РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК РУДНИЧНЫХ ЛОКОМОТИВОВ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ АККУМУЛЯТОРАМИ

РТМ 12.14.001-82

Издание официальное

Министерство угольной промышленности СССР
Москва

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН:

ИГД им. А.А.Скочинского

Директор института	А.Г.Докукин
Руководитель темы	В.И.Серов
Ответственные исполнители	В.Ф.Антонов
	А.Л.Западинский

Минуглепромом СССР

Зам.начальника отдела подземного транспорта Технического управления	Л.А.Чубаров

Заводом-втузом при ЗИЛе

Ректор Завода-втуза при ЗИЛе	Ю.С.Авраамов
Ответственный исполнитель	Н.В.Гулиа

ВНЕСЕН

ИГД им. А.А.Скочинского

Директор института	А.В.Докукин

ПОДГОТОВЛЕН К УТВЕРЖДЕНИЮ

Техническим управлением Минуглепрома СССР

Зам.начальника Технического управления	И.П.Ремизов
Зам.начальника отдела подземного транспорта Технического управления	Л.А.Чубаров

УТВЕРЖДЕН

Техническим управлением Минуглепрома СССР

Зам.начальника Технического управления	И.П.Ремизов

УДК 622.625.28-563.001.5

Группа Д53

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК РУДНИЧНЫХ ЛОКОМОТИВОВ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ АККУМУЛЯТОРАМИ	РТМ 12.14.001-82 Вводится впервые Срок введения 1 января 1984 г.

Настоящий руководящий технический материал (РТМ) устанавливает единый порядок расчета основных параметров энергосиловых установок рудничных локомотивов с электромеханическими аккумуляторами. Экономический эффект достигается благодаря рациональному выбору параметров локомотивов на стадии проектирования и наиболее полному использованию их технических возможностей при эксплуатации.

РТМ предназначен для сотрудников институтов, проектирующих локомотивы с электромеханическими аккумуляторами, и для работников шахт и производственных объединений, связанных с эксплуатацией локомотивного транспорта.

I. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РУДНИЧНЫХ ЛОКОМОТИВОВ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ АККУМУЛЯТОРАМИ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИХ ЭНЕРГОСИЛОВЫМ УСТАНОВКАМ

I.I. Локомотивы с электромеханическими аккумуляторами предназначены для транспортирования угля, породы и вспомогательных грузов, а также для перевозки людей по горизонтальным выработкам.

I.2. Агрегат, аккумулирующий механическую энергию (при заряде от электрической сети) и впоследствии преобразующий ее в электрическую (при разряде), который включает в себя инерционный аккумулятор и механически связанную с ним электрическую машину, называется электромеханическим аккумулятором.

I.3. По роду питания локомотивы с электромеханическими аккумуляторами подразделяются на комбинированные - контактно-инерци-

онные (питание от контактной сети и инерционного аккумулятора) - и инерционные (питание от инерционного аккумулятора) с электромеханической передачей (от вала маховика к колесам локомотива).

I.4. Область применения рудничных локомотивов с электромеханическими аккумуляторами представлена в табл. I. Кроме того, рациональной областью применения контактно-инерционных локомотивов является поверхность шахт.

Таблица I

Область применения рудничных локомотивов с электромеханическими аккумуляторами	Тип локомотива			
	Выработки со свежей струей воздуха		Выработки с исходящей струей воздуха	Выработки, проветриваемые вентиляторами местного проветривания
	магистральные	промежуточные		
Шахты, не опасные по газу и пыли	КИ7 КИI0 КИI4 КИ28	КИ7 КИI0	КИ7''	КИ7'' КИI0''
Шахты, опасные по пыли, или I и II категорий по газу	КИ7 КИI0 КИI4 КИ28	КИ7 КИI0	ИЭ7 КИ7''	ИЭ7 КИ7'' КИI0''
Шахты III категории и сверхкатегорные	ИЭI0 ИЭI4 ИЭ28 КИ7'''' КИI0'''' КИI4'''' КИ28''''	ИЭ7 ИЭI0 КИ7'''' КИI0''''	ИЭ7 КИ7''	ИЭ7 КИ7'' КИI0''
Шахты, разрабатывающие выбросоопасные пласты или с суфлярными выделениями газа	ИЭI0 ИЭI4 ИЭ28	ИЭ7 ИЭI0 КИ7''	ИЭ7 КИ7''	ИЭ7 КИ7''

Обозначения:

КИ - контактно-инерционный локомотив;

ИЭ - инерционный локомотив с электромеханической передачей (от вала маховика к колесам локомотива);

,, - следует применять в режиме питания от инерционного аккумулятора;

'''' - допускается применять в режиме питания от контактной сети при наличии специального разрешения Госгортехнадзора и Минуглепрома СССР.

Табл. I составлена в соответствии с действующими "Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах", утвержденными Минуглепромом СССР I4.I2.72 г.

I.5. Энергосиловая установка локомотива должна обеспечивать:

пуск и движение локомотива с заданной скоростью;

торможение локомотива;

энергоснабжение локомотива при работе в режиме автономного питания.

