Оригинальная статья

УДК 621.3.072 © Т.М. Саъдуллаев✉[1], О.З. Тоиров[2], С.Э. Ураков[2], А.А. Фозилов[2], Ш.М. Махмудов[2], 2026

[1] Ташкентский международный университет Кимё, 100121, г. Ташкент, Узбекистан
[2] Ташкентский государственный технический университет имени И.А. Каримова, 100095, г. Ташкент, Узбекистан
✉ e-mail: Turonmurodxon@mail.ru

Original Paper

UDC 621.3.072 © T.M. Sadullayev✉[1], O.Z. Toirov[2], S.E. Urakov[2], A.A. Fozilov[2], Sh.M. Mahmudov[2], 2026

[1] Kimyo International University in Tashkent, Tashkent, 100121, Uzbekistan
[2] Tashkent State Technical University named after I.A. Karimov, Tashkent, 100095, Uzbekistan
✉ e-mail: Turonmurodxon@mail.ru

Моделирование и анализ статических и динамических режимов работы частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя с IR-компенсацией в горнодобывающей промышленности*

Modeling and analysis of static and dynamic operating modes of a frequency-controlled asynchronous feeder drive with IR-compensation in the mining industry

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-10-94-99

САЪДУЛЛАЕВ Т.М.
Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Энергетика и прикладные науки», Ташкентский международный университет Кимё, 100121, г. Ташкент, Узбекистан, e-mail: Turonmurodxon@mail.ru

ТОИРОВ О.З.
Доктор техн. наук, профессор, декан факультета «Инженерная энергетика», Ташкентский государственный технический университетимени И.А. Каримова», 100095, г. Ташкент, Узбекистан, e-mail: olimjon.t@mail.ru

УРАКОВ С.Э.
Старший преподаватель кафедры «Инженерия электрических машин и приводов», Ташкентский государственный технический университет имени И.А. Каримова», 100095, г. Ташкент, Узбекистан, e-mail: sardor.orakov@tdtu.uz

Статья посвящена моделированию и анализу статических и динамических режимов работы частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателей в горнодобывающей промышленности на основе скалярного метода управления с IR-компенсацией. Основное внимание уделено принципам частотного регулирования асинхронного двигателя и особенностям его работы при тяжелых и переменных нагрузках. Проведено моделирование различных режимов работы электропривода в среде MATLAB. Определены ключевые электромеханические параметры, получены статические и динамические характеристики при управлении на низких частотах, что позволило оценить влияние IR-компенсации на стабилизацию выходных параметров, плавный пуск и повышение энергетической эффективности.

** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан в рамках плана научно-исследовательских работ Института проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан по проекту № ФА-А3-90053 от 10.10.2022 «Разработка энергоресурсосберегающих режимов энергопотребления на энергоемких объектах отраслей экономики». Кроме того, работа выполнена по проекту № ИЛ-442105947 от 24.01.2022 «Создание нового автоматического устройства передачи стабилизированной электрической мощности с постоянной частотой в локальную энергетическую систему при изменении параметров ветрового и водного потока» (2022–2023 гг.) в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.*

Результаты подтверждают эффективность применения скалярного метода с IR-компенсацией и могут быть использованы при проектировании и модернизации электроприводных систем питателей в промышленности.

Ключевые слова: *частотно-регулируемый электропривод, асинхронный двигатель, питатель, скалярное управление, IR-компенсация, моделирование, MATLAB, горнодобывающая промышленность.*

Для цитирования: Моделирование и анализ статических и динамических режимов работы частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя с IR-компенсацией в горнодобывающей промышленности / Т.М. Саъдуллаев, О.З. Тоиров, С.Э. Ураков и др. // Уголь. 2026;(10):94-99. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-10-94-99.

Abstract

The article is devoted to the modeling and analysis of static and dynamic operating modes of a frequency-controlled asynchronous drive for feeders in the mining industry, based on the scalar control method with IR-compensation. The study focuses on the fundamental principles of frequency regulation of the asynchronous motor and its performance under heavy and variable load conditions.

Simulation of various operating modes of the drive was conducted in MATLAB. Key electromechanical parameters were determined, and static and dynamic characteristics were obtained at low-frequency operation, allowing evaluation of the impact of IR compensation on output stabilization, smooth start-up, and energy efficiency improvement.

