

УДК 621.01

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Хасанов Ф.Ф.

Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной статье рассмотрен вопрос одним из приоритетных направлений научных исследований и технических разработок, связанных с энергосбережением и рациональным потреблением энергии, а также широкое внедрение с высоким удельным расходом магнитных материалов при производстве электротехнических устройств, весьма перспективным направлением является разработка безотходной технологии металлургии. Использование в качестве вспомогательного электропривода (ЭП) на электроподвижного состава (ЭПС) всё большее распространение и развитие продолжает получать ЭП переменного тока на базе трёхфазных асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором. ЭП на базе АД демонстрирует сравнительно высокие показатели надёжности и энергоэффективности, характеризуется относительной дешевизной в производстве и эксплуатации, что способствует его массовому использованию композиционных материалов, полученных методами порошковой металлургии, позволяет снизить потери электротехнической стали и исключить многие трудоемкие операции и обеспечить необходимую энергосбережение и дадут рациональным потреблением энергии.

Ключевые слова. Композиционный, коэрцитивная, магнитные свойства, элементы двигатели, вспомогательного электропривода, энергосбережение, нетрадиционный принципы, магнитомягкие сплавы, индукция, потери.

Введение (Introduction). В стратегии развития железнодорожном транспорте Узбекистана к основным направлениям инновационной деятельности работы подвижного состава относят: увеличение скорости движения, снижение массы грузовых и пассажирских вагонов, их модернизация, а также проектирование новых современных составов с улучшенными характеристиками элементов и узлов локомотивов [1, 4, 11].

Применение композитных материалов на основе порошковой металлургии позволяют обеспечить облегчение вес пассажирского и грузового составов, удешевить их стоимость обеспечить долговечность и малые затраты на их эксплуатацию. Внедрение современных композиционных материалов позволит внедрить на железнодорожном транспорте инновационных технологию по продлению эксплуатационных ресурсов основным резервам подвижного состава [9, 11, 15]. В настоящее время в качестве вспомогательного электропривода (ЭП) на электроподвижного состава (ЭПС) всё большее распространение и развитие продолжает получать ЭП переменного тока на базе трёхфазных асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором. ЭП на базе АД демонстрирует сравнительно высокие показатели надёжности и энергоэффективности, характеризуется

относительной дешевизной в производстве и эксплуатации, что способствует его массовому использованию [11, 13, 17].

Магнитные свойства материалов, спеченных из разных исходных порошков приведены в таблице 3.

Магнитные свойства материалов.

Железный порошок	Плотность изделия, кг/м ³	Максимальная магнитная проницаемость	Напряженность H, А/м, при индукции $\beta=1$	B, Тл, при H=3160 А/м	Остаточная индукция B_r после	Коэрцитивная сила H_c после намагничивания
Электролитический	6820	31	308,1	1,27	0,93	126,4
Обезуглероженная измельченная стальная дробь	6690	21,5	1106	1,1	0,9	158
Восстановленная в водороде измельченная окалина	6200	13,4	2370	1,03	0,85	244,9
Восстановленный в водороде оксид железа из скрапа	6010	13,8	3160	1	0,83,	229,1
Малокремнистое железо (полюсное)	7850	60	158	1,56	0,9	53,25
Для сравнения Ст. 10	7850	13	395	1,62	0,65	158

Метод (Methods). В последнее время применяют метод порошковой металлургии. Этот метод имеет значительные преимущества при создании магнитомягких материалов. Этот метод позволяет изготавливать материала с химическим составом в значительно узком пределе. Он позволяет вводить в материал прослойки, наполнители, измеряющей материал [2, 4, 5]. Как известно при изготовлении листов трансформаторной стали 40-60% материала уходит в отходы. Применение порошковой металлургии можно изготовить равноценные электромагнитные системы, выпускаемые в настоящее время. К этим материалам предъявляются требования: получение максимального значения индукции “B” и магнитной проницаемости “ μ ”, минимальные удельные магнитные потери $P_{уд}$, достаточная механическая прочность [3, 6, 7].

После однократного прессования и спекания получены магнитные свойства образцов железного порошка, представленные в таблице 4.

