

# Моделирование привода постоянного тока рудничного подъемно-транспортного оборудования

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-52-57>

## БЕЛЯЕВ А.М.

Аспирант кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения Горного института НИТУ МИСИС, 119049, г. Москва, Россия, e-mail: m144339@edu.misis.ru

## БЕЛЯЕВА Т.С.

Аспирант кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения Горного института НИТУ МИСИС, 119049, г. Москва, Россия, e-mail: ts.shitikova@yandex.ru

## ПЕЦЫК А.А.

Ассистент кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения Горного института НИТУ МИСИС, 119049, г. Москва, Россия, e-mail: petsyk.aa@misis.ru

## ФРОЛОВА А.Ю.

Аспирант кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения Горного института НИТУ МИСИС, 119049, г. Москва, Россия, e-mail: afrolova@misis.ru

В условиях развития горнопромышленного комплекса остро стоит вопрос повышения надежности, энергоэффективности и производительности подъемно-транспортного оборудования – конвейерных систем и подъемных установок. Выбор и обоснование оптимального типа электропривода и системы управления являются важным аспектом обеспечения безопасной и бесперебойной работы предприятий горнорудного комплекса. В статье приведено описание математической модели тиристорного двигателя постоянного тока с использованием модуля Simulink среды моделирования Matlab.

**Ключевые слова:** горное дело, двигатель постоянного тока, моделирование, математическая модель, транспорт горных предприятий, конвейерные системы, рудничные подъемные установки, электропривод.

**Для цитирования:** Моделирование привода постоянного тока рудничного подъемно-транспортного оборудования / А.М. Беляев, Т.С. Беляева, А.А. Пецык и др. // Уголь. 2024. № 2. С. 52-57. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-52-57.

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире горная промышленность играет важную роль в обеспечении экономического и социального развития страны. В связи с возросшим спросом на ресурсы и с усложнением ведения горных работ повышение надежности, энергоэффективности, отказоустойчивости и производительности горнотранспортного оборудования становится приоритетной задачей [1, 2, 3, 4, 5].

К высокопроизводительному подъемно-транспортному оборудованию подземных горных предприятий относятся конвейерные системы [6, 7, 8] и подъемные установки [9]. В исследованиях [10, 11] обоснована важность повышения энергоэффективности технологических процессов при проектировании горного предприятия. В условиях развития горнорудной промышленности и увеличения объемов работ модернизация и модификация горнодобывающего, подъемно-транспортного и обогатительного оборудования являются основной задачей научно-технического сообщества [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Выбор правильного типа электропривода и системы управления важен для обеспечения надежной и эффективной работы подъемно-транспортного оборудования горных предприятий [18, 19, 20, 21, 22, 23]. Разработка и подбор эффективной системы управления является важной задачей для повышения эффективности работы подъемно-

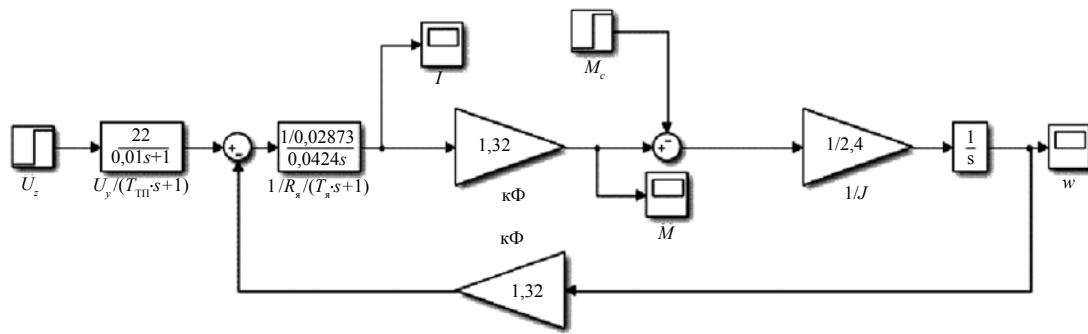


Рис. 1. Структурная схема электропривода с тиристорным преобразователем

Fig. 1. A structural diagram of electric drive with thyristor converter

транспортного оборудования и снижения затрат на его эксплуатацию [24, 25].

