

РЕВЕРСИРАНЕ НА ПОДВИЖНИЯ СЪСТАВ

Реверсирането на подвижния състав се осъществява по два основни начина:

- а) чрез непосредствено реверсиране на тяговия двигател;
- б) чрез изменяне параметрите на силовата предавка при неизменна посока на въртене на тяговия двигател.

Първият начин на реверсиране предполага използването на прости нерегулируеми силови предавки. Приложим е при локомотивите, задвижвани от електрически, пневматични или парни тягови двигатели.

Вторият начин на реверсиране се използва при локомотивите, получаващи задвижване от дизелов двигател или от въртящ се маховик.

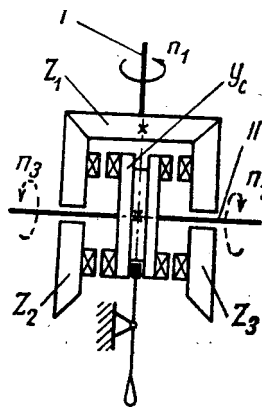
43. РЕВЕРСИРАНЕ НА ТЯГОВИТЕ ДВИГАТЕЛИ

1. *Реверсиране на постояннотоките тягови електродвигатели.* Осъществява се чрез изменяне посоката на тока, протичащ през котвената намотка или през намотката на главните полюси, в резултат на което котвата на двигателя променя посоката на въртенето си. Превключването на съответната намотка (котвена или на главните полюси) се извършва при прекъснато захранване на силовата верига.

2. *Реверсиране на радиално-буталните тягови двигатели (пневматични или парни).*

а. Реверсиране на многоцилиндров, радиално-бутален пневматичен двигател с едностранно действие. Осъществява се чрез команден механизъм, който отваря захранващия клапан на цилиндъра, работният ход на буталото на който би завъртял колянния вал в избраната посока.

б. Реверсиране на радиално-бутален пневматичен или парен двигател с двойно действие. Осъществява се чрез шибер на разпределителното устройство, който, приведен в движение от машиниста, осигурява подаването на пара или сгъстен въздух от страната на буталото, която би осигурила завъртане на локомотивните колооси в посока, обратна на предишната.



Фиг. IV-4 Схема на механичен реверсор

z_3 , които са свободно закрепени (лагерувани) върху водимия вал II. Чрез поставянето на подвижния елемент на управляващия съединител УС в ляво или дясно положение той ще осъществява кинематична връзка между вала II и зъбното колело z_2 или z_3 , а с това - и реверсирането на вала.

44. РЕВЕРСИРАНЕ НА ИЗХОДНИЯ ВАЛ НА СИЛОВТА ПРЕДАВКА

Реверсивни като правило са само регулируемите силови предавки.

а. Реверсиране на изходния вал на хидростатичната силова предавка - осъществява се чрез превключване на монтираните към разпределителното устройство на хидродвигателя напорен и отвеждащ тръбопровод.

б. Реверсиране на изходния вал на механичната силова предавка - осъществява се чрез специален възел „механичен реверсор“, който се състои от водещо конично зъбно колело z_1 (фиг. IV-4) и две постоянно зацепени с него водими зъбни колела z_2 и

СПИРАНЕ НА ВЛАКОВЕТЕ СПИРАЧНИ УРЕДБИ

45. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Нормалната експлоатация на влаковия състав предполага периодичното ограничаване, намаляване и пълно погасяване на достигнатата от него скорост съобразно местоположението му по дължината на пътя. Тъй като това ограничаване и погасяване на скоростта се осъществява чрез изкуствено създаваното в спирачните инсталации съпротивително усилие, безопасността на движението на влака и възможността за използването на по-високи скорости са в пряка зависимост от вида, качествата и изправността на неговата спирачна уредба.

И така на спирачната уредба на влака се възлагат следните функции:

- а) регулиране на скоростта на движението в определени граници;
- б) пълно спиране на влака;
- в) задържане на спрения влак (т.е. осигуряването му срещу самоволно потегляне).

Пълното спиране може да бъде осъществено по два начина:

работно, т.е. с нормално (технически и икономически обосновано) забавяне на скоростта на движението на състава до неговото окончателно спиране, и

екстренно - с интензивно погасяване скоростта на движението на състава до неговото пълно спиране.

Работното спиране се прилага при пристигането на състава на товарните и разтоварните пунктове, в депата, разминавките или на други, определени за спиране места.

Екстренното спиране се прилага при внезапно възникнала неизправност на релсовия път или на елементи от състава при опасност от предизвикване на злополука и др.

Характерно за използваните в подземните рудници влакови състави е, че спирачната уредба на локомотива обикновено е единственият източник на спирачна сила.

Влаковите композиции, използвани в откритите рудници, като правило са образувани от вагони, притежаващи собствени спирачни уредби.

1. Спирачен път. Така се нарича разстоянието, което влакът изминава от момента, в който машинистът включва спирачната уредба, до момента, в който влакът прекратява движението си. Спирачният път е основният критерий в процеса на пълното спиране на влака.

Целият спирачен път може да се раздели на две части: път, изминаван от влака до задействането на спирачната система, и път, изминаван от влака след появата на спирачната сила.

Очевидно е, че при равни условия (големина на влаковия състав; скорост на движението в началото на спирачния процес; наклон на участъка от релсовия път, по който се извършва спирането) големината на спирачния път ще се обуславя от големината на спирачната сила и от времеконстантата на спирачната уредба.

Съгласно ПТБ максималният спирачен път за рудничните влакови състави се ограничава, както следва:

за подземни рудници: 40 m - когато се транспортират товари, и 20 m - когато се транспортират хора;

за открити рудници - 250 m.

2. Спирачна характеристика се нарича зависимостта на спирачната сила от скоростта на движението на състава, т.е. $B=f(v)$.

Механична устойчивост на спирачния процес. Обуславя се от саморегулиращите свойства на спирачната система и се изразява в способността на системата автоматично да поддържа определена скорост на движение на влака. Спирачните системи, притежаващи

добра механична устойчивост на спирачния процес, са особено подходящи за регулиране скоростта на движението на влака при спускането му по наклон.

46. МЕХАНИЧНО СПИРАНЕ

1. Общи сведения за механичните спирачки.

