

УДК 621.318.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИКИ

Стадник Николай Иванович, д.т.н., доцент
Иванов Николай Иванович, к.т.н., профессор
Моторная Оксана Алексеевна, к.т.н., доцент
Переяславский Алексей Николаевич, к.т.н., доцент
Винницкий национальный аграрный университет

M. Stadnik, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
M. Ivanov, PhD, Full Professor
O. Motorna, PhD, Associate Professor
O. Pereyaslavsky, PhD, Associate Professor
Vinnytsia National Agrarian University

Рассматривается вопрос создания низковольтных электромагнитов малой мощности повышенной надежности для систем автоматизации в машинах агропромышленного комплекса.

Используется методика расчета параметров электромагнита из условия обеспечения функционирования первого каскада агрегата. Кроме того, используются экспериментальные методы определения характеристик опытных образцов электромагнитов.

Выполнен анализ применения современных агрегатов с электроуправлением в различных машинах агропромышленного комплекса. Важным параметром электромагнитов являются их тяговые характеристики, которые определяют срабатывание электромагнита и, соответственно, характеризуют надежность работы всей системы. Исходя из условий эксплуатации, для обеспечения механической надежности и простоты конструкции предложено использовать электромагниты броневого типа с внедренным сердечником.

Выполнена оценка влияния на силовые характеристики конструктивного исполнения электромагнитов, а именно немагнитной вставки в стальной каркас катушки. Параметры этого элемента существенно влияют на магнитное поле и, соответственно, силовую характеристику электромагнитов. Рассмотрены схемы магнитных потоков в электромагните различным расположением немагнитной вставки. При расчете параметров обмотки катушки учитывались основные требования к ней, а именно заданная критическая сила, критический зазор, размер якоря электромагнита, сечение магнитопровода, магнитодвижущая сила.

Был подготовлен специальный стенд для экспериментальных исследований, на котором проведены экспериментальные измерения параметров тяговой характеристики опытных образцов электромагнитов. Построено семейство тяговых характеристик этих электромагнитов при различном напряжении питания.

Предложенная конструкция электромагнита обеспечивает необходимые значения силы при заданном перемещении. При этом определены параметры положения рабочего зазора между «якорем» и упором в области немагнитной вставки. Гарантированное обеспечение работоспособности при номинальных режимах для данной компоновки возможно при расположении немагнитной вставки на расстоянии от торца упора на величину не более 1/3 необходимого хода электромагнита и длине немагнитной вставки не менее 8 – 10 значений необходимого номинального хода якоря электромагнита.

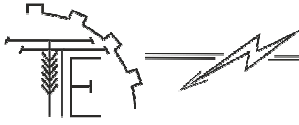
Ключевые слова: электромагнит, тяговые характеристики, параметры катушки, экспериментальные измерения.

Ф. 6. Рис. 4. Лит. 5.

1. Введение

Современные машины и технологические процессы в агропромышленном комплексе содержат системы автоматизации для реализации определенных алгоритмов их работы. Для реализации таких систем автоматизации широко используются электромагниты [1, 2]. Выбор конструктивных параметров электромагнитов определяет технические характеристики системы и существенно влияет на качество и надежность работы всей машины или технологического процесса [3, 4].

Рассматриваются характеристики дискретных электромагнитов, которые формируют ступенчатое переключение механических звеньев систем управления. Важной характеристикой работы электромагнитов являются их тяговые характеристики, что является предметом исследования, результаты которого представлены в данной статье.

**2. Результаты исследований**

Величина перемещения звена системы управления и, соответственно, ход якоря электромагнита, определяется из условия формирования управляющего воздействия и для многокаскадных систем составляет порядка 0,2-0,3 мм.

Усилие, необходимое для включения механического звена, имеет вид

$$F_h = F_p + F_{tr}, \quad (1)$$

где F_p – сила, создаваемая давлением рабочей жидкости на шарик и пружиной возврата;
 F_{tr} – сила преодоления трения.

Следовательно, составляющие силы определяются по зависимостям

$$F_p = pS_p + F_{pr}, \quad (2)$$

$$F_{tr} = pk_{tr}, \quad (3)$$

где p – рабочее давление;

S_p – площадь рабочей поверхности;

F_{pr} – усилие пружины;

k_{tr} – коэффициент трения, $k_{tr} = (0,026 - 0,028)$.