Требования, которые предъявляются к электроприводу мощных подъемных транспортных систем, включают в себя следующие особенности [26, 27, 28, 29]:

- повышенный пусковой момент. Из-за наличия больших статических усилий в начальный момент движения требуется электропривод с достаточной мощностью для обеспечения стабильного пуска;

- плавность переходных процессов. Важно обеспечить плавные переходы при пуске и торможении, чтобы избежать резких изменений скорости и повреждения подъемно-транспортного оборудования. При этом необходимо ограничить пороговые значения ускорения и рывка для того, чтобы исключить пробуксовку приводных барабанов относительно тяговых органов, а также важно снизить динамические усилия в переходных процессах, что влияет на нагрузки привода и на ресурс основных узлов подъемно-транспортного оборудования горных предприятий.

### ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ В SIMULINK

Привод постоянного тока описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} T_{mn} \frac{d}{dt} E_{mn} + E_{mn} = k_{mn} \cdot U_0 \\ E_{mn} = I \cdot R \cdot L \cdot \frac{d}{dt} I + c_e \cdot \omega \\ J \cdot \frac{d}{dt} \omega = c_m \cdot I - M_c \\ M = c_m \cdot I \end{cases}, (1)$$

где  $T_{mn}, E_{mn}$  – параметры тиристорного преобразователя, представленного инерционным звеном (нелинейность тиристорного преобразователя не учитывается);  $k_{mn}$  – коэффициент усиления;  $J$  – момент инерции привода, состоящий из момента инерции двигателя и приведенного к валу двигателя момента инерции механизма;  $M_c$  – момент нагрузки на валу двигателя;  $M$  – момент двигателя;  $L$  – полная индуктивность якорной цепи;  $R$  – полное активное сопротивление якорной цепи;  $\omega$  – механическая

угловая скорость двигателя;  $c_e, c_m$  – постоянная конструктивная величина машины (принимается  $c_e = c_m$ ).

На основании системы уравнений (1) составлена структурная схема ТП-Д в модуле Matlab Simulink (рис. 1).

На рис. 2, 3 приведены графики изменения электромагнитного момента двигателя постоянного тока (ДПТ) и угловой скорости при пуске привода, полученные при выполнении моделирования в Matlab.

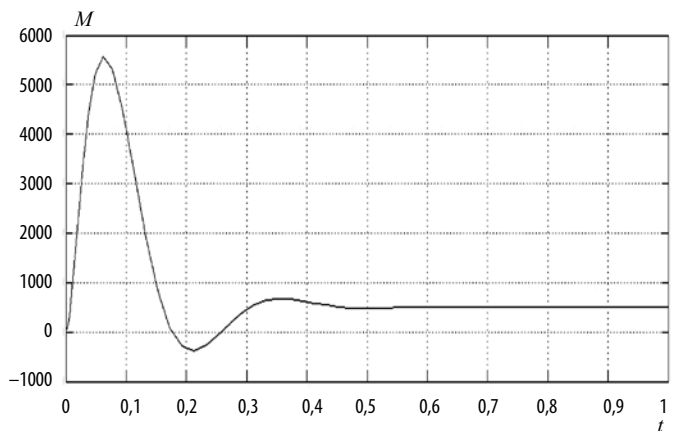


Рис. 2. График изменения электромагнитного момента ДПТ

Fig. 2. A diagram of changes in the electromagnetic torque of direct current motor

