

КРИТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ МЕХАНИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ РУДНИЧНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Двинин Л. А., Двинина Л. Б., Ляпцев С. А.

ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия (620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), e-mail: gmf.tm@m.ursmu.ru

Проведен анализ динамики движения рудничных подъемных установок в условиях механического торможения на основе теории подобия. В соответствии с теоретическими исследованиями показано, что параметры, определяющие то или иное явление, входят в основополагающие зависимости в виде безразмерных комплексов, называемых критериями подобия. Построенные зависимости между критериями подобия позволяют предсказать результаты эксперимента, а также проводить исследования на основе моделирования изучаемых явлений. На основе анализа уравнения движения рудничных подъемных установок определены критерии подобия для различных динамических режимов. Номограммы подобия позволяют определить не только нагрев двигателя и его пусковую перегрузку при тормозных режимах, но и такие относительные показатели подъемной установки, как эквивалентное усилие, эквивалентная мощность, а также КПД, учитывающий потерю кинетической энергии при механическом торможении на всем пути замедления для статически уравновешенного подъема в условиях трапецидального графика скорости.

Ключевые слова: динамические режимы, абсолютные и относительные параметры, критерии подобия, номограммы подобия, экстремумы динамических параметров, пусковая перегрузка двигателя, нагрев двигателя, эквивалентное усилие и эквивалентная мощность подъема, к.п.д., учитывающий потерю кинетической энергии при механическом торможении.

CRITERIA DEPENDING ON DYNAMIC PARAMETERS IN THE CONDITIONS OF MECHANICAL BRAKING MINE HOISTING PLANTS

Dvinin L. A., Dvinina L. B., Lyptsev S. A.

Urals state mining University, Ekaterinburg, Russia (620144, Ekaterinburg, street of Kuibyshev, 30), e-mail: gmf.tm@m.ursmu.ru

Analyze the movement of mine hoisting plants in the conditions of mechanical braking on the basis of similarity theory. In accordance with theoretical studies have shown that the parameters defining the phenomenon, are fundamental dependence as dimensionless complexes, called criteria of similarity. Built dependence between the criteria of similarity allow to predict the results of the experiment, and conduct research on the basis of modeling of the studied phenomena. Based on the analysis of the equations of motion of mine hoisting plants are defined criteria of similarity for different dynamic regimes. Nomograms similarity allow you to determine not only the heating of the engine and its launcher overload when braking conditions, but also the relative performance of a hoist, as equivalent to the force »equivalent capacity , and efficiency, taking into account the loss of kinetic energy in mechanical braking all the way deceleration statically balanced rise in the conditions of trapezoidal speed graph.

Keywords: dynamic regimes, absolute and relative parameters, similarity criteria nomograms of similarity the extrema of dynamic parameters starting motor overload heating of the engine the equivalent of effort and equivalent power lifting efficiency, taking into account the loss of kinetic energy in mechanical braking.

Механическое торможение подъемных установок выполняет две основные функции: рабочее торможение и предохранительное торможение.

Рабочее торможение обеспечивает: 1) управление скоростью движения, когда для этого требуются тормозные моменты, а система электропривода не может их реализовать; 2)

фиксацию подвижных элементов установки в требуемом положении, а также во время пауз при работе.

Предохранительное торможение обеспечивает остановку подъемной машины на возможно коротком пути при нарушениях нормального режима работы.

Увеличение высоты подъема приводит к росту поступательно перемещающихся масс рудничных подъемных установок по сравнению с вращающимися массами, особенно при безредукторных приводах. В связи с этим увеличиваются колебания усилий в канате, вызывающие значительные динамические нагрузки при торможении, появляется нагрев тормозных колодок, снижающий силу трения либо между колодками и тормозным ободом барабана, либо между дисками и барабаном [4, 7].

Анализ каждого из указанных явлений весьма трудоемок и требует проведения большого числа экспериментальных исследований. Вместе с тем параметры, определяющие то или иное явление, входят в основополагающие зависимости в виде безразмерных комплексов, называемых критериями подобия [1, 5, 6,]. Построенные зависимости между критериями подобия позволяют предсказать результаты эксперимента, а также проводить исследования на основе моделирования изучаемых явлений.

В работах [2, 3] на основе анализа уравнения движения рудничных подъемных установок определены критерии подобия для различных динамических режимов. Показано, в частности, что в качестве таких критериев могут выступать: степень неполноты графика скорости « α »; относительное время движения « τ »; относительное ускорение подъема « γ »; коэффициент асимметрии графика скорости « s »; степень статической неуравновешенности подъема « δ »; коэффициент, учитывающий условия охлаждения двигателя « β ».