The results confirm the effectiveness of the scalar method with IR compensation and can be applied in the design and modernization of feeder drive systems in industrial settings.

Keywords

Variable frequency drive, induction motor, feeder, scalar control, IR-compensation, modeling, MATLAB, mining industry.

Acknowledgements

This work was carried out with the financial support of the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan within the framework of the research plan of the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan under Project No. FA-A3-90053 dated 10.10.2022, "Development of energy-saving operating modes for energy-intensive facilities in various sectors of the economy."

In addition, the work was performed under Project No. IL-442105947 dated 24.01.2022, "Development of a new automatic device for transmitting stabilized electric power at a constant frequency to a local energy system under variable wind and water flow conditions" (2022-2023), conducted at Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

For citation

Sadullayev T.M., Toirov O.Z., Urakov S.E., Fozilov A.A., Mahmudov Sh.M. Modeling and analysis of static and dynamic operating modes of a frequency-controlled asynchronous feeder drive with IR-compensation in the mining industry. *Ugol'*. 2026;(10):94-99. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-10-94-99.

ФОЗИЛОВ А.А.
Магистрант кафедры «Инженерия электрических машин и приводов», «Ташкентский государственный технический университет имени И.А. Каримова», 100095, г. Ташкент, Узбекистан, e-mail: azizfozylov@gmail.com

МАХМУДОВ Ш.М.
Магистрант кафедры «Инженерия электрических машин и приводов», «Ташкентский государственный технический университет имени И.А. Каримова», 100095, г. Ташкент, Узбекистан, e-mail: shaxbozbekmahmudov001@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

На глобальном уровне процессы добычи полезных ископаемых, рационального использования топливно-энергетических ресурсов и модернизации отраслей экономики играют стратегическую роль в социально-экономическом развитии государств [1]. Устойчивый рост спроса на энергоресурсы в различных секторах экономики [2, 3] требует дальнейшего развития горнодобывающей отрасли и оптими-

зации производственных процессов, играющих ключевую роль в прогрессе стран [4].

Следует отметить, что горнодобывающая отрасль является не только основным источником минерального сырья, но и одним из наиболее энерго– и ресурсоемких секторов производства [5, 6]. Наиболее высокий уровень энергопотребления в отрасли наблюдается в процессах добычи, дробления и транспортировки сырья [7]. Особое значение в технологическом цикле перемещения минерального сырья из шахт и карьеров к перерабатывающим комплексам или пунктам хранения имеют грузотранспортные системы, в частности питатели [8].

Известно, что в горнодобывающей промышленности питатели обеспечивают непрерывную и дозированную подачу крупногабаритного добытого минерального сырья в процессы дробления, обогащения полезных ископаемых и конвейерные системы [9]. Поскольку эти устройства приводятся в действие электрическими приводами и, как правило, функционируют в непрерывном режиме, они отличаются высоким потреблением электроэнергии [10]. Кроме того, поддержание постоянной скорости вращения приводов питателей на практике приводит к нерациональному расходу электроэнергии [11, 12].

Многолетние исследования показывают, что повышение энергоэффективности питателей достигается за счет реализации алгоритмов плавного пуска, мониторинга динамических характеристик электроприводов и адаптивного регулирования их частоты вращения в зависимости от интенсивности грузопотока [13, 14]. Вместе с тем применение частотно-регулируемого управления требует тщательного анализа, так как необоснованное увеличение рабочих режимов может вызывать избыточные энергетические потери, обусловленные резкими колебаниями механических нагрузок и нестабильностью параметров питающей сети.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – частотно-регулируемый асинхронный электропривод питателя с IR-компенсацией, применяемый в горнодобывающей промышленности. Рассматриваются его статические и динамические режимы работы, влияющие на точность регулирования скорости, надежность оборудования и энергетическую эффективность технологических процессов.

Предмет исследования – методы моделирования и анализа статических и динамических режимов работы частотно-регулируемого электропривода с IR-компенсацией, направленные на оптимизацию параметров управления, снижение энергопотребления и обеспечение стабильной подачи минерального сырья.