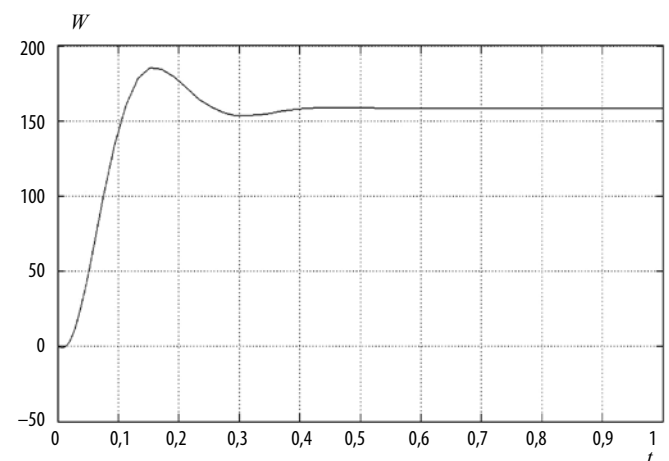


Рис. 3. График изменения угловой скорости ДПТ

Fig. 3. A diagram of changes in the angular velocity of direct current motor

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Структурная схема контура регулирования тока якоря двигателя постоянного тока содержит внутренний контур тока, состоящий из регулятора тока, тиристорного преобразователя, якорной цепи и датчика тока в цепи обратной связи. В соответствии с этим модель этой схемы, составленной в среде Simulink, представлена на рис. 4.

Передаточная функция объекта управления:

$$W_{oy}(p) = W_{ТП}(p) \cdot W_{я}(p) \cdot k_T = \frac{K_{ТП}}{T_{ТП}p + 1} \cdot \frac{1/R_{я}}{T_{я}p + 1} \cdot k_T, \quad (2)$$

где  $W_{ТП}$  – передаточная функция тиристорного преобразователя;  $W_{я}$  – передаточная функция якорной цепи;  $k_T$  – коэффициент датчика обратной связи по току;  $K_{ТП}$  – коэффициент усиления;  $T_{ТП}$  – постоянная времени тиристорного преобразователя;  $R_{я}$  – активное сопротивление обмотки якоря.

Передаточная функция ПИ-регулятора контура тока:

$$W_I(p) = \frac{T_{из}p + 1}{T_{и}} = k_p + \frac{k_i}{p}, \quad (3)$$

где  $T_{из}$  – постоянная времени изодрома;  $T_{и}$  – постоянная времени интегрирования;  $k_p = T_{из}/T_{и}$  – пропорциональный коэффициент регулятора;  $k_i = 1/T_{и}$  – интегральный коэффициент регулятора.

Для компенсации наибольшей постоянной времени принимается  $T_{из} = T_{я}$ .

Структурная схема контура регулирования скорости ДПТ содержит регулятор скорости, передаточную функцию замкнутого контура тока, передаточную функцию механической части и датчик скорости (тахогенератор) в цепи обратной связи. Модель этой схемы в среде Simulink представлена на рис. 5.

Контур регулирования скорости – статическая система, поэтому с помощью встроенной функции Tune настраивается П-регулятор с коэффициентом передачи  $k_p$ . Для обеспечения монотонного переходного процесса по моменту и скорости в системе управления ТП-Д в П-регулятор скорости введено ограничение сигнала (рис. 6, 7).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе описан процесс моделирования и расчета системы управления «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» с определением параметров схемы разомкнутой структурной системы управления ТП-Д. Для моделирования рассчитаны параметры схемы разомкнутой системы управления ТП-Д. При моделировании в среде Matlab Simulink были получены графики изменения момента и скорости двигателя от времени. Переходный процесс по скорости показал, что он имеет колебательный вид. Для обеспечения затухания