I.6. Система управления энергосиловой установкой локомотива с электромеханическим аккумулятором должна обеспечивать:

регулирование тока (момента) тяговых двигателей при реализации локомотивом силы тяги и тормозной силы;

регулирование тока электрической машины электромеханического аккумулятора при заряде инерционного аккумулятора;

блокировку, препятствующую реверсированию тяговых двигателей при наличии на их зажимах напряжения;

автоматическое отключение питания электрической машины электромеханического аккумулятора при разгоне маховика до наибольшей рабочей частоты вращения;

защиту (максимальную) цепей энергосиловой установки локомотива от перегрузок по току и напряжению;

отсутствие электрического потенциала (относительно земли) на токоприемниках контактно-инерционных локомотивов при их работе в автономном (при питании тяговых двигателей от инерционных аккумуляторов) и тормозном режимах;

отключение питания тяговых двигателей и механическое торможение локомотива при уходе машиниста с рабочего места и заряде инерционного аккумулятора от трехфазной сети.

I.7. Рудничные локомотивы с электромеханическими аккумуляторами и стационарные зарядные агрегаты должны соответствовать требованиям действующих "Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах", "Правил устройства электроустановок", "Правил изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования", ГОСТ I2.2.003-74, ГОСТ 24754-8I, ГОСТ 2447I-80, ГОСТ 247I9-8I, ГОСТ 22782.0-8I, ГОСТ 24786-8I, ГОСТ 22782.I-77, ГОСТ 22782.2-77, ГОСТ 22782.3-77, ГОСТ 22782.4-78, ГОСТ 22782.5-78, ГОСТ 22782.6-8I, ГОСТ 22782.7-8I.

2. ВЫБОР СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНЫХ АГРЕГАТОВ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК ЛОКОМОТИВОВ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ АККУМУЛЯТОРАМИ

2.I. Энергосиловая установка локомотива с электромеханическим аккумулятором состоит из тягового электропривода и электромеханического аккумулятора.

2.2. На рудничных локомотивах с электромеханическими аккумуляторами рекомендуется применять тяговые двигатели последовательного возбуждения. Типы электрических машин, предлагаемые для использования в электромеханических аккумуляторах рудничных локомотивов, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип локомотива	Тип электрической машины
ИЭ7, КИ7, КИ10, КИ14, КИ28	Электрические машины постоянного тока параллельного или смешанного возбуждения
ИЭ10, ИЭ14	Электрические машины постоянного тока смешанного или независимого возбуждения

2.3. Для управления тяговыми двигателями рекомендуется использовать электромеханический аккумулятор (приложение I).

2.4. Заряд инерционных аккумуляторов локомотивов типа ИЭ должен производиться от зарядного устройства, питаемого от трехфазной сети переменного тока. Заряд в рабочем диапазоне частот вращения маховика рекомендуется осуществлять путем ослабления поля электрической машины электромеханического аккумулятора. При разгоне маховика от нулевой до наименьшей рабочей частоты вращения якорь электрической машины на его валу рекомендуется питать от источника тока.

2.5. Заряд инерционных аккумуляторов контактно-инерционных локомотивов в рабочем диапазоне частот вращения маховика должен производиться во время их работы от контактной сети путем ослабления поля электрической машины электромеханического аккумулятора. При разгоне маховика от нулевой до наименьшей рабочей частоты вращения якорь электрической машины на его валу рекомендуется питать от источника тока.

При эксплуатации контактно-инерционных локомотивов только в автономном режиме заряд их инерционных аккумуляторов производится так же, как и аккумуляторов локомотивов типа ИЭ (п. 2.4).

2.6. Значения основных энергетических показателей (энергоемкость инерционного аккумулятора $E_з$, отношение энергоемкости инерционного аккумулятора к времени заряда в рабочем диапазоне частот вращения $K_з$, отношение мощности тяговых двигателей к сцепной массе локомотива K_c) энергосиловых установок приведены в табл.3. Они выбираются в зависимости от сцепной массы и типа локомотива.

Таблица 3

Тип локомотива	Основные энергетические показатели		
	$E_з$, кВт.ч	$K_з$, кВт.ч/с	K_c, кВт/т
КИ7	I0	0,0I	2,5
КИI0	8	0,0I	2,5
КИI4	4	0,0I	3,5
КИ28	8	0,0I	3,5
ИЭ7	I0	0,0I	2,5
ИЭI0	25	0,0I	2,5
ИЭI4	40	0,0I	3,5
ИЭ28	80	0,0I	3,5

3. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНЕРЦИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

3.I. Маховик может быть изготовлен монолитным или путем набора из дисков.

3.2. Монолитный маховик и диски наборного маховика целесообразнее всего изготовлять в форме диска равной прочности без отверстия (приближенно равнопрочность диска достигается и при центральном отверстии, но с достаточно массивной ступицей).