Всяка механична спирачка се състои от:

- а) триеща двойка, предизвикваща непосредствено появата на спирачната сила;
- б) източник на притискаща сила;
- в) спирачна лостова предавка, свързваща източника на притискащата сила с активния елемент на триещата двойка;
- г) управляващ механизъм.

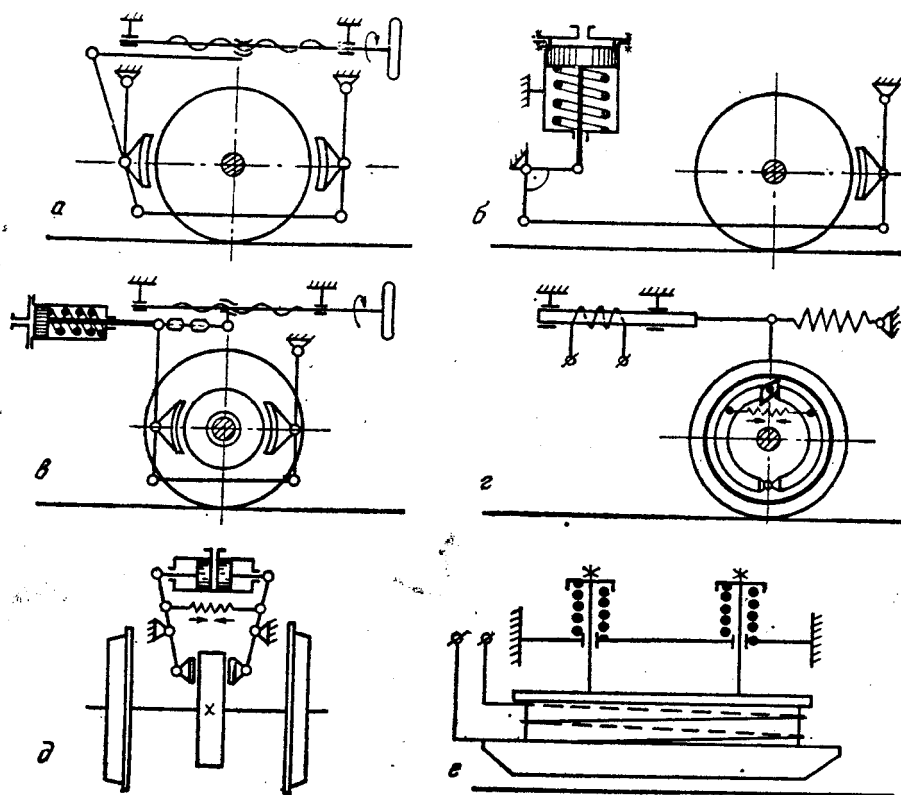
В локомотивните механични спирачки активният (управляемият) елемент на триещата двойка като правило е челюст, като според вида на елемента, към който тази челюст се притиска (ходово колело, диск, барабан или релса), спирачката съответно се нарича колесна, дискова, барабанна или релсова (фиг. IV-5).

Колесните механични спирачки (фиг. IV-5 а, б) са намерили най-широко приложение в рудничните локомотиви и са тяхното основно спирачно средство. Недостатъкът на този вид спирачки се състои в това, че периферията на бандажа постоянно се замърсява от търкалянето по релсата, поради което коефициентът на триене между челюстта и колелото се изменя.

При дисковите (фиг. IV-5 д) и барабанните (фиг. IV-5 в, з) спирачки работните повърхности на триещата двойка са защитени от замърсяване. Въпреки това предимство тези спирачки намират ограничено приложение в рудничните локомотиви поради липсата на достатъчно свободно пространство (особено при минните локомотиви) за тяхното монтиране между ходовите колела на колооста.

Релсовите спирачки (фиг. IV-5 е) се използват само като допълнителни спирачки.

Колесните челюстни спирачки биват с едностранно (фиг. IV -5 б) и двустранно (фиг. IV-5 а) действие. Предимството на първите се състои в задействването им чрез сравнително проста лостова предавка, а недостатъкът им - в предаването на силата, притискаща челюстта към колелото, директно в лагерите на колооста. Предимството на двустранно действащата челюстна спирачка (фиг. IV-5 а) е, че натисковите сили на двете челюсти взаимно се компенсират, при което и натоварването (а следователно и износването) на колодките при създаването на една и съща спирачна сила ще е двойно по-малко, отколкото при едностранната спирачка.



Фиг. IV-5. Схеми на локомотивни механични спирачки

Дисковите (фиг. IV-5 д) и барабанните (фиг. IV-5 в, г) челюстни спирачки като правило са с двустранно действие.

Механичните спирачки на рудничните локомотиви са с ръчно, пневматично, хидравлично, електромагнитно и комбинирано задвижване.

При ръчно задвижваните спирачки (фиг. IV-5 а) източник на притискаща сила е кинематичната двойка безконечен винт - пътуваща гайка, при което винтът се привежда във въртене от мускулната сила на машиниста. Спирачките от този вид намират самостоятелно приложение само при леките и средните руднични локомотиви. Техен основен недостатък е сравнително голямото време за задействуване - около 4 s.

Пневматичните и хидравличните механични спирачки се задвижват от енергията на съгстения въздух или от намиращата се под налягане работна течност. Източникът на притискаща сила при този вид спирачки е еднобуталният (фиг. IV-5 б) или двубуталният (фиг. IV-5 в) силов цилиндър. Основно преимущество на пневматичното и хидравличното задвижване на механичните спирачки е тяхното бързо задействуване (времето за задействуване на спирачната уредба не надминава 1 s), поради което те намират все по-широко приложение в рудничните локомотиви.

Източникът на притискаща сила при електромагнитно задвижваните механични спирачки може да бъде оформен като соленоид (фиг. IV-5 г) или като електромагнит-челюст, който притежава свобода на движение в равнина, перпендикулярна на работната повърхност на релсата (фиг. IV-5 е). В рудничните локомотиви намира приложение електромагнитното задвижване на спирачките от втория вид. Времето за задействуване на електромагнитната релсова спирачка е около 1,85 s.

При комбинираното задвижване на механичните спирачки (фиг. IV-5в) основното задвижване се осъществява чрез хидравличен или пневматичен силов цилиндър, докато на ръчното задвижване се възлагат спомагателни функции - задържане на спрения влак при

продължителни престои и дублиране на основното задвижване при поява на неизправности в него. Всички руднични локомотиви като правило са осигурени с ръчно задвижване на механичните спирачки.