В итоге при номинальных значениях исходных параметров системы ($F_{pr} = 3 \text{ Н}$, $k_{tr} = 0,028$) получаем усилие $F_h = 56 \text{ Н}$ и ход $l_h = 0,3 \text{ мм}$, которые обеспечивают работу системы.

При разработке электромагнита [3, 4, 5] учитывались основные требования к электромагнитной катушке, такие как механическая надежность и простота конструкции. Такие характеристики лучше всего реализуются в электромагнитах броневых типа с внедренным сердечником.

Катушка изготавливается из стали и прерывание магнитного потока производится латунной проставкой. На рис. 1 показан фрагмент наиболее ответственного узла электромагнита, в котором используется «якорь» с усеченным конусом и немагнитная вставка в стальной каркас катушки. Расположение немагнитной вставки оказывает большое влияние на тяговое усилие. На рис. 1 а, представлен электропривод с оптимальным расположением немагнитной вставки, в котором можно заметить, что все силовые линии магнитного поля замыкаются через торцевую часть «якоря», сводя к минимуму рассеивание магнитного поля и достигая наибольших развиваемых усилий. На рис. 1 б, показан электропривод со смещенной магнитной вставкой в сторону «якоря» – это приводит, как видно из рисунка, к частичному рассеиванию магнитного поля и уменьшению тягового усилия.

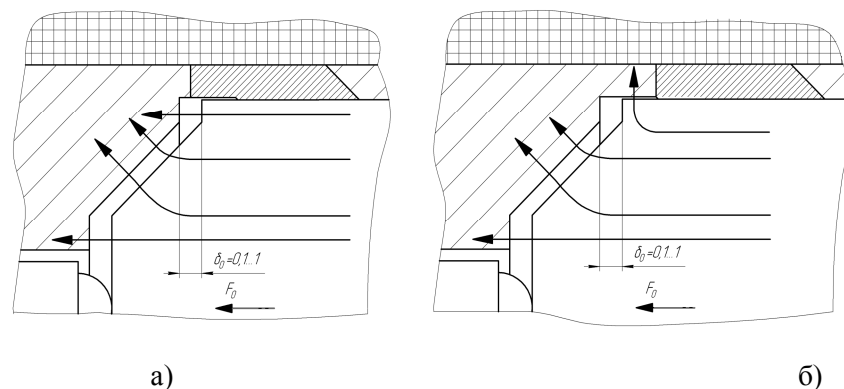
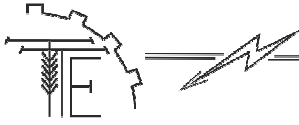


Рис. 1. Схема магнитных потоков в электромагните с а) оптимальным расположением немагнитной вставки и с б) смещенным расположением

При расчете электромагнитной катушки [5] учитываются следующие параметры: заданная критическая сила F_0 , критический зазор δ_0 , размер якоря электромагнита d_c , сечение магнитопровода S_m , магнитодвижущая сила $I\omega$.

Критическая сила F_0 определяется по следующему уравнению (4).



$$F_0 = 5,1 \cdot \frac{B_0^2 S_0}{\mu_0}, \quad (4)$$

где B_0 – индукция в основном зазоре;

S_0 – эквивалентное сечение основного зазора;

μ_0 – магнитная постоянная.

Эквивалентное сечение S_0 в основном зазоре такое же, как и сечение сердечника, и определяется по уравнению:

$$S_0 = \frac{\pi d_c^2}{4}, \quad (5)$$

Индукция в основном зазоре B_0 определяется по уравнению:

$$B_0 = \frac{\mu_0 \varphi \chi I \omega}{\delta_0}, \quad (6)$$

где φ – коэффициент, учитывающий падение магнитного потенциала в стали и нерабочих зазорах, $\varphi \approx 0,75$;

χ – коэффициент, учитывающий возможное понижение напряжения, подведенного к тяговой катушке, $\chi \approx 0,85$;

δ_0 – зазор между сердечником и якорем;

$I\omega$ – магнитодвижущая сила ω .

Были изготовлены опытные образцы электромагнитов ЭМ1 и проведены их испытания на стенде, функциональная схема которого показана на рис. 2.