Форма такого маховика (диска маховика) определяется по формуле

$$h = h_0 \exp\left(-\frac{\rho' \omega_н^2 r^2}{2\sigma}\right),$$

где h – текущая толщина маховика (диска маховика), соответствующая его радиусу r, м;

h_0 – толщина маховика (диска маховика) в центре, м;

ρ' – плотность материала маховика, кг/м^3;

$\omega_н$ – наибольшая рабочая угловая частота вращения маховика, рад/с;

r – текущий радиус маховика (диска маховика), м;

σ – допустимое напряжение материала маховика, Н/м^2.

Радиус маховика $r_м$ рекомендуется принимать наибольшим с учетом допустимых габаритов инерционного аккумулятора.

Маховик в форме равнопрочного диска может быть снабжен ободом (приложение 2, рис. I и 2), сечение которого определяется по формуле

$$F = \frac{\sigma r_д h}{\rho' \omega_н^2 r_д^2 - 0{,}72\sigma} .$$

3.3. Энергоемкость инерционного аккумулятора находится по формуле

$$E_з = \frac{J\omega_н^2}{2} ,$$

где J – момент инерции маховика, кг·м^2.

3.4. Момент аэродинамических потерь рассчитывается по формуле[x)]

$$M_{аэр} = Cz^5 \rho D^5 \omega_{иа}^2 ,$$

где C – коэффициент, зависящий от числа Рейнольдса $Re = \frac{\omega_{иа} D^2}{2\nu}$ (здесь $\omega_{иа}$ – угловая частота вращения инерционного аккумулятора, рад/с; D – диаметр маховика, м; ν – кинематическая вязкость среды вращения маховика, м^2/с);

z – коэффициент эквивалентности по аэродинамическим потерям: $z^2 = \frac{D_{экв}^2}{D^2}$, здесь $D_{экв}$ – диаметр тонкого диска с боковыми поверхностями, равными по площади поверхности трения реального маховика, м;

ρ – плотность среды, в которой вращается маховик, кг/м^3.

---

x) Петухов Н.Н. Исследование аэродинамических потерь на трение вращающихся маховиков шахтных инерционных локомотивов. – НРТ. Вып. 7. – М.: Госгортехиздат, I963, с. 223-240.

Плотность среды вращения маховика можно определить по формуле

$$\rho = \frac{p'}{RT},$$

где p' – давление среды, в которой вращается маховик, Н/м^2;

R – газовая постоянная, зависящая от природы газа (для воздуха R = 287,04 Дж/кг·К);

T – температура среды вращения, К.

При $Re = 3 \cdot 10^4 \div 6 \cdot 10^5$, т.е. ламинарном характере аэродинамического трения,

$$C = \frac{0{,}05875}{z\sqrt{Re}};$$

при $Re = 6 \cdot 10^5$, т.е. турбулентном характере аэродинамического трения,

$$C = \frac{0{,}00III25}{\sqrt[5]{Re\, z^2}}.$$

Кинематическая вязкость среды вращения маховика определяется по формуле

$$\nu = \frac{\mu}{\rho},$$

где μ – вязкость среды, в которой вращается маховик, Н·с/м^2 (μ принимается по "Таблицам физических величин". – М.: Атомиздат, I976. – I008 с).

3.5. Момент потерь в подшипниковых узлах рассчитывается по формуле (для шарикоподшипников)

$$M_n = 0{,}5\, G f d,$$

где G – вес маховика, Н;

f = 0,00I–0,004 – приведенный коэффициент трения в подшипниках;

d – диаметр вала под подшипником, м.

3.6. КПД инерционного аккумулятора в режиме разряда при $P = const$ (P – отдаваемая инерционным аккумулятором полезная мощность, Вт) определяется по универсальным характеристикам (приложение 3, рис. I, 2) или по формуле

$$\eta_{up} = \frac{2P}{(2BR_1^3 - P)(\omega_н^2 - \omega_к^2)} \left(R_1^2 \ln|\omega - R_1| - \frac{R_1}{2} \ln|\omega^2 + R_1\omega - P/R_1 B| - \right.$$

$$\left. - \frac{P/B - R_1^3/2}{\sqrt{-P/R_1 B - R_1^2/4}} \operatorname{arctg} \frac{\omega + R_1/2}{\sqrt{-P/R_1 B - R_1^2/4}} \right) \Bigg|_{\omega_к}^{\omega_н},$$

где

$$R_1 = \sqrt[3]{-P/2B + \sqrt{P^2/4B^2 + (M_n/3B)^3}} + \sqrt[3]{-P/2B - \sqrt{P^2/4B^2 + (M_n/3B)^3}},$$

$$B = C z^5 \rho D^5,$$

$\omega_к$ – наименьшая рабочая угловая частота вращения инерционного аккумулятора, рад/с.

3.7. Если камера вращения инерционного аккумулятора вакуумируется, то КПД рассчитывается по следующей формуле:

$$\eta_{ир} = \frac{2P}{(\omega_н^2 - \omega_к^2)M_n}\left(\omega\Big|_{\omega_к}^{\omega_н} - \frac{P\ln|\omega + P/M_n|}{M_n}\Big|_{\omega_к}^{\omega_н}\right).$$

3.8. Способ снижения аэродинамических потерь выбирается с учетом того, что КПД электромеханического аккумулятора в режиме разряда (при отдаваемой мощности, равной номинальной) должен быть не ниже 0,7.