Здесь в соответствии с законами механики в критериальной форме записаны уравнения для динамических режимов при электрическом торможении. Графики, построенные на основе этих уравнений для конкретных числовых значений критериев подобия, являются номограммами подобия [3].

Номограммы подобия позволяют определить не только нагрев двигателя и его пусковую перегрузку « λ » при тормозных режимах, но и такие относительные показатели подъемной установки, как эквивалентное усилие « ρ_3 », эквивалентная мощность « ρ », а также КПД, учитывающий потерю кинетической энергии при механическом торможении на всем пути замедления для статически уравновешенного подъема в условиях трапецеидального графика скорости.

На рис.1 показаны изолинии относительного эквивалентного усилия « ρ_3 » (при значениях $\delta = 0$, $s = 0$, $\beta = 1,0$):

$$\rho_3 = \frac{F_3}{F_{cm.c}} = \left[\frac{1}{\alpha} + \frac{2\alpha}{\tau^2} + \frac{\alpha^3}{[(\alpha-1) \cdot \tau^4]} \right]^{0.5} \cdot \sqrt{\beta}^{-1}, \quad (1)$$

где F_3 – абсолютное эквивалентное усилие подъема, $F_{cm.c}$ – постоянная составляющая статического усилия.

Изолинии « ρ_3 » и « $\rho_{cp.k}$ » изображены только для тормозных режимов.

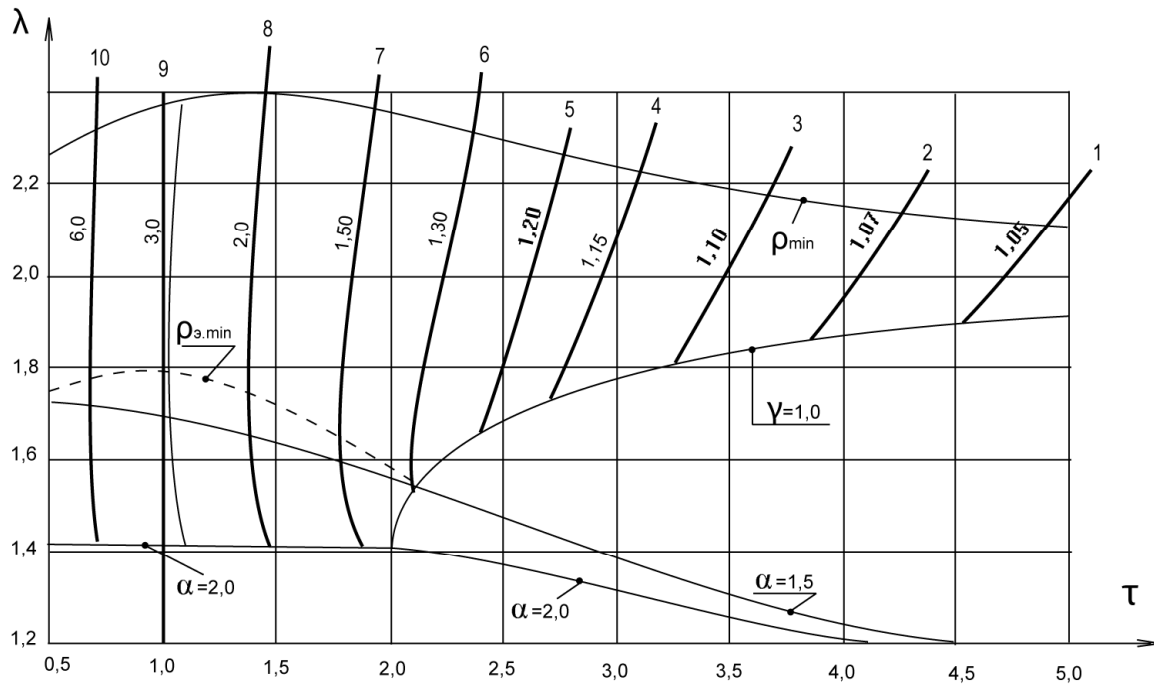


Рис. 1

Номограмма изолиний относительного эквивалентного или среднеквадратичного усилия $\rho_3 = \rho_{cp.k}$ (т.к. $\beta = 1,0$) для режимов с механическим торможением

На рис. 2 показаны изолинии эквивалентной мощности « ρ » (при значениях $\delta = 0$,

$$s = 0, \beta = 1,0): \quad \rho = \alpha \cdot \rho_3 = \frac{\alpha \cdot \rho_{cp.k}}{\sqrt{\beta}} = \alpha \cdot \rho_{cp.k}, \quad (2)$$

т.е. $\rho = \alpha \cdot \rho_{cp.k}$, т.к. $\beta = 1,0$.

