

УДК 621.38

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГИСТЕРЕЗИСА ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА НА ПОГРЕШНОСТЬ ПЕСКОСОЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОРОЖНОЙ МАШИНЫ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

**А. В. КОВАЛЕВ, В. А. КАРПОВ, Д. А. ЛИТВИНОВ,
А. В. КАРПОВ, В. А. ЧЕРЕУХИН, А. С. ЛЕВКОВИЧ**

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

Введение

В настоящее время на автомобильных дорогах стран СНГ работает большое количество комбинированных дорожных машин (КДМ) с пескосолераспределяющими установками. С каждым годом растут требования к качеству распределения противогололедных материалов (ПГМ) вне зависимости от скорости движения КДМ, состояния пескосоляной смеси (ПСС) и других причин. Это, в свою очередь, ведет к снижению аварийности на дорогах. В типовой КДМ исполняющими рабочими органами пескосолераспределяющей установки служат разбрасывающий диск с гидромотором и транспортерное или шнековое устройство подачи ПГМ, приводимое в движение гидромотором.

Управление скоростью вращения гидромоторов осуществляется, как правило, через пропорциональное изменение расхода гидрожидкости посредством управляемого гидроблока – регулятора расхода. Условно способы регулирования расхода гидрожидкости на КДМ можно разбить на ручной механический и электроуправляемый. Режимы работы пескосолераспределителей можно разбить на ручной и автоматический. В ручном режиме параметры работы гидрооборудования задаются фиксировано вручную, а в автоматическом расход жидкости задается по заданному алгоритму, в частности, для КДМ расход жидкости через гидромотор транспортера (шнека) изменяется так, чтобы обеспечить заданную плотность посыпки вне зависимости от скорости движения пескосолераспределителя и ширины распределения ПГМ.

У ручного регулятора расхода имеется несколько неоспоримых преимуществ – это простота технической реализации и возможность обслуживания низкоквалифицированным персоналом, однако есть и недостатки – в невозможности задания гибкого алгоритма управления расходом, в частности, привязка расхода к скорости движения шасси, и простой реализации управления из кабины КДМ. Таким образом, на сегодняшний день этот способ построения регулятора расхода для КДМ не обеспечивает требуемых потребительских свойств пескосолераспределителя.

Электроуправляемый регулятор расхода позволяет устранить указанные недостатки, однако и у него есть ряд недостатков [1], сдерживающих его массовое внедрение на пескосолераспределителях КДМ:

– дороговизна гидросистем зарубежного производства и отсутствие своевременной технической поддержки и подменного фонда;

- для обслуживания и наладки пропорциональных электроуправляемых систем требуется высококвалифицированный персонал;
- влияние уровня технологической оснастки предприятия на повторяемость параметров выпускаемых элементов гидрораспределителей и стабильность их характеристик в период эксплуатации;
- влияние гистерезиса пропорционального магнита (ПМ) на характеристику регулирования расхода регулятора.

В странах СНГ в силу перечисленных недостатков электроуправляемых пропорциональных регуляторов наибольшее распространение получили на КДМ ручные регуляторы расхода ввиду того, что машины в большей части являются бюджетными. Производитель пескосолераспределителей на сегодняшний момент при проектировании и выпуске КДМ ориентируется на цену системы регулирования расхода, а не на требуемые характеристики распределения ПГМ и удобства управления водителем. В связи с чем актуальна задача внедрения систем управления отечественной электроуправляемой пропорциональной гидроаппаратурой с заданными характеристиками регулирования расхода.

Существует достаточное количество способов регулирования расхода жидкости внутри электроуправляемого регулятора расхода посредством перемещения золотника с помощью ПМ [1]. Они различаются по принципу управления, трудоемкости технической реализации, точностным параметрам поддержания расхода, быстродействию и, соответственно, по цене. Однако даже при самой совершенной технологии изготовления ПМ электроуправляемый регулятор расхода имеет гистерезис. В связи с этим в статье предложена методика оценки влияния гистерезиса ПМ и гидроаппарата на погрешность распределения ПГМ в автоматическом режиме работы КДМ. Это позволит производителю пропорциональной гидроаппаратуры выдвигать требования к производителю электромагнитов и пропорциональной гидроаппаратуры по уровню гистерезиса в зависимости от поставленной технической задачи для динамических систем, которой и является пескосолераспределитель.