2. *Механична спирачна. сала.* Механичната спирачна сила възниква в резултат на триенето на спирачната челюст по подвижния елемент на триещата двойка на спирачката, както и в резултат на взаимодействието на бандажа с релсата.

Спирачният момент, създаван от механичното спиране на една колоос, ще бъде

$$M_c = 2Q \frac{D}{2} = N'_k \phi D, \quad (IV-31)$$

където

$Q = N'_k \phi$ е фрикционната сила, създавана от притискането на една колодка към подвижния елемент на триещата двойка;

N'_k - силата на натиска, упражняван върху една колодка;

ϕ - коефициентът на триене между спирачната колодка и подвижния елемент на двойката;

D - диаметърът на работната повърхност, към която се притиска колодката на спирачката.

Съгласно равенства IV-31 и II-76 спирачната сила на колооса ще бъде

$$B_k = 2N'_k \phi \frac{D}{D_k}, \quad (IV-32)$$

където D_k е диаметърът на кръга на търкалянето на ходовото колело.

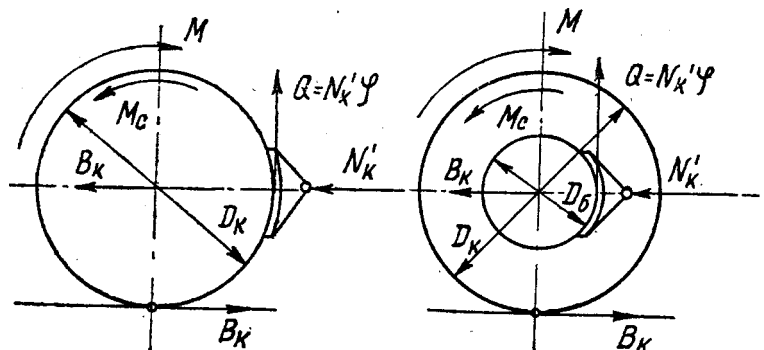
При колесните челюстни спирачки (фиг. IV-6 а) $D = D_k$ и следователно равенство IV-32 ще добие вида

$$B_k = 2N'_k \phi. \quad (IV-33)$$

При барабанните челюстни спирачки (фиг. IV-6 б) $D = D_6$ и следователно равенство (IV-32) ще добие вида

$$B_k = 2N'_k \phi \frac{D_6}{D_k} p \quad (IV-34)$$

където D_6 е диаметърът на работната повърхност на спирачния барабан.



Фиг. IV-6

За колесните и барабанните челюстни спирачки е в сила неравенство II-79, т.е. нормалното (без заклиняване на колелата) спиране ще се реализира, ако

$$B_k \leq P_0 \psi. \quad (IV-35)$$

Отнесено за целия локомотив равенство IV-35 ще се преобразува по следния начин:

$$B = \phi N \leq P_{cn} \phi, \quad (IV-36)$$

където

N е сумарната сила на притискане на спирачните колодки;

$N = n_{\text{сп}} 2N_k'$ - за колесните спирачки (форм. IV-33);

$N = n_{\text{сп}} 2N_k' \frac{D_{\text{б}}}{D_k}$ - за барабанните спирачки (форм. IV-34)

Коефициентът на триене между спирачните колодки и бандажа се приема при рудничните локомотиви $\phi = 0,18-0,2$ (за чугунени колодки) или се изчислява по формулата

$$\phi = 0,6 \frac{0,00016N_k' + 100}{0,000080N_k' + 100} \cdot \frac{\frac{v}{3,6} + 100}{5 \frac{v}{3,6} + 100}, \quad (\text{IV-37})$$

където

N_k' е натискът върху една колодка, N ;

v - скоростта на движение, m/s .

При дисковите и барабанните механични спирачки коефициентът ϕ е по-голям от този при колесните спирачки (поради защитеността на триещите повърхности от влага и замърсяване) и това е тяхното голямо предимство.

От форм. IV-36 следва, че максимално допустимата сумарна сила на притискане на спирачните колодки ще бъде

$$N_{\text{max}} = P_{\text{сп}} \frac{\Psi}{\phi} \cdot \delta P_{\text{сп}} p \quad (\text{IV-38})$$

където $\delta = \frac{\Psi}{\phi}$ се нарича “коефициент на притискане на спирачните колодки” и показва

каква част от спирачното тегло се реализира като спирачен натиск.

Тъй като за руднични условия коефициентът на сцепление ψ се изменя в границите 0,15-0,25, а коефициентът ϕ - в границите 0,18-0,20, коефициентът на притискане на спирачните колодки съответно ще има стойност $\delta = 0,7-1,25$. За да се избегне обаче евентуалното заклиняване на колелата при приемане на завишени стойности за δ , същият коефициент обикновено се приема в границите 0,8-0,9.

Следва да се подчертае, че максималното притискане на спирачните колодки (форм. IV-38) се използва само при екстрено спиране, докато при работно спиране се използва натискът

$$N = (0,6 + 0,75) N_{\text{max}}$$

Неравенството IV-36 не представлява ограничение единствено за механичните релсови спирачки, при които плъзгането на челюстта по релсата е необходима предпоставка за възникването на спирачна сила. Силата непосредствено се предава на рамата на локомотива или вагона, а големината ѝ се определя в съответствие с равенството

$$B = N f_{\text{пл}}, \quad (\text{IV-39})$$

където

N е силата на натиск върху челюстта;

$f_{\text{пл}}$ - коефициентът на триене при плъзгане между челюстта и релсата.

3. *Спирачни характеристики на механичното спиране.* На фиг. IV-7 са показани двата основни вида спирачни характеристики на механичното спиране:

Кривата 1 характеризира механичните спирачни системи, чието спирачно действие се получава в резултат на притискането на метални челюсти (колодки) върху въртящите се бандажи на ходовите колела (фиг. IV-5 а, б) върху неподвижно укрепени към вала на

колооста барабани (фиг. IV-5 в, з) или спирачни дискове (фиг. IV-5 д). При механичните спирачки, притежаващи изброените триещи двойки, с увеличаването скоростта на движението спирачната сила намалява. Най-голяма спирачна сила се получава при скорости, близки до нула.

