



АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МАГНИТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ.

Мухаммадиев Бахтияр Сапарович

Старший преподаватель Джизакского Политехнического института

Аннотация: в работе рассмотрен анализ источников погрешностей в активном режиме элементарного преобразователя магнитной проводимости исследуемого объекта, что фактор уменьшение погрешности позволяет повысить точность и быстродействие преобразования механических напряжений в код.

Annotation: the paper considers the analysis of error sources in the active mode of the elementary magnetic conductivity converter of the object under study, which reduces the error factor to improve the accuracy and speed of converting mechanical stresses into code.

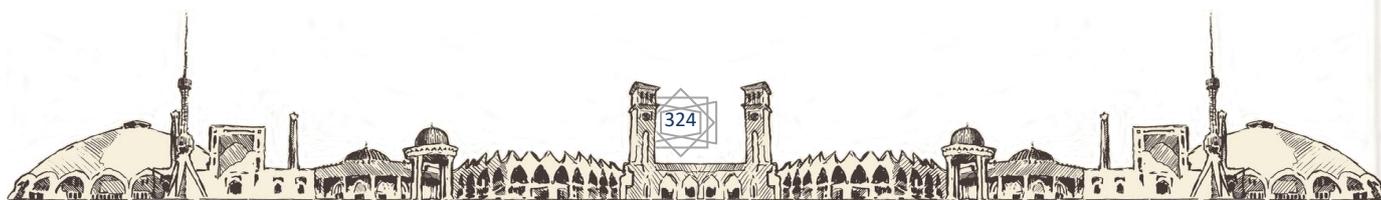
Ключевые слова: трансформаторный преобразователь механических напряжений (ТПМН), магнитная сила, магнитное поле, магнитный цепь, магнитопровод, погрешность, управляющая обмотка, компенсационный преобразователь, фактор, технологический допуск, напряжение, электропроводность, активный режим, воздушный зазор, параметрическая структурная схема (ПСС), операционный усилитель (ОУ).

Keywords: transformer converter of mechanical stresses (TPMN), magnetic force, magnetic field, magnetic circuit, magnetic circuit, error, control winding, compensation converter, factor, technological tolerance, voltage, electrical conductivity, active mode, air gap, parametric block diagram (PSS), operational amplifier (OP amp).

Источником электромагнитного поля являются движущиеся заряды. В случае переменных электромагнитных полей величина этих зарядов меняется во времени. Электромагнитное поле проявляет себя в виде силового действия на электрические заряды q . Его принято характеризовать силой, с которой оно действует на движущийся положительный точечный заряд (Лоренцева сила):

$$F_{эм} = qE + q[V, B] = F_э + F_м. \quad (1)$$

Лоренцева сила раскладывается на две: электрическую $F_э=qE$ и магнитную $F_м = q[V,B]$. Первая характеризует электрическое поле и не зависит от скорости движения заряда. Эта сила является векторной величиной, называемой напряженностью электрического поля E . Напряженность электрического поля определяют как силу, с которой





электрическое поле в вакууме действует на точечный положительный единичный заряд.

Вторая, магнитная сила характеризует магнитное поле и зависит от скорости движения заряда V . Эта сила является векторной величиной, называемой индукцией магнитного поля B . Магнитная индукция численно равна силе, с которой магнитное поле в вакууме действует на единичный точечный положительный заряд, движущийся с единичной скоростью перпендикулярно линиям вектора B .

Поскольку в практике преобразования механических напряжений в ферромагнитных деталях методом высших гармоник используется всего несколько четных или нечетных гармоник, при этом большая часть информации не используется. В работе предложен метод преобразования, основанный на измерении большого ряда (до 100 точек) значений гисторезисной кривой ферромагнитного материала [1].

В общем виде зависимость между магнитной проводимостью, материала исследуемого объекта и электрическим напряжением на измерительной обмотке трансформаторного преобразователя механических напряжений (ТПМН) определяется режимом работы преобразователя и описывается следующими формулами:

а) при питании магнитной цепи ТПМН импульсным магнитным напряжением, изменяющимся во времени по квадратичному закону $U_{\mu}(t) = U_{\mu} \cdot T^2$ выражение статической характеристики, после подстановки и обратного преобразования Лапласа, будет иметь вид:

$$U_{\varepsilon_1}(t) = \frac{2}{R_{\mu}} U_{\mu}^{II} \cdot K_{I_{\mu}U_{\varepsilon}} \cdot \tau_{\mu_1} \cdot [t - \tau_{\mu_1} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_{\mu_1}}})] \quad (2)$$

