

ТЕОРЕТИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МАКСИМАЛНАТА ТЕГЛИТЕЛНА СИЛА И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА ТЯГОВИТЕ И ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА РУДНИЧЕН ЕЛЕКТРОЛОКОМОТИВ ТИП "3300-2А"

Симеон Савов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Обект на настоящата публикация е теоретичното определяне на максималната теглителна сила на рудничен електролокомотив тип "3300-2А". Построени са електромеханичните и тягови характеристики на електролокомотива на базата на електромеханичните характеристики на двата тягови постояннотокови електродвигателя, получени по експериментален път. Определена е максималната възможна теглителна сила на локомотива въз основа на условието за сцепление при различни режими на потегляне и въз основа на условието за реализиране на максимална мощност на двигателите при съответната схема на свързване. В доклада е извършено аналитично изследване на ограниченията по сцепление и мощност и анализ на резултатите от това изследване. Представени са изводи и препоръки относно възможностите за подобряване на електромеханичните и тягови характеристики с цел постигане на по-добри показатели.

THEORETICAL DETERMINATION OF THE MAXIMUM TRACTION FORCE AND POSSIBILITIES FOR IMPROVEMENT OF THE TRACTION AND ELECTRO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF A MINE ELECTRICAL LOCOMOTIVE OF THE TYPE "3300-2A"

Simeon Savov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. The object of the present publication is a theoretical determination of the maximum traction force of a mine electrical locomotive of the type "3300-2A". The electro-mechanical and traction characteristics of the electrical locomotive have been built on the base of the electro-mechanical characteristics of the two traction direct current motors, received through experiments. The maximum possible traction force of the locomotive has been defined on the base of the conditions of adhesion at different regimes of moving off and on the base of the condition for realizing the maximum power of the motors at the correspondent connection circuit. An analytical research of the limits of adhesion and power and analysis of the results of this research have been done in this paper. Deductions and recommendations related to the possibilities of improving the electro-mechanical and traction characteristics have been presented in order for better parameters to be achieved.

Въведение

Рудничният акумулаторно-контактен електролокомотив тип: "3300-2А" е предназначен за работа в минните и геолого-проучвателни дейности, за прокарване на хоризонтални минни и проучвателни изработки със сечение 4,5, m². Локомотивът може да бъде използван като маневрен или извозен локомотив в добивните участъци на рудниците. Електролокомотивът осъществява движение по релсов път с ширина 600, mm. Машината е нормално руднично изпълнение с възможност за хранване, както от акумулаторните батерии, така и от електроконтактната мрежа със хранващо напрежение 80, V. Машината притежава еднакви характеристики и параметри при работа и в двете посоки на движение, т.е. тя е напълно реверсивна.

Анализ и оценка на системата за управление

Тъй като системата за управление е непосредствено свързана и определяща спрямо теглителните възможности

и тягови характеристики на локомотива, по-надолу ще бъдат разгледани особеностите на тази система.

Схемата на системата за управление на тяговите електродвигатели на локомотива е изградена на базата на тиристорна система за импулсно регулиране. Тази система има редица съществени предимства пред класическата за реостатно-контролерно управление. Реостатно- контролерната схема води до значителна загуба на електро-енергия в пусковите съпротивления. Също така контролерите притежават редица експлоатационни неудобства. Тежките подземни руднични условия (наличие на влага, рудничен прах, агресивни води и др.) са причина за чести повреди в пусково-контактната апаратура. Дадената широчинно-импулсна система отстранява гореспоменатите недостатъци и позволява:

- Плавно беззагубно ускоряване на подвижния влакосъстав.
- Безстепенно регулиране на скоростта на влакосъстава.
- Електрическа защита от претоварване и неизправности в системата на управление.
- Защита от неправилни манипулации на машиниста.

