

<https://iau-jaesa.uz/article/k4xl0gzpomlr/>
<https://doi.org/10.5281/zenodo.21360386>

UDK 631.372:519.87

MASHINA-TRAKTOR AGREGATLARINING ISH SAMARADORLIGINI BAHOLASH VA OPTIMALLASHTIRISHNING INTEGRAL DINAMIK MODELI

Xudayarov Zafar Jumayevich, texnika fanlari doktori (DSc)

Toshkent davlat agrar universiteti, O'zbekiston.

hudoerovzafar5@gmail.com

Annotatsiya. Mashina-traktor agregatlari (MTA)ning samaradorligi texnik holat, ekspluatatsion rejimlar, tashqi muhit omillari va operator faoliyati ta'sirida shakllanadi. Mavjud tadqiqotlarda mazkur omillar aksariyat hollarda alohida ko'rib chiqilgan bo'lib, bu real ish sharoitida agregatlar faoliyatini kompleks baholash imkoniyatini cheklaydi. Ushbu maqolada inson–mashina–muhit tizimi konsepsiyasi asosida mashina-traktor agregatlarining mahsuldorligi va yoqilg'i sarfini baholash uchun yagona dinamik matematik model ishlab chiqilgan. Model ishchi, transport va bekor turish rejimlaridagi yoqilg'i sarfini hisobga oladi hamda texnik holat, tashqi muhit va operator charchashini ifodalovchi koeffitsientlarni o'z ichiga oladi. Integral samaradorlik ko'rsatkichi yordamida mahsuldorlik va resurs sarfi birgalikda baholanadi. Hisoblash natijalari texnik holat yomonlashganda yoqilg'i sarfi 10–25 % ga ortishini hamda optimal yuklanish koeffitsienti $K_{load} \approx 0,8$ ekanligini ko'rsatdi. Taklif etilgan model energiya samaradorligini oshirish, ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish va texnik xizmat ko'rsatish intervallarini asoslash uchun amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: mashina-traktor agregati, dinamik modellash, yoqilg'i sarfi, integral samaradorlik, inson–mashina–muhit tizimi, operator charchashi, energiya samaradorligi.

Аннотация. Эффективность машинно-тракторных агрегатов (МТА) формируется под воздействием технического состояния, эксплуатационных режимов, факторов окружающей среды и деятельности оператора. В большинстве существующих исследований данные факторы рассматриваются раздельно, что ограничивает возможности комплексной оценки работы агрегатов в реальных условиях эксплуатации. В данной статье на основе концепции системы «человек–машина–среда» разработана единая динамическая математическая модель оценки производительности и расхода топлива машинно-тракторных агрегатов. Предлагаемая модель учитывает расход топлива в рабочих, транспортных и холостых режимах, а также включает коэффициенты, характеризующие техническое состояние, влияние внешней среды и утомляемость оператора. Для комплексной оценки производительности и потребления ресурсов введён интегральный показатель эффективности. Результаты расчётов показали, что при ухудшении технического состояния расход топлива возрастает на 10–25 %, а оптимальное значение коэффициента загрузки составляет $K_{load} \approx 0,8$.



Разработанная модель имеет практическое значение для повышения энергетической эффективности, снижения эксплуатационных затрат и обоснования интервалов технического обслуживания.

Ключевые слова. *Машино-тракторный агрегат; динамическое моделирование; расход топлива; интегральная эффективность; система «человек–машина–среда»; утомляемость оператора; энергетическая эффективность; оптимизация работы.*

Abstract. *The performance of machine–tractor aggregates (MTAs) is determined by the combined influence of technical condition, operating regimes, environmental factors, and operator activity. In most existing studies, these factors are considered separately, which limits the possibility of a comprehensive assessment of aggregate performance under real operating conditions. This paper presents a unified dynamic mathematical model for evaluating the productivity and fuel consumption of machine–tractor aggregates based on the human–machine–environment system concept. The proposed model accounts for fuel consumption in working, transport, and idle operating modes and incorporates coefficients representing technical condition, environmental influences, and operator fatigue. An integral efficiency index is introduced to evaluate productivity and resource consumption simultaneously. The results show that fuel consumption increases by approximately 10–25% as the technical condition deteriorates, while the optimal load coefficient is found to be $K_{load} \approx 0.8$. The proposed model has practical significance for improving energy efficiency, reducing operating costs, and substantiating maintenance service intervals.*