Для построения изолиний относительной эквивалентной мощности « ρ », задаваясь рядом значений степени неполноты « α », определялись значения квадрата относительного времени « τ^2 », относительного ускорения « γ » и пусковой перегрузки двигателя « λ » по одной из нижеприведенных формул:

$$\tau^2 = \frac{\alpha^3}{\rho^2 - \alpha} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\rho^2 - \alpha}{\alpha(\alpha - 1)}} \right] \quad \text{или} \quad \tau^2 = \frac{\alpha^2}{\alpha \cdot \rho_{\text{ср.к}} - 1} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\alpha \cdot \rho_{\text{ср.к}} - 1}{\alpha - 1}} \right),$$

$$\gamma = \frac{\alpha^2}{[(\alpha - 1) \cdot \tau^2]}, \quad \lambda = \frac{\alpha(1 + \gamma)}{\rho} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{(1 + \gamma)}{\rho_3}$$

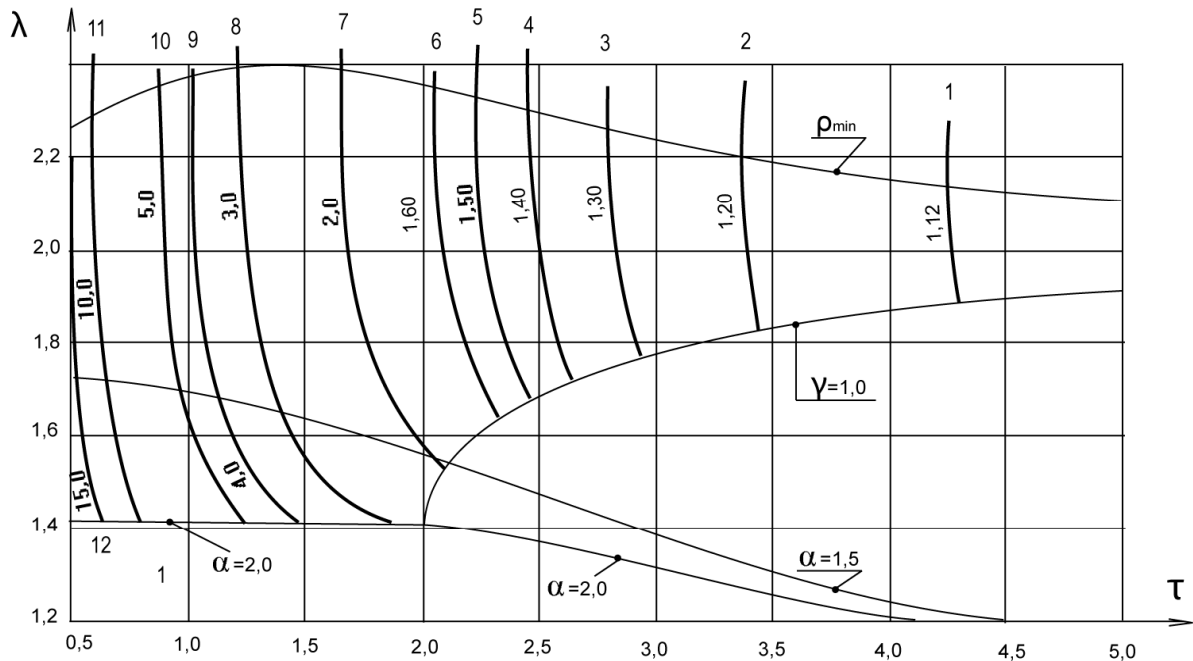


Рис. 2

Номограмма изолиний относительной эквивалентной или среднеквадратичной мощности $\rho = \rho_{\text{ср.к}}$ (т.к. $\beta = 1,0$) для режимов с механическим торможением

По изолинии относительного ускорения « $\gamma = 1,0$ », которая представляет границу областей тормозных и бестормозных режимов, степень неполноты графика скорости « α »

определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{(1 + \sqrt{1 + 3 \cdot \rho^2})}{3}. \quad (3)$$

На рис. 3 показаны изолинии КПД, учитывающего потерю кинетической энергии « η_2 » при механическом торможении (при значениях $\delta = 0$, $s = 0$, $\beta = 1,0$):