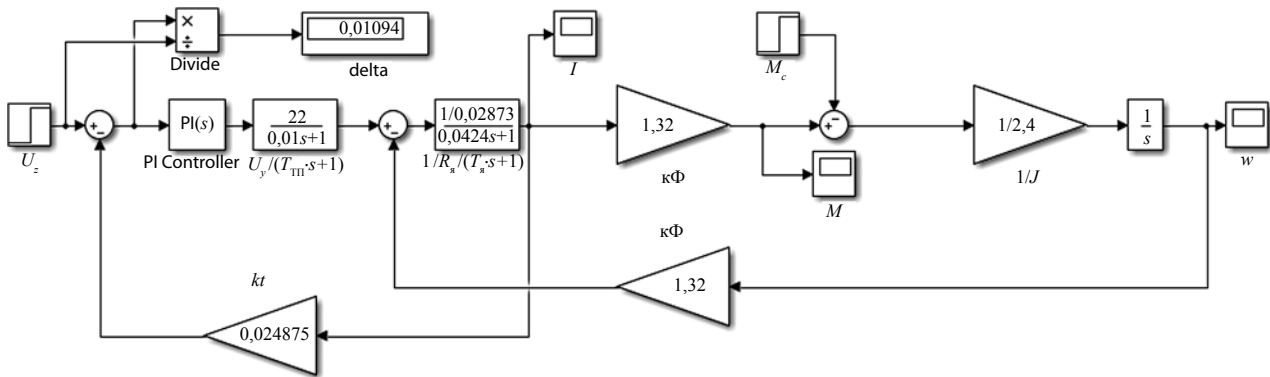


Рис. 4. Модель схемы контура тока якоря в Simulink  
Fig. 4. A model of the armature current circuit in Simulink

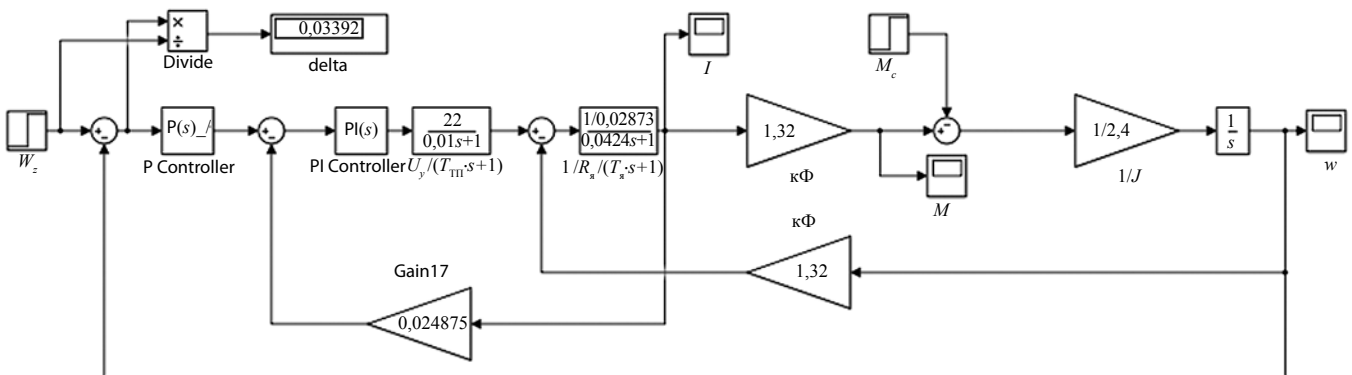


Рис. 5. Схема контура регулирования скорости ДПТ в Simulink  
Fig. 5. A schematic diagram of the speed control circuit for direct current motor in Simulink

