

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Инженер УСАЧЕВ С. М.

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ РЕОСТАТНОГО ТОРМОЖЕНИЯ
С ФОРСИРОВАННЫМ ПОДВОЗБУЖДЕНИЕМ ДВИГАТЕЛЕЙ
ОТ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Специальность № 05.433—подвижной состав
и тяга поездов

Диссертация написана на русском языке

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Днепропетровск, 1972

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском, проектно-конструкторском и технологическом институте электровозостроения (ВЭЛНИИ).

Официальные оппоненты:

заслуженный деятель науки и техники УССР, доктор технических наук **С. А. Волотковский**;

кандидат технических наук **В. Д. Тулупов**.

Ведущие предприятия: Новочеркасский ордена Ленина электровозостроительный завод и Днепронетровский электровозостроительный завод

Автореферат разослан « 15. » *мая* . . . 1972 г.

Защита диссертации состоится « 16. » *июня* 1972 г.

на заседании ученого совета Днепронетровского института инженеров железнодорожного транспорта, г. Днепронетровск-10, ул. Университетская 2, ДИИТ

ституту

доцент

еке III-

наук,

**НТБ
ДНУЖТ**

В Директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 годы перед угольной промышленностью поставлена большая задача довести добычу угля в 1975 году до 685—695 млн. тонн. Успешное решение ее предполагает техническое перевооружение предприятий на основе комплексной механизации и автоматизации всего технологического процесса добычи полезного ископаемого.

Важным звеном технологического комплекса является интенсивное увеличение добычи полезных ископаемых открытым способом с помощью железнодорожного транспорта, как самого дешевого и регулярно действующего в различных климатических условиях. При использовании электрической тяги для вывозки полезных ископаемых и вскрыши с нагорных и глубинных карьеров электровозы должны быть оборудованы реостатным тормозом, обеспечивающим надежное подтормаживание поезда при движении по спуску.

Реостатное торможение широко применяется на магистральном и промышленном электроподвижном составе. Это обусловлено тем, что реостатное торможение повышает надежность и безопасность эксплуатации, обеспечивает механически устойчивую характеристику при торможении на спусках, дает экономию эксплуатационных расходов по замене тормозных колодок, осмотру и ремонту тормозной системы и бандажей, существенно облегчает управление тормозным процессом.

Вопросам расчета, разработки и исследования различных систем реостатного торможения в отечественной и зарубежной литературе посвящено большое количество работ.

Над созданием надежного плавного автоматического регулирования тормозного процесса на электроподвижном составе постоянного и переменного тока работают многие ведущие советские и зарубежные исследователи. Разработка и создание систем реостатного торможения для железнодорожного электроподвижного состава проводится в Московском энергетическом институте под руководством д. т. н.

Трахтмана Л. М., д. т. н. Мвинова Д. К., к. т. н. Тулупова В. Д. и в ЦНИИ МПС под руководством д. т. н. Тихменева Б. Н.

Однако, расчет и исследование системы реостатного торможения при форсированном подвозбуждении двигателей от силовой выпрямительной установки не рассматривались.

Задача настоящей работы заключается в разработке схемы реостатного торможения при форсированном подвозбуждении двигателей от силовой выпрямительной установки и проведении теоретических и экспериментальных исследований процесса перехода двигателей из режима тяги в режим реостатного торможения. Необходимо отметить, что снижение веса и габаритов тормозного оборудования, увеличение надежности схемы, уменьшение времени перехода из режима тяги в режим реостатного торможения до величины, отвечающей требованиям работы электроподвижного состава на спусках 40—60%, и возможность работы схемы торможения как при наличии, так и при отсутствии напряжения в контактной сети, являются основными вопросами при решении поставленной задачи. Им подчинены вопросы аналитического расчета, эксперимента и применения АВМ.