Кривата 2 характеризира действието на релсова челюстна спирачка (фиг. IV-5 е).

От анализа на спирачните характеристики на механичното спиране се вижда, че колесната, дисковата и барабанната челюстни спирачки (вж. крива 1) не осигуряват механична устойчивост на спирачния процес, а това създава сериозна опасност от излизането на влаковия състав от контрола на машиниста при спускането му по наклон. Регулирането на скоростта при такива спирачни системи се

осъществява чрез постоянната намеса на машиниста, който регулира спирачния ефект на системата така, че да поддържа неизменна желаната скорост. Спирачната характеристика на релсовата челюстна спирачка (крива 2) показва, че тази спирачка осигурява механична устойчивост до определена скорост на движение на състава (т. n), като при превишение на тази гранична скорост спирачката загубва саморегулиращите си свойства.

4. *Пневматични спирачки.* Пневматичните влакови спирачки могат да се разделят на следните групи:

- а) неавтоматични спирачки с директно действие;
- б) автоматични спирачки с косвено действие;
- в) автоматични спирачки с директно действие.

Автоматични се наричат пневматичните спирачки, които при разкъсване на влака или на монтираната по протежение на целия състав въздухопроводна спирачна магистрала, се задействуват без команда от машиниста. За да се осигури това им действие, като команден сигнал за включването на тези спирачки се използва понижаването на налягането в спирачната магистрала.

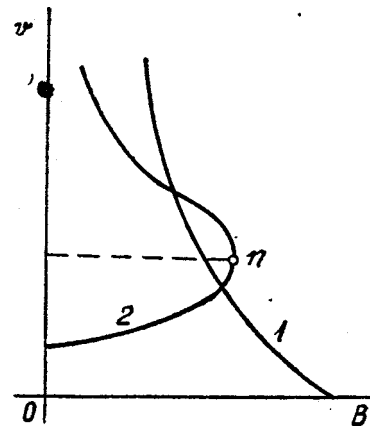
Неавтоматични са пневматичните спирачки, които могат да се задействуват само по сигнал от машиниста, изразяващ се в повишаването на налягането на въздуха в спирачната магистрала. При разкъсване на влаковия състав или само на неговата спирачна магистрала неавтоматичната спирачка се освобождава (ако преди това е била включена) и това е основният ѝ недостатък, който я прави подходяща за спиране само на отделен локомотив, но не и на свързаните с него вагони.

Пневматичните спирачки, чиито спирачни цилиндри се захранват със сгъстен въздух направо от локомотивния въздушен резервоар, се наричат директно действащи.

Пневматичните спирачки, чиито спирачни цилиндри при задействувана (включена) спирачка се захранват със сгъстен въздух от спомагателни въздушни резервоари, се наричат косвено действащи.

Доколкото спирачните цилиндри и арматурата на системата имат утечки на въздух, налягането в спомагателните въздушни резервоари и в свързаните с тях спирачни цилиндри на включената спирачка с косвено действие постепенно ще намалява, поради което спирачките от този вид се наричат още изтощаеми.

При пневматичните спирачки с директно действие утечките на въздуха се компенсират от работата на локомотивния компресор, поради което тези спирачки се наричат още неизтощаеми.



Фиг. IV-7. Спирачни характеристики на механичните спирачки:

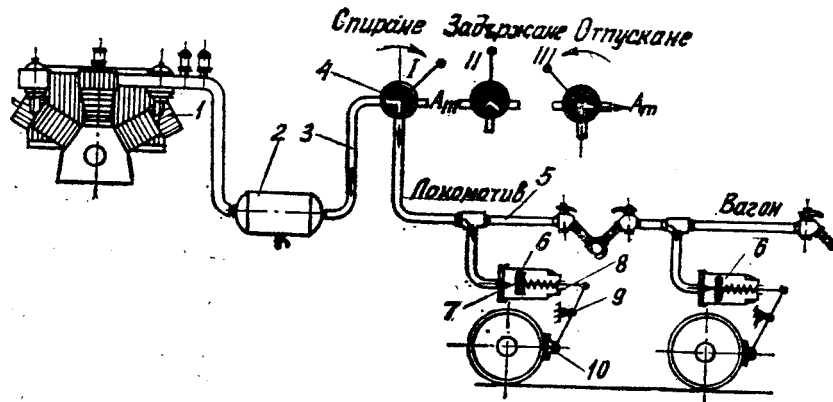
- 1-характеристика на челюстна колесна спирачка;
- 2-характеристика на челюстна релсова спирачка

Работата на автоматичните спирачки включва следните три процеса:

зареждане - спирачният въздухопровод и спирачните въздушни резервоари, монтирани на всеки вагон, се напълват със сгъстен въздух под налягане $0,5 \text{ MN/m}^2$;

спиране - извършва се чрез понижаване на налягането в спирачната магистрала, в резултат на което се предизвиква задействването на специални въздухоразпределители, които свързват спирачните цилиндри със спомагателните въздушни резервоари;

освобождаване - осъществява се чрез повишаване на налягането на въздуха в спирачната магистрала, в резултат на което въздухоразпределителите заемат положение, при което свързват работното пространство на спирачните цилиндри с атмосферата, а спомагателните въздушни резервоари - с магистралния въздухопровод (за дозареждането им).



Фиг. IV-8. Схема на пряко действаща неавтоматична пневматична спирачка

а. **Неавтоматична, директно действаща спирачка.** Схемата ѝ е показана на фиг. IV-8. Въздухът се нагнетява от компресора 1 в главния резервоар 2, откъдето по захранващия тръбопровод 3 постъпва в командния кран 4. В зависимост от положението на ръчката на крана в спирачката се извършват процесите:

спиране - осъществява се при поставяне ръчката на командния кран в положение I (фиг. IV-8). Захранващият (тръбопровод 3 е свързан със спирачната магистрала 5, с което е осигурено и захранването на спирачните цилиндри 6 със сгъстен въздух;

задържане - осъществява се при поставяне ръчката на командния кран 4 в положение II (фиг. IV-8). Захранването на спирачната магистрала 5 със сгъстен въздух се прекратява, като налягането на въздуха в спирачните цилиндри остава неизменно (ако пренебрегнем влиянието на утечките);

отпускане (освобождаване на спирачката) - осъществява се при поставяне ръчката на командния кран 4 в положение III (фиг. IV-8). Захранването на спирачната магистрала 5 със сгъстен въздух е прекратено, а работното пространство на спирачните цилиндри е свързано с атмосферата. В резултат възвратните пружини 7 на спирачните цилиндри изтласкват наляво буталата 8 и колодките 10 се отделят от колелата.

