

УДК 621.923.2-83

**В.В. Булгар**, канд. техн. наук, проф.,  
**Фам Суан Вьонг**, магистр,  
Одес. нац. политехн. ун-т

## ЛИНЕЙНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧИ СТОЛА ОБДИРОЧНО-ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

*В.В. Булгар, Фам Суан Вьонг. Лінійний двигун постійного струму для електропривода подачі стола обдирочно-шліфувального верстата.* Проведено аналіз приводів подачі металорізальних верстатів і запропоновано лінійний двигун постійного струму (ЛДПС) подачі стола для обдирочно-шліфувального верстата, перетворюючий електричну енергію в механічну енергію зворотньо-поступального переміщення. ЛДПС спеціальної конструкції, крім забезпечення тягового зусилля, створює умови компенсації ваги рухомих частин верстата силами одностороннього електромагнітного притягання і зменшення потужності привода подачі стола.

*В.В. Булгар, Фам Суан Вьонг. Линейный двигатель постоянного тока для электропривода подачи стола обдирочно-шлифовального станка.* Проведен анализ приводов подачи металлорежущих станков и предложен линейный двигатель постоянного тока (ЛДПТ) подачи стола для обдирочно-шлифовального станка, напрямую преобразующий электрическую энергию в механическую энергию возвратно-поступательного перемещения. ЛДПТ специальной конструкции, кроме обеспечения тягового усилия, создает условия компенсации веса подвижных частей станка силами одностороннего электромагнитного притяжения и уменьшения мощности привода подачи стола.

*V.V. Bulgar, Pham Xuan Vuong. Direct current linear engine of rough-grinding machine tool's table feed electric drive.* The analysis of metal-cutting machine tools' feed drives is carried out and a linear direct current motor (LDCM) for table feed for a roughing-and-grinding machine-tool, directly converting electric energy of reciprocating moving, is offered. A specially designed LDCM, apart from providing traction force, creates conditions for compensation of machine-tool mobile parts weight by forces of unilateral electromagnetic attraction and reduction of table feed drive capacity.

Общая тенденция развития современного электропривода заключается в максимальном приспособлении его технических характеристик к характеристикам производственных механизмов и технологических процессов. В станочных приводах главная особенность этого развития заключается в стремлении к непосредственному объединению электрической машины с исполнительным органом. Такое решение позволяет исключить промежуточные механические передачи, повысить за счет этого быстродействие механизма и устранить погрешности в точности перемещения, вносимые наличием люфтов кинематической цепи [1].

В металлорежущих станках широко распространена поступательная форма движения изделия или инструмента, обуславливающая в приводах с вращательными электрическими машинами наличие механических передач, в функцию которых входит преобразование вида движения. При этом оказывается, что допустимая величина реализуемых в электрическом приводе скоростей и ускорений в ряде случаев ограничивается уже не электрической частью, а механической.

Помимо сложности кинематической цепи, эти системы “привод — стол” обладают целым рядом недостатков: люфты в передачах, повышенный износ, продольные колебания стола, его выпучивание, особенно при реверсах, что обусловлено сосредоточением приложения усилия к столу.

Решение задачи преобразования вращательного движения электродвигателя в возвратно-поступательное движение стола и закрепленной на нем детали с достаточно низкой скоростью перемещения усложняется большими длинами хода стола — до 10 м и более, значительными

статистическими нагрузками на привод и затягиванием процессов его пуска и торможения вследствие больших масс перемещаемых узлов — иногда до 20 т.

Известны обдирочно-шлифовальные станки, содержащие неподвижную колонну со шлифовальной бабкой и перемещающийся по рельсовому пути на колесных опорах подвижной стол с приводом поступательного движения [2, 4]. Для перемещения стола с деталью применяются сложные механические системы, преобразующие вращательное движение приводного электродвигателя в возвратно-поступательное перемещение стола. Применение линейного двигателя постоянного тока специальной конструкции [3], в котором электрическая энергия преобразуется в механическую энергию возвратно-поступательного перемещения стола с обрабатываемой деталью, позволяет повысить надежность механизма подачи в целом, упростить его конструкцию, улучшить динамические характеристики.

