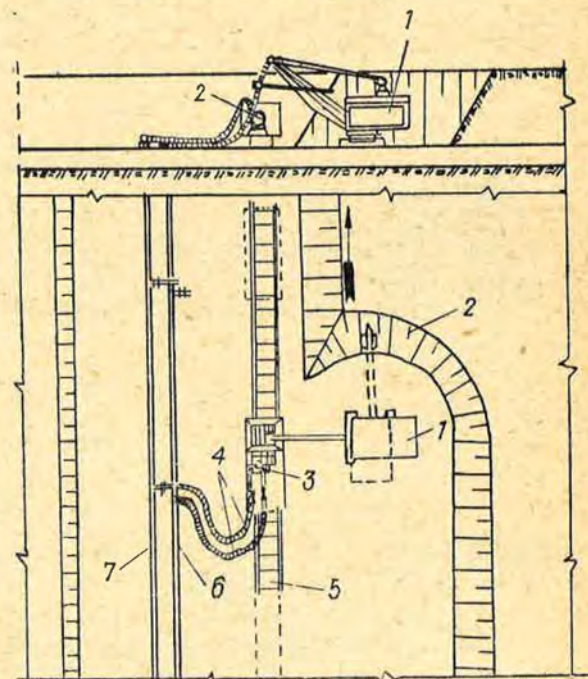
### Odspojenie koparką z podaniem gruntu do wagonu zmywczego

Sposób ten wprowadzono głównie dla uniknięcia zawodnienia dna wykopu. W gruntach gliniastych, o małej przepuszczalności, dno wykopu pokrywa się grubą warstwą rozwodnionej gliny. Warunki pracy dla obsługi wodomiotacza są wtedy ciężkie. Zjawisku temu można częściowo przeciwdziałać przez odpowiednie pochylenie dna wykopu w celu szybkiego odpływu rozwodnionego gruntu. Można też tak poprowadzić roboty, by grunt odpływał w kierunku zgodnym z lotem strumienia wyrzucanego przez wodomiotacz (przeważnie stosuje się kierunek splywu rozwodnionego gruntu przeciwny do kierunku działania strumienia wody na ścianę wykopu).

Pojemność wagonu zmywczego ustala się proporcjonalnie do pojemności łyżki koparki, np. dla pojemności łyżki  $0,5 \text{ m}^3$  pojemność wagonu winna się równać  $10-15 \text{ m}^3$ .

Wagony zmywcze wykonywane w ZSRR wg pomysłu prof. N. D. Cholina mają następującą konstrukcję:

Na górnej powierzchni wagonu ustawiony jest wodomiotacz, ukośnie montuje się kratę dla oddzielenia kamieni. Kamieniste części oddziela się strumieniem wody z wodomiotacza. Częstki



Rys. 7. Schemat transportu hydraulicznego gruntu odspojonego koparką, z podaniem do wagonu zmywczego

1 — koparka, 2 — przewoźny wagon zmywczy, 3 — wodomiotacz, 4 — węże elastyczne, 5 — przenośny człon toru kolejowego, 6 — wociąg, 7 — rurociąg do mieszania wody gruntowej

gruntu mniejsze od rozstawu prętów kraty przechodzą przez nią, spadając na dno wagonu. Tam mieszają się z wodą podawaną przez rurki wodmiotacza, wmontowane w ściany wagonu.

Grube części gruntu zatrzymane na kracie zbiera się ręcznie lub specjalnymi urządzeniami mechanicznymi. Rozwodniony grunt sływa do rury pompy mulowej, która jest ustawiona na tym samym wagonie albo na osobnym przewoźnym podwoziu.

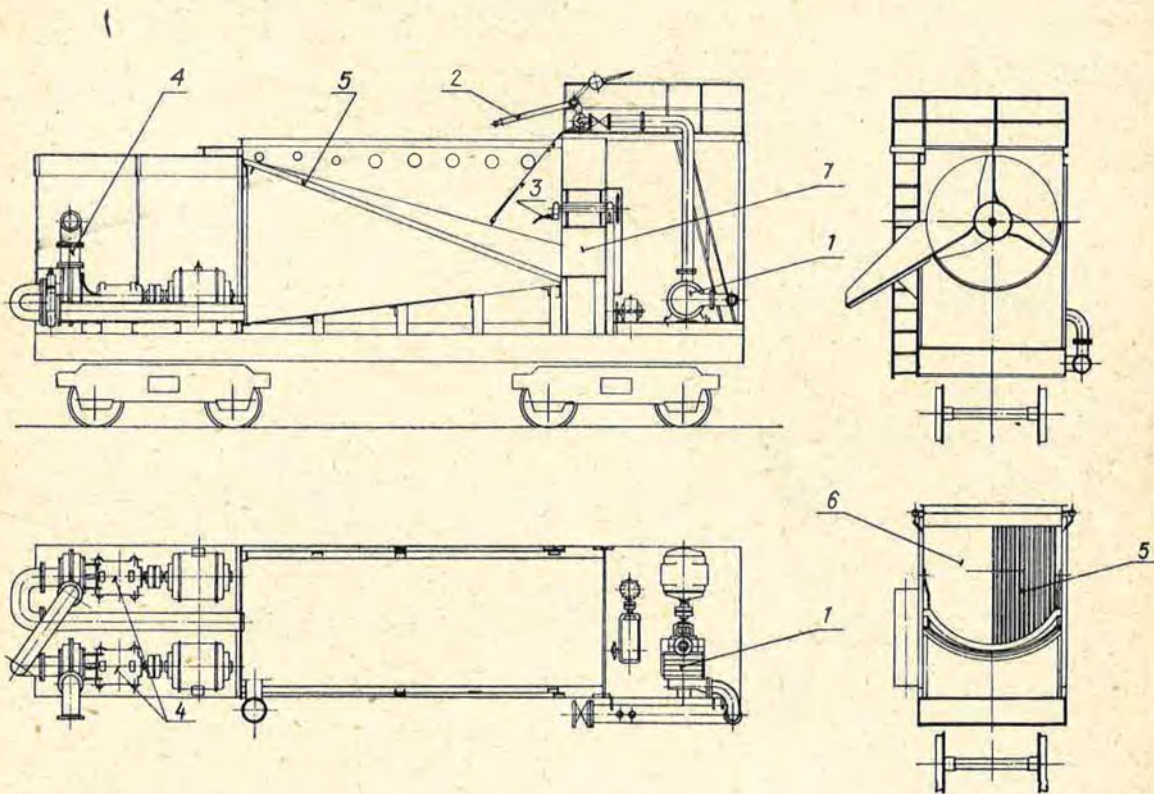
Przesuwanie pojemnika odbywa się po krótkim przesuwym odcinku toru (dla cięższych pojemników, tj. wagonów zmywczych), lub drogą bezpośredniego przemieszczania za pomocą koparki. Połączenie z rurociągami do wody czystej i do rozwodnionego gruntu następuje za pomocą rurociągu elastycznego. Na rys. 7 pokazano szkieletowo sposób prowadzenia robót wg tego sposobu.