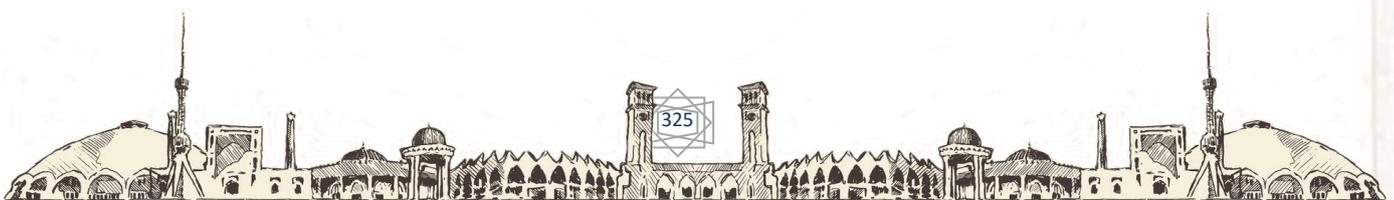
$$\text{где: } \tau_{\mu_1} = \frac{R_{\mu} C_{\mu} C_{\mu\delta}}{C_{\mu} + C_{\mu\delta}}; \quad C_{\mu} = C_{\mu 0} \pm K_{U_M} \cdot U_M$$

б) после обратного преобразования Лапласа получим:

$$U_{\varepsilon_2}(t) = 2U_{\mu}^{II} K_{I_{\mu}U_{\varepsilon}} [K_1 e^{\alpha t} + K_2 e^{\beta t} + K_3 + \frac{2}{\tau_2} (\frac{K_1}{\alpha} e^{\alpha t} + \frac{K_2}{\beta} e^{\beta t} + K_3 t + K_4)] \quad (3)$$

Анализ формул (2) и (3) показывает, что рассматриваемый элементарный преобразователь имеет систематическую погрешность, обусловленную нелинейностью напряжения на измерительной обмотке, отклонениями размеров магнитопровода от номинальных при изготовлении, а также наличием во втором режиме работы преобразователя остаточного магнитного потока, протекающего через стержни, имеющие короткозамкнутые управляющие обмотки.

Магнитная проводимость воздушного зазора под одним стержнем полюса магнитопровода определяется по формуле [2]:





$$C_{\mu\delta} = \mu_0 \frac{l_p \theta_p}{q_{\mu\delta}} \quad (4)$$

где расчетный размер стержня полюса θ_p определяется по формуле:

$$\theta_p = \theta + 2g_{\mu\delta}(g_{pT} + g_z) \quad (5)$$

Расчетный размер стержня полюса l_p определяется в зависимости от режима преобразователя:

$$\text{- для первого режима } l_p = 0,5(l_1 - l_2) + 2g_{\mu\delta}(g_{pT} + g_z); \quad (6)$$

$$\text{- для второго режима } l_p = 0,5(l_1 - l_2) + g_{\mu\delta}(2g_{pT} + g_z) \quad (7)$$

Рассмотрим систематическую погрешность, обусловленную технологическими допусками на размеры магнитопровода ПП30x7x5,5, выполненного из феррита М2000НМ1. Для этого в (4) подставим (5) и (6) с учетом технологических допусков на размеры магнитопровода, т.е.:

$$\theta_p = \theta_{p0} \pm \bar{\sigma} \theta \quad (8)$$

$$l_p = l_{p0} \pm \bar{\sigma} l_1 \pm \bar{\sigma} l_2 \quad (9)$$

Исходя из допусков на размеры магнитопровода [3], систематическая погрешность для указанного типоразмера составляет $\pm 4,7\%$, что указывает на необходимость проведения калибровки преобразователя при замене магнитопровода.

Нелинейность напряжения на вторичной обмотке ТПМН, обусловлена наличием переходного процесса в цепи преобразователя и зависит от значения магнитной проводимости воздушного зазора и электропроводности управляющих обмоток и не превышает 0,15%.