$$\eta_2 = [1 + 0,5(\alpha - 1)(\gamma - 1)]^{-1} \quad (4)$$

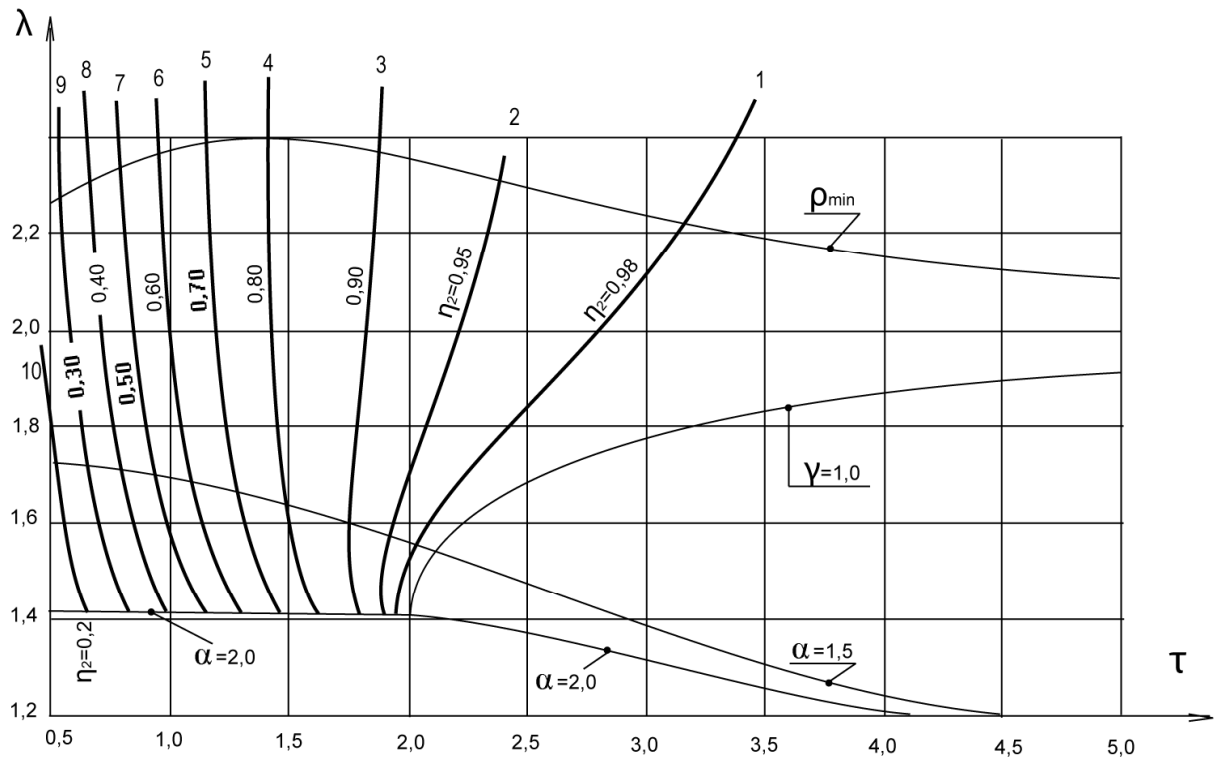


Рис. 3
 Номограмма изолиний КПД « η_2 », учитывающего потерю кинетической энергии при механическом торможении

постоянная величина
$$c = \frac{2(1-\eta_2)}{\eta_2}, \quad (5)$$

относительное ускорение
$$\gamma = 1 + \frac{c}{(\alpha - 1)}, \quad (6)$$

степень неполноты графика скорости
$$\alpha = 1 + \frac{c}{(\gamma - 1)}. \quad (7)$$

Эти координаты позволяют определить относительные параметры, такие как время « τ », среднеквадратичное усилие « $\rho_{ср.к}$ » и пусковую перегрузку двигателя « λ », которые при переводе в абсолютные единицы позволяют выбрать рациональный динамический режим и соответствующий этому режиму подъемный двигатель.

Список литературы

1. Веников, А. А. Теория подобия и моделирования / А. А. Веников [и др.]. – М.: Высш. школа, 1984. – 227 с.
2. Двинин, Л. А. Теоретическое определение импульсов усилий шахтных подъемных установок / Л. А. Двинин, Л. Б. Двинина, С. А. Ляпцев // Изв. вузов. Горный журнал. – 2006. – № 6. – С. 139...146.
3. Двинина, Л. Б. Обоснование динамических режимов при проектировании шахтных подъемных установок / Л. Б. Двинина: Дисс... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УГГУ, 2008. – 150 с.
4. Еланчик, Г. М. Выбор оптимальных параметров проектируемых шахтных подъемных установок с двигателями постоянного тока / Г. М. Еланчик. – М.: МГИ, 1971. – 91с.
5. Кирпичев, М. В. Теория подобия / М. В. Кирпичев. – М.: АН СССР, 1953. – 96 с.
6. Седов, Л. И. Методы подобия и размерностей в механике / Л. И. Седов. – М.: Наука, 1981. – 282 с.
7. Федоров, М. М. Шахтные подъемные установки / М. М. Федоров. – М.: Недра, 1979. – 309 с.

Рецензенты:

Герц Эдуард Федорович, доктор технических наук, профессор, декан лесоинженерного факультета ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург.

Готлиб Борис Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мехатроники» ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Екатеринбург.