Doświadczenia radzieckie pouczają, że bezpośrednie podawanie odsjonego gruntu przez koparkę do pojemnika nie jest

#### Wagon zmywczy z odkrywki „Brzozowica”, projektu inż. Różyckiego

Wagon zmywczy wykonany w odkrywce węgla kamiennego „Brzozowica” według projektu inż. Różyckiego jest umieszczony na podwoziu ciężkiego wagonu kolejowego i przystosowany do poruszania się po torze normalnej szerokości (rys. 8).

Z jednej strony wagonu na dolnej półce ustawiono pompę do wody czystej (1), a na górnej półce dwa wodmiotacze polskie (2) typu NP 80 o maksymalnym ciśnieniu 16 atmosfer. Zadaniem pompy do czystej wody było zwiększenie ciśnienia wody doprowadzonej do wodmiotacza. Na bocznych wewnętrznych ścianach wagonu zamontowano 20 rurek z dyszami doprowadzającymi wodę do wnętrza wagonu celem rozwodnienia gruntu (3). Pojemność wagonu wynosi 13 m<sup>3</sup>. Po przeciwległej stronie wagonu na dolnej półce założono 3 pompy mulowe polskie (4) typu PLP 250, o charakterystyce  $Q = 9 \text{ m}^3/\text{min}$ .



Rys. 8. Wagon zmywczy według projektu inż. Różyckiego

korzystne. W momencie wyrzucenia gruntu z łyżki koparki do wagonu gwałtownie wzrasta gęstość pompowanej cieczy, powodując nadmierne straty ciśnienia i w konsekwencji awarie pomp. Natomiast w okresie między kolejnymi opróżnieniami łyżki pompy gruntowe tłoczą czystą wodę.

Dla zapewnienia wprowadzenia wyrównanej objętości odsjonego nadkładu do wagonu zmywczego i zmniejszenia wahań konsystencji pompowanego, rozwodnionego gruntu stosuje się w ZSRR zestaw PZU, złożony z koparki wielonaczyniowej i przenośnika taśmowego.

Pompy połączone są ze sobą szeregowo, chociaż korzystniejsze byłoby równoległe ich ustawienie, z możliwością zmiany na szeregowo. Ciśnienie wody z wodmiotacza można regulować przez zmianę średnicy nasadek.

Do wyrzucania kamieni służy urządzenie składające się z ukośnej kraty (5), zbiornika na kamienie (6) i obrotowego trzyłopatkowego wirnika do wyrzucania kamieni, uruchamianego okresowo dodatkowym silnikiem. Aby uniknąć wylania się cieczy z wagonu, zabudowano urządzenie automatyczne wyłączania dopływu wody do pojemnika.

### Jednostkowe zużycie wody przy urabianiu i transporcie gruntu

Jednostkowe zużycie wody wynosi w zależności od gruntu 3-8 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> gruntu. Dla gruntu piaszczystego jednostkowe zużycie wody do urobienia i transportu wynosi 5-6 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> gruntu. Grunty zwarte wymagają więcej wody do urabiania.

### Wodmiotacze

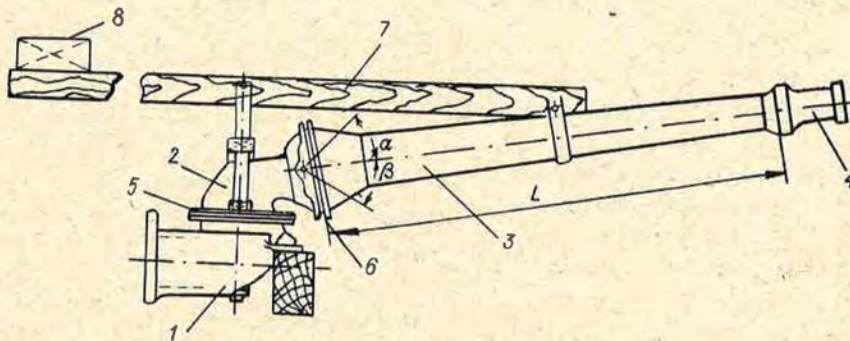
Zasada pracy wodmiotacza polega na zamianie energii potencjalnej wody w energię kinetyczną, którą wykorzystuje się dla rozmycia gruntu.

Wodmiotaczowi zgodnie z jego przeznaczeniem stawia się następujące wymagania:

towej i od ciśnienia wody przez nasadkę. Nasadki są wymienne. Każdy wodmiotacz zaopatrzony jest w ZSRR w komplet nasadek o różnej średnicy. Można więc regulować ilość wody wyrzucanej przez wodmiotacz za pomocą zmiany nasadek. Przy tym samym ciśnieniu (przed nasadką) zwiększenie średnicy nasadki spowoduje zwiększenie zużycia jednostkowego wody.

W miarę zwiększania się głębokości wykopu i odległości pomiędzy wodmiotaczem a skarpią pojawia się potrzeba zwiększenia średnicy nasadki, przy zachowaniu istniejącego ciśnienia przed jej wylotem. Lepsze są jednak nasadki o większych średnicach, ponieważ zużywają mniej energii elektrycznej.

Według Terstepanova [18] średnica nasadki dla gruntów piaszczystych powinna być większa od 51 mm. W ostatnich latach wprowadzono do eksploatacji wodmiotacze zdalnie sterowane (z odległości 10-50 i więcej m). Kierowanie nastę-



Rys. 9. Schemat ogólny wodmiotacza

1. wodmiotacz powinien być w miarę możliwości lekki i małych rozmiarów.

2. powinien umożliwić wylot strug:

a) w płaszczyźnie pionowej sektora o kącie środkowym 60°,

b) w płaszczyźnie poziomej we wszystkich potrzebnych kierunkach;

3. powinien bez dużych strat dokonać zamiany energii z potencjalnej w kinetyczną.

Wodmiotacz (rys. 9) składa się tylko z czterech głównych części: 1. kolana dolnego (1), 2. kolana górnego (2), obie części ze stali, 3. wyrzutni (3), ze stali klepanej, 4. nasadki (4), lanej i obrobionej.

Do poruszania wyrzutnią służą: przegub dolny (5), przegub górny (6), wodzidło (7), i przeciwwaga (8).

Wodmiotacze lekkie ustawia się na saniach przesuwanych, wodmiotacze cięższego typu na podwoziu przewoźnym. Podstawę wodmiotacza dla zwiększenia stateczności obciąża się dodatkowo kamieniami względnie kotwi się za pomocą przenośnych kotew stalowych. Kierowanie wodmiotaczem odbywa się za pomocą ręcznego wodzidła. Cięższe wodmiotacze wyposażone są w tzw. deflektory, wykorzystujące reakcję wytryskującego strumienia do obciążania wyrzutni wodmiotacza.