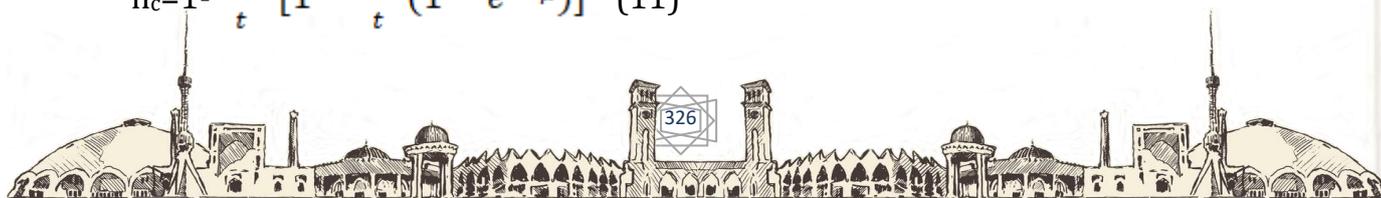
При исследовании статической характеристики преобразователя было установлено, что во время режиме работы при питании квадратично изменяющимся во времени током эффективность короткозамкнутых управляющих обмоток изменяется с течением времени. Магнитная проводимость под стержнем полюса имеет конечное значение $\Delta C_{\mu\delta}$, зависящее от времени, причем $\Delta C_{\mu\delta} \neq 0$, что, в конечном итоге, приводит к непостоянству коэффициента изменения эффективной площади поперечного сечения полюсов ТПМН коэффициент n_s . В общем случае реальное значение коэффициента n_s можно определить по формуле:

$$n_{sp} = \frac{C_{\mu\delta_1} + C_{\mu\delta_2}}{C_{\mu\delta_1} + \Delta C_{\mu\delta}} = \frac{n_s}{1 + n_s n_c} \quad (10)$$

$$\text{где } n_c = \frac{\Delta C_{\mu\delta}}{C_{\mu\delta_1} + C_{\mu\delta_2}}$$

Решая относительно магнитного потока в стержнях в первом и втором режимах, получим выражение для n_s при импульсном питании ТПМН.

$$n_c = 1 - \frac{2\tau_{\mu_2}}{t} \left[1 - \frac{\tau_{\mu_2}}{t} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_{\mu_2}}}) \right] \quad (11)$$



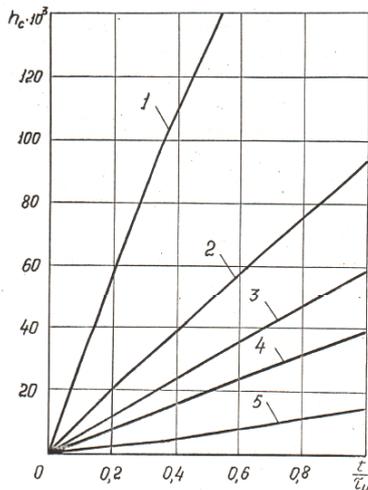


Рис.1. Зависимость коэффициента эффективности компенсации магнитного потока при $\frac{P_{\mu K}}{P_{\mu}}$: 1-10; 2-25; 3-50; 4-75; 5-100.

На рис.1. приведена зависимость (11) при различных значениях проводимости управляющих обмоток. Анализ полученных данных показал, что рассмотренный фактор приводит к погрешности при использовании алгоритма т.е. когда $K_2=0$, решением системы уравнений является функция

$$C_{\mu} = \frac{1}{W_{\mu}} = \frac{1}{2N_1 - N_2} \quad (12)$$

Учет зависимости (11) при разработке алгоритма приводит к значительному усложнению последнего, что снижает быстродействия преобразователя.

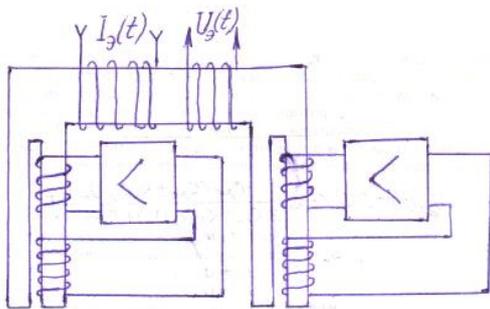


Рис.2. ТПМН с активными управляющими обмотками.

Для уменьшения погрешности преобразования был разработан ТПМН с активными управляющими обмотками (рис.2). Принцип работы активных управляющих обмоток широко используется в компенсационных измерительных преобразователях [4], однако анализ работ, посвященных методам построения компенсационных преобразователей, показал, что требования к качеству компенсации магнитного потока в ТПМН выше, чем в компенсационных измерительных преобразователях.