Таблица 4

Железный порошок	Магнитная постоянная μ , Гн/м	μ_{max} , Гн/м	B , Тл, при H , А/м					А/м	B , Тл	Плотность B , кг/м ³
			7,9	79	790	7900	11850			
Карбонильный	20	240	0,0805	1,28	1,52	1,75	1,83	11,14	0,62	7895
Электролитический	4,5	154	0,01	1,23	1,45	1,77	1,84	23,7	0,9	7850

На основании этих магнитомягких материалов был разработан статор электродвигателя вспомогательных устройств на железнодорожном транспорте. Он получен на основе железного порошка ABC 100.30 с добавлением раствора силиката Na с модулем 2,8, образующий пленку за счет поверхностной адгезии [5, 7, 12]. На магнитные свойства порошковых материалов оказывает влияние дислокаций.

Энергия магнитоупругой анизотропий для материала определяется;

$$E = \frac{3}{2} \lambda_{100} (\alpha^2 + \sigma_{yy} \beta^2 + \sigma_{zz} \gamma^2) + 2\lambda_{111} (\sigma_{xy} \alpha \beta + \sigma_{yz} \beta \gamma + \sigma_{xz} \alpha \gamma) \quad (1.1)$$

где $\lambda_{100}, \lambda_{111}$ – магнитоупругие константы;

α, β, γ – направляющие косинусы углов спонтанной намагниченности относительно трех осей X, Y, Z, легкого намагничивания;

$\sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}$ – компонента тензора упругого поля.

Магнитные свойства порошковых материалов зависят таких от типа дислокации их ориентации и вектора Бюргера. Типы дислокаций подразделяются на краевые и винтовые. Общая теория влияния дислокаций на магнитные свойства материалов разработана Е.Кондорским.

Влияние плотности дислокаций на коэрцитивную силу впервые было определено Ф. Винценом и получена им зависимость;

$$H_c = \frac{N^{\frac{1}{2}} \delta^{\frac{1}{2}} [\Delta E] /}{2I_s L^{\frac{3}{2}} \sin \omega [\Delta X]} \left[\ln \frac{L}{\delta} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.2)$$

где N-плотность дислокаций;

Δ - средний линейный размер домена;

δ - ширина междоменной границы;

I_s - спонтанное намагниченность насыщения;

ΔX - изменение расстояния;

ΔE – изменение магнитоупругой энергии при переходах через дислокацию.

Коэрцитивная сила определяются;

$$H = \frac{I}{2I_s L_1 L_3 \cos \varphi} \cdot F_{max} \quad (1.3)$$

Магнитная восприимчивость:

$$H_0 = 4 \cos^2 \varphi I_s \frac{L_1 L_2}{L_3} \left(\frac{dF}{dZ_{H=0}} \right) \quad (1.4)$$

L_1, L_2, L_3 -линейные размеры доменов.

φ - угол между напряженностью поля и намагниченностью доменов. Сила взаимодействия междоменной границы с дислокацией, определяется на основании А.Зеегера [8, 14]:

$$F = \left(\pm \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \tau b \delta \lambda_{100} (c_1 - c_2) \quad (1.5)$$

где δ - ширина междоменной границы;

b - вектор Бюргера;

λ_{100} – магнитоупругая константа для направления $\langle 100 \rangle$;

C_1, C_2 - упругие модули кристалла коэрцитивная сила по А.Зеегера определяется при температуре 873 К без обоснования:

$$H_c = \frac{3 \lambda_{100} \tau}{5 I_s} = \frac{\lambda_{100} G}{I_s} \quad (1.6)$$

Где τ - упругое напряжение

G - упругий модуль сдвига.

Формула 1.6. не совсем соответствует экспериментальным данным, так как не учитывает магнитоупругую анизотропию. Согласно работ А.И.Мицека и В.Н.Пушкаря, где рассматривается винтовая дислокация получено выражения [7,10, 13]:

$$H_c(T) = \frac{\alpha_0 c_3 \lambda_{III} \sigma^{\gamma_2}}{2I_s \sqrt{L_1 L_2}} \sqrt{3ND \ln \frac{L_1}{\delta}}; \quad (1.7)$$

$$H_0 = \frac{2I_s^2 \delta^{\gamma_2}}{c_3^3 \lambda_{III} \alpha_0 L_1} \sqrt{\frac{L_2 L_3}{3ND}}; \quad (1.8)$$

где α_0 - параметр кристаллической решетки;

- C_3 - модуль упругости;
 λ_{III} - константа магнитострикции;
 δ - ширина междоменной границы;
 N - плотность дислокации;
 D - ширина доменов.