Wydajność wodmiotaczy (to znaczy ilość wyrzucanej przez nie wody w jednostce czasu) zależy od średnicy nasadki wylot-

puje na zasadzie hydraulicznej z pulpitu kierowniczego. Wodmiotacze te mają więcej zalet eksploatacyjnych od omówionych wodmiotaczy kierowanych ręcznie ponieważ:

a) odległość wodmiotacza od skarpy może być znacznie mniejsza (nie występuje tu już niebezpieczeństwo zasypania obsługi przez obsuniętą skarpię), co znacznie zwiększa wydajność urabiania;

b) kierowanie wodmiotaczem jest znacznie łatwiejsze, nie wymaga tak dużego wysiłku (co zniechęcało często załogę do częstych zmian położenia wyrzutni wodmiotacza);

c) jeden człowiek może równocześnie kierować kilkoma wodmiotaczami.

W Związku Radzieckim stosuje się obecnie przede wszystkim wodmiotacze ze sworzniem środkowym (np. typ „Sojuzzoloto”).

### Hydrauliczne podstawy działania strumienia wody na ścianę wkopu

Zmiana energii potencjalnej wody na energię dynamiczną w wodmiotaczach powinna nastąpić przy możliwie niskich stratach ciśnienia wody, przechodzącej kolejno przez dwa kolana, wyrzutnię i nasadkę wodmiotacza. Największe są straty

ciśnienia wody przy przejściu przez nasadkę i wynoszą one około  $0,06 \nu^2/2g$ , gdzie  $\nu$  oznacza prędkość wylotu wody z nasadki.

Dla regulacji ilości wody i ciśnienia stosuje się nasadki wymienne. Zwiększenie nasadki przy nie zmienionym ciśnieniu przed nasadką powoduje zwiększenie skutecznego zasięgu działania strumienia wody. Chcąc zmniejszyć zużycie energii mechanicznej można stosować mniejsze ciśnienie początkowe poprzez zwiększenie średnicy nasadki.

Według Terstepanova [18] można podzielić strumień wody wytryskującej z wyrzutni na następujące trzy odcinki o zarysie stożka ściętego:

1. Największe pochylenie ma najbliższy wyrzutni odcinek, o długości około 50 cm, wskutek gwałtownego rozszerzenia po wytryśnięciu z nasadki.

2. Odcinek środkowy o kształcie zbliżonym do walca. Ma on znaczną szybkość, zwartą strukturę i najmniejsze pochylenie. Otacza go cienka warstewka kropeł wody znajdujących się w ruchu wirowym.

3. Trzeci odcinek charakteryzuje się rozdzielaniem na drobniejsze strumienie i zmniejszeniem szybkości oraz małym ciśnieniem jednostkowym.

W obrębie pierwszego i drugiego odcinka strumień wody ma największą skuteczność rozmywania ze względu na duże ciśnienie jednostkowe. Tor cząsteczek strumienia ma kształt paraboli. Teoretyczny zasięg  $L$  obliczamy za pomocą wzoru:

$$L = \frac{\nu^2}{g} \cdot \sin 2\alpha \quad (\text{m})$$

albo

$$L = 2 H_0 \varphi^2 \cdot \sin 2\alpha,$$

gdzie  $\alpha$  — początkowy kąt pochylenia strumienia wody do poziomu.

Dla  $\alpha = 0$  stosujemy inny wzór:

$$L = 2\varphi \sqrt{H_0} \cdot z,$$

gdzie  $z$  — pionowa odległość osi nasadki wodmiotacza i rozmywanego poziomu.

Początkową szybkość strumienia  $\nu$  obliczamy ze wzoru:

$$\nu = \varphi \sqrt{2gH} \quad (\text{m/sek}),$$

gdzie  $\varphi$  — współczynnik uwzględniający opory w nasadce, równy 0,92–0,97 dla  $\alpha = 45^\circ$  i  $\varphi = 0,93$ .

$L_{\max} = 1,73 H_m$  (bez uwzględnienia oporu powietrza). Rzeczywisty zasięg skuteczny strumienia wody wynosi około 0,3 zasięgu strumienia teoretycznego.

Rucki [15] przytacza następujący wzór N. P. Gawryrina dla obliczenia skutecznego zasięgu:

$$L = 145 \cdot D_{\text{nas}} \quad (\text{m}),$$

gdzie  $D_{\text{nas}}$  — średnica nasadki w m.

W tabelicy 3 podano wyniki badań B. M. Škudina nad oddziaływaniem strumienia wody przy następujących parametrach:

$$Q = 800 \text{ m}^3/\text{godz}, \quad D_{\text{nas}} = 90 \text{ mm}, \quad H = 75 \text{ m s.l. w.}$$

Tabela 3

Odległość wyrzutni od ściany wykopu (m)	0	5	10	15	20	25
Wydajność dla gruntu rodzimego (m <sup>3</sup> /godz)	—	100	93	74	48	18
Jednostkowe zużycie wody na 1 m <sup>3</sup> gruntu (m <sup>3</sup> )	—	0,8	8,6	10,8	16,7	44,5

Jednostkowe ciśnienie hydrodynamiczne  $P_0$  strumienia wody oblicza się zgodnie z prawami hydrodynamiki z prostego wzoru:

$$P_0 = 0,2 H \quad (\text{kG/cm}^2),$$

gdzie  $H$  — ciśnienie statyczne wody w m s.l. w.

Potrzebne ciśnienie wody na grunt zależy od jego rodzaju. Doświadczalne wzory nie zawsze ujmują tę zależność. Trudno również obliczyć dokładnie rzeczywiste ciśnienie na ścianę wykopu (na grunt). Istnieje kilka odpowiednich wzorów empirycznych, np. stosowany w ZSRR wzór WNIOMS-u podaje, że na odległości  $L$  od wylotu ciśnienie wynosi:

$$P_1 = \left( \frac{80}{1/D_{\text{nas}} + 60} \right)^2 \cdot P_0 \quad (\text{kG/cm}^2),$$

gdzie  $D_{\text{nas}}$  — średnica nasadki w m.

Potrzebne ciśnienie dla różnego rodzaju gruntu ustalono również doświadczalnie.

Za Roerem [10] w tabelicy 2 podano potrzebne wielkości ciśnienia  $P_1$  dla różnych rodzajów gruntu.

Wydajność wodmiotacza zależy od ciśnienia  $H$  przed nasadką i od powierzchni otworu wylotowego nasadki. Zależność tę ujmuje następujący wzór:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH} \quad (\text{m}^3/\text{sek}),$$

gdzie  $\mu$  — współczynnik wydatku.