Принцип работы преобразователя аналогичен принципу работы преобразователя. Отличительной особенностью является питание возбуждающей обмотки квадратично изменяющимися во времени импульсами, при этом на измерительной обмотке напряжение изменяется по



линейному закону, так как трансформаторный преобразователь механических напряжений можно считать в идеальном случае дифференцирующим устройством [5].

При разработке методики расчета трансформаторного преобразователя механических напряжений (ТПМН) с дискретным выходом исходным уравнением является статистическая характеристика которая необходима, в первую очередь, для определения оптимальных соотношений геометрических параметров магнитопровода, число обмоток и оптимального режима работы преобразователя [6].

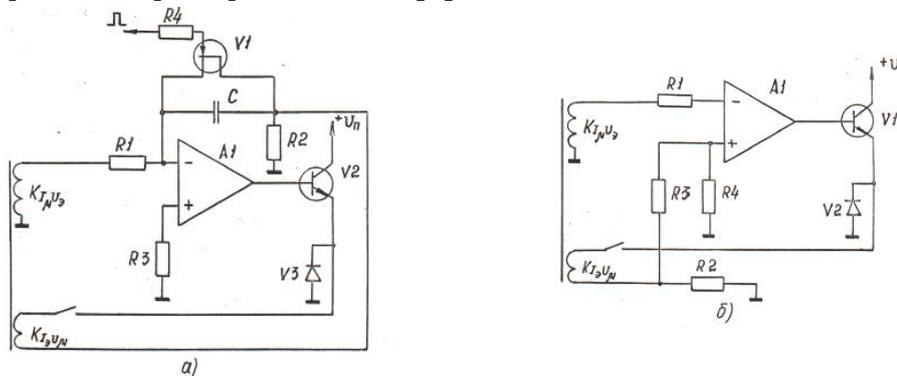


Рис.3. Принципиальные схемы активных управляющих обмоток:

а) с интегратором; б) с усилителем

На рис.3. приведены принципиальные схемы двух вариантов построения активных управляющих обмоток с интегратором (а) и усилителем (б) в обратной связи. Анализ результатов исследования и параметрическая структурная схема (ПСС), описывающих процессы в активных управляющих обмоток, показал, что включенные в управляющую обмотку интегратора с токовым выходом эквивалентно внесению в схему замещения магнитной цепи, последовательно с магнитной проводимостью воздушного зазора под стержнем, магнитной проводимости $C_{\mu \text{ экв.}}$, определяемой по формуле:

$$C_{\mu \text{ экв.}} = \frac{R_1 C R_4}{K_{1\mu} U_3 K_{13} U_{\mu}} \quad (13)$$

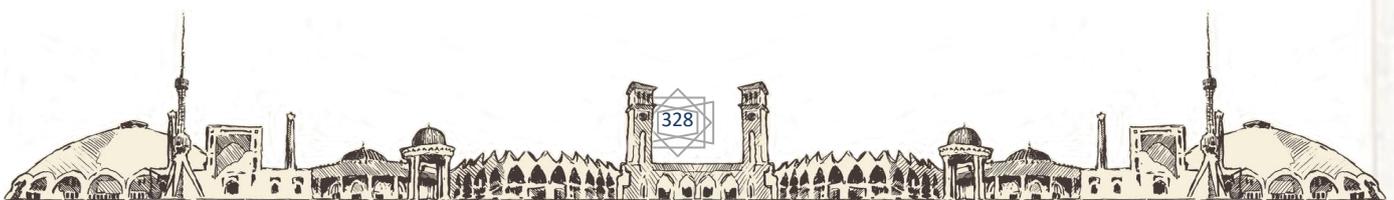
Усилитель с токовым выходом – электрической проводимости, определяемой по формуле:

$$R_{\mu \text{ экв.}} = \frac{K_{1\mu} U_3 K_{13} U_{\mu} K_{0y}}{R_4} \quad (14)$$

При этом в первом случае с учетом (13), реальное значение коэффициента n_{sp} постоянно во времени и определяется следующим образом:

$$n_{sp} = n_s (1 + n_u) \quad (15)$$

где: $n_u = \frac{C_{\mu \text{ экв.}}}{C_{\mu \delta}}$





Во втором случае – справедливы выражения (10) и (11), отличительной особенностью которых является увеличенное в K_{oy} раз значение постоянной времени.

