DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF ROAD TRANSPORT IN QUARRIES

Annakulov T.Zh., Mamadieva L.I., Khamidov O.U.
Tashkentt state transport university (Tashkent, Uzbekistan)

Annotation. In this work, using the Kramer and least squares method, dependences were obtained between the main parameters of the BelAZ-75131 dump truck operation, taking into account the slopes of roads and the mass of the dump truck applied to the Kalmakyr quarry.

Keywords: mining dump truck, driving speeds, traction force, least squares method, approximating dependence, efficiency.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА КАРЬЕРАХ

Аннакулов Т.Ж., Мамадиева Л.И., Хамидов О.У.
Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан)

Аннотация. В данной работе по методу Крамера и наименьших квадратов были получены зависимости между основными параметрами работы автосамосвала БелАЗ-75131 с учетом уклонов автодорог и массы автосамосвала применительно на карьере Кальмакыр.

Ключевые слова: карьерный самосвал, скорости движения, сила тяги, метод наименьших квадратов, аппроксимирующая зависимость, эффективность.

В целях повышения эффективности работы карьерных самосвалов и эффективного использования экскаваторно-автомобильных комплексов можно предварительно рассчитывать их основные рабочие параметры для конкретных горнотехнических условий исходя из заданных технических данных. С этой целью разработаны научно-методические рекомендации по практическому использованию функции тяговой силы самосвала БелАЗ-75131 в условиях Калмаккырского карьера [1-5].

При движении груженных автосамосвалов по территории карьера и далее к местам разгрузки по нормам безопасности максимальная скорость должна быть не более 35 км/ч, а порожних автосамосвалов не более 50 км/ч [6-9].

По паспортной характеристики можно провести аппроксимацию функции тягового усилия ***f(x)*** в зависимости от скорости по методу наименьших квадратов. Паспортная характеристика работы автосамосвала при движении с полной массой применяемых на месторождении автосамосвалов БелАЗ – 75131 приведена на рисунке.

По имеющимся данным с паспорта горной техники определяются величины тягового усилия от значения скорости движения автосамосвалов (таблица-1).

Таблица 1

Соотношение величины тягового усилия (F) к значению скорости движения автосамосвалов (v)

V (*x*)	3	12	18	24	30	36	42	48
F (*f*(*x*))	36	26	20	15	11	9	7	6

Так как кривая близка к гиперболе, то аппроксимирующий многочлен необходимо искать в виде

$$\varphi(x) = a\frac{1}{x^2} + b\frac{1}{x} + c, \quad (1)$$

где a, b, c – искомые коэффициенты.

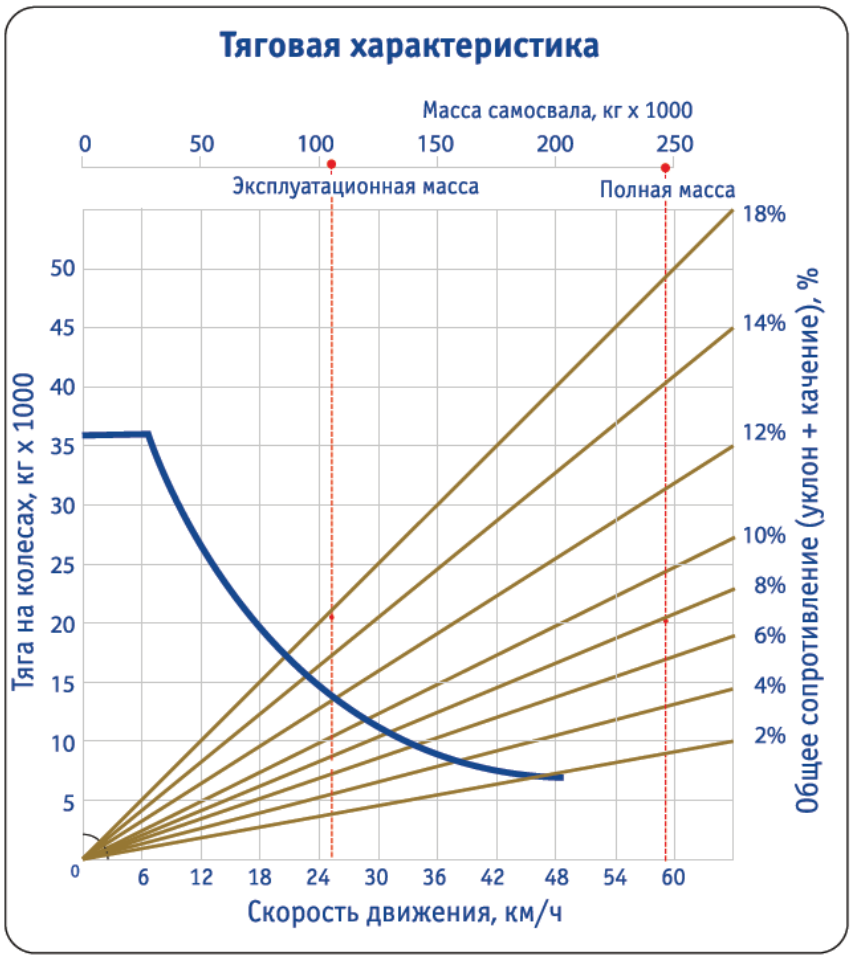

Рис. 1. Тяговая характеристика автосамосвала БелАЗ-75131

Эти коэффициенты можно определить по методу наименьших квадратов, то его коэффициенты вычисляются из системы