Dla wodmiotacza „Sojuzoloto” o współczynniku  $\mu = 0,94$  wzory dla  $\nu$  i  $Q$  przyjmują postać:

$$\nu = 4,17 \sqrt{H} \quad (\text{m/sek})$$

$$Q = 3,38 D_{\text{nas}}^2 \sqrt{H} \quad (\text{m}^3/\text{sek}).$$

#### Dobór odległości pracy wodmiotaczy

Odległość wodmiotacza od wykopu jest ograniczona; maksymalną odległość wodmiotacza ( $L_{\max}$ ) określa się mając na uwadze skuteczność oddziaływania strumienia wody, natomiast minimalną odległość ( $L_{\min}$ ) wyznaczają warunki bezpieczeństwa pracy.  $L_{\max}$  ustala się na podstawie potrzebnego ciśnienia wody na grunt. Dane radzieckie podają, że odległość optymalna dla ciśnienia na grunt  $p = 1,5 \text{ kG/cm}^2$  równa się 10–15 m; według WNIOS-u dla  $p = 2 \text{ kG/cm}^2$  przy ciśnieniu wody przed nasadką  $H_0 = 50 \text{ m s.l. w.}$

Zależnie od średnicy nasadki maksymalne odległości ( $L_{\max}$ ) wodmiotacza wynoszą: dla  $\varnothing 50 \text{ mm}$  — 11 m; dla  $\varnothing 75 \text{ mm}$  — 16 m; dla  $\varnothing 100 \text{ mm}$  — 22 m.

Stąd szerokość pasa wydobywanego gruntu (równa  $B = 2 L_{\max}$ ) wynosi około 20-30 m. Po wydobywaniu gruntu w zasięgu skutecznego działania strumienia wody należy przenieść wodomiotacz na nowe stanowisko.

Grunty piaszczyste wymagają zmiany stanowiska co dwie długości jednego odcinka rurociągu ( $n_r$ ), a grunty gliniaste co jedną długość tego odcinka. Dla rur o długości 6 m przenosimy wodomiotacz przy urabianiu dla gruntów piaszczystych co  $2n_r = 12$  m, a dla gruntów gliniastych co  $1 n_r = 6,0$  m.

$L_{\min}$  dla gruntów piaszczystych obliczamy według wzoru:

$$L_{\min} = a \cdot H;$$

do 6 m  $a = 0,7$ , powyżej 6 m  $a = 0,8$ .

#### Obliczanie ilości wodomiotaczy

Potrzebną ilość wodomiotaczy  $n$  określa się ze wzorów ogólnych, jakie podaje Rucki:

$$Q_{wd} = \frac{Q_{gr} \cdot q_{wd}}{T}, \quad n = \frac{Q_{wd}}{Q_0 \cdot E},$$

gdzie  $Q_{wd}$  oznacza ogólną ilość wody potrzebną do dostarczenia w  $m^3/\text{godz}$ ;  $Q_{gr}$  — ogólną objętość nadkładu;  $q_{wd}$  — jednostkowe zużycie wody w  $m^3/m^3$  gruntu;  $T$  — efektywny czas pracy;  $Q_0$  — wydajność 1 wodomiotacza w  $m^3/\text{godz.}$ , zależna od ciśnienia i od średnicy nasadki;  $E$  — współczynnik efektywnego wykorzystania czasu pracy, równy 0,8-0,9.

Według Ruckiego [15, tablica 75] wydajność wodomiotacza  $Q_0$  wynosi: dla średnicy nasadek 75 mm — 515  $m^3/\text{godz}$ , dla średnicy nasadek 102 mm — 925  $m^3/\text{godz}$ .

#### Hydrauliczne podstawy transportu rozwodnionego gruntu

Przy transporcie gruntu metodą hydrauliczną stosuje się wyłącznie ruch burzliwy (turbulentny). Powstają wtedy składowe pionowe prędkości i związane z nimi siły unoszące ziarna gruntu do góry. Im większe ziarna gruntu, tym większa siła potrzebna jest do ich uniesienia.

Wielu badaczy analizowało warunki ruchu cząstek gruntu w wodzie. Stokes, Prandtl ustalili prędkość spadania cząstek gruntu w wodzie  $v_{hd}$ . Wyprowadzono też (Diakov i inni) szereg wzorów na prędkość przepływu mieszaniny gruntowej  $v_m$  w zależności od prędkości spadania jak np:

$$v_m = v_{hd} \cdot K_b$$

gdzie  $K_b$  — współczynnik turbulencji (12-20 w zależności od gruntu).

W ZSRR Jufin i Roer badali przepływ mieszaniny gruntowej, ustalając pojęcie tzw. szybkości krytycznej. Nad teorią ruchu cząstek stałych w wodzie pracowali Makkaveev, Welikanov, Škundin. Do dziś brak jednak jednolitej interpretacji zjawiska ruchu cząstek gruntu w płynącej wodzie.

Szybkość krytyczna. Według Roera [13] jest to taka szybkość, poniżej której następuje wypadanie cząstek gruntu z cieczy. Ponieważ straty ciśnienia są dla tej szybkości najmniejsze, określa się ją jako „optymalną”. Zależy ona od 4 podstawowych czynników: a) konsystencji cieczy, b) składu granulometrycznego

gruntu, c) wymiarów rurociągu względnie koryta, d) szorstkości powierzchni ścianek przewodu.

W badaniach swoich [13] Roer ustalił, że niektóre prędkości optymalne (krytyczne) i straty ciśnienia dla tych prędkości wynoszą dla przeciętnej średnicy ziaren gruntu 1 mm i dla stosunku najmniejszej do największej średnicy ziarn równego 0,1:

- a) dla cieczy o gęstości  $\gamma = 1100 \text{ kg/m}^3$ ,
- dla  $\varnothing 200 v_{kr} = 2,00 \text{ m/sek}$   $i_{kr} = 3,71\%$ ,
  - dla  $\varnothing 300 v_{kr} = 2,44 \text{ m/sek}$   $i_{kr} = 3,10\%$ ,
  - dla  $\varnothing 500 v_{kr} = 3,10 \text{ m/sek}$   $i_{kr} = 2,60\%$ ;
- b) dla cieczy o gęstości  $\gamma = 1200 \text{ kg/m}^3$ ,
- dla  $\varnothing 200 v_{kr} = 2,51 \text{ m/sek}$   $i_{kr} = 6,53\%$ ,
  - dla  $\varnothing 300 v_{kr} = 3,04 \text{ m/sek}$   $i_{kr} = 5,57\%$ ,
  - dla  $\varnothing 500 v_{kr} = 3,88 \text{ m/sek}$   $i_{kr} = 4,58\%$ .

#### Transport grawitacyjny

Transport grawitacyjny jest najtańszą formą transportu i odbywa się za pomocą rowów lub koryt drewnianych przenośnych. Według Terstepanova [18, s. 50] zużycie energii elektrycznej przy transporcie grawitacyjnym w porównaniu z pompowaniem rozwodnionego gruntu jest mniejsze 2,5 raza.