Методы исследования включают:

– аналитическое моделирование для оценки статических и динамических характеристик электропривода с учетом параметров асинхронного двигателя и схемы управления;

– компьютерное моделирование режимов работы привода при различных нагрузках для анализа эффективности IR-компенсации;

– экспериментальные исследования на прототипах и действующих питателях для верификации теоретических моделей;

– сравнительный анализ эффективности управления с применением IR-компенсации и традиционных методов частотного регулирования [1, 4].

Применение указанных методов позволяет комплексно оценить влияние стратегий управления на статические и динамические режимы работы привода, точность регулирования скорости, энергопотребление и надежность оборудования, что имеет практическое значение для повышения эффективности горнодобывающей промышленности.

Скалярное управление с IR-компенсацией учитывает фазовые сдвиги между токами ротора и статора, обеспечивая точное регулирование скорости и моментных характеристик привода. Метод также компенсирует теряемый момент за счет пропорционального увеличения напряжения статора относительно тока, что гарантирует стабильную работу двигателя при низких скоростях.

РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В горно-металлургической промышленности для различных типов питателей применяются асинхронные электроприводы. Наиболее часто используется асинхронный двигатель серии АИР250М6 с номинальной активной мощностью $P_н$ = 55 кВт, номинальным сетевым напряжением $U_н$ = 380 В, коэффициентом мощности $\cos\varphi$ = 0,86, частотой вращения n = 1000 (980) об./мин и КПД η = 0,928, скольжением S = 0,02, сопротивлением статора $R_с$ = 0,12 Ом и максимальным моментом $M_м$ = 1072 Н·м.

Опираясь на приведенные выше характеристики, производится расчет номинального тока асинхронного электрического двигателя ($I_н$):

$$I_н = \frac{P_н}{\sqrt{3}\cdot U_н \cdot \cos\varphi \cdot \eta_l} = \frac{550000}{\sqrt{3}\cdot 380 \cdot 0,86 \cdot 0,928} = 104,706\,А; \quad (1)$$

производится определение напряжения IR-компенсации ($U_к$):

$$U_к = I_н \cdot R_s = 104,706 \cdot 0,1165 = 12,2\ В; \quad (2)$$

определяется закон пропорциональности питателя (γ_1):

$$\gamma_1 = \frac{U_{н1}}{f_{н1}} = \frac{380}{50} = 7,6; \quad (3)$$

определяется компенсационное напряжение частотно-регулируемого электропривода питателя в процессе IR-компенсации (U_k):

$$U_k = \gamma_1 \cdot f_1 + U_k = 7,6 \cdot 10 + 12,2 = 88,2\ В, \quad (4)$$

где f_1 = 10 Гц – минимальная частота асинхронного электропривода.

В процессе IR-компенсации частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя управление данным приводом осуществлялось методом скалярного управления $\gamma = U_н/f_н$, при котором напряжения привода пропорционально соотносились с частотами сети в соответствии с законом пропорциональности. В результате повышения сетевой частоты до 10 Гц компенсационное напряжение привода увеличилось до 88,56 В.

Кроме того, на основе полученных электромеханических характеристик обеспечивается возможность полного

контроля статических и динамических режимов работы частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя.

Угловая скорость частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя в процессе IR-компенсации определяется следующим образом (ω_1):

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot 3{,}1416 \cdot 50}{3} = 104{,}719 \text{ рад/с.} \quad (5)$$

Известно, что при управлении частотно-регулируемым асинхронным электроприводом питателя с учетом различных режимов работы важное значение имеет определение электромагнитного момента привода при изменении амплитуды и частоты напряжения.

Кроме того, определение диапазона изменения электромагнитного момента при скалярном управлении приводом на основе линейного закона позволяет обеспечить полный контроль работы электропривода (M).

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2}{\omega_0 \cdot s_j \left[x_n^2 \cdot f_1^2 + \left(R_{1e} + \frac{R_2}{s_j} \right)^2 + \left(\frac{R_{1e} \cdot R_2}{s_j \cdot x_\mu \cdot f_1} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0{,}045}{104{,}71 \cdot 0{,}02 \cdot \left[0{,}045^2 \cdot 1 + \left(0{,}06 + \frac{0{,}045}{0{,}02} \right)^2 + \left(\frac{0{,}06 \cdot 0{,}042}{0{,}02 \cdot 12{,}5 \cdot 1} \right)^2 \right]} = 584{,}47 \text{ Н×м.} \quad (6)$$