Номинальным разрядным режимом электромеханического аккумулятора называется режим разряда, при котором значение тока в цепи якоря электрической машины электромеханического аккумулятора равно сумме номинальных значений токов тяговых двигателей и напряжение на ее зажимах равно номинальному напряжению тягового двигателя.

3.9. При выполнении рекомендаций п.3.8 и 2.6 КПД инерционного аккумулятора при заряде $\eta_{из}$ (в рабочем диапазоне частот вращения) составит более 0,8.

3.I0. Диапазон рабочих частот вращения маховика выбирается так, чтобы $\omega_н : \omega_к$ было не более 3 : I.

3.II. При проектировании монолитных маховиков запас прочности (отношение предела прочности $\sigma_в$ к наибольшему рабочему напряжению σ) следует принимать не менее 3-кратного.

3.I2. Перед эксплуатацией маховиков необходимо проводить их испытания при частоте вращения, превышающей $\omega_н$ не менее, чем в I,5 раза, с замером остаточных деформаций. В случае отсутствия остаточных деформаций гарантируется запас прочности не менее 2,25.

4. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АККУМУЛЯТОРА

4.I. При выборе параметров электрической машины электромеханического аккумулятора необходимо исходить из условий:

допустимого нагрева и допустимой перегрузочной способности машины;

обеспечения требуемого диапазона изменения напряжения на зажимах электромеханического аккумулятора в рабочем диапазоне частот вращения маховика;

обеспечения требуемого времени заряда инерционного аккумулятора.

4.2. Условие обеспечения требуемого времени заряда в рабочем диапазоне частот вращения маховика:

$$T_{тр} = \frac{E_з}{K_з} \geqslant T_з = J \int_{\omega_к}^{\omega_н} \frac{d\omega_{ид}}{M/i - M_c},$$

где $T_з$ – фактическое время заряда, с;

i – передаточное отношение редуктора электромеханического аккумулятора;

M – момент, развиваемый электрической машиной при заряде, Н·м;

M_c – приведенный к валу маховика суммарный момент сопротивления, Н·м.

Значения $K_з$ принимаются по данным табл. 3.

Если за время заряда $T_з$ мощность $P_з$, развиваемая электрической машиной электромеханического аккумулятора, постоянна, то

$$T_{тр} \geqslant T_з = \frac{E_з}{\kappa_р \eta_{ред} \eta_{из} P_з},$$

где $\kappa_р$ – коэффициент, учитывающий отношение $\omega_н : \omega_к$ (при $\omega_н : \omega_к = 3:I$ $\kappa_р = I{,}I25$; при $\omega_н : \omega_к = 2:I$ $\kappa_р = I{,}333$).

4.3. Нижний предел требуемого диапазона изменения напряжения электромеханического аккумулятора (в рабочем диапазоне частот вращения маховика) рассчитывается по условию сцепления колес локомотива с рельсами при его пуске.

Предельная сила тяги по условию сцепления одной ведущей колесной пары определяется из выражения

$$F_{тд_{max}} = \frac{\psi M_{сц} g}{n} ,$$

где ψ – коэффициент сцепления;

$M_{сц}$ – сцепная масса локомотива, кг;

n – количество тяговых двигателей.

Далее по зависимости силы тяги $F_{тд}$ от тока в цепи якоря тягового двигателя $I_{тд}$ находится наибольшее значение тока тягового двигателя $I_{тд\,max}$ по условию сцепления.[x)]

После этого определяется наименьшее значение напряжения на зажимах электромеханического аккумулятора:

$$U_{н} = a I_{тд\,max} R_{тд} ,$$

где a – количество последовательно включенных тяговых двигателей;

$R_{тд}$ – сопротивление тягового двигателя, Ом.

Верхний предел требуемого диапазона изменения напряжения в режиме разряда электромеханического аккумулятора (в рабочем диапазоне частот вращения маховика) должен быть не менее номинального напряжения на зажимах тягового двигателя, т.е.

$$U_{в} \geq U_{н\,тд} ,$$

где $U_{н\,тд}$ – номинальное напряжение на зажимах тягового двигателя, В.

Нижний предел требуемого диапазона изменения ЭДС электромеханического аккумулятора контактно-инерционного локомотива при его заряде в рабочем диапазоне частот вращения маховика определяется из выражения

$$E \geq U_{кс} - I_{ня} \lambda R_{я} ,$$

где $U_{кс}$ – напряжение контактной сети, В;

$I_{ня}$ – номинальный ток якоря электрической машины электромеханического аккумулятора, А;

λ – перегрузочная способность электрической машины электромеханического аккумулятора;

$R_{я}$ – суммарное сопротивление цепи якоря электрической машины электромеханического аккумулятора, Ом.

---

x) Зависимости $F_{тр}(I_{тд})$ эксплуатируемых в настоящее время тяговых двигателей приведены в "Основных положениях по проектированию подземного транспорта новых и действующих угольных шахт" (М.: ИГД им.А.А.Скочинского, 1977, 174 с.).