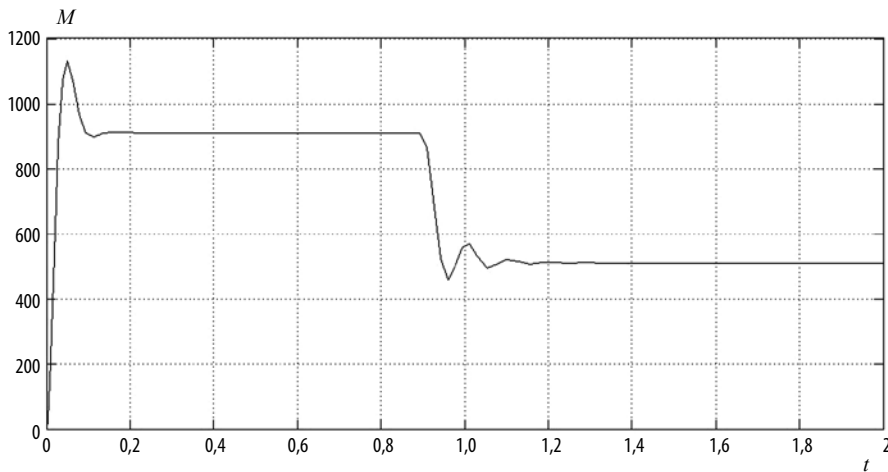


Рис. 6. График переходного процесса по моменту ДПТ  
 Fig. 6. A diagram of the transient process related to the direct current motor torque

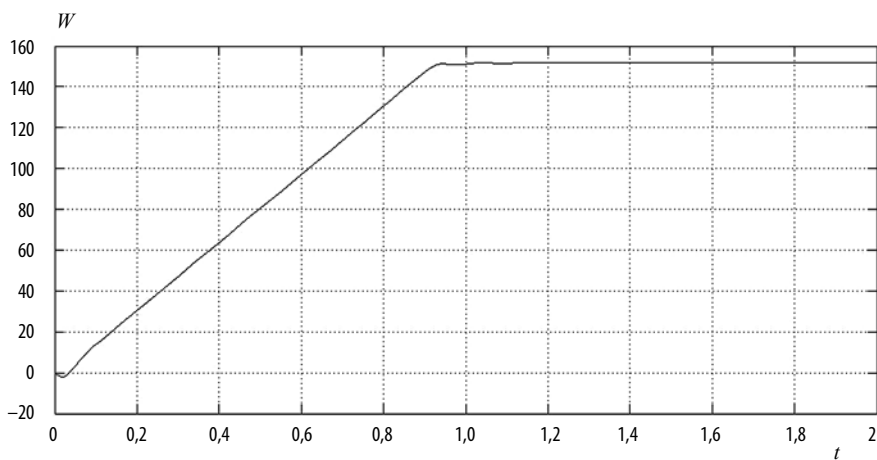


Рис. 7. График переходного процесса по скорости ДПТ  
 Fig. 7. A diagram of the transient process related to the direct current motor velocity

колебаний регулируемой величины в переходном процессе была разработана модель регулирования двигателя постоянного тока.

**Список литературы**

1. Дмитриева В.В., Авхадиев И.Ф., Сизин П.Е. Использование современных программно-технических комплексов для автоматизации конвейерных линий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 2. С. 150-163. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-150-163.
2. Kuskil'din R.B., Vasilyeva M.A. Dynamic loads during safety braking of the container with cargo // Procedia Engineering. 2017. No 206. P. 248-253. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.469.
3. Подболотов С.В., Кольга А.Д. Математическое и экспериментальное моделирование режимов работы центробежной турбомашины с коаксиальным расположением рабочих колес // Известия УГГУ. 2018. Вып. 1. С. 80-84. DOI: 10.21440/2307-2091-2018-1-80-84.
4. Ziborova E.Yu., Mnatsakanyan V.U. Justification of geometrical parameters of lining plates for a belt conveyor drive drum // Mining Science and Technology (Russia). 2022;7(2):170-179. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-2-170-179.
5. Соловьев С.В., Кузиев Д.А. Исследование жесткостных параметров привода тягового механизма драглайна ЭШ-10/70 // Уголь. 2017. № 1. С. 37-38. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-1-37-38.
6. Галкин В.И., Доблер М.О. Анализ конструктивных особенностей става ленточного конвейера типа Ropeson® // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 8. С. 85-94. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-8-0-85.
7. Gubanov S., Petsyk S., Komissarov A. Simulation of stresses and contact surfaces of disk rolling cutters with the rock when sinking in mixed soils // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 177. Article 03008. P. 1-5. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703008.
8. Дмитриева В.В., Собянин А.А., Сизин П.Е. Моделирование различных режимов торможения ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 11. С. 80-95. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-11-0-80.
9. Разработка имитационной модели торможения шахтной подъемной установки в системе Matlab / С. Гылымұлы, Ж.А. Тиғалиева, О.В. Белянкина и др. // Уголь. 2022. № 10. С. 50-54. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-50-54.
10. Пути повышения энергетической эффективности подземных электрических сетей высокопроизводительных угольных шахт / С.С. Кубрин, А.А. Мосиевский, И.М. Закоршменный и др. // Уголь. 2022. № 2. С. 4-9. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-2-4-9.
11. Plashchansky L.A., Reshetnyak S.N., Reshetnyak M.Y. Improvement of the electric energy quality in underground electric networks in highly productive coal mines. Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia). 2022;7(1):66-77. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-66-77.
12. Дмитриева В.В., Сизин П.Е. Анализ моделей ленточного конвейера при различном числе аппроксимирующих масс // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 1. С. 34-46. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-1-0-34.