$$\begin{cases} a\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{x_i^4}+b\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{x_i^3}+c\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{x_i^2}=\sum_{i=1}^{n}\frac{y_i}{x_i^2} \\ a\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{x_i^3}+b\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{x_i^2}+c\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{x_i}=\sum_{i=1}^{n}\frac{y_i}{x_i} \\ a\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{x_i^2}+b\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{x_i}+c*n=\sum_{i=1}^{n}y_i \end{cases} \quad (2)$$

Далее составляется расчетная таблица (таблица-2).

Можно подставить полученные значения в систему.

$$\begin{cases} 0{,}012a+0.038b+0.126c=4.29 \\ 0.038a+0.126b+0.62c=16.81 \\ 0.126a+0.62b+8c=130 \end{cases} \quad (3)$$

Система уравнений (3) решается методом Крамера. Первоначально вычисляется определитель матрицы «три на три», можно раскрыть по формуле

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1b_2c_3+a_3b_1c_2+a_2b_3c_1-a_3b_2c_1-a_1b_3c_2-a_2b_1c_3$$

Таблица 2

Расчетная таблица

i	*x*	*y*	*1/x*	*1/x²*	*1/x³*	*1/x⁴*	*y/x*	*y/x²*
1	3	36	0,333	0,111	0,037	0,0123	12,0	4,0
2	12	26	0,083	0,007	0,0005	0,000048	2,166	0,1805
3	18	20	0,056	0,003	0,00017	0,000009	1,111	0,0617
4	24	15	0,042	0,002	0,00007	0,000003	0,625	0,0260
5	30	11	0,033	0,001	0,000037	0,0000012	0,366	0,0122
6	36	9	0,028	0,001	0,00002	0,0000006	0,250	0,0069
7	42	7	0,024	0,001	0,00001	0,0000003	0,166	0,0039
8	48	6	0,021	0,000	0,000009	0,00000018	0,125	0,0026
Сумма	**213**	**130**	**0,619**	**0,125**	**0,0379**	**0,01240**	**16,811**	**4,2940**

Или с учётом системы

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0.012 & 0.038 & 0.126 \\ 0.038 & 0.126 & 0.62 \\ 0.126 & 0.62 & 8 \end{vmatrix} =$$

$$0.012 * 0.126 * 8 + 8 * 0.038 * 0.62 + 0.038 * 0.62 * 0.12 - 0.126 * 0.126 * 0.126 - 0{,}012 * 0{,}62 * 0{,}62 - 0{,}038 * 0{,}038 * 8 = 0{,}000128$$

Далее

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 4{,}29 & 0.038 & 0.126 \\ 16{,}81 & 0.126 & 0.62 \\ 130 & 0.62 & 8 \end{vmatrix} =$$

$$4{,}29 * 0{,}126 * 8 + 130 * 0{,}038 * 0{,}62 + 16{,}81 * 0{,}62 * 0{,}126 - 130 * 0{,}126 * 0{,}126 - 4{,}29 * 0{,}62 * 0{,}62 - 16{,}81 * 0{,}038 * 8 = -0{,}1208755$$

Следующий этап определяется

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 0.012 & 4{,}29 & 0.126 \\ 0.038 & 16{,}81 & 0.62 \\ 0.126 & 130 & 8 \end{vmatrix} =$$

$$0{,}012 * 16{,}81 * 8 + 0{,}126 * 4{,}29 * 0{,}62 + 0{,}038 * 130 * 0{,}126 - 0{,}126 * 16{,}81 * 0{,}126 - 0{,}012 * 130 * 0{,}62 - 0{,}038 * 4{,}29 * 8 = 0{,}05494942$$

После

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 0.012 & 0.038 & 4{,}29 \\ 0.038 & 0.126 & 16{,}81 \\ 0.126 & 0.62 & 130 \end{vmatrix} =$$

$$0{,}012 * 0{,}126 * 130 + 0{,}126 * 0{,}038 * 16{,}81 + 0{,}126 * 0{,}62 * 4{,}29 - 0{,}126 * 0{,}126 * 4{,}29 - 0{,}012 * 0{,}62 * 16{,}81 - 0{,}038 * 0{,}038 * 130 = -0{,}00027207$$

Далее определяются значения коэффициентов

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = -\frac{0.12087755}{0.00012824} = -942.614$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{0.05494952}{0.00012824} = 428.5013$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = -\frac{0{,}00027207}{0.00012824} = -2.12162$$

Аппроксимирующая зависимость тягового усилия от значения скорости движения автосамосвалов примет вид

$$f(x) = -\frac{942.614}{x^2} + \frac{428.5013}{x} - 2.12162$$

или, с учетом введённых ранее условных обозначений

$$\boldsymbol{F = -\frac{942.614}{v^2} + \frac{428.5013}{v} - 2.12162} \quad (4)$$

График полученной зависимости приведен на рисунке.