Посредством кранът 4 може да се регулира подаването на сгъстен въздух в спирачната магистрала 5 и в спирачните цилиндри 6, както и изпускането на сгъстения въздух в атмосферата. По този начин може да се осъществи регулиране на процесите спиране и отпускане.

На неавтоматичната, директно действаща спирачка се възлагат основни спирачни функции само при минните локомотиви (тъй като те работят съвместно с лишени от спирачни инсталации вагони и следователно спирачният въздухопровод и опасността от неговото разкъсване не съществуват). В промишлените локомотиви (които по правило работят съвместно със снабдени с пневматични спирачки вагони) неавтоматичната, директно действаща спирачка се използва за спомагателни цели, т.е. за спиране само на

локомотива.

б. Автоматична, косвено действаща спирачка. Характерно за спирачките от този вид е, че всеки вагон от състава трябва да е съоръжен със спирачен въздушен резервоар 8 (вж. фиг. IV-9) и спирачен въздухоразпределител 6.

Спирачката може да бъде включена само ако спирачните въздушни резервоари съдържат сгъстен въздух, ето защо спирането се предхожда от зареждане на спирачната инсталация, което се осъществява чрез поставяне ръчката на командния кран 4 в положение I (фиг. IV-9 а). По този начин храняващият тръбопровод 3 се свързва със спирачната магистрала 5 и сгъстеният въздух от локомотивния въздушен резервоар 2 постъпва във въздухоразпределителя 6, изтласква буталото му в крайно дясно положение (фиг. IV-9 а) и прониква в спирачния резервоар 6. През време на зареждането буталото на въздухоразпределителя запазва положението си, тъй като лявата му активна площ (съгласно показаната схема) е по-голяма от дясната. В същото време работното пространство на спирачния цилиндър 7 се оказва свързано с атмосферата през шибърната кухня на въздухоразпределителя, поради което възвратната пружина на спирачния цилиндър изтласква буталото му вляво и предизвиква освобождаването на спирачката.

Включването на спирачката се осъществява с поставянето ръчката на крана 4 в положение III (фиг. IV-9 б). С това се предизвиква изолирането на спирачната магистрала 5 от главния въздушен резервоар 2 и свързването ѝ с атмосферата. Изтичането на въздух от магистралата 5 в атмосферата предизвиква спадане на налягането ѝ в лявото (съгласно схемата) работно пространство на въздухоразпределителя 6 (фиг. IV-9 а), в резултат на което буталото на въздухоразпределителя под действие на намиращия се под високо налягане въздух от спирачния резервоар 8 се придвижва в крайно ляво положение (фиг. IV-9 б). В резултат шибърът на въздухоразпределителя осъществява достъп на сгъстения въздух от резервоара 8 до работното пространство на цилиндъра 7 и спирачката се включва.

Поставянето на ръчката на крана 4 в положение II предизвиква задържане на спирачката, като наляганята в спирачния резервоар и спирачния цилиндър се изравняват и остават постоянни (ако пренебрегнем влиянието на утечките).

За да се предизвика отпускането (освобождаването) на спирачката, ръчката на крана 4 трябва отново да бъде поставена в положение I (фиг. IV-9 а).

в. Автоматична, директно действаща спирачка. Тази спирачка се състои от същите основни части, както и автоматичната пневматична спирачка с косвено действие. Принципна разлика съществува в устройството на спирачния въздухоразпределител и командния кран, които осигуряват хранването на спирачната магистрала със сгъстен

47. ЕЛЕКТРИЧЕСКО СПИРАНЕ

При рекуперативното спиране произведената електроенергия се връща в контактната мрежа и следователно може да бъде оползотворена от другите локомотиви. Прилагането на рекуперативното спиране е възможно при наклон на релсовия път над 5–6%. При интензивно движение на електрически влакове по релсови пътища, съдържащи наклони 20-25% разходът на електроенергия може да бъде намален с около 20-30% вследствие

прилагането на рекуперативното спиране. Прилагането на рекуперативното спиране при електрическата тяга за постоянен ток среща големи затруднения поради неустойчивата съвместна работа на серийните генератори с контактната мрежа. Този техен недостатък може да бъде отстранен при паралелно включване на възбудителните намотки на тяговите двигатели за случаите, когато са в генераторен режим, обаче това е свързано с усложняване на електрическата схема на локомотива, с увеличаване количеството и общата маса на електрическата апаратура. Поради тези причини рудничните локомотиви не са приспособени за рекуперативно спиране.

Най-голямо приложение в постояннотоковите руднични електролокомотиви намира електрическото динамично спиране.

2. Реостатно електрическо спиране. При реостатното електрическо спиране тяговите двигатели са изключени от източника на електроенергия, съединени са към товарно съпротивление (като такова обикновено се използва пусковият реостат на локомотива), а въртенето на техните ротори се поддържа от движението на влака под действието на силите на инерцията или на силите на тежестта.

Генерирайки електроенергия (която в спирачното съпротивление се превръща в топлина), тяговите двигатели понижават количеството на запасената във влака кинетична енергия и предизвикват спирането му.

Характерно за серийните генератори е, че съвместната им работа е устойчива само при последователното им свързване един с друг. Това групиране на генераторите обаче предизвиква появата на недопустимо високо напрежение в силовата верига на локомотива, резултат от сумирането на е.д.с. на отделните генератори. В началния период на спирането това сумарно напрежение може да превиши номиналното напрежение на отделния двигател почти толкова пъти, колкото е общият брой на последователно свързаните серийни генератори. Високото напрежение може вредно да се отрази върху изолацията на електрообзавеждането, а освен това изисква много голямо по стойност съпротивление за регулиране на спирачната сила. Ето защо при преминаването им в генераторен режим тяговите електродвигатели се свързват паралелно един на друг. При това за осигуряването на устойчивата им съвместна работа в генераторен режим се прилагат специални схеми на свързване, които имат за цел да ликвидират вредното влияние на уравнилните токове, възникващи вследствие на различие в характеристиките на двигателите, на различие в диаметрите на бандажите на водещите колооси и по други причини. Уравнилните токове могат да доведат до пълното разтоварване на някой от генераторите и до прехвърлянето на неговия товар върху останалите, работещи съвместно с него, генератори.

