

CDU : 622.693.6 : 629.118.4 (729.1)

PRINCIPIOS METODOLOGICOS PARA LA ELECCION DEL COMPLEJO CARGA-TRANSPORTE OPTIMO

Ing. A. A. Kulyeshov, Dr. en Ciencias Técnicas
 Profesor Jefe de la Cátedra de Máquinas Mineras y de Transporte del Instituto de Minería de Leningrado

Ing. Rafael Pérez Barreto, Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular del ISMMMoa

RESUMEN

Se exponen los principios metodológicos fundamentales para la elección del tipo óptimo del complejo excavadora-camión en la etapa de proyección y en el proceso de explotación de la mina. Los parámetros de trabajo conjugados de la excavadora y los camiones se obtienen por el valor del módulo ponderal del complejo. El tipo óptimo se elige, definitivamente, por el criterio del mínimo de gastos reducidos en la carga, transportación y descarga de la masa minera.

Se introduce un criterio que toma en consideración las particularidades de la economía cubana, se analizan las peculiaridades de la explotación de los yacimientos, las características de los materiales lateríticos y su influencia en la elección del complejo óptimo.

La aplicación práctica de las premisas expuestas permite elevar la fundamentación técnica y la efectividad de los trabajos de carga y transporte.

Por complejo carga-transporte (CCT) se comprende el conjunto de máquinas compuesto por los medios de carga y de transporte tecnológicamente enlazados entre sí en el tiempo y en el espacio. De los complejos, el más frecuente es el de excavadora-camión, del cual suelen diferenciarse dos tipos:

- Simple, cuando los camiones se fijan rígidamente a una excavadora
- Complejo, cuando los camiones en el transcurso de un turno pueden trabajar con cualquier excavadora.

ABSTRACT

This work describes the fundamental methodological principles for the selection of the optimum type of excavator-truck complex, both in the projection stage and in the mining process. The working parameters of both the excavator and trucks are obtained by the value of the ponderal module of the complex. The optimum type is, definitively, chosen by the criterium minimum reduced cost in the loading, transportation and unloading of the mineral.

A criterium, which takes into consideration the peculiarities of the deposit, as well as the characteristics of lateritic materials and their influence on the selection of the optimum complex are also analyzed.

The implementation of the criteria here explained allows to improve the technical argumentation and efficiency of the loading and transportation operations.

La elección del equipamiento tecnológico para las minas a cielo abierto constituye un paso de especial importancia en los trabajos de proyección y producción, y debe realizarse para garantizar la mayor correspondencia de los parámetros de las máquinas con las condiciones técnico-mineras, tomando en consideración el nivel económico en la etapa actual de desarrollo de los trabajos mineros.

La solución del problema de la elección del tipo óptimo de complejo debe estar entrelazada con la dinámica de desarrollo de la mina; en este proceso es una cuestión de principio la elección del criterio para la evaluación comparativa de los diferentes tipos de complejos.

En el presente trabajo se expone una metodología para la elección del tipo óptimo del complejo excavadora-camión con su algoritmo de cálculo y se analizan las posibilidades de su aplicación en la minería nacional, y en particular en la extracción de lateritas.

En las condiciones de Cuba parece ser racional utilizar como índice los gastos específicos reducidos en la carga, transporte y descarga de una tonelada de masa minera.

$$C = G + KE \rightarrow \min \quad (1)$$

donde:

- G - gastos de explotación por tonelada de masa minera en el proceso dado;
- K - gastos de inversiones en las excavadoras, camiones, bulldozers, caminos, base de reparaciones, etcétera;
- E - coeficiente normado de amortización de las inversiones que corresponde a la parte de la amortización anual; E = 0,1 - 0,15

Es necesario tomar en consideración que esta tarea puede resolverse en situaciones que se diferencian en principio:

- En la etapa de proyección de una nueva mina.
- En la etapa de reconstrucción de la mina.
- En el proceso de explotación, cuando surge la necesidad de aumentar sustancialmente la extracción.

