

СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ГИСТЕРЕЗИСА ЭЛЕКТРОПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОРОЖНОЙ МАШИНОЙ

В. А. Череухин

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научные руководители: А. В. Ковалев, В. А. Карпов

Для большинства пропорциональных электроуправляемых систем наиболее широко используются в качестве органа управления пропорциональные магниты (ПМ) [1]. В отличие от обычных электромагнитов, продольное перемещение ферромагнитного якоря ПМ осуществляется пропорционально силе тока, протекающей в обмотке.

На рис. 1, *a* показана экспериментально снятая характеристика ПМ в составе регулятора расхода при управлении расходом рабочей жидкости гидромотора. Данная характеристика имеет гистерезис, наличие которого объясняется следующим. При движении на якорь ПМ оказывает влияние сила трения $F_{\text{ТР}}$, величина которой зависит от качества изготовления магнита и его конструктивных особенностей. При выдвигении якоря $F_{\text{ТР}}$ складывается с силой упругости пружины $F_{\text{УПР}}$, а при обратном ходе якоря сила трения вычитается из силы упругости пружины.

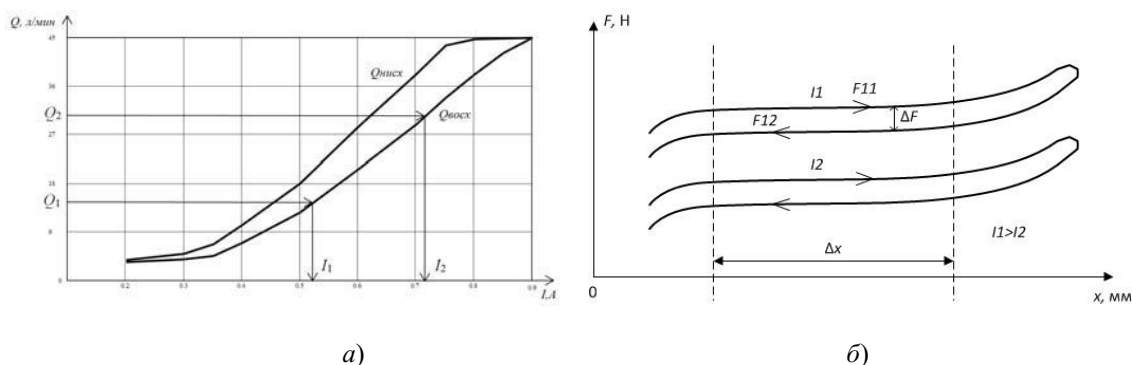


Рис. 1. Характеристики ПМ:

a – типовая характеристика ПМ с гистерезисом; *б* – тяговая характеристика ПМ

При проектировании гидравлических систем с пропорциональным электроуправлением наиболее часто применяются два способа построения систем управления: с датчиками обратной связи по положению якоря (рис. 2, *a*) и с токовым управлением с ШИМ (рис. 2, *б*).

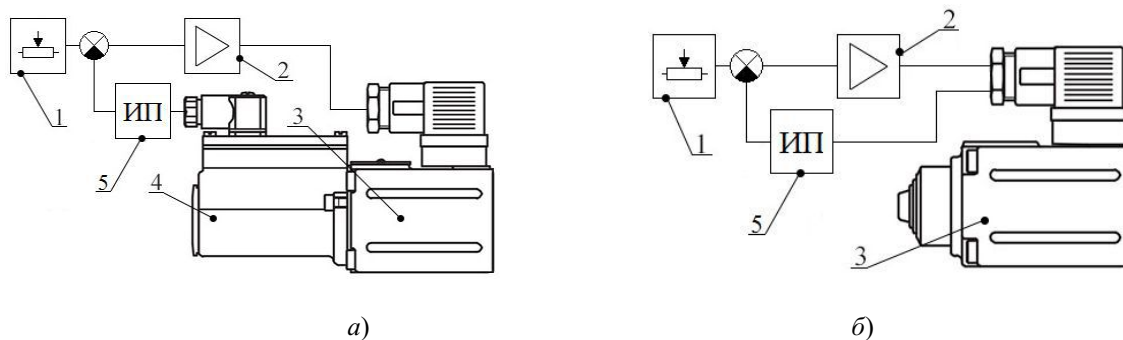


Рис. 2. Способы построения систем управления:

1 – задающее устройство; 2 – регулирующий усилитель; 3 – ПМ; 4 – датчик обратной связи по положению якоря; 5 – измерительный преобразователь

Первый вариант построения систем управления (см. рис. 2, *a*) может компенсировать гистерезис магнита в пропорциональных системах с достаточно высокой точностью, но в зависимости от точности позиционирования имеют значительное приращение в стоимости по сравнению со вторым способом управления (см. рис. 2, *б*).

При использовании известных систем пропорционального управления, где требуется периодическое, циклическое или эпизодическое перемещение золотника распределителя (вперед-назад), гистерезис, как правило, вносит свое влияние в виде автоколебаний или задержек и неточного позиционирования исполнительных органов.