13. The main directions of increasing the operational efficiency of high productive belt conveyors in the mining industry / V.I. Galkin, E.E. Sheshko, V.P. Dyachenko et al. // Eurasian Mining. 2021. № 2. P. 64-68. DOI: 10.17580/em.2021.02.14.
14. A Tailing Dump as Industrial Deposit; Study of the Mineralogical Composition of Tailing Dump of the Southern Urals and the Possibility of Tailings Re-Development / E.N. Shaforostova, O.V. Kosareva-Volod'ko, O.V. Belyankina et al. // Resources. 2023. No 12. 28. DOI: 10.3390/resources12020028.
15. Sevagin S.V., Mnatsakanyan V.U. Ensuring the required manufacturing quality of hydraulic-cylinder rods in mining machines // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. No 709. 044095. DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044095.
16. Численные исследования влияния изменений напряженно-деформированного состояния углепородного массива на устойчивость дегазационных скважин / Д.И. Блохин, И.М. Загоршменный, С.С. Кубрин и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 11. С. 17-32. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-11-0-17.
17. Повышение эффективности пенной сепарации алмазов на основе оптимизации состава собирателя и температурного режима / В.В. Морозов, И.В. Пестряк, Е.Г. Коваленко и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 8. С. 135-147. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-8-0-135.
18. Формализация процесса выбора технологий отработки месторождений полезных ископаемых / П.А. Каунг, В.В. Зотов, М.А. Гаджиев и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 2. С. 124-138. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-2-0-124.
19. Malakhov V.A., Tropako A.V., Dyachenko V.P. Rolling resistance coefficient of belt conveyor rollers as function of operating conditions in mines // Eurasian Mining. 2021. № 2. С. 64-68. DOI: 10.17580/em.2022.01.14.
20. Rakhutin M.G., Simba N., Khoroshavin S.A. Analysis of the dependence of the stressed state of the tracked track of a career excavator from an angle slope // E3S Web Conf. 2020. No 177. 03015. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703015.
21. Разработка модели оценки эффективности системы охлаждения рабочей жидкости гидравлического карьерного экскаватора / К.К. Занг, А.Е. Кривенко, Е.Ю. Пудов и др. // Горный журнал. 2021. № 12. P. 64-69. DOI: 10.17580/gzh.2021.12.12.
22. Keropyan A.M., Kuziev D.A., Krivenko A.E. Process Research of Wheel-Rail Mining Machines Traction / Proceedings of the 5th international conference on industrial engineering (ICIE 2019). 2020. P. 703-709. DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1-75.
23. Performability of electro-hydro-mechanical rotary head of drill rig in open pit mining: a case-study / D.A. Kuziev, V.V. Zotov, E.S. Sazankova et al. // Eurasian Mining. 2022. № 37. P. 76-80. DOI: 10.17580/em.2022.01.16.
24. Sheshko E.E., Galkin V.I. Substantiation of parameters and efficiency of sandwich belt high angle conveyors for deep open pit mines // Eurasian Mining. 2022. No 1. 64-67. DOI: 10.17580/em.2022.01.13.
25. Перекутнев В.Е., Зотов В.В. Моделирование приводных шкивов подъемных установок с резинотросовыми канатами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 6. С. 105-114. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-105-114.
26. Перекутнев В.Е., Зотов В.В. Сравнительная оценка резинотросовых канатов для рудничных вертикальных подъемных установок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 7. С. 85-93. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-85-93.
27. Дмитриева В.В., Собянин А.А., Сизин П.Е. Моделирование плавного пуска для асинхронного двигателя ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 6. С. 77-92. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-6-0-77.
28. Алгоритм определения максимальной мощности привода подачи карьерного бурового станка / Кузиев Д.А., Пятава И.Ю., Клементьева И.Н. и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 1. С. 128-133. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-128-133.
29. Formation of Comprehensive Service System of Belt Conveyor Gearboxes / B. Gerike, Y. Drozdenko, E. Kuzin et al. // E3S Web of Conferences. 2018. No 41. 03011. DOI: 10.1051/E3SCONF/20184103011.