Методика оценки влияния значения гистерезиса пропорционального магнита на параметры пескосолераспределения в автоматическом режиме

В ПМ происходит преобразование электрической энергии в механическую в виде осевого перемещения якоря ПМ, механически связанного с золотником гидроаппарата. Таким образом, при изменении значения тока через обмотку возбуждения ПМ изменяется положение золотника, ведущее к изменению площади проходного сечения и, как результат, к изменению расхода гидрожидкости через гидроаппаратуру. Естественно, что от качества ПМ во многом зависит качество функционирования пропорциональной гидросистемы [2].

В бюджетных вариантах исполнения пропорциональных регуляторов расхода при построении систем управления ими используется обратная связь по току ПМ. Следовательно, перемещение x якоря пропорционально значению тока I , протекающего по обмотке ПМ. В действительности, при движении якоря существует сила трения $F_{\text{ТР}}$, зависящая от конструктивных особенностей и качества и изготовления магнита. Поскольку сила трения всегда направлена против движения якоря, то в характеристике $F(x)$ (при $I = \text{const}$) ПМ присутствует гистерезис. При выдвигании якоря $F_{\text{ТР}}$ складывается с силой упругости пружины, а при обратном ходе якоря сила трения вычитается из силы упругости пружины. В результате тяговая характеристика ПМ выглядит так, как это отображено на рис. 1, по которой можно определить гистерезис ПМ следующим образом:

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta F}{(F_{11} + F_{12})} 100 \%,$$

где ΔF – максимальная разность между силой, развиваемой при выдвигании F_{11} и втягивании F_{12} .

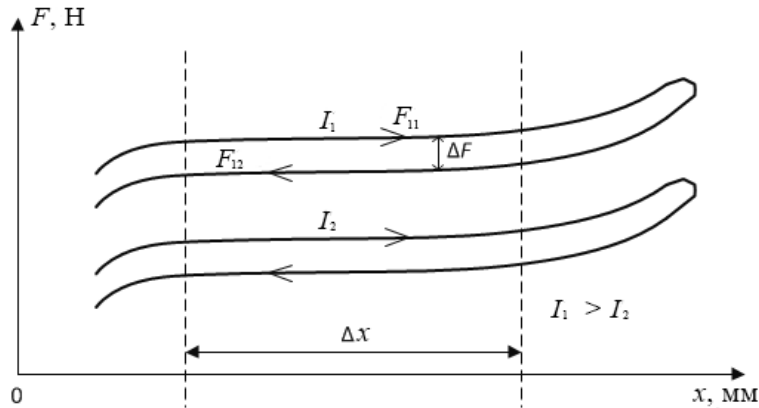


Рис. 1. Зависимость $F(x)$ реального ПМ

Например, для ПЭМ8 значение σ составляет не более 7 % для обычного исполнения и не более 4 % для исполнения повышенной точности [3].

Предположим, что частота вращения разбрасывающего диска стабильна на заданном уровне, т. е. не меняется в процессе движения КДМ. Тогда основным узлом обеспечения заданной плотности ПГМ является секция управления ее подачи.

Потребитель и департамент дорог, как правило, задается следующими основными параметрами для КДМ: максимальная рабочая скорость движения КДМ; максимальная плотность пескосолераспределения; максимальная ширина распределения ПГМ. Для большинства типовых трассовых КДМ эти параметры, соответственно, следующие: 50 км/ч; 500 г/м²; 12 м. Производитель КДМ определяет геометрию и характеристики рабочих органов пескосолераспределителя. После чего производителю гидроаппаратуры выставляются требования по максимальному расходу гидросекций. В частности, для указанных выше параметров типовой максимальный расход на секцию подачи ПСС имеет значение порядка 45 л/мин. Предположив, что исполнительные рабочие органы идеальны, приведем семейство расчетных функций расхода жидкости секции подачи ПГМ в зависимости от скорости движения КДМ и ширины разброса ПГМ в автоматическом режиме, исходя из следующего выражения:

$$Q_{i,j} = K \cdot W_i \cdot PL \cdot V_j,$$

где $Q_{i,j}$ – значение расхода секции подачи ПСС; K – коэффициент пропорциональности, учитывающий особенности конструкции подающего механизма ПГМ и его гидравлического привода; 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/м² представлено на рис. 2. Плато на уровне 45 л/мин объясняется конструктивными особенностями регулятора расхода секции управления органа подачи ПГМ.