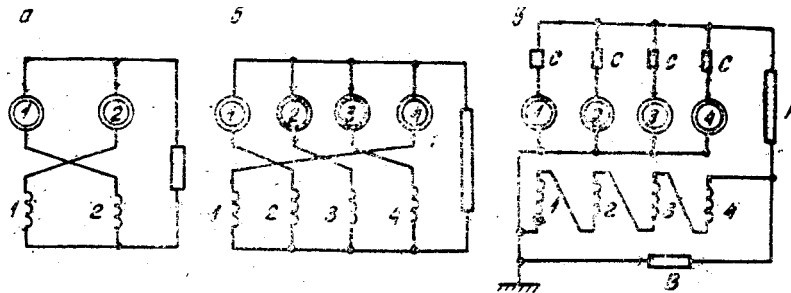
На фиг. IV-11 *a* е показана схема на кръстосано свързване на два тягови електродвигателя при работата им в режим на реостатно спиране. Тази схема е най-разпространена в рудничните електролокомотиви и се отличава с това, че възбудителната намотка на всеки двигател се захранва от котвата на другия двигател. В случай че възникне неравенство на електродвижещите сили, появилият се уравнителен ток ще усилва магнитното поле на двигателя с малка е.д.с., вследствие на което електродвижещите сили ще се изравнят. Разгледаната схема осигурява равномерното разпределяне на товара между двата двигателя, работещи в генераторен режим, и изключва възможността за претоварването на единия от тях за сметка на другия.

При преминаването към реостатно спиране едновременно с изключването на двигателя от мрежата и включването му към реостата трябва да се осъществи превключване на краищата на възбудителната намотка (фиг. IV-12), за да се запази неизменна посоката на тока, протичащ през нея. Без такова превключване серийният генератор не ще се възбуди и реостатното електрическо спиране не ще бъде възможно.

При реостатното спиране на многодвигателните локомотиви схемата на свързване на работещите в генераторен режим тягови двигатели може да се построи върху същите основни принципи, както и при два двигателя; по-специално може да се приложи

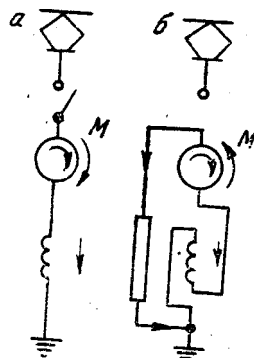
кръстосаната схема, която при наличието на четири и повече двигатели се нарича циклична (фиг. IV-11 б).

Нормалната циклична схема е електрическият устойчива само при не-значително различие между характеристиките на двигателите. Ето защо при промишлените електролокомотиви се прилагат и други схеми на свързване на тяговите двигатели при реостатно спиране. В схемата, показана на фиг. IV-11 в, съпротивлението А е спирачно. Съпротивлението В шунтира веригата на възбудителните намотки 1, 2, 3, 4 и големината му е така подбрана, че през нея да протече ток, който да съответствува на една котвена верига. Съпротивленията С служат за изравняване на товара на отделните котвени вериги.



Фиг. IV-11. Схема на реостатно спиране на тяговите електродвигатели: а-кръстосано съединение; б-циклично съединение; в-изравнително съединение

Реостатното спиране има редица ценни предимства, като най-важното от тях е малката зависимост на това спиране от условията на сцеплението. В същност, ако спирачният ток достигне много голяма стойност, а спирачното усилие надмине силата на сцеплението, въртенето на колелата ще се прекрати. Спирането на въртенето на колелата обаче предизвиква прекратяването на тока, понеже при неподвижна котва индуктирането на е.д.с. се прекратява. Прекратяването на тока ще предизвика изчезването на спирачното усилие, в резултат на което условията за сцепление автоматично ще се възстановят и процесът на спирането ще продължи. Разбира се, преминаването извън границите на сцеплението е нежелателно, тъй като редуващите се задържане и отпускане на колелата водят до удължаване на спирачния път.



Фиг. IV-12. Принципи схеми на превключванията, осъществявани при преминаването на тяговия електродвигател в генераторен режим

Друго съществено предимство на реостатното спиране е липсата на износващи се елементи и удобното управление на спирачния процес.

Към недостатъците на реостатното спиране трябва да се отнесе преди всичко невъзможността за забавяне на движението на влака до пълното му спиране, както и невъзможността за задържане на влака в спряно състояние. Споменатите недостатъци се проявяват особено силно при спиране по наклон.

Всеки генератор притежава определена скорост на въртене, под която той не може да се самовъзбужда. За тяговите двигатели на рудничните електролокомотиви самовъзбуждането в генераторен режим се осигурява при скорост на движение на локомотива 0,2-0,3 m/s. Ако влакът се

намира на хоризонтален участък от релсовия път или се движи по нагорнище, задържането на движението му до такава скорост е достатъчно и за пълното му спиране. При спускане по наклон обаче достигането до долната гранична скорост ще предизвика изчезването на

спирачната сила, създадена чрез реостатното спиране, в резултат на което скоростта на влака под действието на силите на тежестта отново ще започне да нараства, докато не се предизвика самовъзбуждането на генераторите. Ето защо при такива случаи за окончателното спиране на влака трябва да се използва механичната спирачка.

Недостатък на реостатното спиране е, че то предизвиква значителни механични и електрически натоварвания на тяговите двигатели, превишаващи по стойност натоварванията, съществуващи при тяговия режим. Поради това тяговите двигатели, предвидени за реостатно спиране, се избират с мощност, която е с 15-20% по-голяма от мощността, необходима за нормалната им работа в тягов режим, а освен това те трябва да са с усилена конструкция.

Характеристики на реостатното електрическо спиране.

