

9. Shvidya, V.O. Pidvishchennya effektivnosti pnevmovidtsentrovogo separatora ta obgruntuvannya parametriv robochikh organiv: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.11 «Mashini ta zasobi mekhanizatsii silskogospodarskogo virobnitstva» / Shvidya Viktor Oleksandrovich. – Glevakha, 2012. – 18 s.

10. Patent Rossii No. 2675607 S1 MPK B07B 7/083 (2006.01). Tsentrobezno-vozdushnyy separator / Lekanov S.V., Strikunov N.I., Cherkashin S.A. 2017146182;

zayavl. 26.12.2017; opubl. 20.12.2018, Byul. No. 35.

11. Shilin, V.V. Povyshenie effektivnosti ochistki zerna vibrotsentrobezhnym separatom putem razrabotki pnevmosistemy s vertikalnym koltsevym aspiratsionnym kanalom: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. k.t.n.: spets. 05.20.01 / Shilin Vladimir Vladimirovich; [ZNIISKh Severo-Vostoka im. N. V. Rudnitskogo]. – Kirov, 2004. – 23 s.



УДК 621.318

С.К. Шерьязов, Ю.А. Никишин, А.А. Митюнин
S.K. Sheryazov, Yu.A. Nikishin, A.A. Mityunin

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ НЕОДНОРОДНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

THE RESEARCH OF THE DEGREE OF MAGNETIC FIELD INHOMOGENEITY IN AGRICULTURAL MAGNETIC SEPARATORS

Ключевые слова: сельскохозяйственная продукция, электромагнитный сепаратор, постоянный магнит, магнитное поле, магнитная индукция, степень неоднородности, металломагнитная частица.

Обеспечение сохранности качества сельскохозяйственной продукции на всех этапах ее производства является важной задачей. При этом извлечение металломагнитных частиц из продукта возможно железотделителями разных типов. Наиболее широкое применение находят электромагнитные сепараторы, которые устанавливаются в технологических линиях. Создание сепаратора с определенным параметром неоднородного магнитного поля является актуальной задачей. Для обеспечения требуемой степени очистки продуктов от металлических частиц создается магнитная сила, которая извлекает частицу из продукта и притягивает к полюсу магнитной системы. Сила притяжения в рабочей зоне сепаратора зависит от параметров и степени неоднородности магнитного поля. Более неоднородное магнитное поле создает магнитную силу, которая будет различной в рабочей зоне сепаратора, увеличиваясь по

направлению к полюсу магнитной системы, что обеспечивает быстрое притягивание металлических частиц. Теоретически сложно определить параметры магнитного поля, поэтому их лучше находить экспериментальным путём. Для этого теоретически исследована скорость изменения магнитной индукции в рабочей зоне сепаратора в зависимости от степени неоднородности магнитного поля. В ходе исследования выявлено, что увеличение значения магнитной индукции не влияет на степень неоднородности магнитного поля. Установленная зависимость имеет практическое значение, с ее помощью в разработанной магнитной системе можно определить степень неоднородности. Для этого достаточно измерить магнитную индукцию на заданной расстоянии от полюса магнитной системы. Установленная зависимость подтверждена данными экспериментальных исследований. Результаты проведенных исследований показали, как можно предварительно оценить параметры магнитного поля, необходимые при разработке магнитной системы, в частности для электромагнитного сепаратора. Показана возможность оценки степени неоднородности магнитного поля, что важно для магнитных систем, использующих эти

свойства для извлечения металлических частиц в сепарации сельскохозяйственных продуктов.