В реферируемой работе дан анализ существующих в настоящее время систем реостатного торможения, применяемых на электровозах постоянного и переменного токов, показана необходимость разработки и исследования новой системы реостатного торможения, разработан алгоритм и проведены исследования возможности перехода из режима тяги в режим торможения на электронной модели. Проведены исследования системы торможения и на тяговом агрегате ОПЭ1-003, показана сходимость предлагаемого метода расчета тормозных характеристик с результатами эксперимента, а также отличие и преимущество предлагаемой системы торможения промышленных электровозов по сравнению с известными.

Работа состоит из четырех глав и заключения, краткое содержание которых приведено ниже.

Г Л А В А I.

В первой главе изложены основные требования, предъявляемые к реостатному торможению промышленных электровозов, а также проведен анализ работ, посвященных разработке и расчету схем реостатного торможения.

Специфические условия работы промышленных электровозов объясняются тем, что профиль железнодорожных путей

открытых горных разработок характеризуется значительными уклонами, протяженность которых составляет до 50% общей длины плеча. В плане железнодорожный путь имеет короткие горизонтальные площадки после уклонов, тупики незначительной длины и кривые с малым радиусом закругления. Напряженные контактной сети часто отключаются от перегрузок, коротких замыканий и обрывов. Скорость движения электровозов на спуске составляет 20—25 км/ч, на ровных участках — 30—35 км/ч, на забойных и отвальных участках пути не превышает 15 км/ч. Поэтому промышленные электровозы должны оборудоваться реостатным тормозом, действие которого не зависит от наличия напряжения в контактной сети. При движении электровоза по крутому спуску или по переломному профилю пути схема должна обеспечивать быстрый переход из режима тяги в режим реостатного торможения и наоборот, а также обеспечивать наличие больших тормозных усилий в диапазоне скоростей движения 35—10 км/ч.

Исходя из предъявляемых требований к реостатному торможению промышленных электровозов, при анализе существующих схем реостатного торможения предпочтение отдавалось тем схемам, которые обеспечивают действие реостатного тормоза как при наличии, так и при отсутствии напряжения в контактной сети, быстрый переход из режима тяги в режим торможения и максимальные тормозные силы в широком диапазоне скоростей движения.

Из анализа схем реостатного торможения установлено, что требованиям эксплуатации промышленных электровозов на открытых горных разработках наиболее полно удовлетворяют две схемы: схема реостатного торможения с независимым возбуждением при использовании одного тягового двигателя в качестве возбuditеля и схема с последовательным возбуждением. Но схема торможения с использованием одного двигателя в качестве возбuditеля не обеспечивает максимальной тормозной силы из-за того, что не все двигатели работают в режиме торможения, а схема с последовательным возбуждением усложняет и затягивает переход от тяги к торможению. Поэтому необходимо создание такой схемы реостатного торможения, которая сочетала бы положительные свойства схем торможения с независимым и последовательным возбуждением тяговых двигателей.

Проведенные расчеты допустимого времени перехода из режима тяги в режим торможения показывают, если в мо-

мент перевода двигателей от тяги к торможению поезд двигался со скоростью 25 км/час на спуске 40%, то ограничение по максимальному напряжению на коллекторах тяговых двигателей наступит через 12 сек., а если действие реостатного тормоза ограничено скоростью движения 35 км/час, то время перехода двигателей от тяги к торможению составляет: при движении на спуске 40%—8 сек.; на спуске 80%—4 сек., если действие реостатного тормоза ограничено скоростью движения 30 км/час, то время перехода составляет: на спуске 40%—4 сек.; на спуске 80%—2 сек.

Учитывая замечательное на перспективу увеличение скоростей движения промышленного транспорта, уклонов, веса поездов, а также учитывая психологические факторы, действующие на машиниста при ожидании начала действия тормоза электровоза, движущегося по спуску, время перехода от тяги к торможению необходимо уменьшить до 2—3 сек. Кроме того, быстрый переход необходим при движении поезда по переломному профилю пути и для более эффективного использования реостатного тормоза за счет применения его на коротких участках ж. д. пути.