Koryta drewniane [Rucki — 15, s. 88] podwyższają tylko o 1,5% ogólny koszt robót obejmujących wydobywanie gruntu łącznie z transportem urobku. Ten dodatkowy koszt wielokrotnie zwraca się w wartości zaoszczędzonej wody.

Ostatnio na wzór transportu hydromasy węglowej do transportu grawitacyjnego rozwodnionego gruntu wprowadzono również koryta stalowe, odznaczające się dużą trwałością i łatwością montażu i demontażu. W Polsce koryta tego typu zaprojektował GIG — Sekcja Hydromechanizacji Węgla.

Potrzebny spadek koryt. Spadek koryta decyduje o szybkości przepływania rozwodnionego gruntu, która powinna być większa od szybkości granicznej, powodującej wypadanie stałych cząstek z cieczy. Ustala się ją w zależności od ciężaru cząstek transportowanego gruntu. Spadek koryt przy przepływie grawitacyjnym dostosowany być musi w zasadzie do odprowadzania największych cząstek transportowanego urobku. Za Ruckim [15, s. 97] podano w tablicy 4 najmniejsze szybkości przepływającego potoku, potrzebne do transportu rozwodnionego gruntu.

Tablica 4

Lp.	Rodzaj gruntu	Szybkość przepływu $v_m$ (m/sek)	Orientacyjny spadek dna koryta
1	Gлина, il	0,2	0,5-1,5
2	Drobny piasek	0,4	1-3
3	Piasek gruboziarnisty	0,8	2-4
4	Drobny żwir	1,5	4-6
5	Żwir o ziarnach do 2,5 mm	2,5	5-7
6	Żwir o ziarnach do 5,0 mm	3,2	7-10

W praktyce stosuje się spadki większe od obliczonych spadków nominalnych. Spadek koryta zwiększa się zawsze na odcinku górnym w celu nadania rozwodnionemu gruntowi dużej początkowej prędkości.

Obliczenie potrzebnego spadku koryta drewnianego. Spadek koryta zależy od potrzebnej szybkości przepływu rozwodnionego gruntu, od wielkości promienia hydraulicznego i od stopnia szerokości koryta.

Szybkość określa się jak dla wody wg wzoru Cheszy:

$$v = C \sqrt{R \cdot i},$$

$R$ ,  $i$  określa się podobnie jak dla wody.

Natomiast współczynnik szorstkości  $C$  oblicza się wg poprawionego wzoru Bazina, uwzględniającego wpływ zawartych w wodzie cząstek gruntu, mianowicie zamiast wzoru

$$C = \frac{87}{1 + (\gamma / \sqrt{R})}$$

stosuje się wzór poprawiony:

$$C' = \sqrt{\frac{100}{100 + p} \cdot \frac{87}{1 + (\gamma / 0,01 p)}}$$

gdzie  $p$  — wskaźnik objętościowy stopnia rozcieńczenia gruntu,  $C'$  — współczynnik strat powstających przy przepływie rozwodnionego gruntu,  $\gamma$  — współczynnik szorstkości koryta.

#### Transport tłoczny rozwodnionego gruntu

Przy pompowaniu rozwodnionego gruntu stosuje się różne szybkości. Muszą one być równe lub większe od szybkości optymalnej, czyli granicznej, poniżej której następuje wypadanie stałych cząstek gruntu z cieczy.

W praktyce używa się szybkości wyższych, przekraczających szybkość optymalną.

W ZSRR [Rucki, 15, s. 108] stosuje się, przy pompowaniu rozwodnionego gruntu w stosunku 1 : 10 rurociągami o średnicy 350–450 mm szybkości od 3,2 do 4,0 m/sec. W innych krajach używa się prędkości jeszcze większych (4,5–6,6 m/sec). Przy tak dużych prędkościach występują jednak znaczne straty ciśnienia i większe ścieranie rurociągów.

#### Pompy do rozwodnionego gruntu i rurociągi tłoczne

Pompy do rozwodnionego gruntu przypominają w konstrukcji pompy wirowe do wody, mają tylko znacznie mniejszą ilość łopatek (2 lub 4 zamiast 8–16). Mogą one przepompowywać również mniejsze kamienie, jak na przykład pompa radziecka 8 NZ, która pompuje kamienie o średnicy 120 mm.

Stosując współczynniki korygujące obliczenie wysokości ssania i tłoczenia pomp do rozwodnionego gruntu przeprowadza się podobnie jak dla pomp do czystej wody. Dopuszczalna wysokość ssania zmniejsza się proporcjonalnie do stosunku ciężarów właściwych rozwodnionego gruntu i wody:

$$\frac{h_m}{h} = \frac{\gamma_w}{\gamma_m}, \quad h_m = \frac{\gamma_w \cdot h}{\gamma_m},$$

$$Q_m = Q_w \frac{\gamma_w}{\gamma_m},$$

gdzie  $h$  — wysokość ssania dla wody,  $h_m$  — wysokość ssania dla rozwodnionego gruntu,  $\gamma_m$  — ciężar właściwy rozwodnionego gruntu,  $\gamma_w$  — ciężar właściwy wody.

Przy częstych zmianach położenia pompy ssącej ustawia się ją w podwoziu na szerokich kołach ogumionych, przewożonym za pomocą ciągnika.

#### Zbiorniki czerpalne (rząpie)

Do zasilania pomp rozwodnionym gruntem stosuje się w odpowiedniej odległości od wykopu zbiorniki tymczasowe (rząpie). Wielkość ich powinna być tak dobrana, aby mogła zapewnić nieprzerwane zasilanie pomp i możliwie szybkie wypompowanie dopływającej do rząpia cieczy, uniemożliwiające osadzanie się gruntu na dnie.

Rząpie stosowane w ZSRR mają wymiary następujące: głębokość: 1,50 m, szerokość w dnie: 0,60 m, szerokość na górze: 2,5 m.

Przed wlotem do zbiornika należy ustawić na rowie kratę przechwytyjącą kamienie lub kawałki drewna. Do nadzoru dopływu cieczy do zbiornika należy zatrudnić specjalnego robotnika.

Odległość rząpi od wykopu wynosi 30–50 m, zazwyczaj stanowi ona 3–4 wielokrotności pomiędzy kolejnymi stanowiskami wodomiotacza, np.  $3 \times 12 = 36$ , lub  $4 \times 12 = 48$  m.

#### Hydrauliczne zwałowanie nadkładu

W pierwszej fazie robót zwałuje się nadkład na zewnątrz odkrywki. Ze względu na eksploatację węgla zwałowanie mokre, wewnętrzne, można wykonywać w zasadzie dopiero po całkowitym wyeksploatowaniu łuski węglowej (ostatnio rozpoczęto w ZSRR zwałowanie wewnętrzne w czasie eksploatacji łuski — próby te, o olbrzymim znaczeniu dla zmniejszenia kosztów hydromechanizacji, znajdują się w stadium doświadczalnym).