Keywords. *Machine–tractor aggregate; dynamic modeling; fuel consumption; integral efficiency; human–machine–environment system; operator fatigue; energy efficiency; performance optimization.*

KIRISH

Zamonaviy qishloq xo‘jaligida energiya resurslaridan oqilona foydalanish va ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Bu vazifani hal etishda mashina-traktor agregatlarining (MTA) ish samaradorligi hal qiluvchi ahamiyatga ega. Traktorlar va qishloq xo‘jaligi mashinalarining mahsuldorligi hamda yoqilg‘i sarfi qishloq xo‘jaligi mahsulotlari tannarxiga bevosita ta‘sir ko‘rsatadi [1,2].

An‘anaviy modellarda MTA ishlashi asosan dvigatel quvvati, harakat tezligi va tortish kuchiga bog‘liq holda baholanadi [1]. Biroq amaliyotda agregatlar ishiga tuproqning mexanik tarkibi, namlik darajasi, relef, iqlim sharoiti, texnik holat va operator mahorati kabi omillar ham sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi [3,4]. So‘nggi yillarda traktorlar ishlashini baholash uchun dinamik modellashtirish va mashinali o‘qitish usullaridan foydalanishga qiziqish ortmoqda [5,6].

O‘zbekiston sharoitida mashina-traktor agregatlaridan foydalanish samaradorligini oshirish bo‘yicha nazariy va amaliy tadqiqotlar olib borilgan [9]. Qator oralariga ishlov beruvchi agregatlar harakatining ehtimoliy xususiyatlari va ish sifatiga ta‘sir etuvchi omillar ham o‘rganilgan [10]. Qishloq xo‘jaligi mashinalarining energiya tejankor ish organlarini takomillashtirish bo‘yicha tadqiqotlar esa [11] manbalarda keltirilgan



Biroq aksariyat tadqiqotlarda inson omili, texnik holat va ekspluatatsion rejimlar o'zaro bog'liq holda ko'rib chiqilmagan.

Shu munosabat bilan mazkur tadqiqotning maqsadi inson–mashina–muhit tizimi konsepsiyasi asosida mashina-traktor agregatlarining mahsuldorligi va yoqilg'i sarfini baholash hamda optimallashtirish uchun yagona dinamik model ishlab chiqishdan iborat.

TADQIQOT METODOLOGIYASI VA NAZARIY ASOSLAR

Mashina-traktor agregatining umumiy samaradorligi mahsuldorlik, xarajatlar, texnik holat, inson omili va tashqi muhit ta'siri orqali shakllanadi. Shuning uchun integral samaradorlik ko'rsatkichi quyidagicha ifodalandi:

$$\eta_{\text{int}} = f(Q, C, R, O, t, E, W), \quad (1)$$

bu yerda Q – mahsuldorlik; C – ekspluatatsion xarajatlar; R – texnik holat; O – operator omili; E – tashqi muhit ta'siri; W – agrotexnik talablarning bajarilish darajasini ifodalovchi ko'rsatkich. t – vaqt.

Tenglama (1) agregat ishlashining kompleks xususiyatini aks ettiradi va barcha asosiy omillarni yagona tizimga birlashtiradi.

Mahsuldorlik modeli. Mashina-traktor agregatining soatlik mahsuldorligi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$Q = 0.1 \cdot B \cdot v \cdot K_{\text{time}} \cdot K_{\text{tech}}, \quad (2)$$

bu yerda B – ish kengligi, m; v – harakat tezligi, km/soat; K_{time} – vaqtdan foydalanish koeffitsienti; K_{tech} – texnologik samaradorlik koeffitsienti.

(2) tenglamadan mahsuldorlik agregatning konstruktiv parametrlari bilan bir qatorda ish vaqtdan foydalanish darajasiga ham bog'liqligi kelib chiqadi.

Ekspluatatsion xarajatlar. Umumiy ekspluatatsion xarajatlar quyidagicha ifodalanadi:

$$C_{\text{exp}} = C_f + C_{ts} + C_{sp} + C_{op}, \quad (3)$$

bu yerda C_f – yoqilg'i va moylash materiallari xarajatlari; C_{ts} – texnik xizmat va ta'mirlash xarajatlari; C_{sp} – ehtiyot qismlar xarajatlari; C_{op} – operator mehnati bilan bog'liq xarajatlar.