Таким образом, разработана эмпирическая формула (4) выражающая зависимость силы тяги автосамосвала БелАЗ-75131от его скорости движения для условий карьера Кальмакир. График полученный по данной характеристике почти совпадает с заводской характеристикой данного автосамосвала. Это означает что самосвал был выбран правильно и его работа организованна с экономической эффективностью.

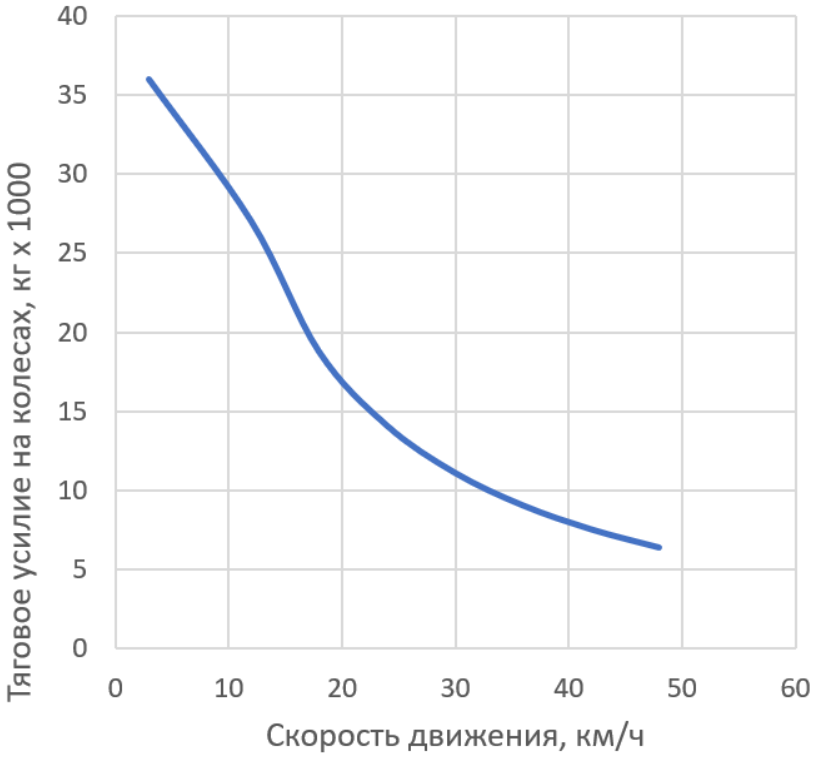

Рис. 2. График зависимости тягового усилия от скорости движения.

Список литературы:

1. Annakulov, T., Gaibnazarov, S., Askarov, A., Mamadieva, L. Prospects for the use of cyclic-flow technology for the transportation of rocks at the Yoshlik-1 quarry of JSC Almalyk mining and metallurgical combine. E3S Web of Conferences, Том 414. 25 August 2023. DOI 10.1051/e3sconf/202341706007.https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85171131077&origin=resultslist&sort=plf-f.

2. Annakulov, T.J., Gaibnazarov, S.B., Kuvandikov, O.A., Otajonov, F.O., Otajonov, B.O. Development of a Methodology for Determining the Economic Efficiency of Cyclic-Flow Technology Schemes for Rock Mining Using Mobile Crushing and Reloading-Conveyor Complexes. AIP Conference Proceedings, 2022, Том 2432, June 2022. DOI 10.1063/5.0089668. https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85133019709&origin=resultslist&sort=plf-f.

3. Аннакулов Т.Ж. Совершенствование циклично-поточной технологии разработки вскрышных пород в разрезе Ангренский с применением мобильных комплексов // «European Applied Sciences» ORT Publishing. –Stuttgart, Germany, 2015. – №6. – pp. 58-60.

4. Annakulov T.J. & Abdumitalipov I. The current state and characteristics of the excavator-automobile complex at the Kalmakyr open cast mine. III International Scientific and Practical Conference «Theoretical and empirical scientific research: concept and trends», 2021; Vol. 1: 161-165. https://doi.org/10.36074/logos-28.05.2021.v1.49

5. Mamadiyeva L.I., Annakulov T.J Characteristics of the kalmakir quarry excavator-automobile complex. https://doi.org/10.5281/zenodo.7860030

6. Галкин В.И., Шешко Е.Е. Транспортные машины: Учебник для вузов.-М.:МГГУ, 2010. - 588 с.

7. Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Современные системы управления горно-транспортными комплексами. / под редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого. – СПб.: Наука, 2007. – 306 с.: ил. ISBN 978-5-02-025a185-4.

8. Хакулов В.А., Шаповалов В.А., Игнатов В.Н., Игнатов М.В. Совершенствование управлением горными комплексами при работе экскаваторов с автосамосвалами в открытом цикле // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).). – 2020. – № S31. – С. 57-72.

9. Сис Муе. Система управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.13.06/; - Москва, 2021.