#### Zwałowisko zewnętrzne

Przy zwałowaniu mokrym wymagane jest większe zwałowisko zewnętrzne niż przy metodach suchych. Koszt zwałowania zależy w głównej mierze od ilości robót związanych z obwałowaniem zlewiska. Dlatego należy umieszczać je w naturalnych lub sztucznych zagłębieniach gruntu.

W korzystnych wypadkach sztuczne obwałowanie ograniczy się do wału zamykającego dolinę, umieszcza się w nim urządzenia spustowe do odpływu wody za zwałowisko. Przy wymiarowaniu zwałowiska obliczenia przeprowadza się jak dla osadnika, uwzględniając pęcznienie gruntów gliniastych. Aby nastąpiło osadzenie cząstek stałych gruntu, prędkość przepływu powinna być dostatecznie mała.

Rozwodniony grunt odprowadza się na zwałowisko zewnętrzne korytem drewnianym lub rurociągiem umieszczonym na drewnianej estakadzie, wchodzącej 8–10 m do wewnątrz zwałowiska. Po wypłynięciu z przewodu doprowadzającego ciecz cząstki gruntu wypadają z niej ze względu na zmniejszoną prędkość i tworzą stożek wydłużony w kierunku odpływu wody. Po podniesieniu się wierzchołka stożka do poziomu obwałowania przedłuża się przewód o dalsze 5–10 m w kierunku niezapelnionego dołu. Woda odpływa do studni przelewowej, umieszczonej w przeciwniejszej ścianie szczytowej, zamykającej zwałowisko mokre.

Wodę odpływającą ze zwałowiska można użyć powtórnie do rozmywania gruntu. Przy mało przepuszczalnym gruncie straty wody obiegowej wynoszą 5–15%, przy gruncie przepuszczalnym początkowo są duże i sięgają 50–80%, następnie zmniejszają się znacznie z powodu zapełnienia wolnych przestrzeni pomiędzy cząstkami gruntu. Wał zamykający zwałowiska winien mieć minimum 1,5 m w koronie, skarpę odwodną o nachyleniu 1:1–1:1,5 i odpowietrzną o pochyleniu 1:1,5–1:2.

#### Urządzenia spustowe do odprowadzenia wody ze zwałowiska

Urządzenia te składają się ze studni przelewowej i połączonego z nią kanału odpływowego.

Studnia ma w bocznych ścianach usuwalne zastawy do regulowania poziomu wody w zlewisku. Dno studni wykonuje się o 20–40 cm poniżej dna kanału odpływowego.

Kanał odpływowy wykonuje się przeważnie z drewna, uszczelniając go przy przejściu pod wałem warstwą gliny.

Ilość wody przelewającej się do studni oblicza się wg uproszczonego wzoru Bodeśesskiego:

$$Q = \frac{2}{3} \mu b h \sqrt{2gh},$$

gdzie

$$\frac{2}{3} \mu = 0,42 - 0,028 \frac{h}{b} \quad (\text{dla } b > h).$$

#### Zwałowisko wewnętrzne

Przy zdejmowaniu nadkładu metodą hydrauliczną zwałowanie wewnętrzne wykonywać można w zasadzie dopiero po całkowitym wyeksploatowaniu łuski węglowej (tego typu zwałowisko byłoby zewnętrzne dla następnego eksploatacyjnego). Zwałowanie wewnętrzne w dosłownym sensie można wykonywać w przypadku eksploatacji długiej łuski poprzez odcięcie wyeksploatowanej części łuski wałem i wykonanie zbiornika i rowów zbierających wodę przesiąkającą przez wał i odpływającą przez studnie przelewowe.

#### Prowadzenie robót w ziemie

Roboty przy zdejmowaniu nadkładu metodą hydromechanizacji można prowadzić w ciągu całego roku bez przerwy w okresie zimowym.

Przy odpajaniu gruntu wodomiotaczami i przy transporcie hydraulicznym można pracować przy temperaturze do  $-25^{\circ}\text{C}$ . Podstawowym warunkiem jednak jest usunięcie dłuższych przerw, podczas których następuje zamarzanie gruntu w wykopie i wody w rurociągach tłocznych. Przy znacznym spadku temperatury stosuje się ocieplenie podkładów gruntu przeznaczonych do wydobywania za pomocą warstwy słomy lub trocin. Bezpośrednio przed wydobywaniem gruntu za pomocą wodomiotacza należy zdjąć pokrycie ocieplające.

Według danych radzieckich wydobywanie gruntu w okresie zimowym powoduje zmniejszenie wydajności pracy o około 35% i wzrost zużycia energii mechanicznej o 25–65%. Zwiększa się również zużycie wody z uwagi na stosowanie większych rozcieńczeń przy transporcie rozwodnionego gruntu dla uniknię-

cia zamarzania i wytwarzania tzw. korków powstających przy zbyt zgęszczonej pulpic.

Jedną z najlepszych metod uniknięcia szkodliwych wpływów zimy jest przerwanie pracy przy zdejmowaniu nadkładu na okres mrozów. Załoga w czasie przerwy zimowej wykonuje naprawę ruchomych rurociągów i koryt w pompach mułowych oraz konserwację ujęcia i pomp do wody.

Ponieważ w Polsce temperatura rzadko spada poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$ , przerwa zimowa może być znacznie krótsza niż w ZSRR — równa 1–1,5 miesiąca.

#### Wydajność pracy i jej organizacja

Rucki twierdzi [15], że wydajność ogólna w robotach zasadniczych przy zbieraniu nadkładu wynosi na 8 godzin pracy 1 robotnika przy użyciu pomp o dużej wydajności 250–350 m<sup>3</sup>. Uwzględniając roboty wstępne i pomocnicze, wydajność ta zmniejsza się do 40–120 m<sup>3</sup>, tj. 3–6-krotnie. Do tych robót wstępnych i pomocniczych zaliczamy:

- ulożenie i przekładanie rurociągów i koryt,
- budowę podpór czasowych dla rurociągów koryt,
- obwałowanie nasypów,
- prace wstępne w wykopie,
- przygotowanie podłoża dla nasypów i grobel itp.

Koszt tych robót wynosi około 25% całości kosztu robót ziemnych, wykonanych metodą hydrauliczną. Dla utrzymania ciągłości robót, należy zmechanizować dużą część robót pomocniczych i wstępnych.

W celu wykonania robót metodą hydrauliczną należy zorganizować duży park maszyn transportowych, związanych w szczególności z:

- okresowym przemieszczeniem wodomiotaczy,
- przewozami i przestawieniem pomp rozwodnionego gruntu,
- okresowymi przewozami rurociągów,
- transportem materiałów do budowy podpór czasowych dla koryt lub rurociągów.