4.4. Для самовозбуждения электрической машины электромеханического аккумулятора в рабочем диапазоне частот вращения маховика необходимо, чтобы выполнялось одно из следующих условий:

$$K_{эм}\omega_{min}\left.\frac{\partial \Phi_{эм}(i_в, i_я)}{\partial i_я}\right|_{I_в=0} > R_я + \frac{a\,R_{тд}}{б},$$

$$K_{эм}\omega_{min}\left.\frac{\partial \Phi_{эм}(i_в, i_я)}{\partial i_в}\right|_{I_я=0} > R_в + R_я,$$

где $$\omega_{min} = \frac{\omega_к}{i}, \text{ рад/с};$$

$K_{эм}$ – конструктивный коэффициент электрической машины;

$\Phi_{эм}$ – поток электрической машины, Вб;

$I_я$ – ток в цепи якоря электрической машины электромеханического аккумулятора, А;

$б$ – количество параллельно включенных тяговых двигателей;

$R_в$ – сопротивление параллельной обмотки возбуждения электрической машины, Ом;

$I_в$ – ток в цепи параллельной обмотки возбуждения электрической машины электромеханического аккумулятора, А.

4.5. Для обеспечения устойчивой работы электромеханического аккумулятора в режиме разряда необходимо, чтобы в рабочем диапазоне тока якоря $I_я$ и требуемом диапазоне изменения напряжения электрической машины электромеханического аккумулятора выполнялось условие

$$\frac{a\,u_{тд}}{a\,i_я} > \frac{\partial u_э}{\partial i_я},$$

где $u_{тд}$ – напряжение на зажимах тяговых двигателей, В;

$u_э$ – напряжение на зажимах электрической машины электромеханического аккумулятора, В.

4.6. Условия допустимого нагрева и допустимой перегрузочной способности:

$$I_д \geq \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k} I_{эi}^2 T_{эi} + \sum_{i=1}^{k} I_{пi}^2 T_{пi}}{T_э + T_п + T_{пп}}},$$

$$I_{пi} \leq I_{ня}\,\lambda,$$

$$I_{эi} \leq I_{ня}\,\lambda,$$

где $I_д$ – допустимый ток электрической машины в продолжительном режиме работы, А;

$I_з$ – ток якоря электрической машины электромеханического аккумулятора при заряде инерционного аккумулятора, А;

$T_з$ – время заряда аккумулятора, с;

$I_п$ – ток якоря электрической машины при питании тяговых двигателей ст электромеханического аккумулятора, А;

$T_п$ – время питания тяговых двигателей от электромеханического аккумулятора, с;

$T_{пп}$ – время пауз, с.

4.7. КПД электромеханического аккумулятора при разряде с постоянным напряжением и током рассчитывается по формуле

$$\eta_{эмя} = \frac{2U_э I_я}{(2BR_2^3 - P_1)(\omega_н^2 - \omega_к^2)} \left(R_2^2 \ell n|\omega - R_2| - \frac{R_2^2}{2} \ell n|\omega^2 + \right.$$

$$\left. + R_2\omega - \frac{P_1}{R_2 B}| - \frac{P_1/B - R_2^3/2}{\sqrt{-P_1/R_2B - R_2^2/4}} \operatorname{arctg} \frac{\omega + R_2/2}{\sqrt{-P_1/R_2B - R_2^2/4}} \right) \Bigg|_{\omega_к}^{\omega_н},$$

где

$$P_1 = U_э I_я + P_{ст} + P_{эл} + P_{мех} + P_{доб} + P_{ред};$$

$P_{ст}$ – потери в стали электрической машины, Вт;

$P_{эл}$ – электрические потери в электрической машине электромеханического аккумулятора, Вт;

$P_{мех}$ – механические потери в электрической машине электромеханического аккумулятора, Вт;

$P_{доб}$ – добавочные потери в электрической машине, Вт;

$P_{ред}$ – потери в редукторе, Вт;

$$R_2 = \sqrt[3]{-\frac{P_1}{2B} + \sqrt{\frac{P_1^2}{4B^2} + \left(\frac{M_п}{3B}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{P_1}{2B} - \sqrt{\frac{P_1^2}{4B^2} + \left(\frac{M_п}{3B}\right)^3}}.$$

5. РАСЧЕТ ВОЗМОЖНОГО ЧИСЛА РЕЙСОВ ДО ПОЛНОГО РАЗРЯДА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АККУМУЛЯТОРА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ МАССЫ ПОЕЗДА И КОЛИЧЕСТВА РАБОЧИХ ЛОКОМОТИВОВ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ АККУМУЛЯТОРАМИ

5.I. Возможное число рейсов до полного разряда электромеханического аккумулятора определяется следующим образом:

$$\tau_э = \frac{1000 E_э \eta_{эмя}}{\alpha \kappa_р U_{ср} I_{яср} T_р},$$

где $E_э$ – энергоемкость инерционного аккумулятора, кВт·ч;

$\eta_{эма}$ – КПД электромеханического аккумулятора, определяемый по формуле, приведенной в п. 4.7;

α = I,05-I,3 – коэффициент, учитывающий неравномерность нагрузки локомотива в течение рейса;

$U_{ср}$ – среднее напряжение на зажимах электромеханического аккумулятора за время рейса, В;

$I_{я\,ср}$ – средний ток в цепи якоря электромеханического аккумулятора за время рейса, А;

$T_р$ – время рейса, ч.