Електрическата уредба на акумулаторния локомотив е разработена за напрежение на тягови двигатели $U = 80, V$ и напрежение на всички оперативни и спомагателни вериги $12, V$ (Джонгов, Матеев и Дамянов, 1985). Системата за управление на тяговите двигатели (които са свързани по схема - възбудителните им намотки паралелно, а котвените им последователно) е изпълнена с импулсен регулатор тип ИР 80/160,А. Този импулсен регулатор позволява управлението както на единия, така и на двата тягови двигателя, но при условие, че сумарният им часов ток не надвишава $160, A$. Безстепенното и беззагубното регулиране на скоростта на локомотива увеличава междузарядния пробег и удължава живота на тяговите батерии. От друга страна, системата осигурява:

- Пусков процес при най-благоприятен пусков въртящ момент на тяговите двигатели, което увеличава производителността на локомотива.
- Облекчава поддръжката на електроапаратурата, тъй като се намалява броя на контакторите.
- Ограничена скорост на нарастване на напрежението върху товара при рязко задвижване на командния орган.
- Автоматично шунтиране на импулсния регулатор определено време след задействането на командния орган до крайно положение.
- Защита от претоварване в зависимост от тока на тяговите двигатели и температурата на основните силови полупроводникови елементи.
- Защита от изключване на захранващото напрежение при загуба на комутационната способност на импулсния регулатор.
- Електрическо спиране на локомотива при реверсиране по време на движение.

Посочените качества определят широчинно-импулсната система, използвана в локомотива, като целесъобразно техническо решение относно управлението на локомотива за съответните условия на работа.

Предимства и недостатъци на системата за управление

Могат да се посочат следните съществени и обобщаващи предимства на избраната система на управление спрямо класическата реостатно-контролерна система за управление:

- Безстепенното регулиране на тяговите двигатели, осъществявано чрез системата на управление, дава благоприятно отражение върху работата на силовите предавателни механизми. По този начин значително се намаляват динамичните сили и натоварвания, най-вече през времето на преходните процеси от работния цикъл на локомотива. Облекчава се работата на най-натоварените детайли от задвижващите групи. По този начин се постига по-висока експлоатационна сигурност на елементите от веригата и на локомотива като цяло. От друга страна се увеличават междуремонтните периоди, което е от голямо значение при работа в подземни условия.
- Друг резултат от използването на системата на управление е беззагубното регулиране на скоростта на локомотива, което увеличава междузарядния пробег и удължава живота на тяговите батерии. Най-голям ефект от беззагубното регулиране се наблюдава през време на пусковия процес. Както е известно, реостатно-

контролерната схема води до значителна загуба на електроенергия в пусковите съпротивления. За двудвигателно задвижване загубите на енергия през време на пусковия процес представляват около 21% от консумираната енергия. Чрез настоящата система на управление се постига икономия на енергия и се създават предпоставки за увеличаване на производителността на локомотива като цяло.

- Друго съществено качество на системата на управление е възможността за доближаване на граничните стойности на максималната теглителна сила. Отнася се до ограничението на максималната теглителна сила по мощност и сцепление. Това от своя страна ще подобри или увеличи реалната теглителна сила на машината при същите технически параметри (мощност, сцепно тегло и др.).

- Предимство също така е възможността за захранване на системата централизирано (от ел.мрежа) или автономно (от тяговите батерии), което е от съществено значение при работа в добивни и геолого-проучвателни изработки.

От друга страна, системата има недостатъчна влагозащита. След продължителна експлоатация се появяват увеличени съпротивления в електрическите кабелни съединения (разглобяемите). Също така проникването на влага през защитния корпус (който е метален), въздейства неблагоприятно върху електронните елементи и техните съединения (спойки), поради агресивното действие на влагата.

Електромеханични и тягови характеристики на локомотива

Теоретически най-правилно избрани тягови двигатели и най-подходящо оразмерена кинематична схема на локомотивното задвижване имаме, когато съвпадат ограниченията по условието за сцепление и по условието за реализиране на максимална мощност на локомотива. Ограничение по условието за сцепление представлява онази максимална стойност на теглителната сила, при която няма буксуване на ходовите колела. Ограничението по мощност е максималната стойност на теглителната сила, при която тяговите двигатели реализират най-висок въртящ момент, такъв момент, при който токът, протичащ през котвените им намотки, е максимално допустим. В действителност е трудно и най-често нецелесъобразно да се осъществи такова съвпадение на двете ограничения, а и това не е задължително. Желателно е двете ограничения да са възможно най-близки по стойност.