U_3 формулы 1.7 следуют, что при нагревании коэрцитивная сила уменьшается, т.к. λ_{III} обладает большой чувствительностью от температуры, чем все остальные. Кривые намагниченности при разной температуре спекания показано на рис. 1.

На рис 2. показаны зависимости изменения коэрцитивной силы магнитопровода магнитомягкого материала от времени при различных температурах спекания.

Как видно из рисунка 1. с повышением температуры спекания магнитная индукция увеличивается, а коэрцитивная сила уменьшается (рис. 2). Это говорит о том, что намагничивание в слабых полях (0,55 до 0,96 Т) происходит за счет смещения доменных границ, т.е увеличивается плотность дислокации [2, 5, 8]. Удельные потери убывают в 2,5 раза при частоте 50 Гц и в 3,6 раза при частоте 400 Гц. Это уменьшение связано с увеличением температуры спекания.

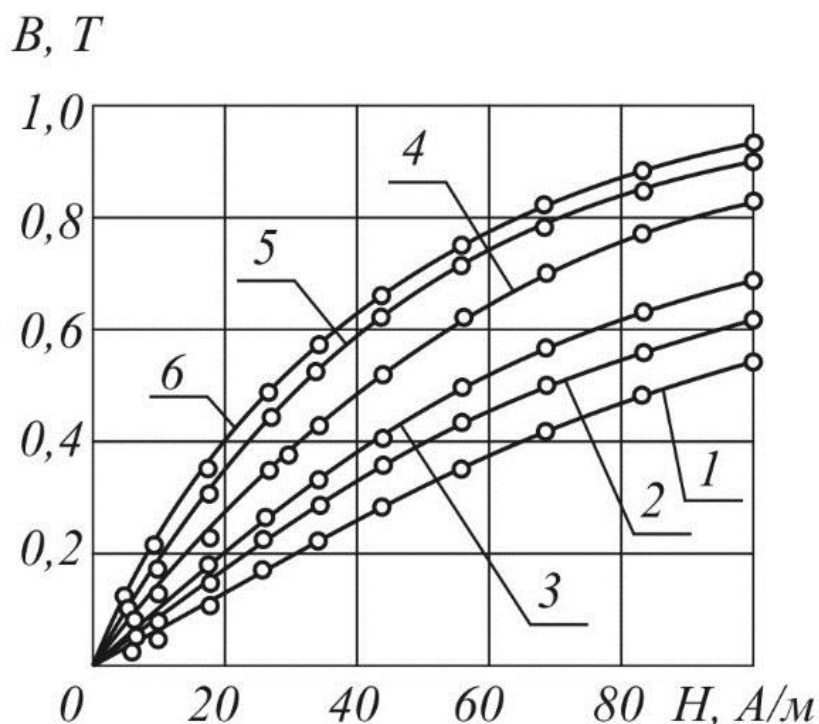


Рис1. Кривые намагниченности: 1-1570 К; 2-1590К; 3-1610К; 4-1630К; 5-1650К; 6-1670К.