Keywords: *agricultural products, electromagnetic separator, permanent magnet, magnetic field, magnetic induction, degree of inhomogeneity, metal-magnetic particle.*

Ensuring agricultural products quality at all stages of the production is an important task. In this case, the extraction of metallomagnetic particles from the product is possible by iron separators of various types. Electromagnetic separators installed in technological lines are used most widely. Developing a separator with a specific parameter of an inhomogeneous magnetic field is an urgent task. To provide the required degree of product purification from metal particles, a magnetic power is generated that extracts the particle from the product and attracts it to the pole of the magnetic system. The force of attraction in the working area of the separator depends on the parameters and the power of the magnetic field inhomogeneity. A more inhomogeneous magnetic field produces a magnetic power that will be different in the working area of the separator increasing towards the

pole of the magnetic system that provides rapid attraction of metal particles. It is theoretically difficult to determine the magnetic field parameters so it is better to find them experimentally. For this purpose, we theoretically studied the rate of change of magnetic induction in the separator working zone depending on the power of the magnetic field inhomogeneity. The research has revealed that an increase in the magnetic induction value does not affect the power of the magnetic field inhomogeneity. The determined dependence has practical importance; with its help, the power of inhomogeneity may be determined in the developed magnetic system. For that, it is enough to measure the magnetic induction at a given distance from the pole of the magnetic system. The experimental data have proved the determined dependence. The results of the studies have shown how it is possible to estimate preliminarily the parameters of the magnetic field necessary for the development of a magnetic system, in particular for an electromagnetic separator. The possibility of estimating the power of the magnetic field inhomogeneity is shown, which is important for magnetic systems using these properties to extract metal particles in the separation of agricultural products.

Шерьязов Сакен Койшыбаевич, д.т.н., проф., Южно-Уральский государственный аграрный университет. E-mail: sakenu@yandex.ru.

Никишин Юрий Алексеевич, к.ф.-м.н., доцент, Южно-Уральский государственный аграрный университет. E-mail: sakenu@yandex.ru.

Митюнин Александр Александрович, к.т.н., инженер, ООО «Мостпроект», г. Курган. E-mail: sakenu@yandex.ru.

Sheryazov Saken Koysybayevich, Dr. Tech. Sci., Prof., South-Ural State Agricultural University. E-mail: sakenu@yandex.ru.

Nikishin Yuriy Alekseyevich, Cand. Phys.-Math. Sci., Assoc. Prof., South-Ural State Agricultural University. E-mail: sakenu@yandex.ru.

Mityunin Aleksandr Aleksandrovich, Cand. Tech. Sci., Engineer, ООО "Mostproyekt", Kurgan. E-mail: sakenu@yandex.ru.

Введение

Развитие сельского хозяйства зависит от внедрения энергосберегающих интенсивных технологии на всех этапах производства продукции от посевной до уборки и переработки продукции в дальнейшем. В ходе этих процессов важно сохранить качество продукции, в частности, обеспечить ее чистоту от возможных металлических примесей, частиц, попадающих при производстве продукции [1, 2].

В настоящее время для очистки сельскохозяйственных продуктов от вредных металлических примесей широкое применение находит метод извлечения их за счет магнитного поля. Для этого существуют различ-

ные сепараторы, используемые в переработке сельскохозяйственных продуктов [3].

Условия очистки от металлических включений зависит от параметров применяемой магнитной системы. При этом создаваемое магнитное поле должно быть неоднородным, в котором магнитная сила в любой точке магнитного поля различна по модулю и направлению [4, 5].

Таким образом, в процессе очистки продуктов от металлических частиц важно создать магнитную силу, которая должна быть различной в рабочей зоне сепаратора благодаря созданию неоднородного магнитного поля. Тогда создание неоднородного магнитного поля и определение его параметров

при разработке железоотделителей является актуальной задачей.

Методы и материалы исследования

Магнитную силу, с которой металлическая частица притягивается к магнитной системе, можно представить через градиент магнитной индукции, показывающий скорость ее изменения [6, 7]:

$$F_m = -\frac{V}{2\mu\mu_0} \cdot \text{grad}B^2,$$

где B – индукция магнитного потока, Тл;

μ – относительная магнитная проницаемость среды;

μ_0 – магнитная проницаемость в вакууме, Гн/м;

V – объем частицы, м³.

Теоретическое исследование параметров магнитного поля в непосредственной близости полюсов вызывает определенные трудности. Поэтому параметры магнитного поля у полюсов, как правило, находят экспериментальным путём.