Значения $\kappa_р$ приведены в п. 4.2.

5.2. Необходимое количество рабочих инерционных и контактно-инерционных локомотивов (при эксплуатации только в автономном режиме работы) определяется по формуле

$$N_р = \frac{\tau_р}{\tau},$$

где $\tau_р$ – необходимое число рейсов в смену для вывоза груза, доставки людей и материалов;

τ – число возможных рейсов одного локомотива в смену,

$$\tau = \frac{T_о - T_{зм}}{\tau_э T_р + T_з/3600}\,\tau_э,$$

здесь $T_о$ – чистое время работы локомотивной откатки в смену (принимается на 30 мин меньше продолжительности смены), ч;

$T_{зм}$ – время разгона маховика от нулевой до наименьшей рабочей частоты вращения, ч.

При эксплуатации контактно-инерционных локомотивов в режиме комбинированного питания

$$\tau = \frac{T_о - T_{зм}}{T_р}.$$

5.3. Резервное количество локомотивов, энергозатраты и допустимая масса поезда определяются согласно "Основным положениям по проектированию подземного транспорта новых и действующих угольных шахт" (М.: ИГД им. А.А.Скочинского, I977, I74 с.).

СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО АККУМУЛЯТОРА И ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

При питании локомотива от электромеханического аккумулятора последний включается параллельно тяговым двигателям (рис. I). Управление моментом (током) тяговых двигателей производится путем изменения тока возбуждения $i_в$ (следовательно, и ЭДС) электрической машины электромеханического аккумулятора.

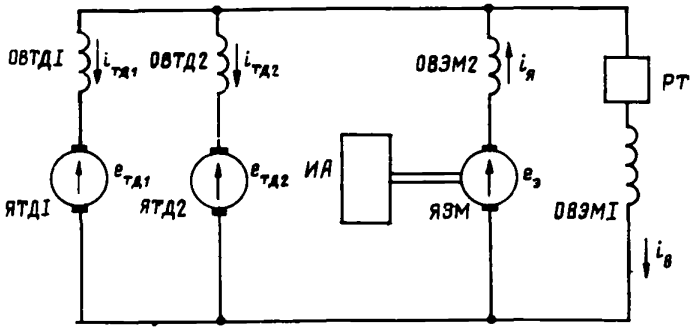


Рис. I. Схема включения тяговых двигателей и электромеханического аккумулятора при питании локомотива от инерционного накопителя:

ОВТД1, ОВТД2 – обмотка возбуждения тяговых двигателей; ЯТД1, ЯТД2 – якорь тяговых двигателей; ЯЭМ – якорь электрической машины электромеханического аккумулятора; ОВЭМ1, ОВЭМ2 – обмотка возбуждения электрической машины электромеханического аккумулятора; ИА – инерционный аккумулятор; РТ – регулятор тока

При питании контактно-инерционного локомотива от контактной сети также рекомендуется для управления тяговыми двигателями применять электромеханический аккумулятор, который в этом случае включается последовательно с тяговыми двигателями (рис. 2). Управление моментом (током) тяговых двигателей производится путем изменения тока возбуждения $i_в$ электрической машины электромеханического аккумулятора.

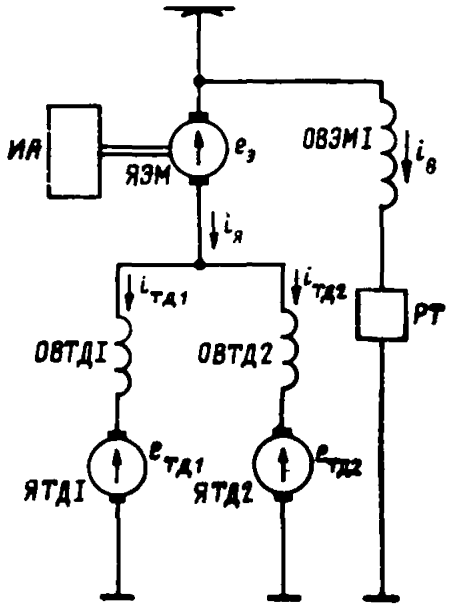


Рис.2. Схема включения тяговых двигателей и электромеханического аккумулятора при питании контактно-инерционного локомотива от контактной сети:

ОВТДI, ОВТД2 - обмотка возбуждения тяговых двигателей; ЯТДI, ЯТД2 - якорь тяговых двигателей; ЯЭМ - якорь электрической машины электромеханического аккумулятора; ОВЭМI - обмотка возбуждения электрической машины электромеханического аккумулятора; ИА - инерционный аккумулятор; РТ - регулятор тока