ГЛАВА II

Вторая глава посвящена разработке схемы реостатного торможения и методике расчета тормозных характеристик при форсированном подвозбуждении двигателей от выпрямительной установки, а также проверке устойчивости переходных процессов и вероятности безотказной работы узлов схемы.

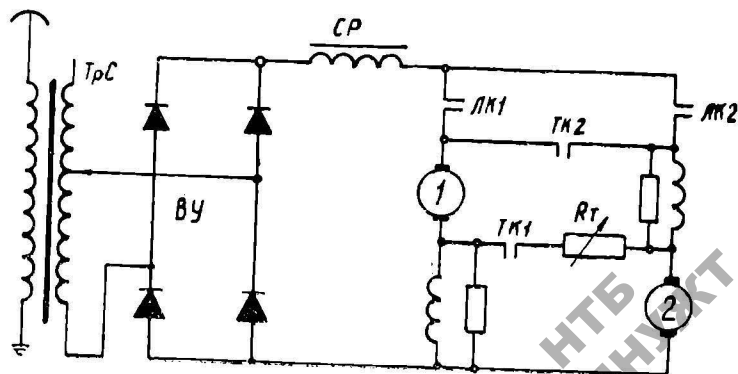


Рис. 1

Для удовлетворения условий эксплуатации промышленных электровозов предложена схема реостатного торможения с форсированным подвозбуждением двигателей от выпрямительной установки, которая свободна от вышеуказанных недостатков (см. рис. 1). В схеме отсутствуют тормозные переключатели, служащие для разбора схемы тягового режима и сборки схемы тормозного режима. Напряжение, подводимое к тяговым двигателям в моторном режиме, не отключается и служит для форсировки процесса возбуждения двигателей в тормозном режиме. Если переход в режим торможения осуществляется при отсутствии напряжения в контактной сети, то форсировка подвозбуждения может быть осуществлена от аккумуляторной батареи через статический преобразователь.

Протекание тока от выпрямительной установки по обмоткам возбуждения двигателей приводит к усилению их поля и так как в момент перехода скорость электровоза остается практически неизменной, то ЭДС тяговых двигателей резко возрастает. При определенных значениях величины напряжения на выпрямительной установке, скорости движения и величины тормозного сопротивления, тяговые двигатели или переходят в режим торможения или остаются работать в моторном режиме, но с меньшей силой тяги и с меньшей скоростью вращения. В этом случае для перевода двигателей в режим торможения необходимо уменьшить или величину напряжения выпрямительной установки или величину тормозного сопротивления.

В результате проведенных расчетов тормозных характеристик с подвозбуждением двигателей от выпрямительной установки получены формулы, позволяющие построить зависимости $E = f(V)$.

$$E = I_a (r_a + r_b + 2R_T) + I_{by} (r_b + R_T),$$

где E —ЭДС тягового двигателя в в;

I_a —ток якоря тягового двигателя в а;

I_{by} —ток, протекающий по обмоткам возбуждения от выпрямительной установки в а;

r_a , r_b —сопротивления обмоток якоря и возбуждения двигателей соответственно в ом;

R_T — тормозное сопротивление в ом;

С другой стороны, величина ЭДС двигателя определяется как:

$$E = V \cdot C \cdot \Phi,$$

где V —скорость движения электровоза в км/час;
 C —постоянная намагничивания;
 Φ —магнитный поток.

$$I_a = \frac{U_{вз} I_{вз} (2r_a + R_r)}{2(r_a + R_r)}$$

где $U_{вз}$ —напряжение выпрямительной установки в в.

$$V = \frac{I_a(r_a + 2R_r) - I_{вз}(r_a + R_r)}{C\Phi}$$

Согласно принципу работы схемы торможения с подвозбуждением от выпрямительной установки токи якоря и выпрямительной установки могут принимать значения, равные нулю в различное время. Когда ток якоря равен нулю, ток выпрямительной установки имеет максимальное значение, определяемое величиной напряжения $U_{вз}$, величиной тормозного сопротивления R_r и двух обмоток возбуждения r_a . Когда ток выпрямительной установки равен нулю, ток якоря определяется величиной скорости движения и величиной тормозного сопротивления.