Ток частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя при управлении с учетом различных режимов работы определяется с использованием следующей формулы (I_2):

$$I_2' = \frac{U^{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_{1e} + \frac{R_2}{s_j} \right)^2 + x_к \cdot f_1^2 + \left(\frac{R_{1e} \cdot R_2}{s_j \cdot x_\mu \cdot f_1} \right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0{,}06 + \frac{0{,}042}{0{,}02} \right)^2 + 0{,}45 \cdot 1^2 + \left(\frac{0{,}06 \cdot 0{,}042}{0{,}02 \cdot 12{,}5 \cdot 1} \right)^2}} = \quad (7)$$

$$= \pm 91{,}82 \text{ А,}$$

где $s = \omega_0 - \omega/\omega_0$ – скольжение электропривода; $R_{1e} = R_1 - k_{km} \cdot R_1 > 0$ – эквивалентное активное сопротивление статора электропривода; $x_\mu = \omega L$ – эквивалентное реактивное сопротивление намагничивания статора электропривода; $x_k = \omega(L_c - L_p)$ – общее реактивное сопротивление электропривода при IR-компенсации; k_{km} – коэффициент компенсационного скольжения электропривода.

РЕЗУЛЬТАТЫ, АНАЛИЗ, ОБСУЖДЕНИЕ

На основе проведенного методологического исследования для повышения энергетической эффективности частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя с IR-компенсацией, а также для минимизации потерь электроэнергии при изменении напряжения и частоты использовалось программное обеспечение MATLAB. Оно обеспечивает высокоточное моделирование и комплексный анализ статических и динамических режимов работы электропривода, позволяя детально оценить его эксплуатационные характеристики в условиях горнодобывающей промышленности. Кроме того, на основе необходимых электромеханических показателей для процесса скалярного управления с IR-компенсацией частотно-регулируемого асинхронного привода питателя, приведенных в *таблице*, формируются электрические и механические характеристики данного привода с помощью MATLAB.

На основе экспериментальных и расчетно-аналитических данных выполнено моделирование исследуемого частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя в программе MATLAB, что позволило получить электромеханические характеристики электропривода.

На *рис. 1* представлены результаты моделирования в среде MATLAB, отражающие влияние нелинейной вольтодобавки на рабочие параметры частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя. Установлено, что для компенсации падения напряжения на активном сопротивлении статора в низкочастотной области (5 Гц) напряжение питания U корректируется до 100,2 В. Характер изменения приведенного тока ротора I_2 указывает на поддержание стабильного магнитного потока асинхронного электродвигателя во всем диапазоне регулирования. Данная стратегия управления обеспечивает высокую перегрузочную способность электропривода питателя. Это гарантирует его надежный пуск в тяжелых условиях эксплуатации при значительных статических сопротивлениях горной массы.

На *рис. 2* приведены механические характеристики асинхронного электропривода питателя, полученные в среде MATLAB для диапазона частот 5-50 Гц. Применение алгоритма IR-компенсации позволяет стабилизировать критический момент $M_к$ в области низких частот f за счет нелинейного завышения напряжения. Видно, что при 5 Гц момент

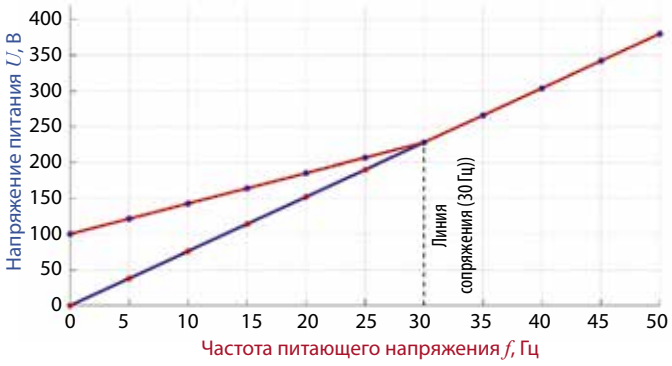

Рис. 1. Зависимости электромагнитного момента M_e и приведенного тока ротора I_2 от частоты f_n при частотном регулировании с IR-компенсацией

Fig. 1. Dependencies of electromagnetic torque M_e and referred rotor current I_2 on frequency f_n under frequency control with IR compensation