Построяването на електромеханичните и тягови характеристики на локомотива се налага поради това, че формирането им се различава съществено от тези на класическата реостатно-контролерна система за управление. При тази система на управление чрез един преобразовател се управляват и двата тягови двигателя, включени чрез смесено свързване на котвените и възбудителните им намотки. Това е постигнато чрез широчинноимпулсно регулиране на захранващото напрежение с тиристорен преобразовател.

За построяването на електромеханичната характеристика на локомотива (фиг. 2.) се използва получената по експериментален път електромеханична характеристика на двата двигателя (фиг. 1.) (Дамянов и Матеев, 1983-1984). Двигателите са монтирани на стенд на общ вал и възбудителните и котвените им намотки са свързани по схемата котва-серия възбуждане-паралел. Като за различни стойности на I_a са отчетени стойностите на общия момент $M_B = f(I_a)$ и стойностите на честотата на въртене $n = f(I_a)$. За построяването на кривата $F_T = f(I_a)$ (фиг. 2.) е необходимо да се използва формулата:

$$F_T = \frac{2 \cdot \mu \cdot M_B \cdot \eta_{np}}{D_k}, N \quad (1)$$

където:

F_T, N - стойност на теглителната сила на локомотива.

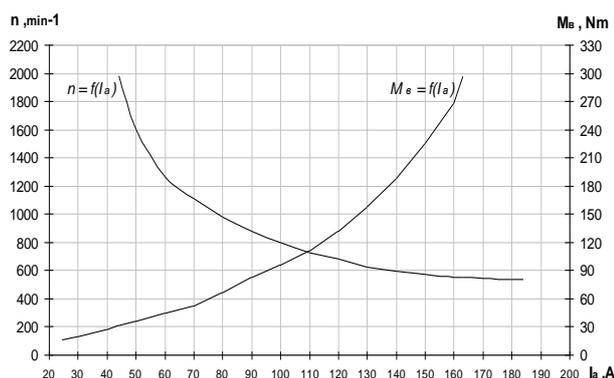
$\mu = 15,589$ - предавателно число на силовата предавка.

M_B, Nm - моментна стойност на въртящия момент на локомотива (общия момент на двата тягови двигателя).

$\eta_{np} = 0,94$ - к.п.д. на силовата предавка.

$D_k = 0,43$,m - диаметър на ходовите колела.

За произволни стойности на тока I_a се взимат от фиг. 1. съответните стойности на въртящия момент. Резултатите са представени с помощта на инструментите за графично изображение на програмата Microsoft Excel.



Фиг. 1. Електромеханична характеристика при котва серия възбуждане паралел

С тези стойности на M_B се замества във формула (1):

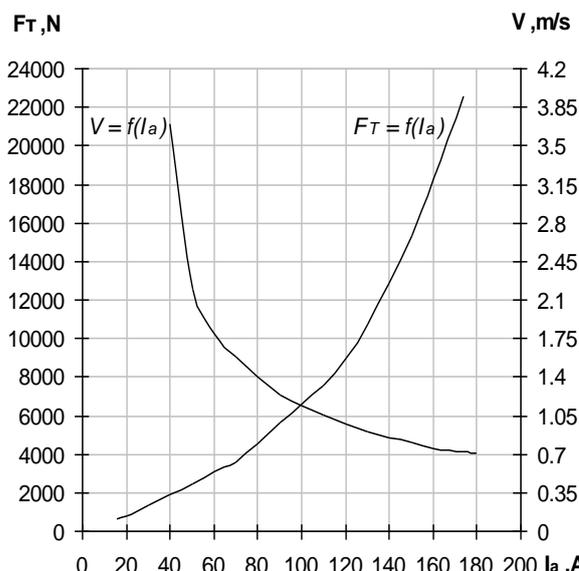
$$F_T = \frac{2 \cdot 15,589 \cdot M_B \cdot 0,94}{0,43}, N$$

от където се получават стойности на теглителната сила F_T , които стойности съответстват на избраните произволни стойности на тока I_a . Резултатите са представени в таблица 1.

Таблица 1.

I_a, A	30	40	50	60	70	80	90
M_B, Nm	20	27,5	36,25	45	52,5	66,25	82,5
F_T, N	1363	1874	2470	3067	3578	4515	5623
I_a, A	100	110	120	130	140	150	160
M_B, Nm	96,25	111,25	131,25	157,5	188,75	225	268
F_T, N	6560	7582	8946	10735	12864	15335	18266

По този начин се изчертава на фиг. 2. кривата $F_T = f(I_a)$.