В обдирочно-шлифовальных станках [4] подвижной стол имеет большую массу, что приводит к быстрому износу направляющих, по которым он перемещается. Поэтому возникает необходимость уменьшить давление стола на направляющие.

Некоторые конструкции линейных двигателей постоянного тока способны развивать, кроме тягового усилия для перемещения подвижного элемента, усилие одностороннего магнитного притяжения якоря к индуктору.

Тяговое усилие, которое должен развивать линейный двигатель постоянного тока для равномерного перемещения стола станка, определяется из условия равновесия сил [5]

$$F_d = F_{\text{дин}} + F_c, \quad (1)$$

где  $F_{\text{дин}}$  — динамическая составляющая тягового усилия;

$F_c$  — сила статического сопротивления движению стола.

Динамическая составляющая, обеспечивающая всей массе поступательно движущихся частей заданное ускорение,

$$F_{\text{дин}} = a(m_{\text{мех}} + m_{\text{дв}}), \quad (2)$$

где  $m_{\text{мех}}$  — масса механизма;

$m_{\text{дв}}$  — масса двигателя.

Тяговое усилие двигателя зависит от площади активной поверхности якоря [3]

$$F_d = 0,5 \alpha_\delta B_\delta A S_a, \quad (3)$$

где  $S_a = l_\delta L_a$  — активная поверхность якоря;

$l_\delta$  — активная длина проводника якорной обмотки;

$L_a$  — длина развёрнутого плоского якоря;

$\alpha_\delta$  — коэффициент полюсного прикрытия;

$A$  — линейная токовая нагрузка якоря;

$B_\delta$  — магнитная индукция в рабочем воздушном зазоре двигателя.

Сила статического сопротивления движению стола

$$F_c = kmg + F_{\text{пр}} + F_p, \quad (4)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения;

$k$  — коэффициент трения;

$m$  — масса стола с учетом массы двигателя и обрабатываемой детали;

$F_{\text{пр}}$  — усилие прижима рабочего элемента к обрабатываемой детали;

$F_p$  — усилие подачи стола.

В линейном двигателе постоянного тока с электромагнитной разгрузкой направляющих усилие притяжения подвижных частей к направляющим [6]

$$F_k = 0,25 \delta_\delta \frac{B_\delta^2}{\mu_0} S_a, \quad (5)$$

где  $\mu_0$  — магнитная проницаемость воздушного зазора.

Тогда сила статического сопротивления движению стола с учетом (5)

$$F_c = kmg + F_{\text{пр}} + F_p - F_k, \quad (6)$$

минимальное тяговое усилие, которое должен развивать линейный двигатель постоянного тока с учетом (1)

$$F_d = F_{\text{дин}} + F_c - F_k. \quad (7)$$

Таким образом, за счет частичного уравнивания веса подвижных частей силами одно-стороннего электромагнитного притяжения уменьшается тяговое усилие  $F_d$  и, соответственно, мощность привода подачи стола.

Используя свойства линейного двигателя постоянного тока с частичным уравниванием веса подвижных частей [6], предложены конструктивные изменения привода подачи стола обдирочно-шлифовального станка модели 3304 И-120. Изменение конструкции стола с использованием линейного двигателя постоянного тока для привода стола позволяет частично скомпенсировать вес стола и закрепленного на нем обрабатываемого изделия, благодаря электромагнитному притяжению модулей линейного двигателя к горизонтальным частям стойки стола. При этом снижаются статические нагрузки на электропривод и в результате появляется возможность уменьшить жесткость и металлоемкость конструкций стола. Одновременно обеспечивается возможность снижения мощности линейного двигателя постоянного тока.