Экспериментальные исследования ТПМН с управляющими обмотками, работающими в активном режиме и состоящими из измерительной управляющей обмотки, активного элемента и компенсационной обмотки, показали, что при использовании операционного усилителя (ОУ) с вымоком коэффициентом усиления удастся получить значения $n_u = (2,5 \dots 5) \cdot 10^{-3}$. Рассмотрим случайную составляющую погрешности рассматриваемого элементарного преобразователя, обусловленную влиянием температуры, которую можно определить по формуле [7]:

$$\bar{\sigma}_{C_{\mu\delta}} = \pm 2\mu_0 \frac{6_{p1p}}{q_{\mu\delta}} K_{U1} \bar{\sigma} U_T \quad (16)$$

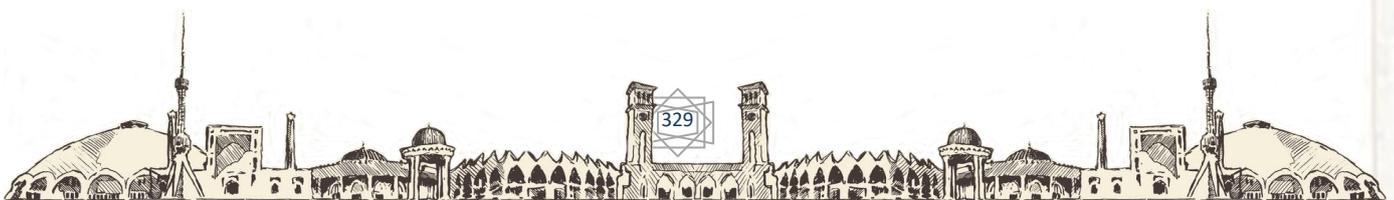
Основная погрешность от влияния температуры для рассматриваемого ТПМН составляет $\pm 0,015\%$, а дополнительная - $\pm 0,12\%$.

Вывод аналитического выражения для расчета дополнительной погрешности от изменения воздушного зазора из формулы (4) осуществить нельзя, так как в формулах (5) и (6) используются коэффициенты g_{pT} и g_z , полученные графическим путем. Поэтому воспользуемся приближенной формулой:

$$C_{\mu\delta} = \frac{C_{\mu\delta 0}}{1 + K_{qC_{\mu}} \bar{\sigma}_{q_{\mu}}} \quad (17)$$

Из анализа различных конструкций трансформаторных преобразователей механических напряжений можно сделать вывод о том, что независимо от конструктивных особенностей преобразователей, в них происходит преобразование информации в трех физических цепях, а именно: механической, магнитной и электрической [8]. Активным звеном преобразователей является участок поверхности исследуемого объекта [9].

Проведя расчет составляющих дополнительной погрешности, обусловленной изменениями воздушного зазора. Анализ показывает, что составляющие погрешности и чувствительность элементарного преобразователя зависят от значения начального воздушного зазора $W_{\mu\delta 0}$, в качестве которого, если ТПМН не работает с установочным начальным зазором, принимают минимальный воздушный зазор, который возможен при заданной чистоте обработки поверхности исследуемого объекта и составляет, например, для трубопроводов (исследуемый объект) 0,2 мм, а диапазон изменений воздушного зазора – 0,2 ... 0,8 мм. В результате расчета при $q_{\mu\delta} = 0,5 \pm 0,3$ мм получены значения относительной аддитивной погрешности $\pm 30\%$ и мультипликативной погрешности $\pm 60\%$.





Мультипликативная относительная погрешность в этом случае определяется по формуле [10]:

$$\gamma_{мз} = \frac{t}{2\tau_u} = 7,3 \cdot 10^{-5} \quad (18)$$

Для уменьшения погрешности преобразования необходимо обеспечение максимума параметра $R_{\mu k}$. Значение электрической проводимости многовитковой обмотки определяется по формуле [11]:

$$R_{\mu k} = K_{I_3 U_\mu} \cdot R_{\mu 1B} \quad (19)$$

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Мухаммадиев Б. С. МАШИННЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ //E Conference Zone. – 2022. – С. 201-205. International Conference on Developments in Education, Hosted from Toronto, Canada, April 15th -16th 2022

2. Мухаммадиев Б. С. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАКЛАДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ //АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ. – 2021. – С. 93-101.

3. Изделия из ферритов и магнитоэлектриков: Справочник. /Под ред. Горбунова Н.Д. – М.: Сов. радио, 1972, -240 с.

