

$$\left. \begin{aligned} \psi_{01} &= \psi_{01}(V_{ck1}; F_{s2}; F_{s3}; \dots; F_{sk}; F_k) \\ \psi_{02} &= \psi_{02}(V_{ck2}; F_{s1}; F_{s3}; \dots; F_{sk}; F_k) \\ &\dots\dots\dots \\ \psi_{0k} &= \psi_{0k}(V_{ckk}; F_{s(k+1)}; \dots; F_{s2}; F_{s1}; F_k) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В зависимости от числа одновременно боксующих колёсных пар область решений (1) или (2) может быть представлена семействами из одного, двух, трёх и т. д. равенств, а также графически. Можно избежать необходимости выполнять графические построения решения (2), если воспользоваться

характеристиками боксования вида $F_{дв} = f(V_{ск})$, которые связывают между собой (1) и (2). При этом достаточно иметь совмещённые на одном графике решения вида (1) соответствующие этим режимам работы характеристики боксования $F_{дв} = f(V_{ск})$.

Если по оси ординат откладывать величину физического коэффициента сцепления Ψ_0 , а по оси абсцисс соответствующую этому коэффициенту сцепления величину силы тяги, которую развивает колёсная пара, то полученная графическая зависимость определяет или необходимую величину физического коэффициента сцепления для реализации задаваемой силы тяги колёсной пары, или величины сил тяги, которые развиваются колёсными парами при наличии избыточного скольжения при заданном значении физического коэффициента сцепления (или изменение этой силы тяги при изменении физического коэффициента сцепления в некотором интервале).

$$\Psi_0 = f(F_{дв}).$$

Таких зависимостей вида $\Psi_0 = f(F_{дв})$ оказывается столько, сколько колёсных пар принято одновременно боксующими. Эти зависимости различны для колёсных пар, вступивших в режим боксования первыми и для колёсных пар, начавших боксование последними; также для одних и тех же колёсных пар они оказываются разными при изменении числа одновременно боксующих колёсных пар (это проявляется влияние перераспределения сцепного веса локомотива при боксовании) [3]. Наконец, для каждой колёсной пары число кривых в каждом режиме боксования определяется тем рядом значений параметра Δr , которое рассматривается.

Решение системы уравнений можно выполнять не только для заданной гибкости внешней характеристики тягового генератора Δr , но и при ряде фиксированных приращений напряжения Δu . Такие решения удобны тем, что позволяют, не проводя дополнительных вычислений, оценивать влияния на тяговые параметры локомотива различных способов регулирования подводимой к тяговым электродвигателям мощности или скачков напряжения генератора.

Когда в нашем распоряжении имеются подобные зависимости для каждой колёсной пары из числа одновременно боксующих, то может быть найдена и общая сила тяги всех боксующих колёсных пар как при заданном коэффициенте сцепления Ψ_0 , так и изменение общей силы тяги с изменением Ψ_0 .

Боксование всегда начинается с боксования группы лимитирующих колёсных пар (рис. 1) и только в том случае, если коэффициент сцепления Ψ_0 не зависящий от конструкции локомотива, стал меньше, чем $\Psi_{0м}$.