Фиг. 2. Електромеханична характеристика на електролокомотив тип: "3300-2A"

За построяването на кривата $V = f(I_a)$ (фиг. 2.) е необходимо да се използва формулата:

$$V = \frac{\pi \cdot n \cdot D_k}{60 \cdot \mu}, m/s \quad (2)$$

където:

V , m/s-текуща стойност на скоростта на локомотива.

n , min⁻¹ - моментна стойност на честотата на въртене на електродвигателите.

За произволни стойности на тока I_a се взимат от фиг. 1. съответните стойности на честотата на въртене n . С тези стойности се замества във формула (2):

$$V = \frac{3,14 \cdot n \cdot 0,43}{60 \cdot 15,589}, m/s$$

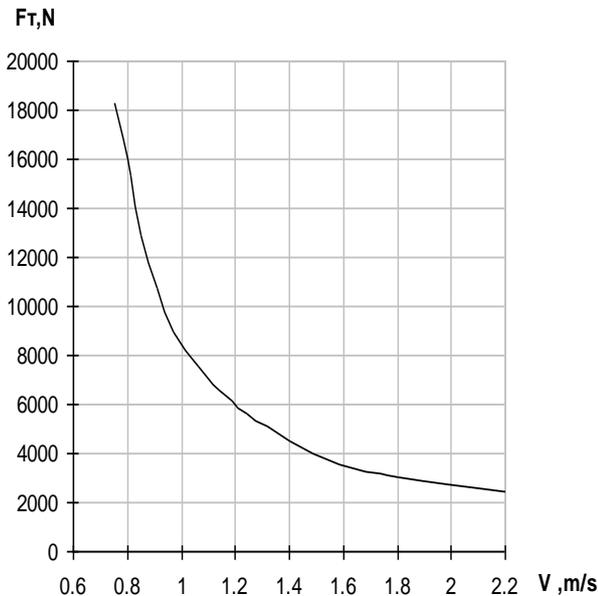
от където се получават стойности за скоростта на локомотива V , които стойности съответстват на избраните произволни стойности на тока I_a . Резултатите са представени в таблица 2.

Таблица 2.

I_a, A	50	60	70	80	90	100
n , min ⁻¹	1583	1250	1100	975	858	792
V , m/s	2,2	1,8	1,587	1,4	1,24	1,14
I_a, A	110	120	130	140	150	160
n , min ⁻¹	733	675	633	592	567	517
V , m/s	1,06	0,97	0,91	0,85	0,81	0,75

По този начин се изчертава на фиг. 2 кривата $V = f(I_a)$.

За построяването на тяговата характеристика на локомотива $F_T = f(V)$ (фиг.3.), е необходимо да се избера произволни стойности на тока I_a и на базата на този избор от фиг. 2. да се отчетат съответните стойности на F_T и V , които си съответстват при зададената стойност на тока I_a .



Фиг. 3. Тягова характеристика на електролокомотив тип: "3300-2А"

Резултатите са представени в таблица 3.

Таблица 3.

I_a, A	50	60	70	80	90	100
F_T, N	2470	3067	3578	4515	5623	6560
$V, m/s$	2,2	1,8	1,587	1,4	1,24	1,14
I_a, A	110	120	130	140	150	160
F_T, N	7582	8946	10735	12864	15335	18266
$V, m/s$	1,06	0,97	0,91	0,85	0,81	0,75

Определяне на максималната стойност на теглителна сила на локомотива.

Максималната действителна теглителна сила на локомотива ще се определи от условието за ограничение по сцепление. При опит да се реализира по-голяма теглителна сила от тази, то съответно ходовите колела на локомотива ще пробуксват и няма да има движение. Ограничението по мощност позволява получаването на по-голяма теглителна сила. Това е винаги така, като по този начин се предпазват тяговите двигатели от претоварване. По този начин се удължава експлоатационният им срок и се постига по-висока експлоатационна сигурност на машината като цяло. Допустимо е стойността на теглителната сила, определена от ограничението по мощност, да е по-голяма с 30 ÷ 50, % от стойността на теглителната сила, определена от ограничението по условие за сцепление.