Amaliyotda yoqilg'i xarajatlari umumiy xarajatlarning 40–60 % qismiga to'g'ri keladi [2].

Yoqilg'i sarfining dinamik modeli. Dvigatelning nominal yoqilg'i sarfi quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$G_{f0} = \frac{N_e \cdot q_e}{1000}, \quad (4)$$

bu yerda N_e – dvigatelning samarali quvvati, kVt; q_e – solishtirma yoqilg'i sarfi, g·kVt⁻¹·soat⁻¹.

Tenglama (4) energiya balansiga asoslangan bo'lib, yoqilg'i sarfi va dvigatel quvvati o'rtasidagi to'g'ri proporsional bog'lanishni ifodalaydi.

Texnik holat ta'siri. Agregatning texnik holati yomonlashishi bilan mexanik yo'qotishlar ortadi va yoqilg'i sarfi ko'payib boradi. Bu holat texnik koeffitsient orqali hisobga olinadi:

$$G_f = K_i \cdot G_{f0}, \quad (5)$$



bu yerda K_i – texnik holat ko'effitsienti.

U quyidagi ko'rinishda aniqlanadi:

$$K_i = \frac{\eta_{new}}{\eta_{wear}}, \quad (6)$$

bu yerda η_{new} va η_{wear} mos ravishda yangi va yeyilgan agregat samaradorligini ifodalaydi.

Amaliyot uchun soddalashtirilgan ko'rinish:

$$K_i = 1 + \gamma_{th} \delta, \quad (7)$$

bu yerda δ – yeyilish darajasi; γ_{th} – konstruktiv sezgirlik ko'effitsienti.

Tajriba ma'lumotlariga ko'ra texnik holat yomonlashganda yoqilg'i sarfi 10–25 % ga ortishi mumkin [7].

Inson–mashina–muhit tizimi modeli. Real ekspluatatsiya sharoitida yoqilg'i sarfiga tashqi muhit, texnik holat va inson omili bir vaqtning o'zida ta'sir qiladi. Shu sababli umumlashtirilgan dinamik model taklif etildi:

$$G_f(t) = K_{load} \cdot K_i \cdot K_h(t) \cdot \frac{N_e \cdot q_e}{1000} (1 + \alpha), \quad (8)$$

bu yerda K_{load} – yuklanish ko'effitsienti; K_i – texnik holat ko'effitsienti; $K_h(t)$ – inson omili ko'effitsienti; α – moy sarfi ko'effitsienti.

Yuklanish ko'effitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{load} = \frac{N_{req}}{N_{nom}}, \quad (9)$$

bu yerda N_{req} – talab etiladigan quvvat; N_{nom} – nominal quvvat.

Muhit omillarining umumiy ta'siri K_{env} ko'effitsienti orqali hisobga olindi:

$$K_{env} = K_{soil} \cdot K_{moist} \cdot K_{relief} \cdot K_{climate}, \quad (10)$$

bu yerda tuproq, namlik, relief va iqlim ta'siri hisobga olinadi.

Operator charchashi modeli. Operatorning uzluksiz ishlashi mahsuldorlikning pasayishiga olib keladi. Bu holat eksponensial funksiya orqali ifodalandi:

$$K_h(t) = \exp(-\beta t), \quad (11)$$

bu yerda β – charchash intensivligi ko'effitsienti; t – ish vaqti.

Tenglama (11) vaqt o'tishi bilan operator samaradorligining pasayishini tavsiflaydi [8].

Ko'p rejimli yoqilg'i sarfi modeli. MTA ishchi, transport va bekor turish rejimlarida faoliyat ko'rsatadi. Ularning vaqt ulushlari:

$$\sum_j \tau_j = 1, \quad 0 \leq \tau_j \leq 1. \quad (12)$$

bu yerda τ_j – joriy rejimning vaqt ulushi.

Umumiy yoqilg'i sarfi:

$$G_f^{tot}(t) = \sum_j \tau_j G_{f,j}(t) + G_{aux}, \quad (13)$$

bu yerda $G_{f,j}$ – j-rejimdagi yoqilg'i sarfi; G_{aux} – yordamchi tizimlar sarfi.

Shunday qilib, model real ish jarayonidagi barcha rejimlarni hisobga oladi.