Полагая поочередно токи якоря I_a и $I_{вз}$ равными нулю и используя внешние характеристики выпрямительной установки, по вышеописанным уравнениям определяется скорость движения электровоза.

Величина тормозной силы определяется по известной формуле:

$$B = 0,367 I_a C\Phi \quad \text{зВ}$$

Проведенные расчеты показывают, что зона электрической устойчивости при подвозбуждении от выпрямительной установки больше, чем у схемы с последовательным возбуждением; надежность схемы с подвозбуждением выше более чем в 4 раза, чем схемы торможения с независимым возбуждением, использующей двигатель в качестве возбудителя.

Г Л А В А III.

В третьей главе приведены исследования схемы реостатного торможения на электронной модели.

При создании новых схем реостатного торможения необходимо обеспечить высокую надежность работы схемы как в установившихся, так и в нестационарных режимах работы. Наиболее важными требованиями при этом являются электрическая устойчивость системы торможения и практически приемлемое качество переходных процессов в цепи тягового двигателя.

Для исследования на электрошлюпной модели процесса перехода двигателей из режима тяги в режим реостатного торможения использовался метод математического моделирования, разработанный Всесоюзным научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом электровозостроения.

При исследовании было сделано допущение, заключающееся в том, что скорость протекания электрических процессов во время нестационарного режима примерно на три порядка выше, чем изменение скорости движения электровоза с составом, поэтому, с достаточной степенью точности, можно принять последнюю в течение всего переходного процесса постоянной.

При составлении эквивалентной схемы учитывалось действие вихревых токов с помощью короткозамкнутой обмотки, которая наносилась на магнитопровод тягового двигателя.

Параметры этой обмотки определялись в виде:

$$r_{\text{вх}} = f \left(\frac{\Phi}{\Phi_{\text{н}}} \right)$$

При составлении исходных уравнений учитывались следующие факторы:

1. Нелинейность кривой намагничивания тягового двигателя.
2. Коэффициент рассеяния в течение переходного процесса принимался постоянным.
3. Вихревые токи, наводящиеся в магнитной системе тягового двигателя.
4. Индуктивность якорной цепи.

Проведенные исследования показывают, что нелинейность кривой намагничивания и реакцию якоря, при расчете режима перехода на аналоговой машине, целесообразно учитывать по нагрузочной характеристике тягового двигателя.

Изменение потока рассеяния необходимо учитывать по формуле:

$$\Phi_s = \frac{\Phi_0(\sigma_0 - 1) (i_n W_n + i_{\text{вх}} W_{\text{вх}} + i W_{\text{рл}})}{i_0 W_n}$$

где Φ_s — текущее значение потока рассеяния в переходном режиме;

σ_0 — коэффициент рассеяния в стационарном режиме при токе возбуждения i_0 ;

Φ_0 — магнитный поток в зазоре у якоря в стационарном режиме;

$i_n W_n$, $i_{\text{вх}} W_{\text{вх}}$, $i W_{\text{рл}}$ — намагничивающая МДС, определяющаяся как сумма МДС возбуждения, вихревых токов и МДС реакции якоря.

Коэффициент рассеяния главных полюсов двигателей может меняться в значительных пределах, поэтому при расчете переходного процесса учитывался его переменный характер и изменение потокосцепления главных полюсов во времени записывались в виде:

$$2PW_n \frac{d\Phi_n}{dt} = 2PW_n \frac{(\Phi - \gamma \Phi_s)}{dt},$$

где $\gamma = 0,7-0,8$ — коэффициент сцепления потока рассеяния с обмоткой возбуждения.