En el primer caso se hace necesario considerar en el proyecto el equipamiento para el período de la construcción (se diferencia por el tipo de equipamiento tecnológico) y para la primera etapa de explotación del yacimiento (7-10, años).

En el segundo caso, la tarea es más compleja; se hace necesario reconstruir la mina cambiando el equipamiento tecnológico por otro de mayor potencia, ya que empeoran las condiciones técnico-mineras, aumentan las distancias de tiro a la profundidad de extracción, utilizando otro esquema de transporte, para lo cual se puede emplear un esquema combinado; por ejemplo, transporte automotor o transportador de banda. El proyecto de reconstrucción se elabora también por la organización de proyectos.

En el tercer caso el paso a un nuevo tipo de complejo se decide por la empresa productora sin confeccionar un proyecto especial, pero con la introducción de máquinas de mayor potencia.

En cualquier caso surge la necesidad de explotar durante cierto período dos e incluso tres tipos de complejos, lo que complica la explotación y, en particular, el mantenimiento y reparación del equipamiento. Surge, también la necesidad de reconstruir los caminos cuando se utilizan camiones más potentes, es decir se hace necesario ensancharlos, aumentar los radios de giro y, con frecuencia, fortalecer el recubrimiento. Cuando se sustituye un complejo, todos estos trabajos deben ejecutarse antes de introducir el nuevo.

Los gastos complementarios se toman en consideración mediante la comparación económica de las diferentes variantes. De tal forma se puede considerar natural e incluso necesario la explotación simultánea en una mina potente de 2 o 3 tipos de complejos. En minas de pequeña potencia, con una producción de hasta 0,5-1 millones de toneladas de masa minera es posible emplear un solo tipo de complejo y cambiar las máquinas de una misma clase por otras de mejor construcción, o más fiables.

Los principios fundamentales para la elección del tipo óptimo del complejo excavadora-camión son los siguientes:

- A partir de la producción de masa mineral y las condiciones técnico-mineras se elige el tipo de excavadora (pala directa o cuchara de arrastre) y la capacidad de la cuchara. Para rocas firmes se utiliza la pala directa con capacidad de la cuchara de 1 a 8 m³. Para rocas blandas o semi-firmes se utilizan excavadoras de arrastre (dragline) con capacidad de la cuchara en estos mismos límites.

En función de la producción anual de la mina por la masa minera A se pueden recomendar las siguientes capacidades de la cuchara V:

A; millones t/año <0,3 - 0,5 0,51 - 1,0 1,1 - 3,0 3.1 - 5 5.1 - 10> 10.
 V; m³ 0,5 - 1,0 1 - 1,5 1,5 - 2,0 2,5 - 4 4 - 4,6 4,6 - 8

Estas recomendaciones tienen carácter orientador y deben ser precisadas en el cálculo detallado cuando se comparan las variantes.

- Se determina cualitativamente la capacidad de carga del camión que corresponde al tipo de excavadora elegida, en conformidad con la metodología expuesta [1].

Para ello primero se determina el módulo de carga óptimo del complejo μ , que constituye la relación pala-camión, es decir la relación entre la capacidad de carga del camión y la masa de roca en la cuchara de la excavadora q_e ; es decir:

$$\mu = \frac{q_c}{q_e}$$

El módulo óptimo de carga garantiza la productividad máxima del complejo y se determina por la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{1 + \sqrt{1 + 4T}}{2t_e} \quad (2)$$

donde: $T = t_e t_c + t_r + t_d$

t_e - tiempo del ciclo de la excavadora para el giro de la pluma de 90°, en min

t_c - tiempo de maniobra para la carga, en min

t_r - tiempo de recorrido del viaje (ida y vuelta), en min

t_d - tiempo de maniobra para la descarga, en min

A manera de ejemplo y considerando para pala directa: $t_e = 0,7$ min; $t_c = 1,5$ min; $t_r = 6$ min; $t_d = 1,5$ min se determina por la fórmula (2) el módulo $\mu = 5,3$. Para una capacidad de la cuchara de 4 m³, una densidad del material esponjado igual a 1,6 t/m³, y un coeficiente de llenado de 0,9 se obtiene una masa de material en la cuchara $q_c = 5,6$ t; entonces la capacidad de carga del camión será:

$$q_c = \mu q_s = 5,6 \cdot 5,3 = 29,7t$$

En este caso se elige el camión BelAZ-540.