В замкнутой магнитной системе принято считать, что напряженность магнитного поля с увеличением расстояния от поверхности магнитной системы изменяется по зависимости [8]:

$$H = H_0 \cdot \exp(-cr),$$

где H_0 – максимальная напряженность магнитного поля, А/м;

c – параметр магнитной системы 1/м;

r – расстояние от полюса магнитной системы, м.

Поскольку между напряженностью и индукцией магнитного поля существует функциональная зависимость:

$$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H,$$

можно считать, что магнитная индукция с увеличением расстояния от полюса магнит-

ной системы также уменьшается по экспоненте:

$$B = B_{\max} e^{-cr}$$

В предложенном выражении параметр c характеризует степень изменения магнитной индукции, относительно максимального значения, с изменением расстояния от полюса магнитной системы. В частности, с ростом r , когда все больше происходит удаление от полюса, магнитная индукция снижается, и скорость ее изменения можно оценить параметром c .

Если параметр магнитной системы представить как

$$\tilde{n} = \frac{1}{d_n},$$

то d_n можно представить как параметр неоднородности магнитного поля, м.

Тогда значение магнитной индукции магнитной системы предлагается переписать в виде

$$B = B_{\max} e^{\frac{d_i}{d_n}}, \quad (2)$$

где B_{\max} – максимальное значение магнитной индукции, Тл;

d_i – расстояние между полюсом магнитной системы и рассматриваемой i -той точки, м.

Предложенный параметр d_n характеризует скорость изменения магнитной индукции в e раз на заданном расстоянии от полюса. Причем, скорость изменения магнитной индукции больше, чем меньше d_n , и магнитное поле становится более неоднородным.

Таким образом, для обеспечения качества очистки продуктов от металломагнитных примесей требуется магнитная система, создающая более неоднородное магнитное поле в рабочей зоне сепарации. Тогда для изучения степени неоднородности магнитного поля требуется исследование влияния

параметра d_n на скорость изменения магнитной индукции.

Обсуждение результатов исследования

Необходимые исследования параметров магнитной системы предлагается производить в относительных единицах. Так, показатель d_n рассматривается относительно d_m – максимального расстояния от полюса магнита до рабочей поверхности.

Результаты исследования изменения магнитной индукции в рабочей зоне при различных соотношениях d_n/d_m и на расстоянии d_i , выраженной относительно максимального расстояния d_m , приведены на рисунке 1.

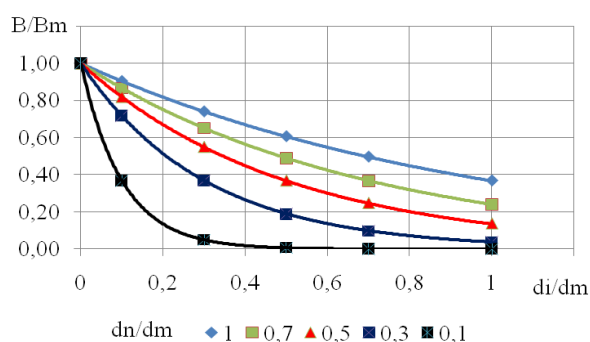


Рис. 1. Зависимость величины магнитной индукции от удаленности полюса магнита при различных соотношениях d_n/d_m

Анализ полученных данных показывает, что когда $d_n=d_m$, магнитная индукция изменяется равномерно и свидетельствует слабую неоднородность магнитного поля.

В условиях, когда параметр d_n снижается, изменение магнитной индукции носит более нелинейный характер. При этом появляется ярко выраженный градиент магнитной индукции, и магнитное поле становится более неоднородным.

Полученная зависимость позволяет оценить неоднородность магнитного поля для любой магнитной системы. На практике до-

статочно измерить магнитную индукцию на полюсе магнитной системы и в i -той точке рабочей зоны. Тогда, зная расстояние между рассматриваемыми точками, несложно выйти на кривую соотношения d_n/d_m и оценить степень неоднородности магнитного поля.

Таким образом, в ходе разработки магнитных сепараторов важно создать более неоднородное магнитное поле. Приведенная зависимость позволяет по данным замеров оценить степень неоднородности магнитного поля.