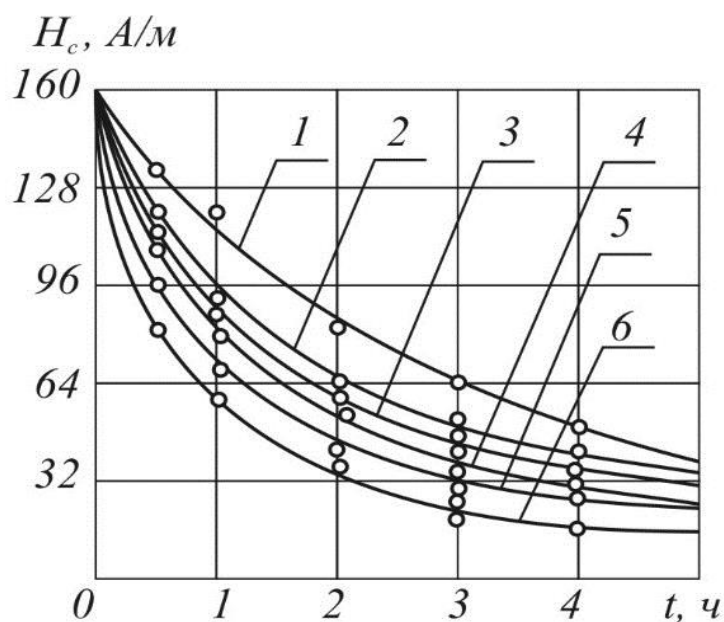
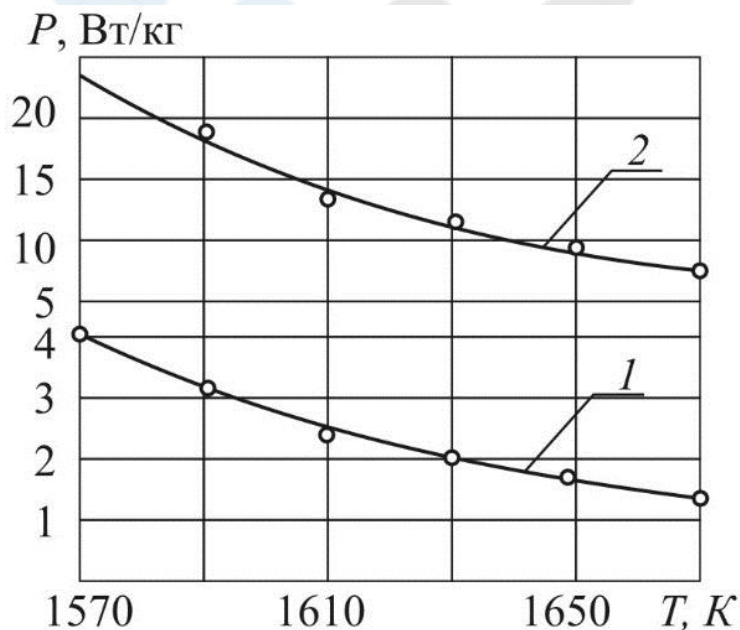
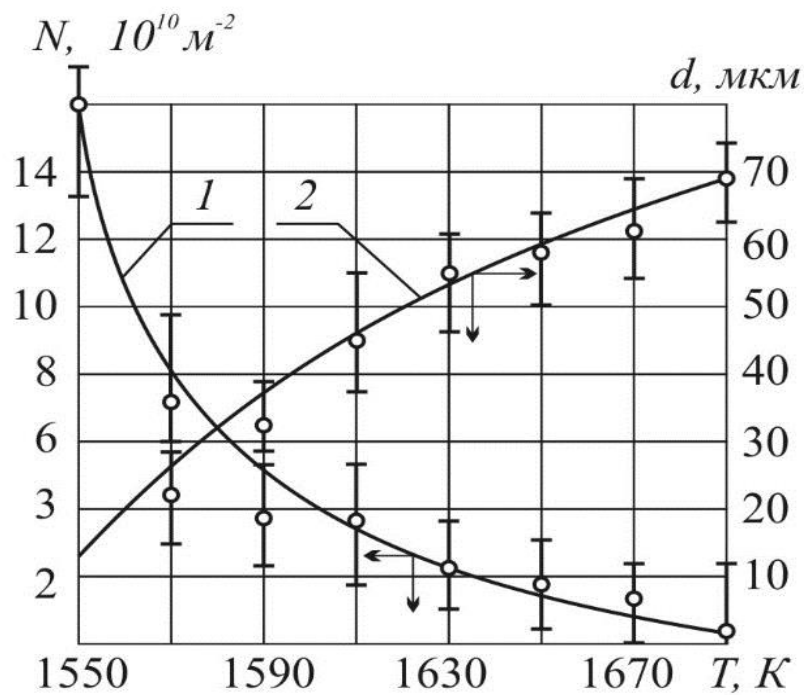


Рис. 2. Изменение коэрцитивной силы магнитомягкого материала от времени спекания: 1-1570К; 2-1590К; 3-1610К; 4-1630К; 5-1650К; 6-1670К.

Зависимости изменения удельных потерь с температурой при индукции $B = 1T_d$ показана на рис. 3, а плотности дислокаций при этих условиях на рис. 4.



3. Изменение удельной потери магнитомягких материалов от температуры: 1- частота 50 Гц, 2- частота 400 Гц.



4. Изменение плотности дислокаций N и ширины доменов d от температуры.

При изменения температуры от 1550 ÷ 1670 К средняя плотность дислокаций уменьшилась от $16 \cdot 10^{10}$ до $0,7 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-2}$ на рис.5 показана дислокационная структура магнитопровода, полученного по порошковой металлургии [6, 8].