Integral samaradorlik ko'rsatkichi. MTA samaradorligini kompleks baholash uchun quyidagi ko'rsatkich taklif etildi:

$$\eta_{int} = \frac{Q_{useful}}{Q_{total}},$$

yoki



$$\eta_{int}(t) = \frac{\tau_{work}(0.1 B v K_{time} \cdot K_{tech}) \cdot (k_{skill} \cdot k_{erg} e^{-\beta t}) \cdot W(t)}{\sum_j \tau_j \left[\frac{N_{req,j} \cdot q_{e,j}}{1000 \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_{eng}} (1+\alpha) \cdot (\prod K_{env,j}) \cdot K_i \cdot K_h(t) \cdot (1+\kappa(t)) \right] + G_{aux}} \quad (14)$$

bu yerda τ_{work} – umumiy ish vaqtida ishchi rejimning ulushi; k_{skill} – operatorning malaka darajasini ifodalovchi koeffitsient; k_{erg} – mehnat sharoiti va ergonomik omillarni hisobga oluvchi koeffitsient; $W(t)$ – agroteknik talablarni bajarish darajasini tavsiflovchi funksiya; G_{aux} – yordamchi tizimlar (gidravlik tizim, konditsioner va boshqalar) uchun sarflanadigan yoqilg‘i miqdori; $\kappa(t)$ – ekspluatatsiya jarayonida yuzaga keluvchi qisqa muddatli dinamik o‘zgarishlarni hisobga oluvchi tuzatish koeffitsienti. Qolgan parametrlar mazkur ishning oldingi bo‘limlarida keltirilgan.

Ushbu ko‘rsatkich mahsulдорlik, operator samaradorligi va agroteknik talablarni bajarish darajasini umumiy yoqilg‘i sarfi bilan bog‘lab, mashina-traktor agregatining real ish sharoitidagi kompleks samaradorligini baholash imkonini beradi. Integral samaradorlik ko‘rsatkichining ortishi agregatdan foydalanish samaradorligi oshganligini, kamayishi esa resurs sarfining mahsulдорlikka nisbatan o‘sganligini ko‘rsatadi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Model New Holland TD5 110 DF va MTZ–100 traktorlari uchun qo‘llanildi.

1-jadval

Yuklanish koeffitsientining samaradorlikka ta’siri

K_{load}	Yoqilg‘i sarfi, l/soat	η_{int}
0.4	5.6	0.63
0.6	6.9	0.74
0.8	7.8	0.82
1.0	9.4	0.71

1-jadval ma’lumotlaridan ko‘rinishicha, integral samaradorlik koeffitsienti $K_{load}=0.8$ da maksimal qiymatga ega. Bu natija dvigatel quvvatidan samarali foydalanish va yoqilg‘i sarfi o‘rtasidagi optimal muvozanatni ifodalaydi.

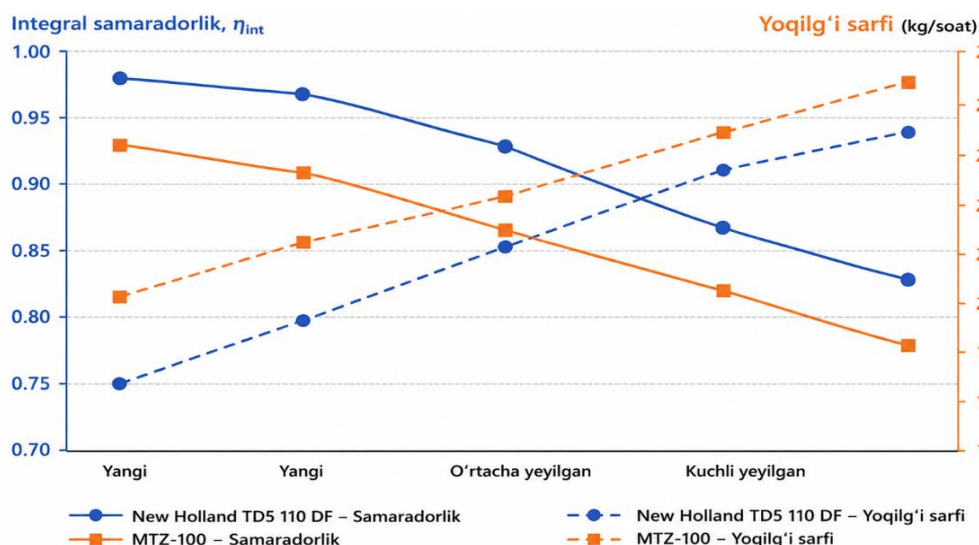
2-jadval

Texnik holatga qarab yoqilg‘i sarfi

Holat	TD5 110 DF	MTZ-100
Yangi	17.8	19.5
O‘rtacha yeyilgan	19.6	21.8
Kuchli yeyilgan	22.1	24.7

