

Обратимость энергетических МГД-систем ¹³

Б. РЫБИН

ШИРОКО ИЗВЕСТНЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ магнитогидродинамические системы (кратко МГД-системы), в которых происходят взаимные превращения электрической и механической энергий в результате движения плазмы в магнитном поле. Например, динамо-машины, электромоторы, МГД-генераторы, МГД-насосы. Причем под «плазмой» подразумевается не только собственно плазма, но и, скажем, вращающаяся рамка (здесь положительной составляющей «плазмы» является кристаллическая решетка проводника, а отрицательной – свободные электроны).

В динамо-машине ротор вращается под действием источника механической энергии, и в результате (если ротор замкнут на какую-нибудь нагрузку) в нем возникает электрический ток. Если же к зажимам ротора вместо пассивной нагрузки подсоединить источник электрической энергии, то динамо-машина превратится в электромотор. В этом и заключается обратимость такой МГД-установки.

Рассмотрим явление обратимости более подробно. Воспользуемся простенькой моделью, позволяющей выделить и проанализировать элементарные физические процессы, протекающие при МГД-превращениях энергии.

Пусть точечный заряд q движется равномерно и прямолинейно в магнитном поле, причем его скорость \vec{v} перпендикулярна индукции поля \vec{B} . Так как на заряд действует сила Лоренца, перпендикулярная векторам \vec{v} и \vec{B} и равная

$$f_{\text{Л}} = qvB,$$

а заряд движется равномерно, то должна быть еще одна сила \vec{f} , равная и противоположно направленная силе $\vec{f}_{\text{Л}}$ (рис.1, а). Введем систему координат xqy , ориен-

тация которой произвольна (рис.1, б). Разложим \vec{v} на x - и y -составляющие:

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y.$$

Тогда и силы $\vec{f}_{\text{Л}}$ и \vec{f} тоже разложатся на составляющие, причем (на языке модулей)

$$f_x = f_{\text{Л}x} = qv_y B \text{ и } f_y = f_{\text{Л}y} = qv_x B.$$

Обозначим острый угол между вектором \vec{v} и осью x через α . Тогда мощности, развиваемые силами f_x и f_y , равны

$$p_x = f_x v \cos \alpha = f_x v_x \text{ и } p_y = f_y v \sin \alpha = f_y v_y.$$

Так как полная мощность, развиваемая силой \vec{f} , равна нулю (потому что $\vec{f} \perp \vec{v}$), справедливо равенство

$$p_x + p_y = f_x v_x + f_y v_y = 0.$$

Теперь предположим, что на заряд q в самом деле действуют два разных источника: один с силой f_x , а второй с силой f_y (индукция \vec{B} параллельна оси z). Тогда все наши предыдущие операции теряют свой чисто формальный характер и приобретают вполне определенный физический смысл. Из последнего выражения, в частности, следует, что мощности, развиваемые x - и y -источниками, равны по величине и противоположны по знаку. Один из них совершает работу против силы Лоренца, *расходуя* при этом свою энергию. Над вторым совершается точно такая же работа силой Лоренца, и он *получает* энергию. Первый источник мы будем в дальнейшем называть активным, а второй – пассивным, или потребителем энергии.

Предложенная модель МГД-преобразования энергии может быть названа одночастичной. Она позволяет очень просто (используя правило левой руки) вскрывать основные факторы, определяющие направлен-

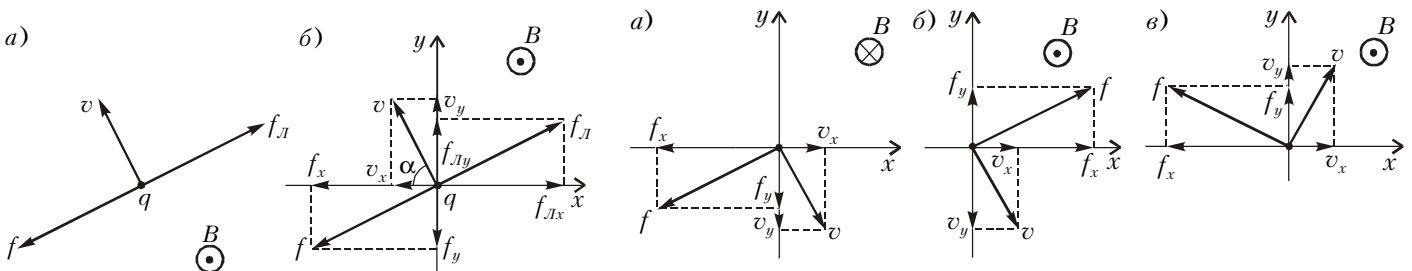


Рис.1

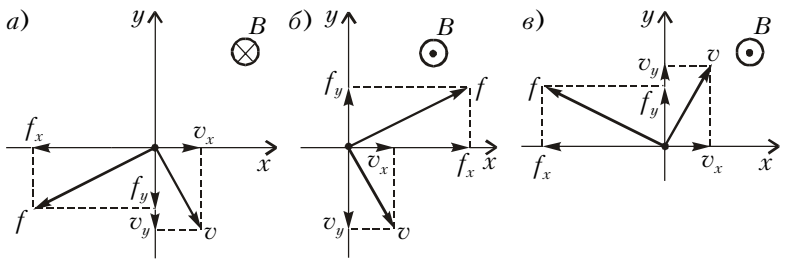


Рис.2