Do transportu rurociągów, wodomiotaczy i pomp przenośnych zużywa się znaczną część czasu pracy robotników przy wykonywaniu tych robót bez mechanizacji. Należy więc użyć do robót pomocniczych ciągników o mocy 50–80 KM, z przyczepami o dużej ładowności i o długości odpowiedniej dla przewozu długich rur. Dla usprawnienia przewozu ciężkich pomp o dużej wydajności należy zakupić przyczepę o ładowności do 30 t, wyposażoną w żuraw do wylądowania materiałów. Podpory przenośne dla rurociągów lub koryt wykonuje się na wysokości 1–7 m. Przy hydromechanizacji robót odkrywkowych wysokość ułożenia podpór zależy od wysokości zwałowiska zewnętrznego względnie wewnętrznego.

Dla zwałowiska zewnętrznego, umieszczonego w wyeksploatowanych odkrywkach, koryta drewniane albo rurociągi ułożone będą odpowiednio na gruncie czy też na niskich podporach w lokalnych zagłębieniach terenowych. Układanie rurociągów na niskich podporach (kozlach drewnianych) wykonuje się sposobem ręcznym, stosując ewentualnie odpowiednie przenośne pochylnie.

Prowadzenie prac metodą hydrauliczną wg Anikeeva [1, s. 156] wymaga szczególnie sumiennej pracy zatrudnionego personelu.

Od rzetelności załogi bowiem zależy w znacznym stopniu wydajność urządzenia.

Każdy robotnik kierujący wodomiotaczem powinien dbać o efektywne wykorzystanie otrzymanej do rozmywania wody, dążyć do minimalnego jednostkowego zużycia wody, zmywać największą ilość gruntu. W czasie prowadzenia robót przy wykopie gruntu metodą hydrauliczną urządzenia obsługuje 5 albo 6 brygad. Stosuje się przeważnie następujący podział pracy:

I brygada — pracuje w wykopie, obsługuje wodomiotacze, reguluje rozchód i ciśnienie wody, wymienia nasadki wodomiotaczy, reguluje dopływ rozwodnionego gruntu do rząpia (albo do koryta drewnianego).

II brygada — obsługuje pompownię wody czystej, dokonuje bieżących napraw i ma pieczę nad działaniem rurociągu tłocznego.

III brygada — obsługuje pompy do rozwodnionego gruntu, wypełniając te same prace co II brygada, ponadto utrzymuje w sprawności rząpie dla pomp, oczyszcza kratę z kamieni, przemywa rurociąg czystą wodą, aby uniknąć zatkania go, wypuszcza z rurociągu wodę przed dłuższą przerwą w pracy pompowni mułowej.

IV brygada — obsługuje zwałowisko, rozdzielając rozwodniony grunt na powierzchnię odkładu, reguluje za pomocą zastawek pracę studni przelewowych, nadzoruje sprawność rurociągu odprowadzającego wodę ze studni przelewowych.

V brygada — wykonuje prace pomocnicze, przekłada wodomiotacze rury względnie koryta na zwałowiskach, ręcznie formuje skarpy wałów na zwałowiskach (przy małych objętościach tych robót), remontuje studnie przelewowe, kanały, sieć elektryczną. Brygada ta musi zapewnić nieprzerwaną pracę brygadam produkcyjnym.

VI brygada — obsługuje maszyny pomocnicze, jak np. spycharki i traktory.

#### Wnioski

1. Hydromechanizacja robót odkrywkowych jest metodą charakteryzującą się korzystnymi, w porównaniu z innymi metodami, wynikami ekonomicznymi. Jest ona metodą przyrzeczności.

2. Nie jest jednak metodą uniwersalną. Wyniki ekonomiczne zmieniają się w znacznie szerszych granicach niż przy metodach lądowych, z powodu znacznie większej ilości czynników wpływających na proces odspojenia, rozluźnienia i transportu gruntu.

3. Do głównych zalet tej metody należy niski koszt urządzeń i stosunkowo mały nakład pracy. Do jej wad zaliczyć można duże zużycie energii, ograniczoną stosowalność przy odspajaniu gruntów zwięzłych, zależną od temperatury otoczenia (przy wystąpieniu mrozów większych od  $-10^{\circ}\text{C}$  trzeba przerwać pompowanie). Niekorzystne jest również pod względem ekonomicznym pompowanie z głębokości większych od 40–50 m.

4. W kopalnictwie węgla brunatnego należy dążyć do jak najszerszego rozwoju tej metody. Dużą część gruntów nadkładowych składa się bowiem z zawodnionych piasków czy też mułków, sprawiających duże trudności przy ich odwodnieniu i usuwaniu metodami lądowymi. Takie warunki bardzo sprzy-

jają hydromechanicznemu urabianiu nadkładu ponieważ wstępne odwodnienie nie jest potrzebne, a ciśnienie sphywowe ułatwia tylko sphywanie gruntu do rząpia. Odpowiednią ilość wody do rozmywania części nadkładu (10–20%) znaleźć można w każdej kopalni (z szybków odwadniających).

Hydromechanizacja wszystkich robót nadkładowych zapewnia również, w dużej części kopalni, uzyskanie korzystnych efektów ekonomicznych. Możliwe to jest jednak tylko wówczas, gdy w pobliżu przepływa rzeka gwarantująca pobór wody do rozmywania. Wymagana jest również obecność odpowiednio dużych, starych odkrywek lub naturalnych dolin dla hydraulicznego zwałowania nadkładu.

5. Perspektywy szerszego rozwoju hydromechanizacji robót odkrywkowych w Polsce zależą głównie od:

a) wyprodukowania odpowiedniego sprzętu, zwłaszcza pomp o dużej odporności ich części na ścieranie i wodomiotaczy z wymiennymi nasadkami oraz automatycznym sterowaniem (ostatnio produkcję w tym kierunku rozpoczęła Zabrzańska Fabryka Maszyn Górniczych);

b) przygotowania odpowiednio licznej grupy personelu technicznego dla kierowania i nadzoru nad robotami odkrywkowymi wykonywanymi tą metodą; przy hydromechanizacji nie potrzeba wprawdzie wykwalifikowanej obsługi (można zatrudnić robotników niewykwalifikowanych), wymagana jest natomiast dobra organizacja pracy i sumienny nadzór, od którego zależy w dużej części wydajność załogi;

c) opracowania szczegółowych instrukcji dla obsługi pomp mułowych oraz norm czasowych;

d) rozpatrzenia przy projektowaniu możliwości zastosowania metod kombinowanych, w których metoda hydrauliczna byłaby użyta tylko do mechanizacji jednej względnie dwóch faz transportu nadkładu. Według najnowszych danych radzieckich przy głębokościach odkrywki większych od 50 m korzystniejsze jest w wielu wypadkach, zwłaszcza przy gruntach zwięzłych, podawanie nadkładu (po odspojeniu koparkami) krótkim taśmociągami na poziomym terenie i dalszy transport hydrauliczny;