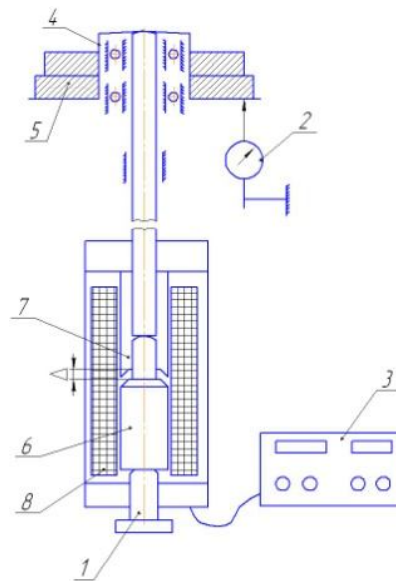


Рис. 2. Структурная схема стенда для испытания электромагнита:

1 – регулировочный болт; 2 – индикатор перемещения; 3 – источник питания; 4 – специальное приспособление; 5 – мерные грузы

Для сравнения на рис. 3 показаны тяговые характеристики этих электромагнитов, полученные для двух реализаций расположения немагнитной вставки в соответствии с рис. 1.

Проанализировав уравнения (4) – (6), можно сделать вывод, что для изменения тяговой характеристики готового электропривода можно изменять только два параметра – напряжение питания (изменяя магнитодвижущую силу) и зазор между сердечником и якорем (изменяя индуктивность в основном зазоре). Применяя данную методику, было получено семейство тяговых характеристик электромагнита ЭМ1 при различных значениях питающего напряжения, которые приведены на рис. 4.

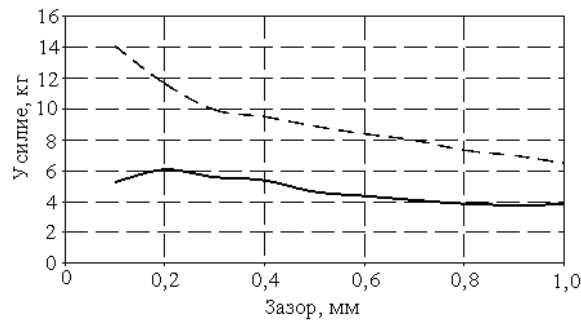
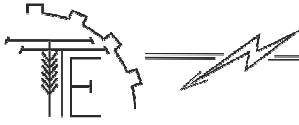


Рис. 3. Тяговая характеристика электромагнита ЭМ1 при напряжении 12 В, полученная экспериментальным путем для магнитов, которые соответствуют рис. 1 а (— —) и рис. 1 б (— — —)

Анализ тяговой характеристики электромагнита (рис. 4) показывает, что опытный образец электромагнита при номинальном напряжении 12 В и величине хода якоря 0,6 мм развивает усилие 11,5 кг. Сравнивая эти параметры с необходимыми значениями силы $F_h = 56$ Н и хода $l_h = 0,3$ мм, видно, что данный электромагнит при вдвое большем перемещении обеспечивает вдвое большее усилие. Такие параметры тяговой характеристики электромагнита обеспечивают высокую надежность его срабатывания и, соответственно, высокую надежность работы системы с электромагнитным управлением.

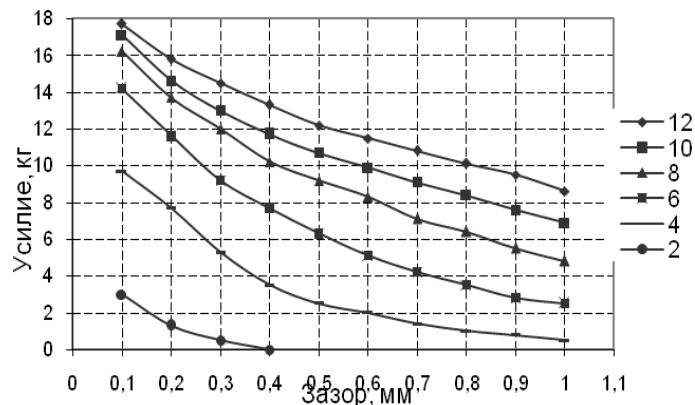


Рис. 4. Семейство тяговых характеристик электромагнита ЭМ1 при различном напряжении питания (2, 4, 6, 8, 10, 12 В), полученных экспериментальным путем