Магнитная индукция влияет на силу, позволяющая извлечь металломагнитные частицы из среды, в которой они находятся. Однако этого недостаточно, частицу необходимо притянуть к полюсам магнитной системы как можно быстрее, чтобы по инерции движения и под воздействием среды она не вышла за пределы рабочей зоны. В этом случае требуется создание более неоднородного магнитного поля.

В ходе исследования важно было оценить влияние на неоднородность магнитного поля самой величины магнитной индукции. Для этого, увеличивая величину индукции магнитного поля, анализировали скорость ее изменения. Результаты исследования приведены на рисунке 2.

На рисунке 2 представлен характер изменения магнитной индукции, если значения ее увеличены в 1,5; 2 и 2,5 раза. При этом значения магнитной индукции приведены к наибольшему значению $V_{m,n}$.

Анализ данных показывает, что увеличение значения магнитной индукции не влияет на неоднородность магнитного поля. Так, значение $V/V_{m,n} = 0,4$ можно ожидать при $d_i/d_m = 0,3$, когда $d_n/d_m = 0,7$ (рис. 26), а при увеличении магнитной индукции в 1,33 раза $V/V_{m,n} = 0,53$ ожидается на расстоянии

$d_i/d_m = 0,3$ и при тех же параметрах неоднородности магнитного поля (рис. 2в). Как видим, с увеличением магнитной индукции степень неоднородности магнитного поля остается неизменной. Таким образом, рост магнитной индукции не влияет на степень неоднородности магнитного поля и параметр d_n остается без изменений.

Вместе с тем с ростом магнитной индукции усиливается магнитная сила, а с уменьшением d_n растет скорость изменения магнитной индукции и магнитное поле становится более неоднородным, что в целом влияет на качество очистки продуктов от металлических примесей. Для проверки результатов исследования неоднородности магнитного поля воспользовались результатами экспериментальных исследований на разработанной модели электромагнитного сепаратора с постоянными магнитами [9].

Для подтверждения приведенных положений проводились экспериментальные исследования на модели электромагнитного сепаратора. Для этого рассматривалась электромагнитная система с использованием постоянных неодимовых магнитов и без него.

Для определения неоднородности магнитного поля проводились замеры магнитной индукции на заданном расстоянии от полюса магнитной системы. Результаты исследования с постоянным магнитом и без него приведены на рисунке 3. Штриховой линией показаны результаты экспериментальных исследований.

Анализ данных показывает сходимость опытной и теоретической зависимости. Приведенные зависимости показывают возможность создания более неоднородного магнитного поля за счет постоянных магнитов.