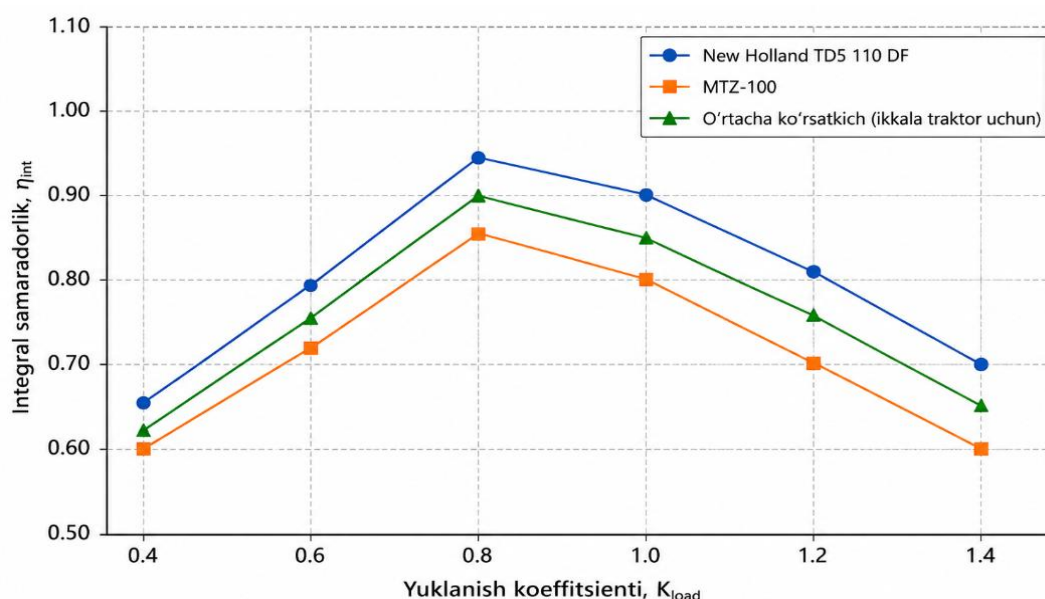
New Holland TD5 110 DF traktorida yoqilg‘i sarfi yangi holatdan kuchli yeyilgan holatga o‘tganda 24,2 % ga, MTZ-100 traktorida esa 26,7 % ga ortgan. Bu MTZ-100 modelining texnik yeyilishga nisbatan sezgirliги yuqoriroq ekanligini ko‘rsatadi. Texnik holat yomonlashishi natijasida har ikki traktorda yoqilg‘i sarfi sezilarli darajada oshgan. Bu holat mexanik yo‘qotishlarning ortishi bilan izohlanadi.





1-rasm. Texnik holat o'zgarishining New Holland TD5 110 DF va MTZ-100 traktorlarining yoqilg'i sarfi hamda integral samaradorlik ko'rsatkichlariga ta'siri.

1-rasmdagi grafiklar texnik holat yomonlashishi bilan har ikki traktorda yoqilg'i sarfi ortib, integral samaradorlik pasayishi kuzatildi. New Holland TD5 110 DF traktori barcha holatlarda MTZ-100 ga nisbatan yuqori samaradorlik va past yoqilg'i sarfini namoyon qildi. Natijalar texnik holatni o'z vaqtida saqlash va texnik xizmat ko'rsatish agregatlarning energiya samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatadi.



2-rasm. Integral samaradorlikning yuklanish ko'effitsientiga bog'liqligi.

Integral samaradorlik yuklanish ko'effitsienti ortishi bilan $K_{load}=0,8$ gacha o'sadi va shu nuqtada maksimal qiymatga erishadi. Keyingi yuklanish ortishi samaradorlikning pasayishiga olib keladi. Bu holat har ikki traktor uchun optimal ish rejimi $K_{load}\approx 0,8$ atrofida shakllanishini ko'rsatadi. New Holland TD5 110 DF traktori barcha yuklanish diapazonida MTZ-100 ga nisbatan yuqori samaradorlikni ta'minlagan.