3. Выводы

Предложенная конструкция электромагнита «бронированного» типа обеспечивает необходимые значения силы при заданном перемещении. При этом необходимо учитывать местонахождение рабочего зазора между «якорем» и «стопом» в области немагнитной вставки. Гарантированное обеспечение работоспособности при номинальных режимах для данной компоновки возможно при соблюдении следующих рекомендаций:

- немагнитная вставка должна отставать от торца «стопа» на величину не более 1/3 необходимого хода электромагнита;
- длина немагнитной вставки должна составлять не менее 8-10 значений необходимого номинального хода якоря электромагнита.

Список використаних джерел

1. Электромагниты и соленоиды для гидроаппаратуры [Электронный ресурс] // Интернет-версия журнала «Конструктор. Машиностроитель». – 2011. №3. Режим доступа: <https://konstruktor.net/podrobnee-hidr/ehlektromagnity-i-solenoidy-dlja-gidroapparatury.html>. 27.10.2011
2. Italmagneti. Catalog – [Electronic Resource].: URL: <http://www.italmagneti.it/catalog.html> Title of the screen.
3. Миткевич А.В. Стабильность постоянных магнитов [Текст] / А.В. Миткевич. – М.: ЛКИ, 2015. – 130 с.



4. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты [Текст] / А. Г. Сливинская. – М.: Книга по Требованию, 2010. – 247 с.
5. Любчик М.А. Расчет и проектирование электромагнитов постоянного и переменного тока [Текст] / М.А. Любчик – Москва–Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1959. – 224 с.

Referenses

- [1] *Elektromagnity i solenoidy dlia gidroapparatury [Electromagnets and solenoids for hydroequipment]* (2011). // Internet–versiiia zhurnala "Konstruktor. Mashinostroitel" [Internet–version of the magazine "Designer. Mechanical engineer"]. №3. Rezhim dostupa: <https://konstruktor.net/podrobnee-hidr/ehlektromagnity-i-solenoidy-dlja-gidroapparatury.html>.
- [2] *Italmagneti. Catalog* : <http://www.italmagneti.it/catalog.html> Title of the screen.
- [3] Mitkevich, A. V. (2015). *Stabilnost postoiannykh magnitov [Stability of permanent magnets]*. Moskva: LKI [in Russian].
- [4] Slivinskaia, A.G. (2010). *Elektromagnity i postoiannye magnity [Electromagnets and permanent magnets]*. Moskva: Kniga po Trebovaniu. [in Russian].
- [5] Liubchik, M.A. (1959). *Raschet i proektirovanie elektromagnitov postoiannogo i peremennogo toka [Calculation and design of direct current and alternating current electromagnets]*. Moskva–Leningrad: Gosudarstvennoe energeticheskoe izdatelstvo [in Russian].

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИКИ

Розглядається питання створення низьковольтних електромагнітів малої потужності підвищеної надійності для систем автоматичної машини агропромислового комплексу.

Використовується методика розрахунку параметрів електромагніта з умови забезпечення функціонування першого каскаду агрегату. Крім того, використовуються експериментальні методи визначення характеристик дослідних зразків електромагнітів.

Виконано аналіз застосування сучасних агрегатів з електроуправлінням в різних машинах агропромислового комплексу. Важливим параметром електромагнітів є їх тягові характеристики, які визначають спрацьовування електромагніту і, відповідно, характеризують надійність роботи всієї системи. Виходячи з умов експлуатації, для забезпечення механічної надійності і простоти конструкції запропоновано використовувати електромагніти броньового типу з впровадженням осердя.

Виконано оцінку впливу на силові характеристики конструктивного виконання електромагнітів, а саме немагнітної вставки в сталевий каркас котушки. Параметри цього елемента суттєво впливають на магнітне поле і, відповідно, силову характеристику електромагнітів. Розглянуто схеми магнітних потоків в електромагніті різним розташуванням немагнітної вставки. При розрахунку параметрів обмотки котушки були враховані основні вимоги до неї, а саме задана критична сила, критичний зазор, розмір якоря електромагніту, перетин магнітопроводу, магніторушійна сила. Було підготовлено спеціальний стенд для експериментальних досліджень, на якому проведені експериментальні вимірювання параметрів тягової характеристики дослідних зразків електромагнітів. Побудовано сімейство тягових характеристик цих електромагнітів при різній напрузі живлення.