Максималната теглителна сила по ограничението по мощност може да се определи по следния начин:

$$F_T^N = \frac{2 \cdot \mu \cdot M_{B_{\max}} \cdot \eta_{np}}{D_k}, N \quad (3)$$

където:

F_T^N, N - максималната теглителна сила на локомотива.
 $M_{B_{\max}}, Nm$ - максимален въртящ момент. Това е общият момент на двата двигателя при схема на свързване котва - серия възбуждане - паралел.

Този момент може да се вземе от графиката $M_B = f(I_a)$ на фиг.1., при максимална стойност на тока $I_a = 160, A$. Това е максималният работен ток, чиято стойност е ограничена от импулсния регулатор, т.е. това е максималният допустим ток, при който регулатора може да работи. $M_{B_{\max}} = 268, Nm$

$$F_T^N = \frac{2 \cdot 15,589 \cdot 268 \cdot 0,94}{0,43} = 18266, N$$

Максималната теглителна сила се получава през време на пусковия процес на локомотива. Тогава съпротивленията са най-големи. Потеглянето на локомотива може да стане нормално или чрез подсипване на пясък. Чрез подсипването на пясък се увеличава реалният коефициент на триене между ходовите колела и релсовия път, а от там се увеличава и действителната теглителна сила.

Определяне на теглителната сила на локомотива по условие за сцепление:

$$F_T^{C\psi} = P_{C\psi} \cdot \psi, N \quad (4)$$

където:

$F_T^{C\psi}, N$ - теглителна сила на локомотива, определена по ограничението за сцепление.

$P_{C\psi}, N$ - сцепно тегло на локомотива.

$$P_{C\psi} = M_n \cdot g, N \quad (5)$$

където:

$M_n = 3300, kg$ - маса на локомотива.

$g = 9,81, m/s^2$ - земно ускорение.

$$P_{C\psi} = 3300 \cdot 9,81 = 32373, N$$

ψ - действителен коефициент на сцепление на локомотива. $\psi = 0,20$ - при потегляне без подсипване на пясък. $\psi = 0,25$ - при потегляне с подсипване на пясък.

Теглителната сила при потегляне без подсипване на пясък е:

$$F_T^{C\psi} = 32373 \cdot 0,20 = 6474,6, N$$

Теглителната сила при потегляне с подсипване на пясък е:

$$F_T^{C\psi} = 32373 \cdot 0,25 = 8093,25, N$$

Максималната действителна теглителна сила на локомотива е по-голямата от двете сили, получени по условието за сцепление при различни режими на потегляне, т. е. $F_T^{\max} = 8093,25, N$.

Изводи и препоръки относно възможностите за подобряване на тяговите и електромеханичните характеристики.

Както се вижда от получените резултати, теглителната сила, получена от ограничението по мощност $F_{rN} = 18266 \text{ ,N}$, е над два пъти по-голяма от максималната теглителна сила, получена от ограничението по условие за сцепление $F_{rCч} = 8093,25 \text{ ,N}$, което е над допустимото. Разликата е доста по-голяма от допустимите $30 \div 50 \text{ ,\%}$ в полза на ограничението по мощност. Голямата разлика между стойностите на ограниченията води до непълно натоварване на тяговите двигатели, т.е. невъзможност за използване на тяхната пълна мощност, поради наложеното ограничение по условие за сцепление. Поради това се намалява общият коефициент на полезно действие на машината. Принципно възможностите за подобряване на тяговите и електромеханични характеристики са основно две:

Увеличаване на стойността на ограничението по сцепление, т.е. увеличаване на стойността на максимално допустимата теглителна сила на локомотива

Единственият начин да стане това е чрез увеличаване на сцепното тегло на локомотива – формула (4), което от своя страна ще доведе до увеличаване на масата, респективно размерите на локомотива. Откъдето следва, че локомотивът вече няма да отговаря на поставените работни условия, т.е. работа в ограничени работни места и др. От друга страна, дори увеличаването на масата да не доведе до увеличаване на размерите на машината, този начин за корекция на характеристиките не е удачен, рационален и икономически изгоден.