Необходимые электромеханические характеристики частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя для скалярного управления с IR-компенсацией

Required electromechanical characteristics of the frequency-controlled asynchronous feeder drive for scalar control with IR compensation

$f_н$ (Гц)	k_f	n_f (об./мин)	ω (рад/с)	$ω_0$ (рад/с)	$U_н$ (В)	$U_к$ (В)	$U_Σ$ (В)	$I_н$ (А)	I_2 (А)	M (Н·м)
0	0	0	0	0	0	100	100	104,7	23,12	500
5	0,1	95,1	9,95	10,47	38	83,33	121,33	104,7	35,63	500
10	0,2	196,8	20,61	20,94	76	66,67	142,67	104,7	42,12	504,76
15	0,3	294,3	30,82	31,42	114	50	164	104,7	45,56	509,52
20	0,4	391,5	41	41,89	152	33,33	185,33	104,7	48,25	514,29
25	0,5	488,7	51,18	52,36	190	16,67	206,67	104,7	51,31	519,05
30	0,6	585,3	61,29	62,83	228	0	228	104,7	54,12	523,81
35	0,7	682	71,42	73,30	266	0	266	104,7	61,35	528,57
40	0,8	778,6	81,54	83,78	304	0	304	104,7	67,98	533,33
45	0,9	875,3	91,66	94,25	342	0	342	104,7	74,10	538,10
50	1	980	102,63	104,72	380	0	380	104,7	78,35	542,90

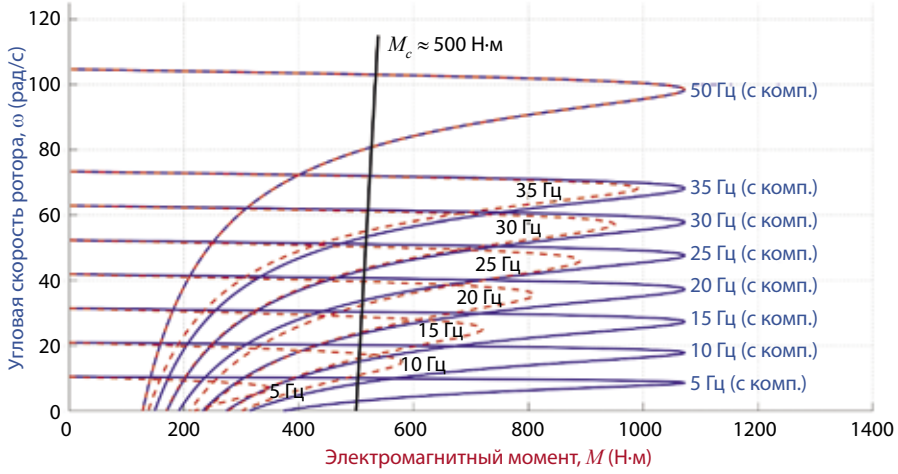

Рис. 2. Зависимость тока ротора I_2 от частоты питания f_n в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе питателя с IR-компенсацией

Fig. 2. Rotor current I_2 versus supply frequency f_n for the V/f-controlled induction motor drive of the feeder with IR compensation

На *рис. 3* представлена трехмерная поверхность, построенная по результатам численного моделирования. Анализ полученной зависимости подтверждает, что стабилизация момента в области низких частот достигается за счет нелинейного увеличения относительного напряжения $U/U_н$, компенсирующего влияние активного падения напряжения в обмотках статора. Точки локальных максимумов (отмеченные красными маркерами) наглядно иллюстрируют траекторию предельных значений момента M, что свидетельствует о сохранении высокой перегрузочной способности. Данная визуализация верифицирует эффективность выбранного метода управления и подтверждает способность частотно-регулируемого асинхронного электропривода питателя развивать требуемое тяговое усилие в тяжелых режимах пуска под завалом горной массы.

сохраняет высокое значение, что подтверждает расширение зоны электромеханической устойчивости системы. Характеристики обладают высокой статической жесткостью, необходимой для стабильной работы электропривода питателя под завалом. Смещение точек максимума исключает риск опрокидывания двигателя при пиковых технологических нагрузках. Результаты верифицируют корректность выбранной стратегии управления для обеспечения проектной производительности агрегата.