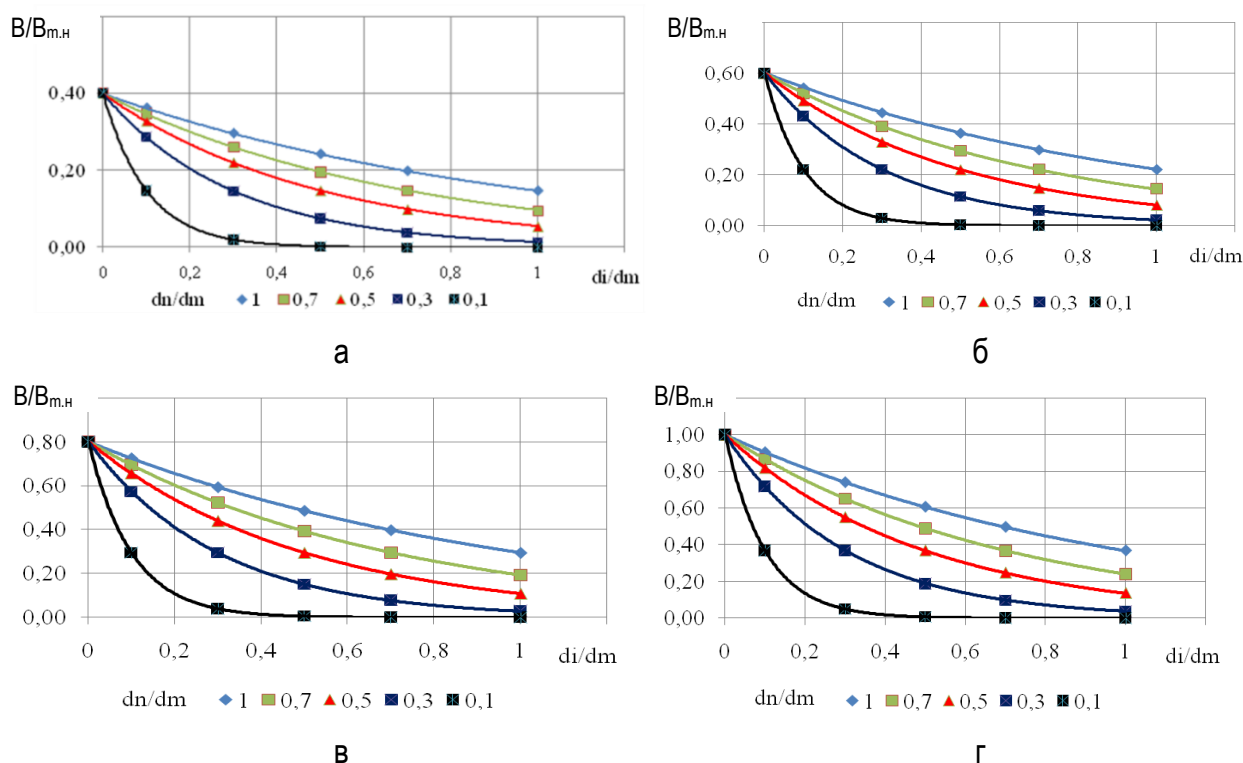


Рис. 2. Зависимость влияния значений магнитной индукции на неоднородность магнитного поля при различных соотношениях d_n/d_m : а – при $V/V_{m.n} = 1$; б – при увеличении $V/V_{m.n}$ в 1,5 раза; в – при увеличении $V/V_{m.n}$ в 2 раза; г – при увеличении $V/V_{m.n}$ в 2,5 раза

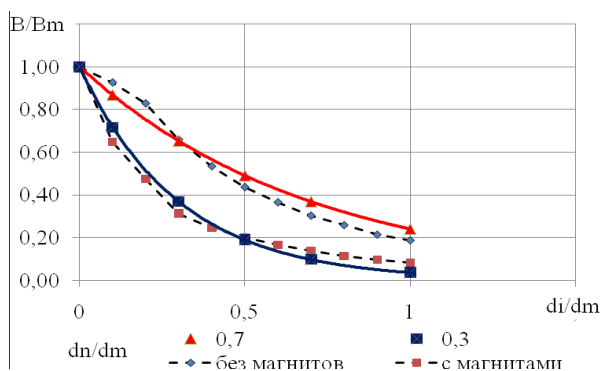


Рис. 3. Изменение магнитной индукции в зависимости от расстояния от полюса при различной неоднородности магнитного поля

Результаты исследования свидетельствуют, что электромагнит создает магнитное поле с параметром d_n/d_m , близким 0,7. При дополнительной установке неодимовых магнитов параметр $d_n/d_m = 0,3$ и магнитное поле становятся более неоднородным.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что в модели электромагнитного сепаратора с длиной рабочей зоны 100 мм параметр неоднородности магнитного поля с постоянными магнитами составляет $d_n \approx 36$ мм, а без него – $d_n \approx 65$ мм. Предложенная зависимость по определению неоднородности магнитного поля согласуется с данными эксперимента.

Выводы

Для очистки сельскохозяйственных продуктов от металлических примесей широко используется магнитный принцип извлечения частиц. При этом важно создать более неоднородное магнитное поле, а оценить ее степень возможно только опытным путем.

Путем замеров значения магнитной индукции в заданных точках можно оценить скорость изменения напряженности и индукции магнитного поля. Установленный характер изменения индукции магнитного поля, в зависимости расстояния от полюса магнита,

при различных параметрах неоднородности d_n , позволяет определить параметры разрабатываемой магнитной системы.