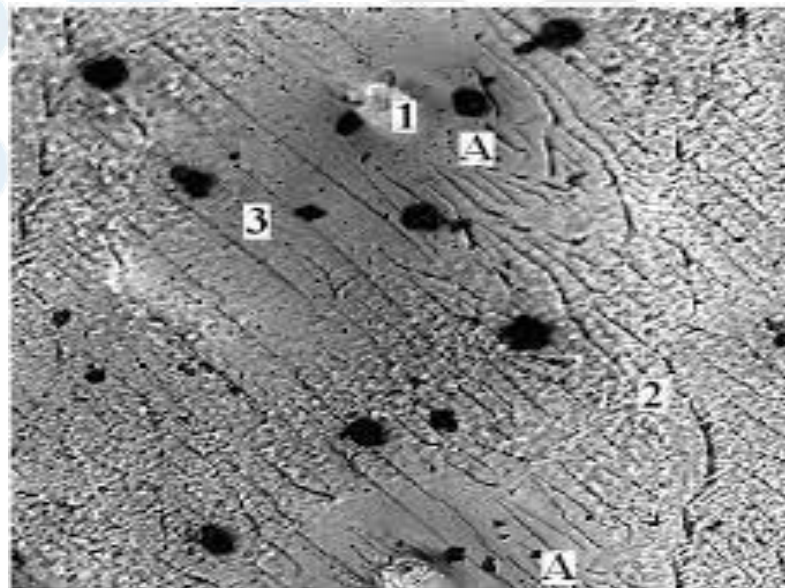


Рис. 5. Структура дислокации магнитопровода (увеличение 700)

а-1590К; б- 1610К; в-1630К; г-1650К;

Доменная структура (рис. 6) магнитопровода при температуре 1590К, спеченного в течении 1 ч.

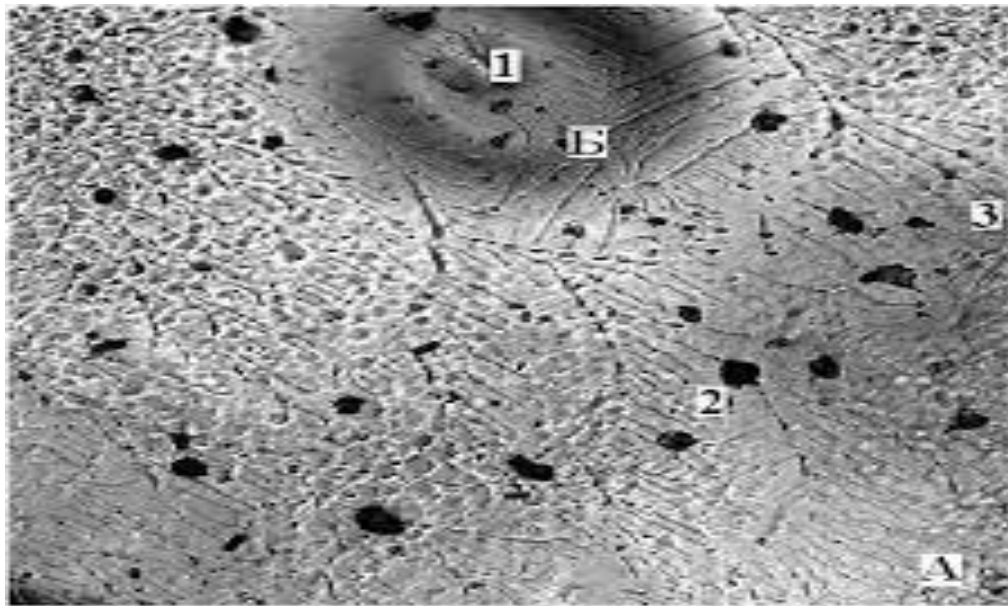


Рис. 6. Доменная структура магнитопровода (увеличение 350) .