Исследования проводились на аналоговой вычислительной машине типа МН-7 для схемы реостатного торможения применительно к тяговому агрегату ОПЭ 1 с тяговыми двигателями НБ-412П.

Протекание токов в цепях тяговых двигателей при работе их в моторном режиме описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{1}{L_a} \left[e_2 - \left(\frac{r_n + r_{cp}}{6} - r_a \right) i_{a1} - \left(\frac{r_n + r_{cp}}{6} + r_a \right) i_{a2} - C_n \Phi - i_n r_n \right] = \frac{di_{a1}}{dt} - \frac{di_{a2}}{dt} + \frac{1}{L_a} \left(L_n \frac{di_n}{dt} + \frac{d\psi_B}{dt} + \frac{d\psi_{cp}}{dt} \right) \quad (1)$$

$$\frac{1}{L_a} \left[-c_2 - \left(\frac{r_n + r_{cp}}{6} - r_a \right) i_{a1} - \left(\frac{r_n + r_{cp}}{6} - r_a \right) i_{a2} - C_n \Phi - I_n r_n \right] \\ = \frac{di_{a2} - di_a}{dt} - \frac{1}{L_a} \left(L_n \frac{di_n}{dt} - \frac{d\psi_n}{dt} + \frac{d\psi_{cp}}{dt} \right) \quad (2)$$

$$i_{a1} - i_{a2} - 6i_n \quad (3)$$

$$\Phi = i(i_n W_n) \quad (4)$$

$$i_n W_n = i_n W_n \pm i_{nx} W_{nx} \quad (5)$$

$$\psi_{cp} = f(i_{cp}) \quad (6)$$

$$i_n = i_n + i_m \quad (7)$$

$$i_n r_n + \frac{d\psi_n}{dt} = i_m r_m \quad (8)$$

$$= \frac{(i_n W_n \pm i_{nx} W_{nx}) \Phi_n (\sigma_n - 1)}{i_{n0} W_n} \quad (9)$$

$$r_{nx} = f\left(\frac{\Phi}{\Phi_n}\right) \quad (10)$$

$$\frac{d\psi_n}{dt} \pm i_{nx} r_{nx} = 0 \quad (11)$$

Протекание токов в цепях тяговых двигателей, при работе их в тормозном режиме, описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{1}{L_a} \left[c_2 - (r_a + r_{cp}) i_{a1} - (r_a - r_{cp}) i_{a2} - (2r_a + R_r) i_n + R_1 i_n \right] = \\ = \frac{di_{a1}}{dt} - \frac{di_{a2}}{dt} + \frac{1}{L_a} \frac{d\psi_{cp}}{dt} \quad (12)$$

$$\frac{\dot{i}}{L_a} \int \left[e_2 - (r_a - r_{cp}) i_{a1} - (r_a + r_{cp}) i_{a2} - (2r_n + R_r) i_n - R_r i_n \right] dt = \frac{di_{a2}}{dt} - \frac{di_{a1}}{dt} - \frac{1}{L_a} \frac{d\psi_{cp}}{dt} \quad (13)$$

$$e_n - i_a (r_n - R_r) - i_n (r_n + R_r) = \frac{d\psi_n}{dt} - L_n \frac{di_n}{dt} \quad (14)$$

$$i_{a1} - i_{a2} = i_{ny} \quad (15)$$

$$i_r - i_a - i_n \quad (16)$$

$$i_n - i_a - i_{ny} = i_{ny} \quad (17)$$

При составлении системы уравнений приняты следующие обозначения:

e_2 — ЭДС вторичной обмотки силового трансформатора;

i_{a1}, i_{a2} — токи в плечах выпрямительного моста,

r_a, r_n, r_{cp}, r_n — активные сопротивления: в цепи переменного тока, якоря, сглаживающего реактора и возбуждения;

C, n — электромагнитная постоянная и число оборотов тягового электродвигателя;