3. Variando la capacidad de la cuchara y los tiempos, se eligen 2-3 tipos de complejos de mayor o menor capacidad relativamente cercanos por sus parámetros al anteriormente elegido.

4. Mediante un modelo económico-matemático se lleva a cabo el cálculo de los gastos reducidos para cada tipo de complejo.

El algoritmo del modelo tiene la forma que se muestra en la Figura 1.

Los complejos cuyos índices tienen valores que se diferencian en $\pm 5\%$ se consideran equivalentes.

En la extracción de minerales de composición homogénea el parque de excavadoras y de camiones se determina con el objetivo de garantizar la mayor productividad del equipamiento. Cuando es necesario homogenizar en el frente, el parque de los equipos de carga y transporte se incrementa en 1,2-1,4 veces en dependencia de las condiciones concretas.

Para determinar los parques del equipamiento es imprescindible tomar en consideración el nivel de su fiabilidad. Para los cálculos prácticos se suele utilizar el coeficiente de disponibilidad de la máquina K_d :

$$K_d = \frac{t_t}{t_t + t_{res}} \quad (3)$$

donde:

t_t y t_{res} - tiempo medio de trabajo y de restablecimiento, respectivamente, en un período dado. En el cálculo del parque de máquinas este período debe ser no menor de 1 año y es recomendable determinar el valor de K_d por varios años.

Cuando se proyecta y no existen datos sobre fiabilidad, se pueden utilizar indicadores de explotación de otras unidades con condiciones técnico-mineras y climáticas similares.

El número de excavadoras en inventario se puede determinar por la siguiente fórmula:

$$N_{inv} = \frac{N_{tr}}{K_d + K_{\mu t}}$$

donde:

N_{inv} - número de excavadoras en inventario

N_{tr} - número de excavadoras trabajando

$K_{\mu t}$ - coeficiente de utilización del fondo de tiempo del turno que toma en consideración los recesos tecnológicos y organizativos en el trabajo, así como las paradas casuales no relacionadas con los fallos de las máquinas.

El coeficiente de disponibilidad de las excavadoras, de acuerdo con la experiencia soviética, se toma igual a 0,8-0,85 para los camiones 0,75-0,8 y para los bulldozers 0,7-0,75. Estos valores pueden ser precisados para condiciones concretas de explotación.

En la elección del tipo de complejo tiene gran importancia el criterio de productividad del trabajo. En el modelo económico-matemático este criterio ocupa el segundo lugar, pero, en ocasiones, para regiones con poca población y dificultades con la fuerza de trabajo o para materiales estratégicos, puede convertirse en el principal.