Для комплексного анализа электромеханических свойств системы было проведено численное моделирование в программной среде MATLAB. Это позволило получить многофакторную зависимость, отражающую взаимосвязь силовых параметров двигателя и управляющих воздействий в широком диапазоне частот. На *рис. 3* представлена поверхность зависимости электромагнитного момента M от частоты $f_н$ и относительного напряжения $U/U_н$ при их одновременном изменении.

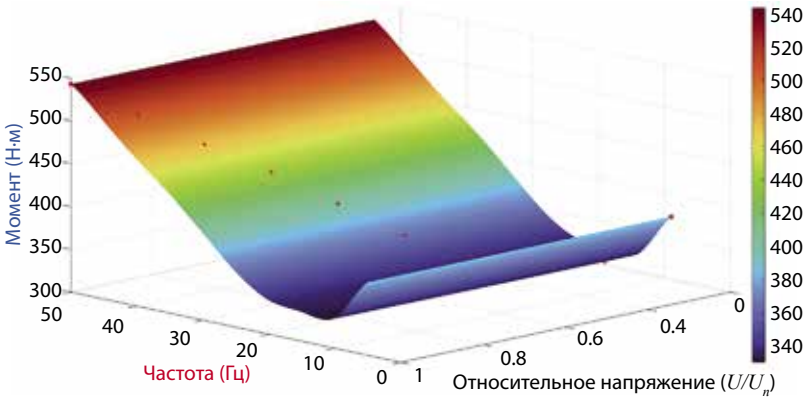

Рис. 3. Зависимость электромагнитного момента M_e от частоты f_n и относительного напряжения $U/U_{ном}$

Fig. 3. Electromagnetic torque M_e as a function of supply frequency f_n and relative voltage U/U_{nom}

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных научно-исследовательских работ и моделирования в среде MATLAB установлен характер деградации электромагнитного момента M при частотах $f_n < 15$ Гц, обусловленный доминирующим влиянием активного сопротивления статора. Анализ статических и динамических режимов электропривода питателя подтвердил, что применение метода IR-компенсации обеспечивает эффективную стабилизацию магнитного потока и линеаризацию регулировочных характеристик (*см. рис. 1, 2, 3*). Верифицированный квазистационарный режим работы при $f_n \geq 20$ Гц доказывает высокую энергетическую устойчивость системы. Предложенное решение гарантирует необходимую жесткость механических характеристик и перегрузочную способность привода в тяжелых условиях эксплуатации в горнодобывающей промышленности».