Φ — магнитный поток в зазоре тягового электродвигателя;

i_a, i_n, i_{ny}, i_{ny} — токи якоря, возбуждения, шунта и выпрямительной установки;

Φ_s — поток рассеяния главных полюсов при переходном процессе;

ε — коэффициент рассеяния в допереходном режиме при токе возбуждения i_{bo} и начальном магнитном потоке Φ_0 ;

L_a, L_n — суммарные индуктивности цепи переменного тока и якоря тягового электродвигателя;

ψ_n, ψ_{cp} — потокосцепления обмоток возбуждения и сглаживающего реактора;

$i_p W$ — намагничивающая сила возбуждения при переходном процессе.

Для моделирования ЭДС вторичной обмотки силового трансформатора использовалось уравнение незатухающих гармонических колебаний:

$$\frac{d^2 e_2}{dt^2} + \omega^2 e_2 = 0.$$

При начальных условиях $e_2(0) = e_{2m}$ решением этого уравнения является выражение:

$$e = e_{2m} \sin \omega t.$$

Для учета вентиляльных свойств схемы на уравнения (1), (2) и (12), (13) налагались логические условия:

$$i_{a1} \geq 0; \quad i_{a2} = 0.$$

На основании систем уравнений составлена блок-схема аналога при работе двигателей с ослаблением поля ($\beta = 0,95$).

Процесс перехода двигателей в режим торможения проводился при напряжении на выходе выпрямительной установки равном 1050, 1200 и 1300 в, что соответствует 28, 32 и 36 позициям электрического контроллера группового. Скорость движения электровоза, при которой происходит переход двигателей из режима тяги в режим реостатного торможения, задавалась током двигателей соответствующего $0,5 I_n$; $0,75 I_n$; I_n ; $1,4 I_n$ (I_n — номинальный ток двигателя).

Отсчет времени производился с помощью источника синусоидальных колебаний частотой 50 гц.

Исследования проводились при различных величинах тормозного сопротивления и скорости движения электровоза.

Результаты исследований обработаны и представлены в виде таблиц, зависимостей и осциллограмм.

В результате проведенных исследований на АВМ получены токи якоря и возбуждения в момент перехода от тяги к торможению и в зависимости от скорости движения, величины тока подвозбуждения от выпрямительной установки, а также время перехода.

Тормозные характеристики $B=f(V)$ с подвозбуждением двигателей от выпрямительной установки, построенные по экспериментальным данным, представлены на рис. 2.

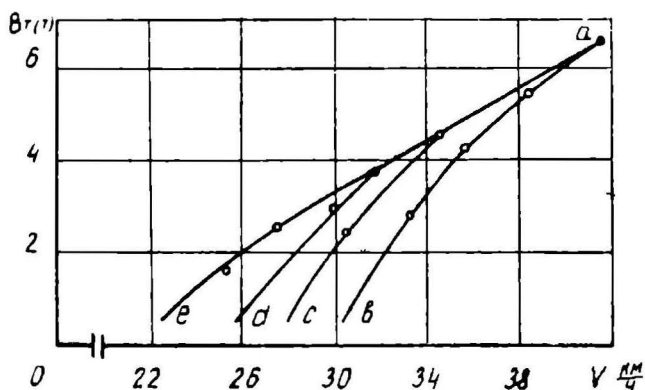


Рис. 2

Из рассмотрения тормозных характеристик следует, что при подвозбуждении двигателей напряжением, вызывающим протекание тока от выпрямительной установки, увеличивается жесткость тормозных характеристик и, следовательно, уменьшается тормозная сила по отношению к режиму самовозбуждения. Поэтому при переходе в режим торможения напряжение на выходе выпрямительной установки необходимо уменьшить путем сброса позиций ЭКГ.

Проведенные исследования показали принципиальную возможность перехода двигателей из режима тяги в режим реостатного торможения без предварительного сброса позиций группового переключателя. При скорости движения электровагона, соответствующей моменту перехода в режим торможения, переходный процесс стабилизируется за 50—100 м/сек. При возбуждении двигателей от выпрямительной установки зона действия реостатного тормоза расширяется при неизменной величине тормозного сопротивления.