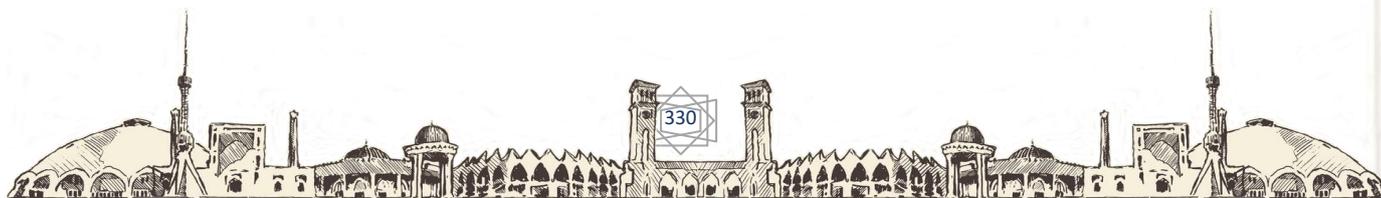
4. Лейтман М.Б. Мелик-Шахназаров А.М. Компенсационные измерительные преобразователи электрических величин. – М.: Энергия, 1978. - 224 с., ил.

5. Мухаммадиев Б. С. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ //E Conference Zone. – 2022. – С. 122-125. International Conference on Developments in Education, Sciences and Humanities, Hosted from Hamburg, Germany, March 15th -16th 2022.

6. Мухаммадиев Б. С. ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ НАКЛАДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ //E Conference Zone. – 2022. – С. 198-202. FRANCE international scientific-online conference: "SCIENTIFIC APPROACH TO THE MODERN EDUCATION SYSTEM" PART 2, 5th MARCH, 2022.

7. Лиманов И.А. Электромагнитные преобразователи перемещений с распределенными параметрами. -М.: Энергоатомиздат, 1984. -56 с., ил.

8. Мухаммадиев Б. С. ДЕЙСТВИЯ МАГНИТОУПРУГИХ И МАГНИТОАНИЗОТРОПНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ //Conference Zone. – 2022. – С. 139-144. International





Conference on Multidisciplinary Studies in Education and Applied Sciences, Istanbul, Turkey, April 27 th., 2022.

9. Мухаммадиев Б. С. НАКЛАДНЫЕ МАГНИТОУПРУГИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ. //E Conference Zone. – 2022. – С. 69-73. "INNOVATIVE DEVELOPMENTS AND RESEARCH IN EDUCATION". Which took place in Ottawa, Canada on March 23, 2022.

10. Мухаммадиев Б. С., Эргашева К. Н. АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ОБОБЩЕННОЕ МАГНИТНОЕ НАПРЯЖЕНИЯ //ЭКОНОМИКА И СОЦИУМ.

– №11(90), 2021, С. 212-216.

11. Мухаммадиев Б. С., Эшонкулова М.Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СООТНОШЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ С ДИСКРЕТНЫМ ВЫХОДОМ //ЭКОНОМИКА И СОЦИУМ.

– №11(90), 2021, С. 207-211.

“Chet el investitsiyalari to'g'risida”gi O'zbekiston Respublikasining qonuni. 1998 yil 30 aprel. 3-modda.

Dictionary of International Trade. Global Marketing Strategies, 2015, p.82.

G'ozibekov D. G'. Investitsiyalarni moliyalashtirish masalalari. – T.: “Moliya”, 2003, 45 bet.

Qo'ziyeva N.R. Xorijiy investitsiya ishtirokidagi korxonalar faoliyatini rag'batlantirishning moliya-kredit mexanizmini takomillashtirish yo'nalishlari. Iqt. fan. dok. ilm. dar. olish uchun yoz. diss. avtoref. – T.: BMA, 2008, 11 bet.

Fozilchayev Sh.Q., Xidirov N.G'. Investitsiya va lizing asoslari. O'quv qo'llanma. – T.: Moliya, 2017 yil, 22 bet.

www.stat.uz(O'zbekiston Respublikasi Davlat Statistika qo'mitasi rasmiy veb sayti).

O'zbekiston Respublikasi Iqtisodiyot Vazirligi ma'lumotlari asosida tayyorlangan: www.mineconomy.uz

O'zbekiston Respublikasi Davlat Statistika qo'mitasi veb sayti: <https://stat.uz/uz/432-analiticheskie-materialy-uz/2030-asosiy-kapitalga-investitsiyalar>