Приложение 2

ФОРМЫ МАХОВИКОВ

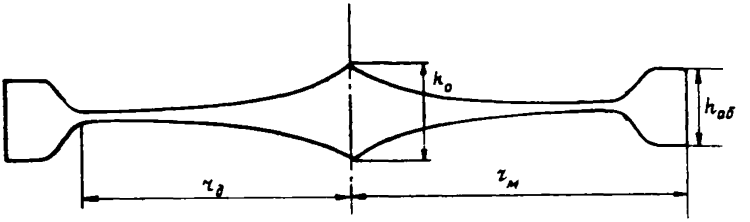


Рис. 1. Форма равнопрочного маховика (диска маховика), снабженного ободом

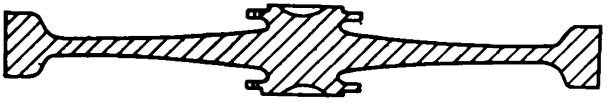


Рис. 2. Форма равнопрочного маховика (диска маховика) с ободом, снабженного цапфами для крепления к валу

Приложение 3

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

I. Дано: момент аэродинамических потерь при $\omega_н$ = 3I4 рад/с $M_{аэр.н}$ = I5 Н·м; $M_п$ = 3 Н·м; $P = const$ = 20 кВт; $\omega_к$ = I04,7 рад/с.

Определить КПД инерционного аккумулятора в режиме разряда.

Решение. Находим

$$h_1 = \frac{P}{M_{аэр.н}\,\omega_н} = \frac{20000}{15 \cdot 314} = 4{,}25;$$

$$h_2 = \frac{M_п}{M_{аэр.н}} = \frac{3}{15} = 0{,}2.$$

Определяем $h = \omega_к : \omega_н$ = I04,7 : 3I4 = I : 3.

При h = I:3 КПД определяется по универсальным характеристикам, приведенным на рис. I (при h = I:I,5 КПД определяется по универсальным характеристикам, приведенным на рис. 2).

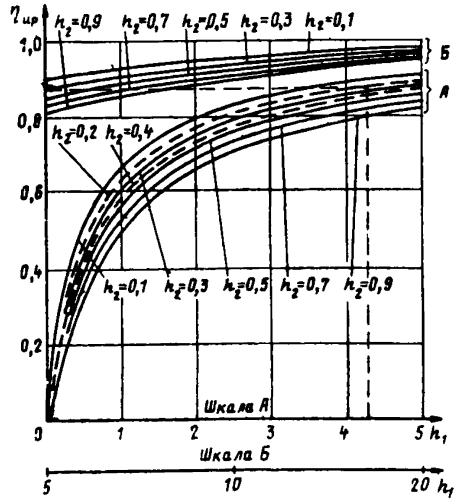


Рис. I. Универсальные характеристики для определения КПД инерционных аккумуляторов в режиме разряда при $P = const$ и $h = 1:3$

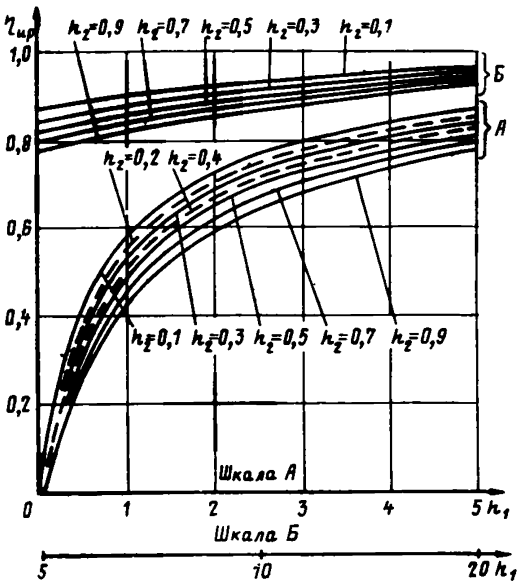


Рис. 2. Универсальные характеристики для определения КПД инерционных аккумуляторов в режиме разряда при $P = const$ и $h = 1 : 1,5$

При $h_1 < 5$ число, соответствующее полученному значению h_1, будем отыскивать на шкале А. Находим на шкале А число 4,25. Восстанавливаем из этой точки перпендикуляр до пересечения с кривой шкалы А, вдоль которой значения h_2 равны 0,2. Из точки пересечения проводим линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения этой линии с осью ординат. Отрезок, отсекаемый на оси ординат, и есть значение КПД инерционного аккумулятора, которое в данном случае равно 0,87.

2. Дано: сцепная масса локомотива $M_{сц}$ = 7000 кг, тип тяговых двигателей ДПТР-I2, $R_{ТД}$ = 0,I226 Ом, n = 2.

Определить нижний предел $U_н$ требуемого диапазона изменения напряжения на зажимах электромеханического аккумулятора при параллельном включении тяговых двигателей.