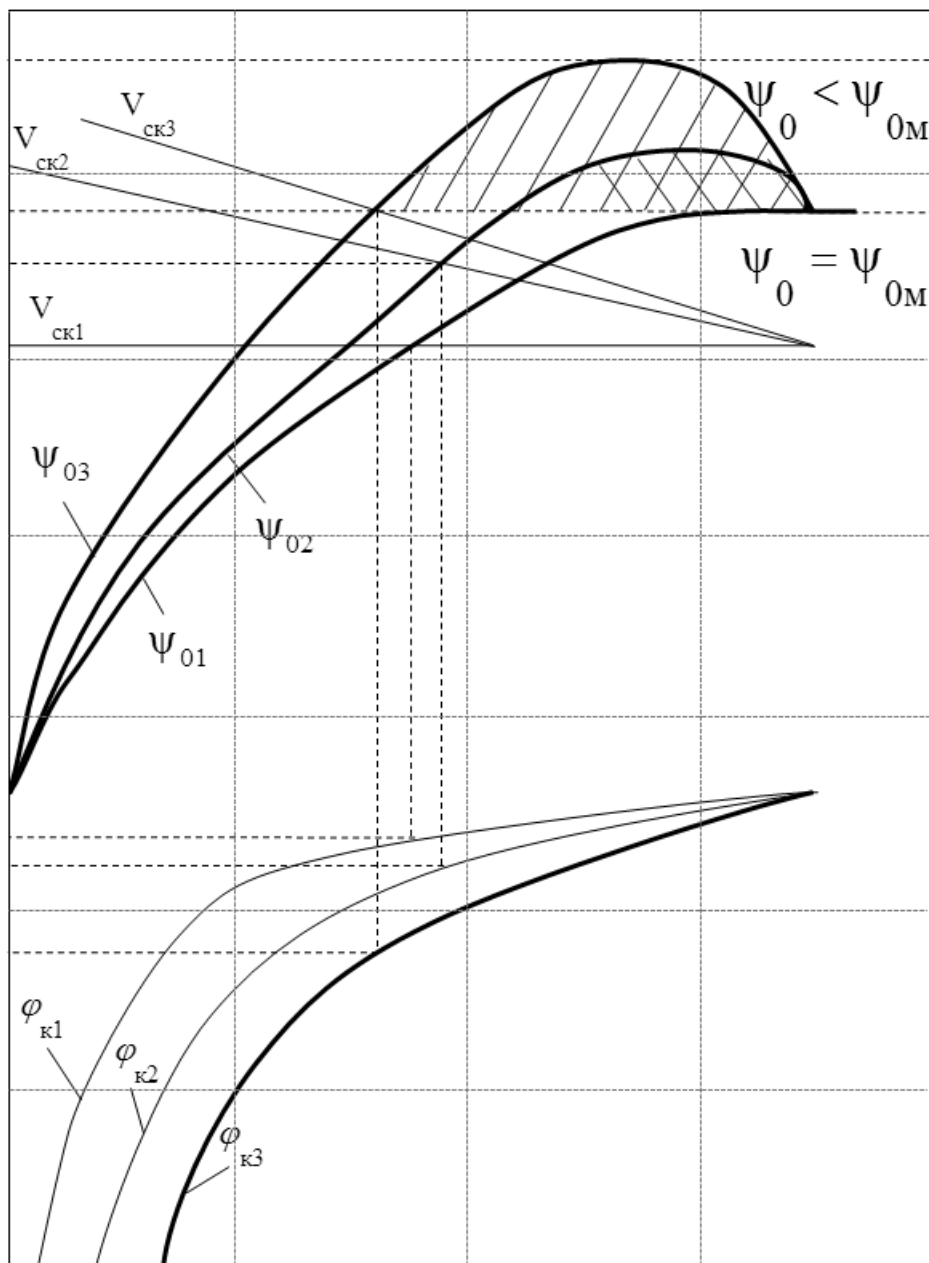


Рис. 1. К определению критериев статической устойчивости режимов боксования (области неустойчивых режимов заштрихованы) боксование только лимитирующей группы колёсных пар

По мере ухудшения условий сцепления (Ψ_0 становится всё меньше) боксование лимитирующих колёсных пар развивается. Сила тяги боксующей колёсной пары и её скорость скольжения определяется графиком зависимости $\Psi_0 = f(F_{дв})$, при выбранном значении параметра Δr , и характеристикой боксования $F_{дв} = f(v_{ск})$, при том же значении Δr .

В зависимости от величины гибкости внешней характеристики тягового генератора Δr сила тяги компенсирующих колёсных пар может возрастать или оставаться постоянной. Соответственно возрастает или остаётся постоянной (при $\Delta r = 0$) и коэффициент тяги φ_k компенсирующей колёсной пары. Как было показано ранее, величина φ_k может быть выражена при известном значении Δr через

силу тяги лимитирующей колёсной пары [4].

Если теперь совместить на одном графике зависимости $\Psi_0 = f(F_{дв})$ и $\varphi_k = f(F_{дв})$, то полученная точка пересечения определит как величину силы тяги боксующей колёсной пары перед началом дальнейшего

распространения режима боксования, так и критическую скорость скольжения, и саму величину коэффициента сцепления Ψ_0 , падение ниже которой вызывает начало боксования колёсных пар, работавших до этого, как компенсирующие.

Дальнейший анализ развития боксования при ухудшающихся условиях сцепления уже нужно производить, используя зависимости $\Psi_0 = f(F_{дв})$ и $\varphi_k = f(F_{дв})$ для нового числа одновременно боксующих колёсных пар, учитывая, что они различны для колёсных пар, работавших до этого как лимитирующие или как компенсирующие.

Используя только что описанную методику анализа, можно определить как условия статической устойчивости режимов боксования лимитирующих, компенсирующих, а также боксующих колёсных пар локомотива при ухудшающихся условиях сцепления, а так же и скорости скольжения, которые могут приобретать отдельные колёсные пары в режиме боксования, влияют на качественные показатели работы локомотива.

Литература

1. *Гарг В. К.* Динамика подвижного состава / В. К. Гарг, Р.В. Дуккипати. Пер. с англ. под ред. Н. А. Панькина. М.: транспорт, 1988. - 391 с.
2. Правила тяговых расчетов для поездной работы / МПС СССР. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
3. *Кузьмич В.Д.* Теория локомотивной тяги: учеб. Для вузов ж.-д. транспорта / В.Д. Кузьмич, В.С. Руднев, С.Я. Френкель; под ред. В.Д. Кузьмича – М.: Маршрут, 2005 – 448 с.
4. *Бирюков И.В.* Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог / И.В. Бирюков, А.И. Беляев, Е.К. Рыбников. М.: Транспорт, 1986. -256 с.