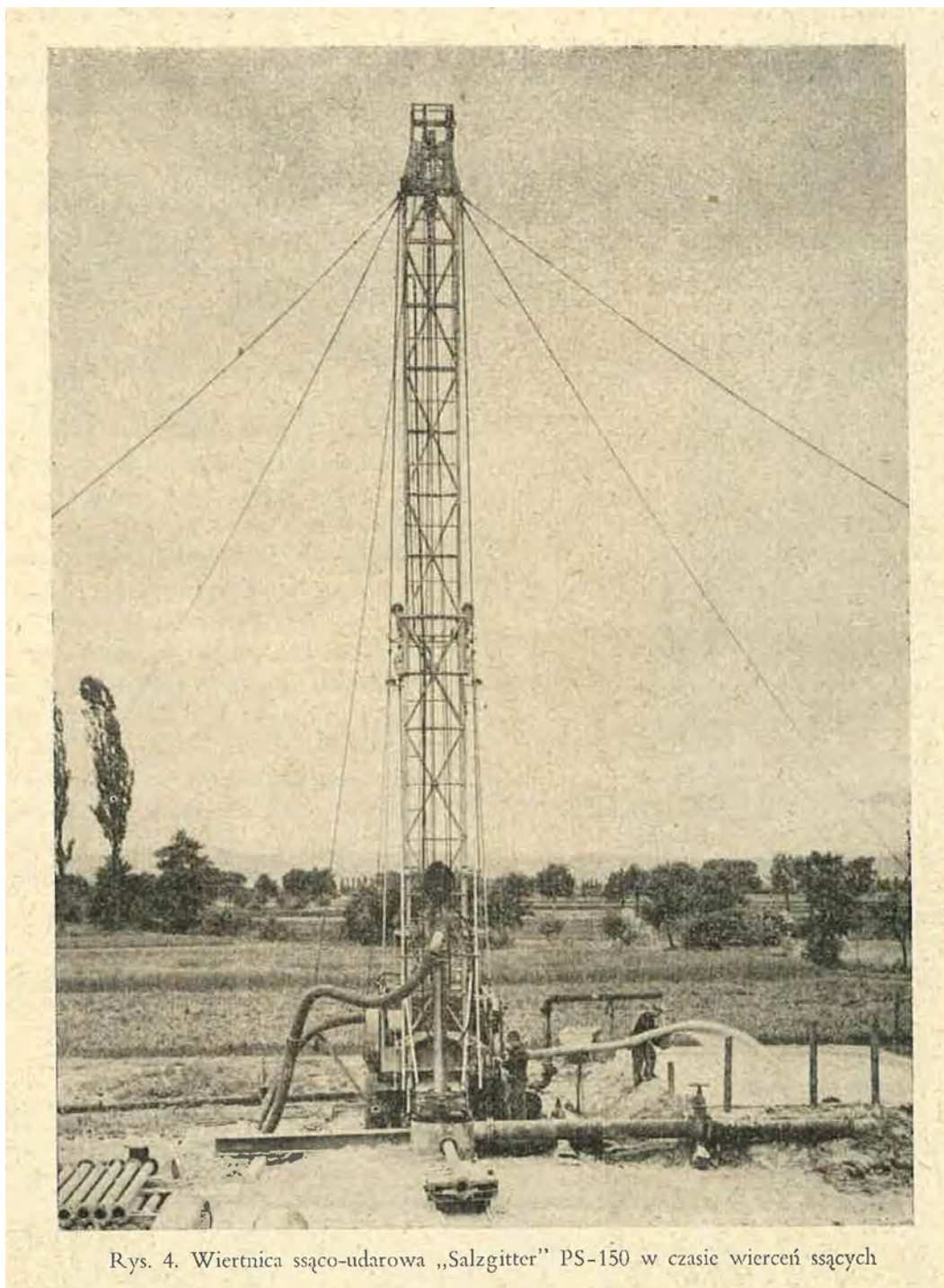
e) powodzenia doświadczeń z zastosowaniem mokrego zwałowania wewnątrz tej samej odkrywki. W ZSRR rozpoczęto już próby w tym kierunku. Jeżeli dadzą one pozytywne wyniki, poważnie zmniejszy się koszt hydromechanizacji robót odkrywkowych (znaczące zmniejszenie odległości pompowania i wielkości zwałowiska zewnętrznego).

#### Piśmiennictwo

1. Anikeev, I.J., *Gidromechanizacija na kar'erach promyšlennosti stroitel'nykh materialov*, Moskva 1956.
2. Czetwertynski, E., *Hydraulika*, Warszawa 1950.
3. Čerkasov, *Melioracija i sel'skochozjajstvennye vodosnabženie*, Moskva 1950.
4. Efimov, I.P., Duchanin S.S., Belenkij V.I., *Mašinist gidrostanovok na otkrytych i podzemnykh rabotach*, Moskva 1960.
5. Fridman, B.E., *Razrabotka rossypanykh mestorozhdenij gidromechanizaciej*, Moskva 1957.
6. Glinorybov, I.I., *Puti povyšeniya effektivnosti podzemnoj gidrodobyči uglja*, Moskva 1959.
7. Jufin, A.P., *Napornyj gidrotransport*, Moskva 1950.
8. Nikonov, G.P., *Gidromonitoržik na ugol'nykh kar'erach*, Moskva 1951.

9. Nurok, G.A., *Gidromechanizacija gornych rabot*, Moskva 1959.
10. Panasenko, A.D., Koršunov, G.S., *Mechanizacija gidromeliorativnych rabot*, Moskva 1950.
11. Ponomarev, I.P., *Mechanizacija gornych rabot*, Moskva 1960.
12. Roer, G.N., Nikonov, G.P., *Gidromonitorščik*, Moskva 1949.
13. Roer, G.N., *Gidravličeskie rasčety napornogo gidrotransporta grunta*, Moskva 1952.
14. Rozenfel'd, F.A., *Zemlesosnyje snarjady*, Moskva 1955.
15. Rucki, R., *Hydromechanizacija robót ziemnych*, Warszawa 1954.
16. Sulima-Samujłło J., *Górnictwo odkrywkowe*, cz. II, Kraków 1956.
17. Šeško, E.F., Samotrjasov, M.A., Semeško, A.T., *Spravočnik po stroitelstve ugol'nych kar'erov*, Moskva 1952.
18. Terstepanov, G.A., *Gidromonitornyje raboty*, Moskva 1948.
19. Znamenskij I.I., *Organizacija i mechanizacija meliorativnych rabot*, Moskva 1952.

Rękopis otrzymano dnia 25 X 1960 r.



Rys. 4. Wiertnica ssąco-udarowa „Salzgitter” PS-150 w czasie wierceń ssących