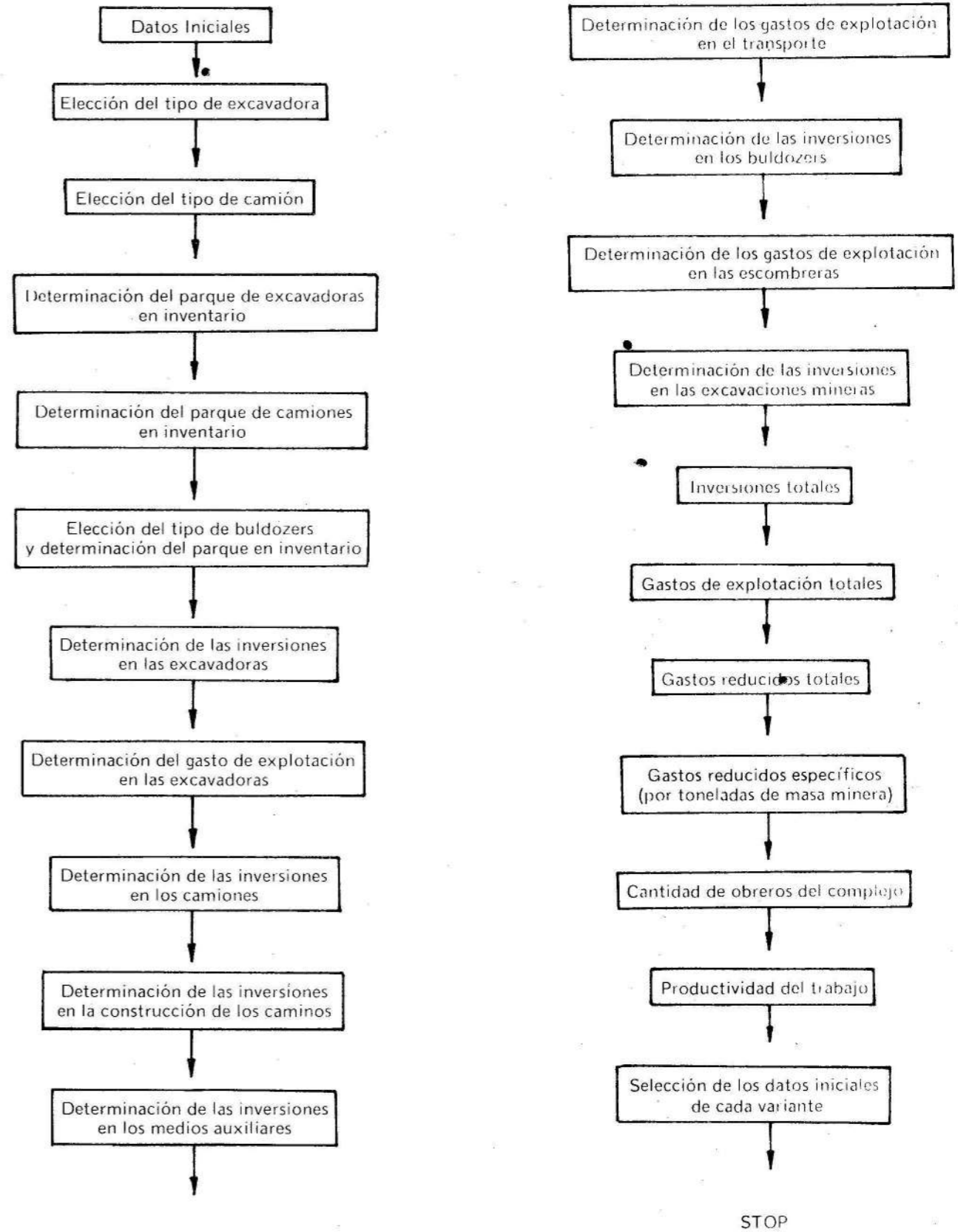


FIG. 1. ALGORITMO DE CÁLCULO DEL MODELO ECONÓMICO-MATEMÁTICO PARA DETERMINAR EL COMPLEJO ÓPTIMO.

La fundamentación cualitativa del modelo económico-matemático aparece en el artículo "Elección del tipo óptimo del complejo excavadora-camión en las condiciones de una mina concreta". La metodología dada ha sido aprobada en la URSS para proyectar una serie de minas y para fundamentar la introducción de nuevos tipos de complejos en unidades en explotación. Los cálculos se ejecutan por el bloque-esquema confeccionado para la máquina EC-1022 de fabricación soviética.

La aplicación de la metodología expuesta permite tomar decisiones técnicamente más fundamentadas, y disminuir en varias veces el gasto de tiempo en la ejecución de los cálculos necesarios, así como pronosticar diferentes situaciones con un adelanto de 10 a 15 años.

Para aplicar la metodología propuesta en las condiciones del laboreo a cielo abierto en Cuba, se hace necesario precisar los datos de producción sobre el trabajo de los complejos excavadora-camión.

Tomando en consideración el carácter abierto de la economía cubana, se hace necesario introducir un nuevo criterio que tome en consideración los gastos específicos de importación en los procesos de carga y transporte de la masa minera mediante la siguiente condición:

$$C_{imp} = G_{imp} + K_{imp} E \rightarrow \min$$

La estructura de esta condición es similar a (1) y el subíndice (imp) indica que se refiere a moneda convertible. En este caso es necesario precisar el coeficiente E que puede ser diferente al que se utiliza para moneda nacional. Los cálculos se pueden realizar por el mismo modelo económico-matemático propuesto.