Ключові слова: електромагніт, тягові характеристики, параметри котушки, експериментальні вимірювання.

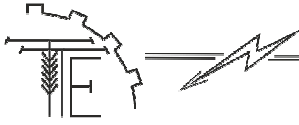
Ф. 6. Рис. 4. Літ. 5.

AUTOMATIC SYSTEM ELECTROMAGNETS TRACTION FORCE CHARACTERISTICS RESEARCH

The issue of creating low-voltage low-power electromagnets with increased reliability for automation systems in machines of the agro-industrial complex is considered.

A technique is used to calculate the parameters of the electromagnet from the condition that the first cascade of the unit be operational. In addition, experimental methods for determining the characteristics of prototypes of electromagnets are used.

The analysis of the application of modern aggregates with electrical control in various machines of the agro-industrial complex is carried out. An important parameter of electromagnets are their traction characteristics, which determine the operation of the electromagnet and, accordingly, characterize the reliability of the entire system. Based on operating conditions, to provide mechanical reliability and simplicity of design, it is proposed to use armored-type electromagnets with an embedded core.



The effect on the power characteristics of the structural design of electromagnets, namely the non-magnetic insertion in the steel coil of the coil, is assessed. The parameters of this element significantly affect the magnetic field and, accordingly, the power characteristics of the electromagnets. Schemes of magnetic fluxes in electromagnet are considered with different arrangement of a non-magnetic insert. When calculating the parameters of the winding of the coil, the basic requirements for it were taken into account, namely the specified critical force, the critical gap, the size of the armature of the electromagnet, the cross section of the magnetic circuit, and the magnetomotive force.

A special stand was prepared for experimental research, on which experimental measurements of the traction characteristics of prototypes of electromagnets were made. A family of traction characteristics of these electromagnets is constructed at different supply voltages.

Keywords: electromagnet, traction characteristics, parameters of the coil, experimental measurements

F. 6. Fig. 4. Ref. 5.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Стадник Николай Иванович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Электротехнические системы, технологий и автоматизации в АПК» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: stadnik_mykola@vsau.vin.ua).

Иванов. Николай Иванович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Машины и оборудование сельскохозяйственного производства» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: stadnik_mykola@vsau.vin.ua)

Моторная Оксана Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и оборудование сельскохозяйственного производства» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: motorna@vsau.vin.ua).

Переяславский Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и оборудование сельскохозяйственного производства» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: aleksey.pereyaslavskyy@gmail.com).

Стадник Микола Іванович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри «Електротехнічні системи, технології і автоматизації в АПК» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, р. Вінниця, 21008, Україна, email: stadnik_mykola@vsau.vin.ua).

Іванов. Микола Іванович – кандидат технічних наук, професор кафедри «Машины та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, р. Вінниця, 21008, Україна, email: stadnik_mykola@vsau.vin.ua).

Моторна Оксана Олексіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Машины та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, р. Вінниця, 21008, Україна, email: motorna@vsau.vin.ua).

Переяславський Олексій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Машины та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, р. Вінниця, 21008, Україна, email: aleksey.pereyaslavskyy@gmail.com)

Stadnik Nikolai – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Electrotechnical Systems, Technologies and Automation in Agroindustrial Complex of Vinnitsa National Agrarian University (3 Solnechnaya St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: stadnik_mykola@vsau.vin.ua).

Ivanov Nikolai – PhD, Professor of the Department "Machines and Equipment for Agricultural Production" of Vinnitsa National Agrarian University (3 Solnechnaya St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: stadnik_mykola@vsau.vin.ua).

Motornaya Oksana – PhD, Associate Professor of the Department "Machines and Equipment for Agricultural Production" of Vinnitsa National Agrarian University (3, Solnechnaya St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: motorna@vsau.vin.ua).

Pereyaslavsky Alexey – PhD, The senior lecturer of the chair "Machines and equipment of agricultural production" of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnechnaya St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: aleksey.pereyaslavskyy@gmail.com).