Потребитель и департамент дорог, как правило, задается следующими основными параметрами для комбинированной дорожной машины (КДМ): максимальная рабочая скорость движения КДМ; максимальная плотность пескосолераспределения; максимальная ширина распределения противогололедных материалов (ПГМ). Для большинства типовых трассовых КДМ эти параметры, соответственно, следующие: 50 км/ч, 500 г/м², 12 м. Для указанных выше параметров типовой максимальный расход на секцию подачи ПГМ имеет значение около 45 л/мин. Предположив, что исполнительные

рабочие органы идеальны, можно привести семейство функций расхода жидкости секции подачи ПГМ в зависимости от скорости движения КДМ и ширины разброса ПГМ в автоматическом режиме, исходя из следующего выражения:

$$Q_{i,j} = KW_i PLV_j, \quad (1)$$

где $Q_{i,j}$ – значение расхода секции подачи ПГМ; K – коэффициент пропорциональности, учитывающий особенности конструкции подающего механизма ПГМ и его гидравлического привода (определяется экспериментальным путем); W_i – заданная ширина распределения ПГМ; PL – заданная плотность распределения; V_j – скорость движения шасси КДМ.

Как правило, при движении по трассе водитель КДМ редко изменяет ширину и плотность распределения ПГМ, в связи с чем эти величины можно учитывать как параметры, а аргументом функции расхода является скорость движения шасси. Семейство характеристик расхода для трех типовых значений ширины распределения ПГМ при плотности 500 г/м^2 представлены в [2].

Для организации сигнала управления ПМ, с учетом параметров гистерезиса ПМ, по заданному алгоритму требуется аналитическое описание восходящей и нисходящей ветвей характеристики. На основании [2] эти характеристики можно описать, используя следующую зависимость:

$$Q(I) = AI^4 + BI^3 + CI^2 + DI^1 + E, \quad (2)$$

где A, B, C, D, E – коэффициенты, вычислив которые можно получить итоговую зависимость расхода рабочей жидкости (РЖ) от значения управляющего тока ПМ.

С учетом вышеизложенного предлагаемый способ компенсации гистерезиса представлен графически на рис. 3. Пусть в первоначальный момент времени расход РЖ гидромотором составляет $Q1$, который соответствует $I1$, току, приложенному к ПМ (точка 1, рис. 3). Если необходимо увеличить расход гидромотора (переход от точки 1 к точке 2 на рис. 3), то необходимо сначала выполнить расчет нового расхода гидромотора $Q_{\text{новое}}$ по формуле (2), а затем вычислить значение управляющего тока ПМ как переменную уравнения (3) для восходящей ветви регулирования, подставив в уравнение новое значение расхода $Q_{\text{новое}}$. В этом случае приращение тока ПМ (управляющее воздействие) будет равно: $\Delta I = I2 - I1$.

Если необходимо уменьшить расход гидромотора (например, выполнить возврат к начальному расходу $Q1$ (из точки 2 в точку 1)), необходимо выполнить следующее:

- 1) вычислить новое значение расхода гидромотора $Q_{\text{новое}}$ по формуле (1);
- 2) подставив $Q_{\text{новое}}$ в уравнение (2) для нисходящей ветви регулирования, вычислить значение тока $I4$. В этом случае управляющее воздействие будет равно: $\Delta I = I2 - I4$;
- 3) также необходимо перевести алгоритм на восходящую ветвь регулирования. Для этого необходимо расход $Q_{\text{новое}}$ подставить в уравнение (2) для восходящей ветви регулирования и вычислить новое значение тока ПМ.

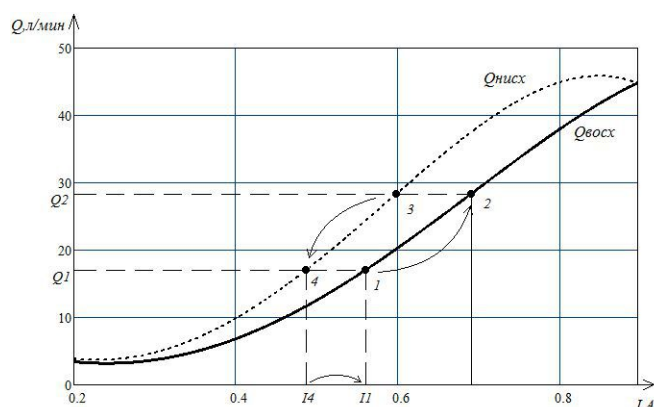


Рис. 3. Графическое отображение алгоритма нахождения управляющего воздействия

В результате обобщения изложенного можно сделать следующие выводы:

1. В работе приведены зависимости влияния гистерезиса ПМ на погрешность распределения противогололедных материалов в автоматическом режиме поддержания заданной плотности пескосолераспределителя КДМ.

2. Предложен вид аппроксимирующей зависимости нисходящей и восходящей ветвей характеристики пропорционального регулятора расхода в виде полинома 4-й степени.

3. Среднеквадратичная погрешность аппроксимации реальной зависимости нисходящей и восходящей ветвей регулирования ПМ составила менее 6 %.

4. Предложенный алгоритм компенсации влияния гистерезиса на характеристику регулятора расхода гидрожидкости при работе в автоматическом режиме поддержания заданной плотности посыпки позволяет снизить ее неравномерность в 5–6 раз при прочих равных условиях.

5. Предложенный алгоритм обеспечивает минимальное перерегулирование при изменении оперативного управляющего воздействия от системы контроля и управления, что позволит работать исполнительным органам без существенных колебаний с сохранением динамических свойств и диапазона регулирования.

Литература

1. Scholz, D. Proportional hydraulics / D. Scholz. – Copyright by Festo Didactic GmbH & Co. – Denkendorf, 2002. – 124 p.
2. Анализ влияния гистерезиса пропорционального электромагнита на погрешность пескосолераспределения комбинированной машины в автоматическом режиме / А. В. Ковалев [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2015. – № 1. – С. 58–64.