En el laboreo de lateritas la influencia de las características de los materiales en los índices de explotación del complejo excavadora-camión permite determinar solamente la capacidad de carga y no se puede seleccionar el camión tipo con las dimensiones normalizadas [2]. En este caso parece racional la elección de la máquina por la capacidad de la cama. De tal forma, la capacidad de la cama del camión será:

$$V_c = q_c / \rho$$

donde:

V_c - capacidad de la cama del camión, en m^3

ρ - densidad del material

Esta corrección es necesario realizarla cuando la densidad del material que se va a transportar se diferencia considerablemente de aquella para la cual fue diseñado el camión.

En la explotación de yacimientos lateríticos se utilizan **draglines** con capacidades de la cuchara de 2,5-6 m^3 .

El problema de la elección del tipo de excavadora y de la capacidad óptima de la cuchara para las lateritas no está completamente resuelto y necesita un estudio independiente.

La metodología propuesta cobra especial importancia para determinar las distancias racionales del tiro por camiones y la introducción del transporte combinado, que hasta el presente se ha efectuado mediante la adición de un transportador de banda cuando el transporte automotor disminuye visiblemente su efectividad. En la Figura 2 se muestra la capacidad de carga en función de la distancia de tiro calculada para materiales lateríticos con una densidad de 1,1 t/m^3 , para capacidad de la cuchara de 4 m^3 y un coeficiente de llenado de 1,14, en correspondencia con las características de estos materiales en las unidades de explotación.

En la misma figura se ha agregado una escala en el eje de las ordenadas que indica el valor de la capacidad correspondiente a la masa de estos materiales. No se ha tomado en consideración la influencia de otros factores, ya que estos se analizan más ampliamente en "Sobre la influencia de las características de los materiales lateríticos en los índices de la explotación del transporte automotor".

El hecho de que las distancias de tiro aumentan rápidamente cuando se laborean yacimientos lateríticos, y que con esto aumenta la capacidad de carga y el volumen óptimo del camión indica la posibilidad de que sea racional la presencia de más de un tipo de camiones, como ha ocurrido en diferentes ocasiones. Como quiera que esto complica la explotación, reparación y mantenimiento del complejo, deben preferirse máquinas de la misma serie con un considerable número de elementos unificados. En este caso la existencia de dos complejos debe incluirse como variante para la evaluación comparativa.

El esquema tecnológico actual para la extracción de lateritas obliga a obtener cantidades de mineral diferentes en los distintos frentes para asegurar un material adecuado a las exigencias del proceso de producción, lo que limita el aprovechamiento de las excavadoras que se encuentran en los frentes complementarios, por lo que la determinación del número de máquinas necesarias debe efectuarse para garantizar la mayor productividad del equipamiento que obtiene el mayor por ciento en el volumen total de la extracción.