Намаляване на стойността на ограничението по максимална мощност

Съществуват няколко възможности за това – формула (3):

Увеличаване на диаметъра на ходовите колела

Това обаче не може да се осъществи в широки граници, тъй като компактността на конструкцията не го позволява. От друга страна, ще настъпят изменения в рамата на локомотива, в спирачната му система и др., което не е благоприятно. Поради възможността за малко увеличаване на диаметрите на ходовите колела не може ограничението по мощност да се намали в голяма степен, което не решава изцяло проблема. Иначе самото увеличаване на диаметъра на ходовите колела може да се осъществи сравнително лесно.

Намаляване на предавателното число на силовите предавки

По този начин проблемът в голяма степен ще бъде решен. Този вариант ще доведе до преизчисляване и реконструкция на целия предавателен механизъм. При наличие на серийно произведени такива локомотиви този вариант не е най-удачният.

Замяна на тяговите електродвигатели с по-малко мощни такива, респективно с по-малък въртящ момент

Вариантът е рационален, ако серийно се произвеждат по-малки като типоразмер електродвигатели.

Увеличаване на номиналната скорост на движение на локомотива за сметка на теглителната сила на локомотива, респективно въртящия момент на двигателите

Този вариант е може би най-удачният, ако разбира се работният цикъл на влакосъстава го позволява. Най-удачен е този вариант, защото по този начин не се налагат конструктивни изменения в локомотива.

В заключение на изложеното дотук относно този проблем, може да се препоръча следното:

Като най-рационално решение на проблема може да се посочи вариантът за работа при по-висока средна работна скорост, ако е възможно. По този начин не се налагат конструктивни изменения в локомотива. Също така се облекчава автономното хранване с електрическа енергия. Работата се осъществява при по-ниска стойност на работния ток, съответно се реализира и по-малка теглителна сила на локомотива. Възможно е реализиране на по-висока производителност на локомотива поради по-високата работна скорост. От друга страна, теглителните възможности на машината при по-висока скорост намаляват. Така че се транспортира по-малко количество отбита минна маса или полезно изкопаемо, което от своя страна влияе неблагоприятно върху производителността на локомотива. Това е при положение, че локомотивът се използва като извозен. Разбира се, вариантът с по-високата работна скорост може да се осъществи, ако състоянието на релсовия път го позволява. Също така ако геометричните размери на минните изработки го позволяват и ако са удовлетворени изискванията, поставени от съответния работен цикъл на локомотива и тези от правилника за техническа безопасност.

При невъзможност да се реализира гореизложеният вариант в конкретния случай, може да се премине към варианта със замяна на тяговите електродвигатели. Този вариант е по-малко удачен от икономическа гледна точка от горния, но е по-добър от останалите изложени по-горе варианти. По-малко мощните електродвигатели ще бъдат вероятно по-евтини и с по-малки габаритни размери от избраните вече двигатели. Също така ще се облекчи автономното хранване на локомотива. Двигателите ще се използват по-пълноценно, като по този начин ще се увеличи коефициентът на полезно действие на цялата машина. Разликата в масите между новите и старите двигатели лесно може да бъде компенсирана, за да не се намали сцепното тегло на локомотива. От друга страна, сегашните електродвигатели са нормално общо-промишлено изпълнение, а това едва ли е най-удачно за работа в руднична агресивна среда от гледна точка на влаго-, прахо- и взривоопасността.

Заклучение

В заключение може да се обобщи, че чрез извършеното детайлно изследване на тяговите и електромеханичните характеристики на системата на задвижване се цели прецизното установяване и избягване на възможните причини водещи до претоварване на електрическата и механична система на локомотива. Извършеният анализ относно изменението на някои технически параметри показва възможностите и начините за подобряване на тяговите и електромеханичните характеристики на електролокомотива, с цел повишаване на технико-експлоатационните качества на цялата машина.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Механизация на мините", МЕМФ

Литература

- Дамянов, Цв., М. Матеев. 1983-1984. Стенд за изпитване на руднични тягови електродвигатели с импулсно управление. - *Год. ВМГИ*, т. 30, св. I, 27-33.
- Джонгов, Г., М. Матеев, Цв. Дамянов. 1985. Рудничен акумулаторен локомотив 3300-2А. – *Минно дело*, 1, 22-24.
- Матеев, М. 1971. *Руднична локомотивна тяга*. С., Техника.