

ность протекающих процессов. Так, направление постоянной скорости \vec{v} в этой модели определяется векторами \vec{B} и \vec{f} . Если направление одного из этих векторов, например \vec{B} , изменится на противоположное, то и направление скорости \vec{v} изменится на противоположное.

Направление потока энергии (от x -источника к y -источнику или наоборот) определяется знаками мощностей $p_x = f_x v_x$ и $p_y = f_y v_y$. Если изменить на противоположное направление вектора \vec{B} , то v_x и v_y поменяют свои знаки и, соответственно, энергия потечет вспять (см. рис.1, б и 2, а). Если же изменить на противоположную силу \vec{f} , то свои знаки поменяют не только f_x и f_y , но и v_x и v_y , а направление потока энергии при этом останется неизменным (см. рис.1, б и 2, б). Направление потока энергии можно изменить еще таким образом – изменив на противоположное направление действия только одного из двух внешних источников. Например, если изменить знак f_y , то изменится знак и v_x . Соответственно, знаки мощностей p_x и p_y изменятся на противоположные (см. рис.1, б и 2, в).

Перейдем от одночастичной модели к рассмотрению движения большого числа частиц – плазмы. Будем считать, что плазма в целом нейтральна и что все ее частицы движутся равномерно (речь идет о направленном движении). Ради простоты будем также считать, что заряды положительных и отрицательных частиц плазмы по модулю равны ($q_+ = -q_- = q$). Ограничимся простым, но и наиболее интересным с точки зрения практики случаем. Пусть вдоль оси y имеет место чисто механическое движение, т.е. все частицы плазмы движутся с одной и той же скоростью: $v_{y+} = v_{y-} = v_{y0} = V_y$. Вдоль оси x механическое движение отсутствует, а имеет место только относительное перемещение положительных и отрицательных частиц, т.е. течет ток (конечно, электрический ток сопровождается движением массы, но, как правило, масса носителей тока пренебрежимо мала по сравнению с массой остальной плазмы). В этом случае сила Лоренца выступает как двуликкий Янус. Сумма всех y -составляющих сил Лоренца, действующих на отдельные частицы плазмы, равна силе Ампера F_A . Эту силу можно рассматривать как механическую, которая уравнивается внешней механической силой y -источника. Можно показать, что сумма мощностей, развиваемых отдельными микросилами f_{ly} , определяется известной из механики формулой

$$P_y = F_A V_y.$$

Докажите эту формулу самостоятельно. [1]¹

Далее, x -составляющие сил Лоренца, действующих на положительные и отрицательные частицы, равны по величине и противоположны по знаку, т.е. при наших предположениях можно считать, что вдоль оси x на плазму действует стороннее электрическое поле с на-

пряженностью

$$E_{ct} = \frac{f_{Lx}}{q} = V_y B.$$

Опять-таки можно показать, что сумма всех мощностей, развиваемых отдельными микросилами f_{Lx} , выражается хорошо известной формулой

$$P_x = \mathcal{E} I,$$

где \mathcal{E} – электродвижущая сила.

Докажите эту формулу. [2]

Любая энергетическая МГД-установка состоит из собственно МГД-блока с двумя плечами и двух источников энергии, подключаемых к этим плечам. Один источник механический, а второй электрический. Про-

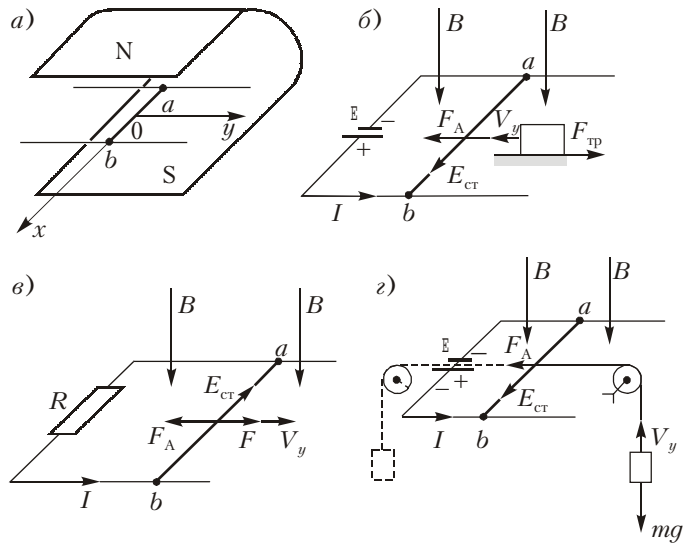


Рис. 3

стая модель МГД-блока показана на рисунке 3, а. Здесь ab – прямолинейный проводник, находящийся в электрическом контакте с двумя длинными параллельными проводниками, причем ab может без трения двигаться вдоль этих проводников. Все это расположено в однородном магнитном поле, перпендикулярном проводникам. Система координат xOy определяет плечи x и y .

Пусть к x -плечу подсоединена электрическая батарея, а к y -плечу – перемещаемое тело (см. рис.3, б). Какой из двух источников активный, а какой пассивный, очевидно. Поток энергии будет направлен из плеча x в плечо y независимо от направления магнитного поля \vec{B} или полярности подсоединенной батареи. Для того чтобы обратить поток энергии, нужно заменить батарею сопротивлением, а перемещаемое тело – активной силой, перемещающей проводник ab (см. рис.3, в). В этом и заключается обратимость рассматриваемой МГД-установки в том смысле, о котором говорилось в начале статьи.

Более интересным для анализа является случай, когда и x - и y -источники могут быть как активными, так и пассивными, в зависимости от обстоятельств. Так, подсоединим к x -плечу аккумулятор, а к y -плечу подвесим груз. Тогда направление потока энергии

¹ Цифра в квадратных скобках указывает номер подсказки из Приложения в конце статьи.