В ходе исследования установлено, что для создания более неоднородного магнитного поля необходимо создать градиент магнитной индукции. Для этого можно использовать дополнительно постоянные магниты или поместить в магнитное поле ферромагнитные материалы.

Опытные данные подтверждают результаты теоретических исследований. По данным замеров магнитной индукции в двух точках на полюсе магнитной системы и у рабочей поверхности сепаратора можно определить параметр неоднородности магнитного поля и оценить ее степень, что важно при разработке магнитной системы в сепараторах. Подтверждена возможность создания более неоднородного магнитного поля в электромагнитных сепараторах за счет дополнительной установки постоянных магнитов.

Библиографический список

1. Гортинский, В. В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях: учебник / В. В. Гортинский, А. Б. Демский, А. М. Борискин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Колос, 1980. – 304 с. – Текст: непосредственный.
2. Митюнин, А. А. Очистка сыпучих сельскохозяйственных продуктов в электромагнитном поле (на примере подсолнечника) / А. А. Митюнин. – Текст: непосредственный // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LIII Международной научно-технической конференции. – Челябинск, 2014. – Ч. 4. – С. 12-17.
3. Чарыков, В. И. Электромагнитные железоотделители для агропромышленного комплекса / В. И. Чарыков, И. И. Копытин, А. А. Евдокимов, А. А. Митюнин. – Текст:

непосредственный // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 6. – С. 168-174.

4. Митюнин, А. А. Электромагнитный сепаратор просыпного действия / А. А. Митюнин, В. И. Чарыков // Сельский механизатор. – 2014. – № 9. – С. 14-15.

5. Зуев, В. С. Очистка семян масличных культур в рабочей зоне электромагнитного сепаратора / В. С. Зуев, В. И. Чарыков, А. А. Митюнин. – Текст: непосредственный // Инновационные электротехнологии и электрооборудование – предприятиям АПК: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2012. – С. 15-18.

6. Чарыков, В. И. Исследование распределения магнитной индукции в рабочем зазоре электромагнитного сепаратора / В. И. Чарыков, А. А. Митюнин, А. И. Яковлев. – Текст: непосредственный // Международный научный журнал. – 2014. – № 6. – С. 66-70.

7. Чарыков, В. И. Механизм разделения продуктов сельскохозяйственного назначения на магнитную и немагнитную фракцию в сепараторе с наклонной рабочей зоной / В. И. Чарыков, А. А. Митюнин, А. А. Евдокимов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 11. – С. 94-98.

8. Макарычев, Ю. М. Электромагнитные силы в электрических аппаратах / Ю. М. Макарычев, С. Ю. Рыжов. – Москва: МЭИ, 1984. – 88 с. – Текст: непосредственный.

9. Митюнин, А. А. Разработка электромагнитного сепаратора с постоянными магнитами для очистки семян масличных культур от металломагнитных примесей (на примере подсолнечника): диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Митюнин, А. А. – Челябинск, 2019. – 169 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Gortinskiy V.V., Demskiy A.B., Boriskin A.M. Protsessy separirovaniya na zernoprerabatyvayushchikh predpriyatiyakh. Uch. 2-e izd., pererab. i dop. – Moskva: Kolos, 1980. – 304 s.

2. Mityunin, A.A. Ochistka sypuchikh selskokhozyaystvennykh produktov v elektromagnitnom pole (na primere podsolnechnika) / A.A. Mityunin // Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu: materialy LIII mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. Ch. 4. – Chelyabinsk, 2014. – С. 12-17.

3. Charykov V.I., Kopytin I.I., Evdokimov A.A., Mityunin A.A. Elektromagnitnye zhelezootdeliteli dlya agropromyshlennogo kompleksa. Vestnik KrasGAU. – 2012. – No. 6. – S. 168-174.

4. Mityunin, A.A., Charykov V.I. Elektromagnitnyy separator prosypnogo deystviya // Selskiy mekhanizator. – 2014. – No. 9. – S. 14-15.