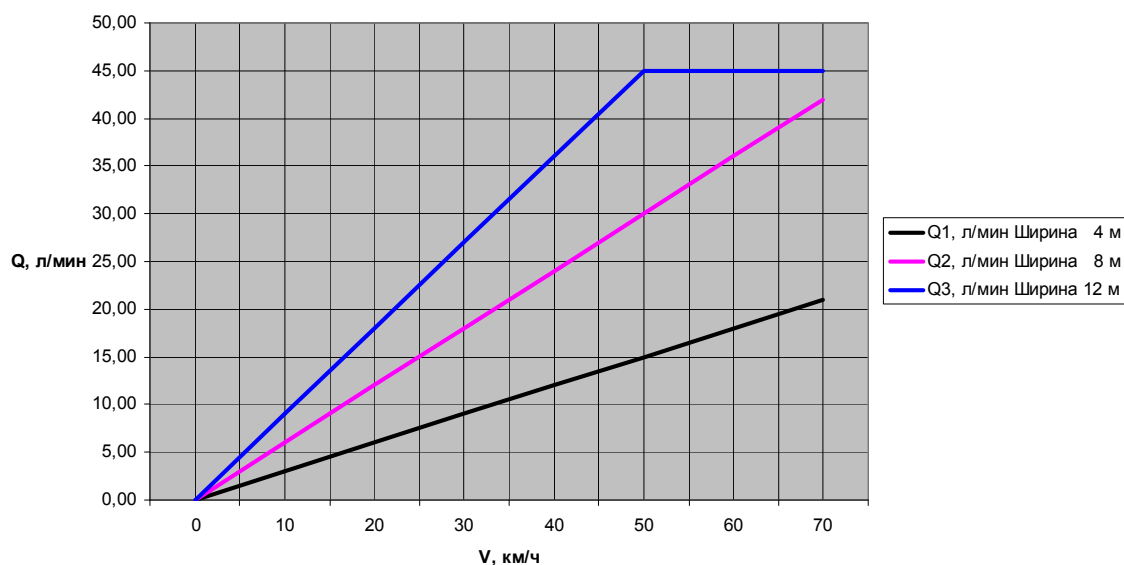


Рис. 2. Функции расхода секции подачи ПГМ в зависимости от скорости движения КДМ и ширины разброса ПГМ в автоматическом режиме

Экспериментально снятая характеристика зависимости расхода от величины протекающего тока для пропорциональной секции прямого действия с пропорциональным магнитом представлена на рис. 3, где Q_1 – расход в л/мин по восходящей ветви изменения тока, а Q_2 – по нисходящей. Как видно, реальная характеристика имеет гистерезис. На графике показан алгоритм определения максимального управляющего воздействия в виде тока ПМ в соответствии с выбранным расходом (шириной распределения) по восходящей ветви регулирования. Соответственно, масса ПГМ, поступающая на разбрасывающий диск, определяется прямо пропорционально расходу (см. рис. 4: M_1 – восходящая ветвь регулирования; M_2 – нисходящая). На рис. 5 показана зависимость массы ПГМ, поступающей на разбрасывающий диск в минуту при ширине разброса 4, 8, 12 м, соответственно, при изменении скорости движения КДМ в присутствии гистерезиса магнита.