Проведенная оценка опасности продольных усилий, возникающих в поезде при реостатном торможении, показывает, что опасность выжимания вагонов из состава в поездах, работающих на открытых горных разработках, практически исключена.

ГЛАВА IV

В четвертой главе изложены результаты экспериментальных исследований схемы реостатного торможения с подвозбуждением двигателей от выпрямительной установки.

Задачами экспериментальных исследований предусматривалось определение величины токов якоря, возбуждения, выпрямительной установки и тормозных токов, а также величины времени перехода двигателей из режима тяги в режим торможения, используемых при аналитических расчетах тормозных характеристик.

Исследование схемы реостатного торможения с подвозбуждением двигателей от выпрямительной установки проводилось на тяговом агрегате переменного тока типа ОПЭ1 состоящего из электровоза управления и секции автономного питания. Исследование процесса перехода проводилось как при кратковременном, так и при постоянном подвозбуждении двигателей от выпрямительной установки. Кратковременный режим подвозбуждения проводился для того, чтобы выяснить насколько ускоряется процесс перехода двигателей от тяги к торможению по отношению к режиму с самовозбуждением. Длительность кратковременного подвозбуждения складывалась из времени срабатывания тормозных контакторов и отключения линейных контакторов и составляла 0,12—0,15 сек. За это время, при определенных величинах скорости движения и тормозного сопротивления, напряжение на зажимах тяговых двигателей возрастает до величины, превышающей напряжение на зажимах выпрямительной установки и последнее «запирается». В дальнейшем двигатели работают в режиме самовозбуждения.

Постоянное подвозбуждение проводилось с целью получения экспериментальных данных для построения тормозных характеристик при различных величинах скорости движения, тормозного сопротивления и напряжения подвозбуждения.

По экспериментальным данным, полученным при обработке осциллограмм, построены тормозные характеристики, приведенные на рис. 3. Кривая «ае» построена для двигателей, работающих в режиме самовозбуждения. Кривые «аб», «ас» и «ад» — для двигателей, работающих в режиме подвозбуждения от выпрямительной установки.

При подвозбуждении двигателей напряжением, составляющим более $0,5 U_{н}$, жесткость тормозных характеристик увеличивается по сравнению с самовозбуждением, а тормозная сила уменьшается; а если напряжение подвозбуждения составляет менее $0,5 U_{н}$, то жесткость уменьшается, а тормозная сила увеличивается.

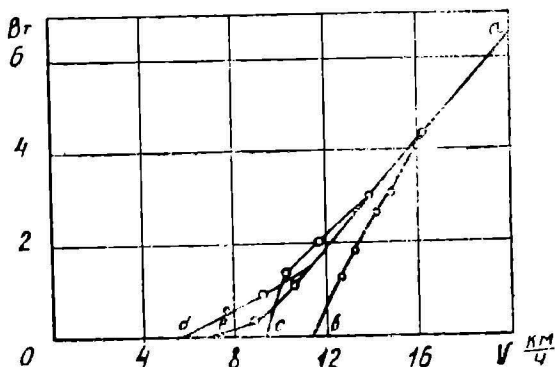


Рис. 3

Определены также зависимости тока якоря двигателей в функции тока выпрямительной установки, которые показывают хорошее совпадение результатов аналитического исследования и моделирования с экспериментальными данными. Наибольшее отклонение расчетных данных от экспериментальных по току якоря не превышает 8—10%.

Таким образом, экспериментальными исследованиями подтверждена работоспособность схемы реостатного торможения с подвозбуждением двигателей от выпрямительной установки. Показано, что переходные режимы работы двигателя протекают вполне удовлетворительно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в реферируемой работе, сводятся к следующему:

1. Промышленный электроподвижный состав, работающий на открытых горных разработках, должен оборудовать-

ся реостатным тормозом, действие которого не зависит от наличия напряжения в контактной сети. Кроме того, при эксплуатации промышленных электровозов в условиях нагорных карьеров, реостатный тормоз должен обеспечивать максимальные тормозные силы, которые необходимы при движении груженого поезда по спуску.