Решение. Находим предельную силу тяги по условию сцепления на сухих, практически чистых рельсах (ψ = 0,I7) (п. 4.3):

$$F_{ТД\,max} = \frac{\psi M_{сц}\, g}{n} = \frac{0{,}I7 \cdot 7000 \cdot 9{,}8I}{2} = 5837 \text{ Н}.$$

По зависимости $F_{ТД}(I_{ТД})$ находим: $I_{ТД\,max}$ = I20 А. После этого определяем $U_н$:

$$U_н = I_{ТД_{max}} R_{ТД} = I20 \cdot 0{,}I226 = I4{,}7 \text{ В} \approx I5 \text{ В}.$$

3. Дано: число возможных рейсов локомотива до полного разряда электромеханического аккумулятора $\tau_э$ = I,2; время рейса $T_р$ = = 80 мин = I,33 ч; чистое время работы локомотивной откатки в смену $T_о$ = 5,5 ч; время заряда аккумулятора в рабочем диапазоне частот вращения $T_з$ = I500 с = 0,4I7 ч; время разгона маховика от нулевой до наименьшей рабочей частоты вращения $T_{зн}$ = = 0,I ч.

Определить число возможных рейсов локомотива за смену.

Решение. Число возможных рейсов локомотива за смену находим по формуле (п. 5.2):

$$\tau = \frac{T_о - T_{зн}}{\tau_э T_р + T_з}\,\tau_э = \frac{5{,}5-0{,}I}{I{,}2 \cdot I{,}33+0{,}4I7} \cdot I{,}2 = 3{,}2.$$

4. Дано: энергоемкость инерционного аккумулятора $E_з \approx 8$ кВт·ч, плотность материала ρ' = 7850 кг/м^3, наибольшее значение рабочих напряжений $\sigma = 2 \cdot I0^8$ Н/м^2, радиус маховика $r_м \leq 0{,}6$ м.

Определить размеры маховика.

Решение. Принимаем наибольшую рабочую угловую частоту вращения $\omega_н$= 500 рад/с. Согласно рекомендациям пп.3.I;3.2 маховик выполним из равнопрочных дисков (приложение 2). Принимаем толщину диска в центре h_0 = 0,I м, а радиус равнопрочного диска $r_д$ = 0,5 м.

Тогда толщина диска на периферии (п. 3.2) определяется по формуле

$$h = h_0 \exp\left(-\frac{\rho'\omega_н^2 r_g^2}{2\sigma}\right) = 0{,}0293 \text{ м}.$$

Сечение обода (п. 3.2) рассчитывается следующим образом:

$$F = \frac{\sigma_г h}{\rho'\omega_н^2 r_g^2 - 0{,}72\sigma} \approx 0{,}0085 \text{ м}^2.$$

Радиус маховика $r_м$ при толщине обода $h_{об} = h_0$ составит 0,585 м, а момент инерции обода будет

$$J_{об} = \pi\rho'\left(r_м^4 - r_g^4\right)\frac{h_{об}}{2} = 67{,}3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Энергия, запасаемая ободом,

$$E_{об} = \frac{J_{об}\omega_н^2}{2} = 8{,}4I\cdot I0^6 \text{ Дж} = 2{,}337 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Энергия, запасаемая равнопрочным диском,

$$E_g = \frac{\pi\gamma_{об}^2}{\rho'\omega_н^2}\left(-\frac{\rho'\omega_н^2 r_g^2}{2\sigma}e^{-\frac{\rho'\omega_н^2 r_g^2}{2\sigma}} - e^{-\frac{\rho'\omega_н^2 r_g^2}{2\sigma}} + 1\right) =$$

$$= 2{,}225\cdot I0^6 \text{ Дж} = 0{,}6I8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Энергия, запасаемая равнопрочным диском с ободом,

$$E_{go} = E_{об} + E_g = 2{,}955 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Для обеспечения заданной энергоемкости $E_з \approx 8$ кВт·ч маховик необходимо выполнить из трех таких дисков. Тогда запасаемая маховиком энергия составит

$$E_\Sigma = 8{,}87 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

СОДЕРЖАНИЕ

1. Область применения рудничных локомотивов с электромеханическими аккумуляторами и основные требования, предъявляемые к их энергосиловым установкам I
2. Выбор структуры и параметров основных агрегатов энергосиловых установок локомотивов с электромеханическими аккумуляторами 4
3. Расчет основных параметров инерционных аккумуляторов 5
4. Выбор параметров электрической машины электромеханического аккумулятора 9
5. Расчет возможного числа рейсов до полного разряда электромеханического аккумулятора, определение допустимой массы поезда и количества рабочих локомотивов с электромеханическими аккумуляторами I2
Приложение I I4
Приложение 2 ..... I6
Приложение 3 ..... I7

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК РУДНИЧНЫХ ЛОКОМОТИВОВ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ АККУМУЛЯТОРАМИ

РТМ I2.I4.00I-82
Редактор Н.Д.Карпова.
Художественный редактор Л.И.Акулова.
Подписано к печати 25.01.84. Т03420
Формат 62,5х84 1/16. Бумага писчая.
Печать офсетная.
Уч.-изд.л. 1,25. Тираж 400 экз.
Изд.№ 8992. Тип.зак. 572
Цена 15 коп.
Институт горного дела им.А.А.Скочинского,
140004, г.Люберцы Моск.обл.
Типография Минуглепрома СССР,
140004, г.Люберцы Моск.обл.

gost.e-ecolog.ru