Natijalar [3], [4] va [7] manbalarda keltirilgan eksperimental ma'lumotlar bilan mos keladi.

8. Xulosalar. Tadqiqot natijalari taklif etilgan modelning mashina-traktor agregatlari samaradorligini baholash va energiya sarfini kamaytirish masalalarini hal etishda samarali ekanligini tasdiqladi:

1. Mashina-traktor agregatlarining ish samaradorligini baholash uchun inson–mashina–muhit tizimiga asoslangan yagona dinamik model ishlab chiqildi;
2. Model texnik holat, tashqi muhit ta'siri va operator charchashini hisobga oladi;
3. Texnik holat yomonlashganda yoqilg'i sarfi 10–25 % ga ortishi aniqlandi;
4. Integral samaradorlikning maksimal qiymati $K_{load} \approx 0.8$ bo'lganda kuzatildi;
5. Taklif etilgan model energiya sarfini kamaytirish, texnik xizmat ko'rsatish intervallarini asoslash va ekspluatatsiya samaradorligini oshirish uchun qo'llanilishi mumkin.

ADABIYOTLAR

1. Grisso R., Kocher M., Vaughan D. Predicting tractor fuel consumption. Applied Engineering in Agriculture, 2004.
2. Upadhyay G., Raheman H. Specific energy and fuel consumption analysis of tractor tillage operations. Energy, 2019.
3. Battiato A., Diserens E. Influence of soil properties on tractor performance and fuel consumption. Soil and Tillage Research, 2023.
4. Kheiralla A.F., Yahya A. Effect of field conditions on tractor fuel consumption and work rate. Agricultural Engineering International, 2024.
5. Chen Y., Zhang Q., Wang J. Modeling and prediction of tractor fuel consumption using machine learning approaches. Computers and Electronics in Agriculture, 2023.
6. Alhassan M., Zhang D., Li X. Dynamic modeling of tractor–implement interaction. Biosystems Engineering, 2024.
7. Liu Z., Wang H., Li X. Multi-regime energy consumption modeling for off-road machinery. Applied Energy, 2024.
8. Matthews J., Stephens A. Operator performance and fatigue in agricultural machinery operation. Applied Ergonomics, 2023.
9. **Toshboltaev M.T., Artikbaev B.** Models of car-tractor aggregate performance. Web of Scientist: International Scientific Research Journal, 2024.
10. **Alimova F.A., Primkulov B.Sh.** Probabilistic characteristics of processes in models of the operation of row crop cultivator aggregates. Technical Science and Innovation, 2019.
11. Norchaev D., Ergashev R. Optimization of technical service. Toshkent, 2020.
12. Mirzakhodjaev, S., Allanazarov, M., Ishmurov, K. 2024, BIO Web of Conferences, 85, 01043 <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248501043>
13. Mirzakhodjaev, S., Djiyanov, M., Nurmikhamedov, B., Mamasov, S. 2024, BIO Web of Conferences, 85, 01035 <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248501035>
14. Mirzakhodjaev, S., Utaganov, K., Musurmonov, A. 2024, BIO Web of Conferences, 85, 01036 <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248501036>





15. Khudayorov, Z., Mirzakhodjaev, S., Khalilov, R., Nurmikhamedov, B., Mamasov, S. 2023, *E3S Web of Conferences*, 390, 01033
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339001033>
16. Khudayorov, Z., Khalilov, R., Mirzakhodjaev, S., Nurmikhamedov, B., Mamasov, S. 2023, *E3S Web of Conferences*, 376, 02013
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337602013>
17. Khudayorov, Z., Khalilov, R., Gorlova, I., Mirzakhodjaev, S., Mambetsheripova, A. 2023, *E3S Web of Conferences*, 365, 04011
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336504011>
18. Mirzakhodjaev, S., Shodiev, K., Uralov, G., Badalov, S., Choriyeve, D. 2021, *E3S Web of Conferences*, 264, 04047 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404047>
19. Mamatov, F., Mirzaev, B., Mirzahodzaev, S., Uzakov, Z., Choriyeve, D. 2021, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1030(1), 012164
DOI: [10.1088/1757-899x/1030/1/012164](https://doi.org/10.1088/1757-899x/1030/1/012164)
20. Mirzaev, B., Mamatov, F., Ergashev, I., ...Kodirov, U., Ergashev, G. 2019, *E3S Web of Conferences*, 135, 01065 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913501065>