Original Paper

UDC 622.24.05 © A.M. Belyaev, T.S. Belyaeva, A.A. Petsyk, A.Yu. Frolova, 2024  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2024, № 2, pp. 52-57  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-52-57>

#### Title

**MODELING OF A DIRECT CURRENT DRIVE FOR MINE HOISTING AND CONVEYING EQUIPMENT**

#### Authors

Belyaev A.M.<sup>1</sup>, Belyaeva T.S.<sup>1</sup>, Petsyk A.A.<sup>1</sup>, Frolova A.Yu.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

#### Authors Information

**Belyaev A.M.**, Postgraduate Student, Department of Mining Equipment, Transportation and Mechanical Engineering, Mining Institute, e-mail: m144339@edu.misis.ru

**Belyaeva T.S.**, Postgraduate Student, Department of Mining Equipment, Transportation and Mechanical Engineering, Mining Institute, e-mail: ts.shitikova@yandex.ru

**Petsyk A.A.**, Assistant Lecturer, Department of Mining Equipment, Transportation and Mechanical Engineering, Mining Institute, e-mail: petsyk.aa@misis.ru

**Frolova A.Yu.**, Postgraduate Student, Department of Mining Equipment, Transportation and Mechanical Engineering, Mining Institute, e-mail: afrolova@misis.ru

MINING EQUIPMENT

**Abstract**

Improvement of reliability, energy efficiency and capacity of the hoisting and conveying equipment, i.e. conveyor systems and hoisting units, becomes a critical issue in conditions of the developing mining complex. Selection and justification of the optimal type of the electric drive and its control system are an important aspect in ensuring safe and uninterrupted operation of mining enterprises. The article describes a mathematical model of a thyristor-controlled direct current motor using the Simulink module of the Matlab simulation environment.

**Keywords**

Mining engineering, Direct current motor, Simulation, Mathematical model, Mining transport, Conveyor systems, Mine hoisting systems, Electric drive.