5. Zuev, V.S. Charykov V.I., Mityunin A.A. Ochistka semyan maslichnykh kultur v rabochey zone elektromagnitnogo separatora. Materialy Vseros. nauchno-prakt. konf. «Innovatsionnye elektrotekhnologii i elektrooborudovanie – predpriyatiyam APK». – Izhevsk: Izhevskaya GSKhA, 2012. – S. 15-18.

6. Charykov V.I., Mityunin A.A., Yakovlev A.I. Issledovanie raspredeleniya magnitnoy induksii v rabochem zazore elektromagnitnogo separatora // Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. – 2014. – No. 6. – S. 66-70.

7. Charykov V.I., Mityunin A.A., Evdokimov A.A. Mekhanizm razdeleniya produktov selskokhozyaystvennogo naznacheniya na magnitnuyu i nemagnitnuyu fraktsiyu v separatore s naklonnoy rabochey zonoй // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – No. 11. – S. 94-98.

8. Makarychev Yu.M., Ryzhov S.Yu. Elektromagnitnye sily v elektricheskikh apparatakh. – Moskva: MEI, 1984. – 88 s.

9. Mityunin, A.A. Razrabotka elektromagnitnogo separatora s postoyannymi magnitami

dlya ochistki semyan maslyachnykh kultur ot metallomagnitnykh primesey (na primere podsolnechnika): diss. na soiskanie uch. stepeni kand. tekhn. nauk. – Chelyabinsk, 2019. – 169 s.



УДК 631.31

С.М. Бакиров, С.В. Шлюпиков
S.M. Bakirov, S.V. Shlyupikov

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СПОСОБА ПИТАНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ОТ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ С ЗАРЯДОМ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

THE SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF THE METHOD FOR POWERING THE SPRINKLING MACHINE FROM BATTERIES WITH A CHARGE FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES

Ключевые слова: *дождевальная машина, аккумуляторный способ питания, питание от возобновляемых источников энергии, энергетические затраты дождевальной машины, повторность включения дождевальной машины, продолжительность работы дождевальной машины, опорная тележка секции, электропривод опорной тележки, тяговая аккумуляторная батарея, солнечная батарея, ветрогенератор, энергия.*

В последнее время все больше возрастает роль дождевальных машин в системе орошения земель. Одним из главных сдерживающих факторов широкого их распространения является удаленность от централизованной сети электроснабжения. Известно, что при удаленности до 5 км прокладка кабельной или воздушной линии еще может быть экономически целесообразной. Решение проблемы видится в использовании автономных источников питания с зарядом от возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Несмотря на новизну и экономическую целесообразность дождевальные машины с аккумуляторным способом питания не находят практического применения. В первую очередь, это связано с отсутствием исследований взаимосвязи агротехнических условий с параметрами системы питания, а также рекомендаций и инструкции по их эксплуатационной надежности. Для определения возможности использования аккумуляторного способа питания с зарядом от ВИЭ рассмотрена модель дождевальной ма-

шины, состоящей из четырех секций. Учитывая, что каждая опорная тележка дождевальной машины проходит различный путь, то каждая секция должна быть укомплектована необходимым количеством аккумуляторных батарей. Наибольшую продолжительность работы будет иметь последняя опорная тележка, а время ее работы будет зависеть от длины водопроводящего трубопровода своей секции. При этом минимальное количество энергии на перемещение опорной тележки будет зависеть от продолжительности включения и параметров батареи. Это позволило вывести зависимость количества аккумуляторных батарей от количества секций дождевальной машины. Потребляемую энергию аккумуляторных батарей необходимо восполнять для восстановления емкости. С вероятностью $M(t) = 0,9$ энергия может быть получена от ВИЭ (солнечной, ветровой). Для работы электропривода опорной тележки крайней секции дождевальной машины с повторностью включения, равной 100%, для полного заряда аккумуляторных батарей потребуется 5-7 дней (что по длительности совпадает с технологическими простоями между поливами), а при повторности включения, равной 10%, – 1 день. Это доказывает возможность питания дождевальной машины от аккумуляторных батарей с зарядом от ВИЭ.

Keywords: *sprinkling machine, battery-powered supply, powering from renewable energy sources, sprinkling machine energy costs, repeated activation of a*