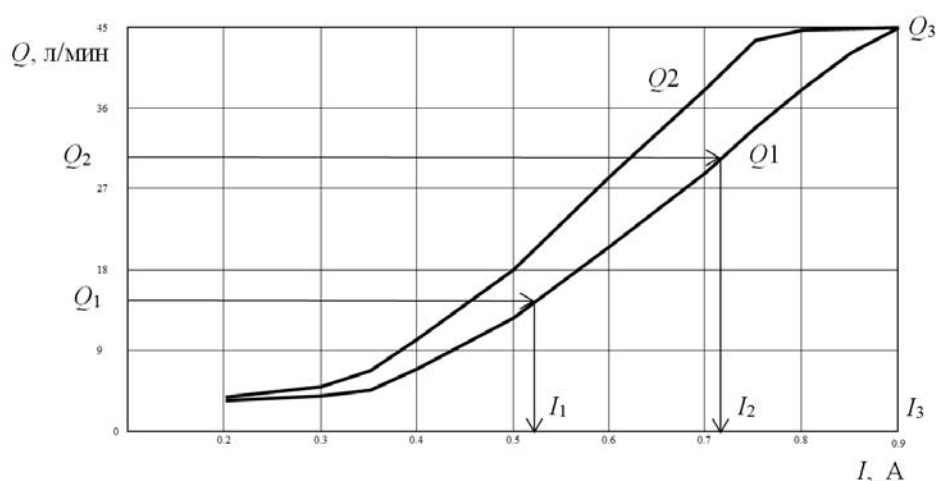


Рис. 3. Зависимость расхода гидрожидкости секции подачи ПГМ от значения тока ПМ

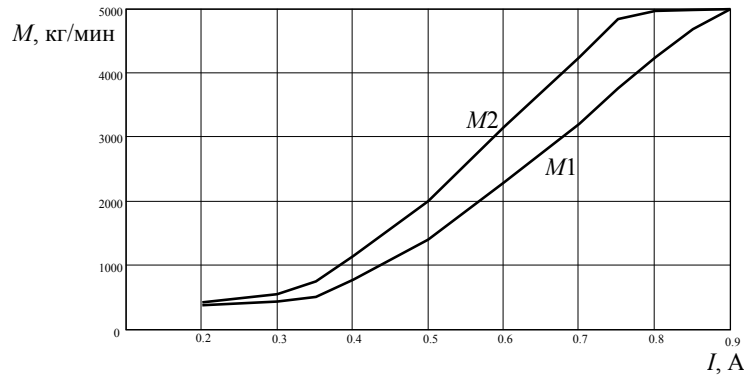


Рис. 4. Зависимость расчетной скорости поступления ПГМ на тарелку при ширине разброса 12 м и плотности 500 г/м² от значения тока ПМ секции подачи

Из комбинации графиков рис. 2–4 получено семейство характеристик массы ПГМ, поступающей на разбрасывающий диск в зависимости от скорости движения шасси в автоматическом режиме поддержания заданной плотности для трех значений ширины разброса в присутствии гистерезиса ПМ секции подачи (см. рис. 5). Диапазон рабочих скоростей выбран от 5 до 50 км/ч, учитывая, что при 50 км/ч должна обеспечиваться максимальная производительность пескосолераспределителя. Этот параметр соответствует значению тока ПМ, равному 0,9 А.

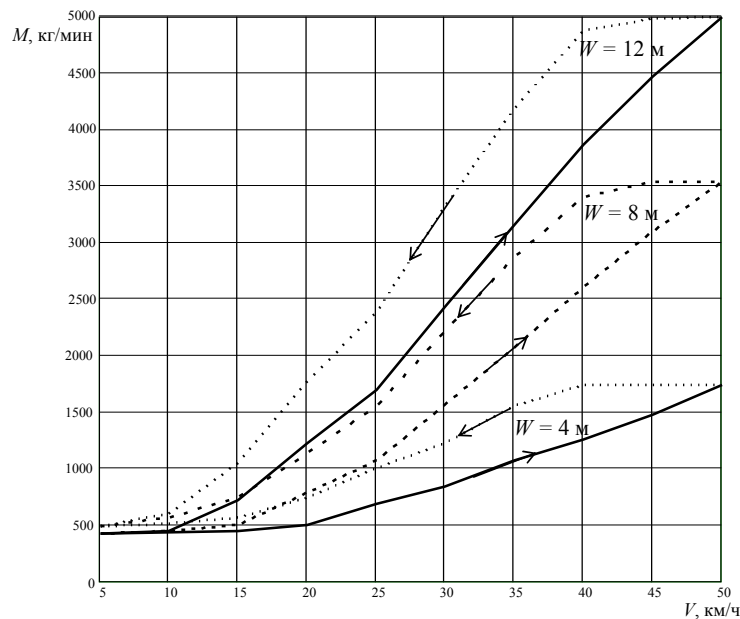


Рис. 5. Зависимость массы ПГМ, поступающей на разбрасывающий диск при ширине разброса 4, 8, 12 м и при изменении скорости движения КДМ в присутствии гистерезиса магнита в автоматическом режиме поддержания заданной плотности распределения

Учитывая, что управление ПМ в автоматическом режиме будет осуществляться по восходящей характеристике управления, оценим зависимость значения приведенной погрешности распределения ПГМ в зависимости от скорости движения и выбранной ширины распределения согласно следующему:

$$\delta_{i,j} = \frac{M2_{i,j} - M1_{i,j}}{M1_{i,j}} 100,$$

где $M1_{i,j} = W_i \cdot PL \cdot V_i$; $M2_{i,j} = W_i \cdot PL \cdot V_i$ – массы ПГМ, подаваемые на тарелку за 1 мин в автоматическом режиме поддержания заданной плотности в зависимости от скорости движения шасси и ширины распределения по восходящей ($M1$), нисходящей ($M2$) характеристикам изменения скорости движения КДМ. Полученные зависимости погрешности приведены на рис. 6.