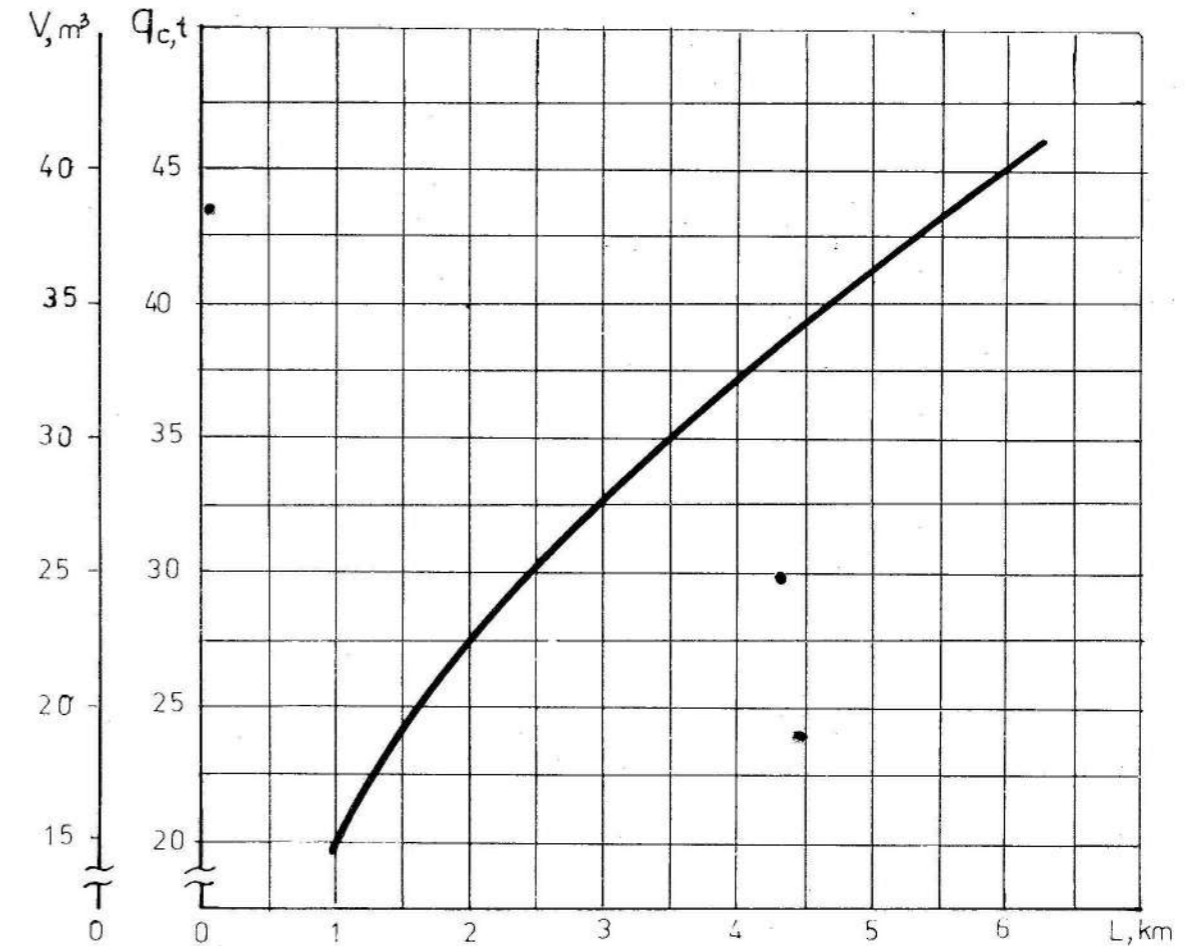


FIG. 2. CAPACIDAD DE CARGA (VOLUMEN) RACIONAL EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DE TIRO PARA MATERIALES LATERÍTICOS.

En conclusión los parámetros de trabajo conjugados de la excavadora y los camiones se pueden determinar mediante el módulo ponderal, y la elección final del tipo óptimo se efectúa por el criterio de gastos reducidos mínimos, para lo cual se da el algoritmo de cálculo.

La introducción del criterio del mínimo de gastos reducidos de importación permite tomar en consideración las particularidades de la economía cubana.

Las peculiaridades de explotación de los yacimientos y las características de los materiales lateríticos influyen en la elección del tipo óptimo del complejo excavadora-camión.

Es posible determinar la utilización racional del transporte combinado en los yacimientos lateríticos por la necesidad de emplear simultáneamente más de un complejo.

La aplicación práctica de las premisas metodológicas expuestas técnicamente fundamentan y elevan la efectividad de los trabajos de carga y transporte.

REFERENCIAS

1. KULYLSHOV, A. A.: Elección del tipo óptimo del complejo excavadora-camión en las condiciones de una mina concreta. Ed. Tevietmet, Moscú, 1980 (en ruso).
2. PERLZ, B. R. y O. Q. ROMERO: "Sobre la influencia de las características de los materiales lateríticos en los índices de explotación del transporte automotor" en Revista Minería y Geología no. 3, 1983.