Станок (см. рисунок) состоит из неподвижной колонны 1 со шлифовальной бабкой 2, установленной на основании 3, на котором установлен так же и рельсовый путь 4, перемещающего по рельсовому пути 4 подвижного стола 5 с коленными опорами 6 и закрепленным на нем обрабатываемым изделием 7 (см. рисунок). К нижней части стола 5 по его длине прикреплены кронштейны 8, имеющие горизонтальные участки, расположенные симметрично относительно направления перемещения стола. На обращенной к столу поверхности горизонтальных участков кронштейнов 8 на протяжении длины стола между его колесными опорами 6 в воздушном зазоре 9 установлены модули 10 линейного двигателя постоянного тока, каждый из которых имеет обмотку якоря 11 длиной в два полюсных деления двигателя и обмотку возбуждения 12. Модули 10 линейного двигателя установлены таким образом, что направление действия их тягового усилия параллельно направлению перемещения стола 5. На основании 3, на котором проложен рельсовый путь 4, на протяжении всего хода стола 5 установлена неподвижная стойка 13, являющаяся неподвижной частью линейного двигателя и имеющая Т-образное сечение, симметричное относительно направления перемещения стола 5.

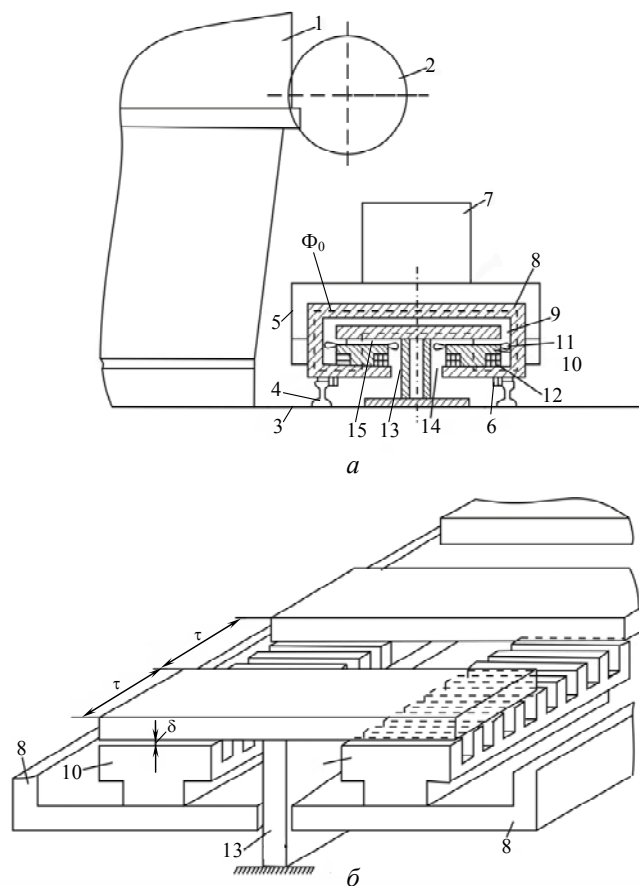
Вертикальная часть стойки 13 расположена в воздушном зазоре 14 между нерабочими поверхностями модулей 10, а горизонтальная часть расположена в воздушном зазоре 9 между нижней поверхностью стола 5 и рабочими поверхностями модулей 10 двигателя, образуя с ними переменный рабочий воздушный зазор 15 с шагом, равным двойному полюсному делению двигателя. Горизонтальная часть стойки 13 может представлять собой пластины шириной  $\tau$ , расположенные на расстоянии  $\tau$  друг от друга (см. рисунок б).

Толщина горизонтальной части неподвижной стойки 13 выбирается из условий возможности прохождения расчетного магнитного потока  $\Phi_0$  и обеспечения жесткости конструкции при воздействии электромагнитных усилий притяжения между горизонтальной частью стойки (пассивной частью двигателя) и модулем (активной частью двигателя).

С целью сокращения высоты модулей 10 линейного двигателя обмотки возбуждения можно располагать на горизонтальных либо вертикальных участках кронштейнов 8 крепления модулей 10.