Результаты и обсуждение (Results and Discussion). Магнитомягкие материалы применяются в источниках питания, фильтрах подавления помех, счетчиках электроэнергии, телекоммуникационных оборудованях [11, 14]. Целью настоящей работы являются получение магнитомягкого материала на основе порошковой металлургии для применения в вспомогательных устройствах электровозов. ЭП на базе АД демонстрирует сравнительно высокие показатели надёжности и энергоэффективности, характеризуется относительной дешевизной в производстве и эксплуатации, что способствует его массовому использованию композиционных материалов, полученных методами порошковой металлургии, позволяет снизить потери электротехнической стали и исключить многие трудоемкие операции и обеспечить необходимую **энергосбережение и дадут рациональным потреблением энергии** [12,13].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. A U Gapparov, G A Govor, U T Berdiyev, F F Hasanov, and A M Kurbanov , Magnetic-soft materials based on iron for electromechanical engineering. Internatsional Scientific Conference ICECAE 2020 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012048 IOP. Publishing doi:10.1088/1755-1315/614/1/012048
2. Говор, Г.А. Особенности магнитных характеристик новых композиционных материалов на основе порошков железа / Г.А. Говор, А.К. Вечер, К.И. Янушкевич // Перспективные материалы и технологии : под ред. В.В. Клубовича – Витебск, УО «ВГТУ». – Витебск, 2017. – Т. 2, Гл. 15 – С. 278–299.
3. A. Vetcher, G. Govor, K. Yanushkevich and I. Timoshkov / Magnetic properties of special low-frequency soft magnetic composite material // Book of abstracts of VII Euro-Asian Symposium «Trends in MAGnetism», September 08–13, 2019, Ekaterinburg, Russia. – Vol. II. – P. 172-173.

4. A. Vetcher, K. Yanushkevich / Iron powders with insulating layers: structure and magnetic properties // Proceedings of V International scientific conference Material science «Nonequilibrium phase transformations», 09-12 September, 2019, Varna, Bulgaria. – P.27-29.

5. A. Vetcher, G. Govor, K. Yanushkevich / Metal powder materials with nanomodified oxide coatings and their technical application // Тезисы поданы на МНК International conference ‘Functional materials and Nanotechnologies – 2020’ (FM&NT 2020), Vilnius, Lithuania 5 – 8 May 2020.

6. Kolesnikov I.K. критерии эффективности электропривода по механическое преобразование энергии на совершение. Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. 2023-yil, mart, 737-743-betlar.

7. А.К. Вечер, Г.А. Говор, К.И. Янушкевич, У.Т. Бердиев, Ф.Ф. Хасанов / Исследование влияния условий синтеза на магнитные характеристики композиционных материалов на основе порошков железа // Стаття подана в журнал «Весті Національної академії наук України, серія фізика-технічних наук».

8. A.K. Vecher, G. A. Govor, U. T. Berdiyev, F. F. Khasanov, Magnitomyagkiye materialy na osnove zheleza, ispol'zuyemye v elektromashinostroyenii, Vestnik TashIIT, № 3, 212–217, (2019).

9. U. Berdiyev, A. Norboev, Z. Mamarajabova Investigation of Asymmetry in Asynchronous Motor Used in a Borehole Pump List of Author(s): “2023 International Conference February 19-23, 2023 San Francisco, CA”, ICNTET-2022-.

10. Kolesnikov, I., Yaronova, N., Ametova, A. Building a “Smart” Electric Network Using 5G and Unmanned Aircraft AIP Conference Proceedings, 2022, 2432, 030037

11. U. T. Berdiyev, U. N. Berdiyev, U. B. Sulaymonov, and L. U. Khalikova, "Ways to improve the energy performance of asynchronous electric motors of rolling stock", AIP Conference Proceedings 2612, 050017 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0117784>

12. Berdiyev U. T., Sulaymonov U. B., Hasanov F. F., Karshiyev K. T. (2022). ENERGY-SAVING MATERIALS FOR ELECTRICAL ENGINEERING. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 10(5), 444–448. Retrieved from <https://giirj.com/index.php/giirj/article/view/3219>.

13. J. S. Fayzullaev, K. K. Juraeva, “The transfer function of a traction asynchronous motor controlled by a four-square converter” in IOP Conference Series Materials Science and Engineering 734, 012195 (2020).

14. J.S. Fayzullayev. “Improvement of functional diagnostics of asynchronous motors” in AIP Conference Proceedings, 2612, 050034 (2023).

15. Chih-Wen, C. Magnetism and Metallurgy of Soft Magnetic Materials / C. Chih-Wen // Ed. Courier Corporation, 2013. – 592 p.

16. Vetcher A., Govor G., Demidenko O., Popescu A. M., Constantin V., Berdiyev U., A composite magnetic material with insulating anticorrosive coatings. VI-International scientific conference material science “Nonequilibrium phase transformations”, 07-10 September, 2020, Varna, Bulgaria. –p

17. Бердиев У.Т Говор Г.А., Вечер А.К., Пирматов Н.Б., Хасанов Ф.ф. Карабаев А., Магнитно-мягкие материалы на основе железа используемые в электромашиностроение, Вестник ТашИИТа, 2019 г. №3, стр 212-218.