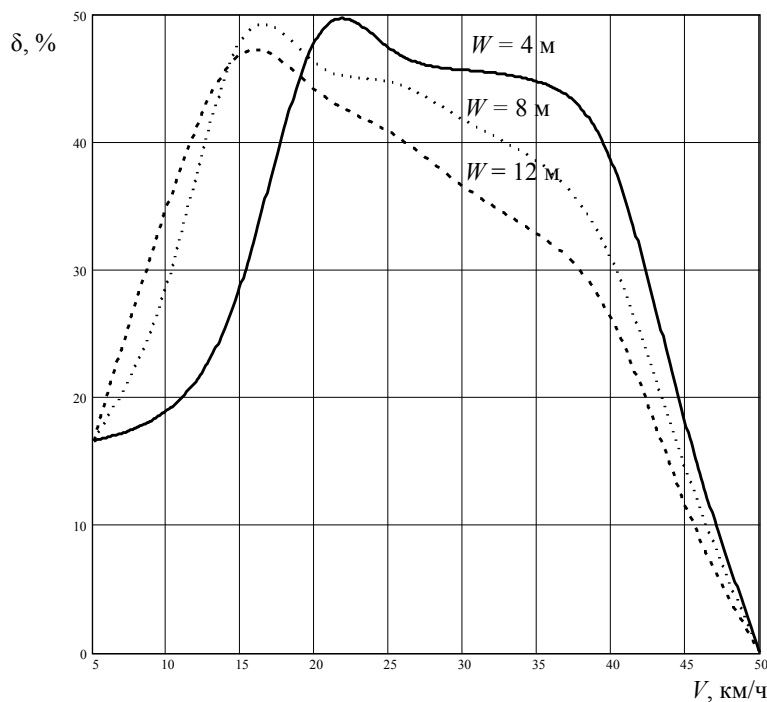


Рис. 6. Зависимость приведенной погрешности распределения ПГМ от скорости движения КДМ и выбранной ширины распределения в присутствии гистерезиса ПМ в автоматическом режиме поддержания заданной плотности распределения

Заключение

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- доказано, что гистерезис ПМ оказывает существенное влияние на погрешность распределения ПГМ в автоматическом режиме поддержания заданной плотности пескосолераспределителя КДМ;
- на значение погрешности распределения ПГМ оказывает влияние выбранный рабочий диапазон регулятора секции подачи ПГМ, что говорит о более осторожном выборе максимальных расходов жидкости регуляторов расходов, так как расширение диапазона ведет практически к двукратному увеличению ошибки распределения в автоматическом режиме при наличии гистерезиса ПМ;
- для уменьшения ошибки распределения ПГМ и сохранения заданных характеристик КДМ при наличии гистерезиса регулятора секции подачи ПГМ в автоматическом режиме следует сузить рабочий диапазон расходов регулятора и применить шибберную регулировку выгрузного окна транспортера (шнека);
- при идеальных исполнительных механизмах КДМ и пропорциональном управлении регулятором расхода с обратной связью по току в автоматическом режиме работы приведенная погрешность плотности посыпки может достигать, как минимум, двукратного превышения величины гистерезиса ПМ в процентном соотношении;
- для уменьшения погрешности распределения ПГМ в автоматическом режиме до уровня требуемых 10 % и сохранения диапазона регулировки следует применять

магниты со значением гистерезиса не более 4 % в системах управления с обратной связью по току, либо более дорогостоящие системы с обратной связью по положению золотника регулятора расхода.

Литература

1. Scholz, D. Proportional hydraulics / D. Scholz. – Copyright by Festo Didactic GmbH & Co. – Denkendorf, 2002. – 124 p.
2. Иванов, Г. М. Цифровая электрогидравлическая автоматика нового поколения / Г. М. Иванов, В. К. Свешников, И. В. Орлик // Гидравлика и пневматика. – 2006. – № 21. – С. 3–8.
3. ТУ-053-1916–90. Технические условия. Пропорциональные электромагниты.

Получено 13.10.2014 г.