Список литературы • References

1. Исследование потока горной массы на питателе секции крепи при выпуске угля из подкровельной толщи мощных пологих пластов средствами имитационного моделирования / А.Н. Стародубов, В.И. Клишин, А.Н. Кадочигова и др. // Уголь. 2024;(9): 53-60. DOI: 10.18796/0041– 5790-2024-9-53-60.
   Starodubov A.N., Klishin V.I., Kadochigova A.N., Kaplun A.V. Research of the mined rock flow on the feeder of the powered roof support during underroof coal output of gently sloping thick coal seams by means of simulation modeling. *Ugol'*. 2024;(9):53-60. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024– 9-53-60.
2. Системы управления в горнодобывающей промышленности / А.Ю. Воронов, В.В. Аксенов, Г.Д. Буялич и др. // Уголь. 2025;(12): 91-96. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-91-96.
   Voronov A.Yu., Aksenov V.V., Buyalich G.D., Mametyev L.E., Pashkov D.A. Management systems in the mining industry. *Ugol'.* 2025;(12): 91-96. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-91-96.
3. Toirov O., Sadullaev T., Hoshimov U., Urokov S., Naimov A., Khudoyorov J., Toirov Z. Development of an integrated method for rating electrical energy consumption during the drilling process. *AIP Conf. Proc.* 4 November 2025;3331(1):050028. https://doi.org/10.1063/5.0305668.
4. Уголь и устойчивое развитие арктических территорий России в условиях энергетического перехода / Т.А. Панфилова, Н.А. Ашуров, М.М. Платошина и др. // Уголь. 2025;(6):43-47. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-43-47.
   Panfilova T.A., Ashurov N.A., Platoshina M.M., Mukumova F.Kh., Pchelintseva S.V., Korpacheva L.N. Coal and sustainable development of the Arctic territories of Russia in the conditions of energy transition. *Ugol'.* 2025;(6): 43-47. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-43-47.
5. Toirov O., Atoev S., Sadullaev T., Jumaeva D. Energy-saving operating modes and functional diagrams of a cotton-cleaning device based on frequency-controlled electric drives. *American Institute of Physics Conference Series.* 2024;3152(1):030016.
6. Toirov O., Sadullaev T., Abdullaev D., Jumaeva D., Ergashev Sh., Sapaev I.B. Development of contactless switching devices for asynchronous machines in order to save energy and resources. *E3S Web of Conferences.* 2023;(383):01029.
7. Aljwary A., Yusupov Z. Mitigation of load side harmonic distortion in standalone photovoltaic based microgrid. *E3S Web of Conferences.* 2021;(304):01010.
8. Khujaev I., Toirov O., Jumayev J., Hamdamov M. Modeling of vertical axis wind turbine using Ansys Fluent package program. *E3S Web of Conferences.* 2023;(401):04040.
9. Toirov O., Khalikov S. Algorithm and Software Implementation of the Diagnostic System for the Technical Condition of Powerful Units. *E3S Web of Conferences* 2023;(377):01004.
10. Kongratbay Sh., Abdivakhidov K. Corrosion-resistant protective coatings for metals: A review of metallic and non-metallic coatings, AIP Conference Proceedings 3045, 060011.
11. Jakhongir Begatov, Azad Mukhamedov, Malika Platoshina, Shoira Saidova, Makhmuda Yakubova. Formation of the structure of tool steels during heat treatment with heeting to extreme temperatures. *International journal of mechatronics and applied mechanics.* 2024;(17).
12. Разработка цифровой и многозвенной модели карьерного самосвала методом обратного проектирования для проведения имитационного моделирования / Д.М. Дубинкин, И.П. Попов, А.И. Бокарев и др. // Уголь. 2025;(12):51-57. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-51-57.
    Dubinkin D.M., Popov I.P., Bokarev A.I., Dianov V.A., Zaitsev L.A. Development of a digital and multi-body model of a dump truck by reverse engineering for simulation modeling. *Ugol'.* 2025;(12):51-57. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041– 5790-2025-12-51-57.
13. Tursunov O., Karimov I., Abduganiyev N., Kodirov D., Yuhnevich G., Abdivakhidov K. Characterisation and gas chromatography-mass spectrometry analysis of products from pyrolysis of municipal solid waste using a fixed-bed reactor. *Journal of Ecological Engineering.* 2025;26(7):157-170.
14. Ergashev O., Bakhronov Kh., Giyasova F. et al. Energy Characteristics, Adsorption Kinetics, and Mechanism of Triethylamine Adsorption on CsZSM-5 Zeolite. *J. Appl. Organomet. Chem.* 2026;6(1):43-52. https://doi.org/10.48309/JAOC.2026.546865.1334.

Authors Information

Sadullayev T.M. – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Energetics and Applied Sciences, Kimyo Tashkent International University, Tashkent, 100121, Uzbekistan, e-mail: Turonmurodxon@mail.ru

Toirov O.Z. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Power Engineering, Tashkent State Technical University named after I.A. Karimov, Tashkent, 100095, Uzbekistan, e-mail: olimjon.t@mail.ru

Urakov S.E. – Senior Lecturer of the Department of Electrical Machines and Drives Engineering, Tashkent State Technical University named after I.A. Karimov, Tashkent, 100095, Uzbekistan, e-mail: sardor.orakov@tdtu.uz

Fozilov A.A. – Master's Student of the Department of Electrical Machines and Drives Engineering, Tashkent State Technical University named after I.A. Karimov, Tashkent, 100095, Uzbekistan, e-mail: azizfozylov@gmail.com

Mahmudov Sh.M. – Master's Student of the Department of Electrical Machines and Drives Engineering, Tashkent State Technical University named after I.A. Karimov, Tashkent, 100095, Uzbekistan, e-mail: shaxbozbekmahmudov001@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию: 12.08.2026
Поступила после рецензирования: 17.09.2026
Принята к публикации: 30.09.2026

Paper info

Received August 12, 2026
Reviewed September 17, 2026
Accepted September 30, 2026