Работает двигатель следующим образом. При подаче напряжения на обмотку возбуждения 12 модулей 10 в воздушном зазоре 15 линейного двигателя создается магнитный поток  $\Phi_0$ , замыкающийся через модули 10 в горизонтальную часть стойки 13 и кронштейн 8. Подача напряжения на обмотку якорей 11 модулей 10 производится с помощью коммутатора (щеточного коллектора или полупроводникового коммутатора), не показанного на рисунке. При подаче на-

пряжения на линейный двигатель токи обмотки якорей 4, взаимодействуя с магнитными потоками обмоток возбуждения 12, создают тяговое усилие, параллельное направлению перемещения стола 5. Одновременно якоря 11 двигателя создают усилия притяжения к горизонтальным участкам стойки 13, частично компенсирующие вес подвижных частей стола. При движении стола коммутатор осуществляет последовательное переключение подсоединенных к нему секций обмоток якорей 11.



Обдирочно-шлифовальный станок (а); упрощенная конструктивная схема линейного двигателя обдирочно-шлифовального станка (б)

При подходе стола к своему крайнему положению полярность напряжения на якорных обмотках меняется, и стол движется в обратном направлении. Изменяя величину напряжения, подаваемого на обмотки якорей 11, можно регулировать линейную скорость перемещения стола.

Магнитный поток  $\Phi_0$ , проходя через воздушный зазор 15, создает электромагнитное усилие притяжения обеих частей двигателя (активной — модуля и пассивной — горизонтальной части стойки) друг к другу, компенсируя вес подвижных элементов стола. Это позволяет значительно уменьшить статические нагрузки на подвижную часть стола, улучшить динамические характеристики электропривода в целом. Одновременно снижаются нагрузки на колесные опоры 6 и рельсовый путь 4, что приводит к уменьшению их износа.

Предложенная компоновка стола обдирочно-шлифовального станка с линейным двигателем постоянного тока такой конструкции позволяет скомпенсировать вес стола и закрепляемого на нем обрабатываемого изделия благодаря электромагнитному притяжению модулей 10 линейного двигателя к горизонтальным частям стойки 13. При этом есть возможность снижения до 50 % статических нагрузок на привод и, в результате, уменьшения жесткости и металлоемкости ряда узлов станка. Одновременно обеспечивается снижение до 30 % мощности линейного двигателя постоянного тока.

**Литература**

1. Свечарник, Д.В. Электрические машины непосредственного привода. Безредукторный электропривод / Д.В. Свечарник. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 208 с.
2. Есаков, В.П. Электрооборудование и электропривод промышленных установок / В.П. Есаков. — К.: Вища шк., 1981. — 248 с.
3. Свечарник, Д.В. Линейный электропривод / Д.В. Свечарник. — М.: Энергия, 1979. — 151 с.
4. Станок обдирочно-шлифовальный мод. 3304, завод изготовитель — Воронежский станкостроительный завод, 1984.
5. Коломойцев, Л.Ф. Тяговое усилие линейного индукторного электродвигателя / Л.Ф. Коломойцев, Г.И. Володин, П.Ф. Грибанов // Изв. вузов. Электромеханика. — 1988, № 7. — С. 49 — 54.
6. Гололобов, В.В. Определение тягового усилия линейного двигателя постоянного тока индукторного типа с учетом перемещаемых масс механизма и электродвигателя / В.В. Гололобов, А.Д. Ивлев // Межвуз. сб. научн. тр. по электротехнике “Электромеханические комплексы в транспорте и атомной энергетике”. — Ереван.: ЕрПИ, 1989. — С. 50 — 55.
7. А.с. 965734 СССР Обдирочно-шлифовальный станок / [А.Д. Ивлев, Ю.А. Сахаров, Б.И. Шкловский и др.] // Бюл. — 1982. — № 38.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Водичев В.А.

Поступила в редакцию 25 февраля 2009 г.