2. Требованиям эксплуатации промышленных электровозов наиболее полно удовлетворяют схемы реостатного торможения при независимом возбуждении двигателей с использованием одного из них в качестве возбудителя и при последовательном возбуждении двигателей. Однако эти схемы имеют недостатки, заключающиеся в том, что при использовании тягового двигателя возбудителем уменьшается тормозная сила локомотива, а при самовозбуждении — затягивается переход от тяги к торможению, поэтому необходима разработка схемы торможения, свободной от вышеуказанных недостатков.

3. Предложенная схема реостатного торможения с форсированным подвозбуждением двигателей от выпрямительной установки упрощает переход от тяги к торможению и ускоряет процесс возбуждения двигателей. При отсутствии напряжения в контактной сети форсировка подвозбуждения может быть осуществлена от аккумуляторной батареи через статический преобразователь.

4. Проведенные исследования схемы реостатного торможения с форсированным подвозбуждением двигателей от выпрямительной установки на электронной модели и на электровозе показали принципиальную возможность перехода из режима тяги в режим торможения без предварительного сброса позиций группового переключателя.

При скорости движения электровоза, соответствующей моменту перехода в режим торможения, переходной процесс стабилизируется за 0,05—0,5 сек.

5. При форсированном подвозбуждении двигателей от выпрямительной установки процесс перехода двигателей от тяги к торможению происходит в 5—10 раз быстрее (в зависимости от величины напряжения подвозбуждения и скорости движения), чем при последовательном возбуждении.

6. Подвозбуждение двигателей от выпрямительной установки расширяет зону действия реостатного тормоза при постоянной величине тормозного сопротивления.

При подвозбуждении двигателей напряжением более $0,5 U_n$ жесткость тормозных характеристик увеличивается по сравнению с самовозбуждением, а тормозная сила уменьшается, а если напряжение подвозбуждения составляет менее $0,5 U_n$, то жесткость уменьшается, а тормозная сила увеличивается.

7 Результаты выполненных исследований использованы при разработке схемы реостатного торможения с форсированным подвозбуждением двигателей от выпрямительной установки для промышленного тягового агрегата переменного тока типа ОПЭ1

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Усачев С. М., Бондаренко Б. Устройство для реостатного торможения электроподвижного состава переменного тока. Авторское свидетельство № 253111. «Бюллетень изобретений и товарных знаков», 1970, № 30.

2. Усачев С. М., Логинов Н. Я. Исследование системы реостатного торможения с подвозбуждением двигателей от выпрямительной установки. Эп. «Тяговое и подъемно-транспортное электрооборудование». Науч.-техн. сб. отделение ВНИИЭМ (информэлектр), М., 1971, вып. 5.

Основные положения диссертации использованы в отчете ВЭНИИ за 1967 г. при разработке эскизного проекта промышленного тягового агрегата переменного тока с источником автономного питания.

Сообщения по диссертационной работе были сделаны:

на Всесоюзной научно-технической конференции по опыту эксплуатации электроподвижного состава и перспективному развитию промышленного железнодорожного транспорта, г. Днепродзержинск, ДИИТ, сентябрь 1966;

на заседании электротяговой секции НТС ВЭЛНЦ. Полтавская, декабрь 1971 г.

на расширенных заседаниях научного семинара кафедр электроподвижного состава и электрических машин и преобразователей, г. Днепродзержинск, ДИИТ, март и апрель 1972 г.

Сканировала Юнаковская В. В.

Подписано к печати 11. 5. 72 г. 1 п. л. ПК 00284 Заказ № 2585 Тир. 150

г. Новочеркасск, тип. № 7 областного управления по печати