а. Електромеханични спирачни характеристики, отнесени към вала на тяговия електродвигател. Поради характерната за постояннотоковите машини обратимост тяговите електродвигатели могат да работят както в тягов, така и в спирачен (генераторен) режим. В първия случай електромагнитният момент M_{em} , възникващ в двигателя в резултат на взаимодействието между статорното и котвеното магнитно поле, се използва за задвижване на локомотивните колооси, а във втория - за тяхното спиране. От теорията на електрическите машини е известно, че видът на режима (двигателен или генераторен) определя посоката на M_{em} , но не и неговата големина, тъй като тя зависи единствено от големините на взаимодействащите си магнитни потоци, респ. От електрическите величини, обусловили тяхното възникване.

Скоростната характеристика на работещата е генераторен режим постояннотокова машина може да бъде получена въз основа на форм. III-4, като се вземе пред вид обаче следното:

- захранването на машината с електроенергия е прекратено ($U=0$) и в котвената верига е включено спирачно съпротивление $r_{сп}$;
- въртенето на котвата запазва посоката си и се поддържа от запасената във влака кинетична енергия (в резултат индуктираната в котвената намотка е.д.с. съвпада по посока с е.д.с. E на машината при двигателен режим);
- обусловена единствено от е.д.с. на машината посоката на I_a се променя.

Следователно за генераторен режим форм. III-4 ще добие вида

$$0 = E - I_a (R + r_{сп})$$

$$\text{или } C\Phi n = I_a (R + r_{сп}),$$

$$\text{откъдето } n_{сп} = \frac{I_a (R + r_{сп})}{C\Phi} \quad (IV-40)$$

Тъй като при серийния постояннотоков двигател $\Phi \sim I_a$, (вж. форм. III-7), форм. IV-40 ще се преобразува по следния начин:

$$n_{сп} = \frac{I_a (R + r_{сп})}{C\gamma I_a} = \frac{R + r_{сп}}{C\gamma}, \quad (IV-41)$$

където C и γ са характерни за машината константи, зависещи (както вече бе споменавано) от нейните конструктивни параметри, но не и от режима, в който тя работи.

Следователно, ако при генераторен режим през котвата на машината протича ток с определена стойност I_a , създаденият от него магнитен поток Φ ще бъде равен на магнитния поток на машината, работеща в двигателен режим, в случай че през нейната котвена намотка протича ток със същата абсолютна стойност. Това ни дава основание да определим константите C и γ от уравнението за скоростната характеристика на серийния двигател (форм. III-6):

$$C\gamma = \frac{U - I_a R}{I_a n}. \quad (IV-42)$$

Замествайки горния израз във форм. IV-41, получаваме

$$n_{сп} = \frac{I_a (R + r_{сп})}{U - I_a R} \cdot n, \quad (IV-43)$$

където:

I_a е текущата стойност на котвения ток на машината;

n - съответстващата на I_a , честота на въртене на котвата при двигателен режим на машината.

Следователно характеристиката $n_{сп} = f(I_a)$ може да бъде построена въз основа на естествената скоростна характеристика на машината при двигателен режим $n = f(I_a)$, от която за произволно избраните стойности на котвения ток I_a следва да бъдат отчетени и заместени във форм. IV-43 съответните стойности на честотата на въртене n .

Очевидно е (вж. форм. IV-43), че ако в процеса на генераторното спиране $r_{сп}$ се променя, на всяка негова нова стойност ще съответства отделна скоростна характеристика.

За да получим формулата за характеристиката $M_{сп} = f(I_a)$ на работещата в генераторен режим постояннотокова машина, ще изходим от следните, известни от курса "Електрически машини" положения:

1. При двигателен режим върху вала на котвата се получава въртящ момент, по-малък от електромагнитния момент на машината $M_{ем}$ с величината ΔM , която характеризира магнитните и механичните загуби на машината. Следователно

$$M_{в.д} = M_{ем} - \Delta M. \quad (IV-44)$$

Фиг. IV-13. Построяване кривата на електроспирачния момент

2. При генераторен режим собствените съпротивления на машината усилват спиращия ефект на нейния електромагнитен момент и затова общият спиращ момент, получаван върху вала на котвата, ще бъде

$$M_{сп} = M_{ем} + \Delta M \quad (IV-45)$$

От форм. IV-45 и форм. IV-44 следва, че

$$M_{сп} = M_{в.д} + 2\Delta M. \quad (IV-46)$$

От горния израз следва, че характеристиката $M_{сп} = f(I_a)$ може да бъде построена въз основа на моментната характеристика $M_{в.д} = f(I_a)$ на двигателния режим на машината, ако към всяка стойност на $M_{в.д}$, отчетена за произволно избран ток I_a , се прибави удвоена, съответстваща на този ток стойност на ΔM (фиг. IV-13).

От форм. III-10 и III-15 следва, че връзката между ΔM и протичащия през котвата на машината ток ще бъде

$$\Delta M = \frac{\sum \Delta M - \Delta N_e}{2\pi n} = \frac{UI_a(1 - \eta_d) - I^2 R}{2\pi n}, \quad (IV-47)$$

където

$\sum \Delta N$ е общата загуба на мощност в машината;

$\Delta N_e = I^2 R$ - електрическата загуба на мощност в машината;

η - к.п.д. на машината, отчитан за различните стойности на I_a от характеристиката

n - честотата на въртене на котвата на машината.

От форм. IV-46, IV-47 и III-13 следва 3 следва, че изразът за спирачния момент на серийния тягов електродвигател, работещ в режим на генераторно спиране, ще има вида

$$M_{\text{cn}} = C I_a^2 + 2 \frac{U I_a (1 - \eta_d) - I_a^2 R}{2\pi n}. \quad (\text{IV-48})$$

Електромеханичните характеристики на генераторния режим се строят във II квадрант на координатната система.

б. Електромеханични спирачни характеристики на тяговия двигател, отнесени към периферията на водещото колело. Тези характеристики изразяват зависимостите:

$$V_{\text{сн}} = f(I_a) \text{ и } B_e = f(I_a)$$

където

$v_{сп}$ е скоростта на движение на локомотива в режим на реостатното електрическо спиране;

B_e - тангенциалната електромагнитна спирачна сила на двигателя.

От равенства (III-27) и (III-28) следва, че

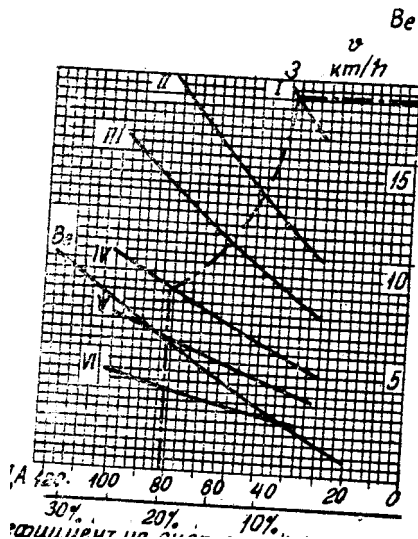
$$V_{\text{сн}} = \frac{\pi D_k}{\mu} \cdot n_{\text{сн}} \quad (\text{IV-49})$$

$$B_e = \frac{2\mu}{D_k} \cdot M_{\text{сн}}, \quad (\text{IV-50})$$

където $n_{\text{сп}}$ и $M_{\text{сп}}$ са величини, които за произволно избрани стойности на тока I_a се отчитат от електромеханичните спирачни характеристики, отнесени към вала на двигателя, или се изчисляват в съответствие с аналитичните изрази на тези характеристики - форм. (III-19) и (IV-48.) Тогава

$$V_{\text{сн}} = \frac{\pi D_k}{\mu} \cdot \frac{I_a (R + r_{\text{сн}})}{U - I_a R} \cdot n \quad (\text{IV-51})$$

$$B_e = \frac{2\mu}{D_k} \left[C'' I_a^2 + 2 \frac{U I_a (1 - \eta_d) - I_a^2 R}{2\pi n} \right]. \quad (IV-52)$$



Фиг. IV-14. Електромеханични спирачни характеристики на тягов електродвигател ДК-801А, отнесени към периферията на водещите козела

На фиг. IV-14 са показани електромеханичните спирачни характеристики на съветския тягов електродвигател ДК-801А, отнесени към периферията на задвижваното от него колело.

От разглеждането да електроспирачните характеристики може да се направи извод, че при еднакви условия спирачната сила ще бъде толкова по-голяма, колкото по-малко е спирачното съпротивление $r_{сп}$, тъй като съответно на това ще, се увеличи стойността на тока. Спирачната сила обаче може да бъде увеличена само до известни граници, при което трябва да бъдат спазени следните изисквания:

1) сцеплението между ходовите колела и релсите не трябва да се нарушава;

2) токът, съответстващ на спирачната сила, не трябва да предизвиква пренагряване на двигателя или пък силно влошаване на комутацията.

3) магнитният поток на машината, който в ненаситената част на кривата на намагнитването е право пропорционален на тока, не трябва да достига стойности, обуславящи появата на опасни пренапрежения.

Появата на опасни пренапрежения зависи и от скоростта на движение на влака в процеса на спирането $v_{сп}$ и е най-вероятна в случаите на използване на реостатното спиране за регулиране скоростта на движението на влака при спускане по наклон.

Максималното допустимо напрежение за тяговия електродвигател, работещ в генераторен режим, е

$$U_{\max \text{ доп}} = C_1 \Phi v_{сп \max} - I_a R, \quad (\text{IV-54})$$

където

$$C_1 = \frac{\mu}{\pi D_k} \cdot C \text{ - е константа,}$$

Ако членът $C_1 \Phi$ от равенство IV-54 изразим чрез форм. IV-55 за случая, когато тяговият двигател работи в двигателен режим, ще получим

$$C_1 \Phi = \frac{U - I_a R}{U - I_a R} \cdot v. \quad (\text{IV-55})$$

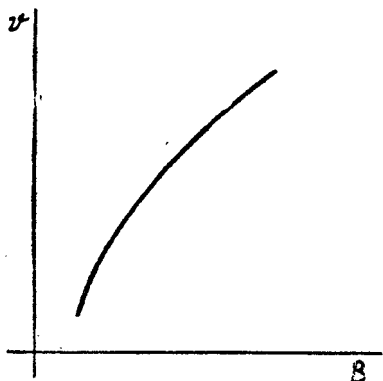
където v е скоростта на движение на влака при тягов режим при положение, че през един от тяговите двигатели на локомотива протича същият ток I_a .

От равенства IV-53, IV-54 и IV-55 следва

$$v_{сп \max} = \frac{1,2 U_{\text{ном}} + I_a R}{U - I_a R} \cdot v. \quad (\text{IV-56})$$

Горният израз в същност, е уравнение на крива, ограничаваща електромеханичните спирачни характеристики на двигателя по условието за допустима скорост на движение при електрическото реостатно спиране или което е все едно - по условието за предотвратяване появата на недопустимо високи напрежения на изводите на двигателя.

Очевидно ограничителната крива ще бъде подобна на скоростната характеристика $v=f(I_a)$ на двигателя при тягов режим. На фиг. IV-15 елемент от тази крива, е отрязъкът 2-3. На същата фигура с отсечката 1-2 е показано ограничението на спирачните характеристики по условието за сцепление на колелата с релсите.



Фиг. IV-15. Спирачна характеристика при реостатно спиране

в. Спирачни характеристики на локомотива при електрическо реостатно спиране. Те изразяват зависимостта на сумарната тангенциална спирачна сила на локомотива B от скоростта на движение в режим на електрическо реостатно спиране.

Спирачната характеристика на локомотива при реостатно спиране се строи въз основа на електро-механичните спирачни характеристики на тяговия двигател, отнесени към периферията на водещото колело: $B_e = f(I_a)$ и $v_{сп} = f(I_a)$, като за целта се задават произволни стойности на тока I_a . При това се държи сметка за зависимостта

$$B = n_{в.к} B_e \quad (\text{IV-57})$$

$n_{в.к}$ е броят на водещите колооси на локомотива;

B_e - тангенциалната електромагнитна спирачна сила на един двигател при зададена стойност на тока I_a .

На фиг. IV-15 е показана спирачната характеристика на локомотива при електрическо реостатно спиране.

Очевидно реостатното спиране осигурява механична устойчивост на спиращия процес, тъй като увеличаването на скоростта автоматично води до увеличаване на спиращата сила, в резултат на което съставът се връща към първоначалната си скорост и обратно - при намаляване на скоростта намалява и спиращата сила, което съдействува за ускоряването на състава.

В зоната на малките скорости спиращата сила намалява, като при достигане на граничната скорост v_{\min} съвсем изчезва поради прекратяване процеса на самовъзбуждане на работещия в генераторен режим двигател.