**References**

- Dmitrieva V.V., Avkhadiyev I.F. & Sizin P.E. Use of advance hardware/software in multiple conveyor system automation. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2021;(2):150-163. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-150-163.
- Kuskil'din R.B. & Vasilyeva M.A. Dynamic loads during safety braking of the container with cargo. *Procedia Engineering*, 2017, (206), pp. 248-253. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.469.
- Podbolotov S.V. & Kol'ga A.D. Mathematical and experimental modeling of centrifugal turbomachines' operating modes with a coaxial arrangement of impellers. *Izvestiya UGGU*, (1), pp. 80-84. (In Russ.). DOI: 10.21440/2307-2091-2018-1-80-84.
- Ziborova E.Yu. & Mnatsakanyan V.U. Justification of geometrical parameters of lining plates for a belt conveyor drive drum. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology* [In Russ.]. 2022;7(2):170-179. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-2-170-179.
- Soloviev S.V., Kuziev D.A. Dragline ESh-10/70 linkage stiffness parameters study. *Ugol'*, 2017, (1), pp. 37-38. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-1-37-38.
- Galkin V.I. & Dobler M.O. Structural features of belt conveyor of RopeCon® type. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2022;(8): 85-94. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-8-0-85.
- Gubanov S., Petsyk S. & Komissarov A. Simulation of stresses and contact surfaces of disk rolling cutters with the rock when sinking in mixed soils. *E3S Web of Conferences*, 2020, (177), article 03008, pp. 1-5. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703008.
- Dmitrieva V.V., Sobyanyan A.A. & Sizin P.E. Modeling of various modes of belt conveyor braking. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2022;(11):80-95. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-11-0-80.
- Gylymuly S., Tiagalieva Zh.A., Belyankina O.V. & Belyaev A.M. Developing a simulation model for braking a mine hoist in the Matlab software. *Ugol'*, 2022, (10), pp. 50-54. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-50-54.
- Kubrin S.S., Mosievsky A.A., Zakorshmeny I.M., Reshetnyak S.N. & Maksimenko Yu.M. Ways to improve the energy efficiency of underground electric networks of high-performance coal mines. *Ugol'*, 2022, (2), pp. 4-9. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-2-4-9.
- Plashchansky L.A., Reshetnyak S.N., Reshetnyak M.Y. Improvement of the electric energy quality in underground electric networks in highly productive coal mines. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology* [In Russ.]. 2022;7(1):66-77. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-66-77.
- Dmitrieva V.V. & Sizin P.E. The analysis of belt conveyor models at different number of approximating masses. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2022;(1):34-46. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-1-0-34.
- Galkin V.I., Sheshko E.E., Dyachenko V.P. & Sazankova E.S. The main directions of increasing the operational efficiency of high productive belt conveyors in the mining industry. *Eurasian Mining*, 2021, (2), pp. 64-68. DOI: 10.17580/em.2021.02.14.
- Shaforostova E.N., Kosareva-Volod'ko O.V., Belyankina O.V., Solovykh D.Y., Sazankova E.S., Sizova E.I. & Adigamov D.A. A Tailing Dump as Industrial Deposit; Study of the Mineralogical Composition of Tailing Dump of the Southern Urals and the Possibility of Tailings Re-Development. *Resources*, 2023, (12), 28. DOI: 10.3390/resources12020028.
- Sevagin S.V. & Mnatsakanyan V.U. Ensuring the required manufacturing quality of hydraulic-cylinder rods in mining machines. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2020, (709), 044095. DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044095.
- Blokhin D.I., Zakorshmeny I.M., Kubrin S.S., Kobylkin A.S., Pozdeev E.E. & Pushilin A.N. Numerical research of effect of stress-strain changes on stability of gas drainage wells in coal-rock mass. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2023;(11):17-32. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-11-0-17.
- Morozov V.V., Pestryak I.V., Kovalenko E.G., Lezova S.P. & Polivanskaya V.V. Stimulation of frother separation of diamonds by optimizing collecting agent composition and temperature conditions. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2022;(8):135-147. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-8-0-135.
- Kaung P.A., Zotov V.V., Gadzhiev M.A., Artemov S.I. & Gireev I.A. Formalization of selection procedure of mineral mining technologies. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2022;(2):124-138. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-2-0-124.
- Malakhov V.A., Tropako A.V. & Dyachenko V.P. Rolling resistance coefficient of belt conveyor rollers as function of operating conditions in mines. *Eurasian Mining*, 2021, (2), pp. 64-68. DOI: 10.17580/em.2021.01.14.
- Rakhutin M.G., Simba N. & Khoroshavin S.A. Analysis of the dependence of the stressed state of the tracked track of a career excavator from an angle slope. *E3S Web Conf.*, 2020, (177), 03015. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703015.
- Giang Q.Kh., Krivenko A.E., Pudov E.Y. & Kuzin E.G. Performance evaluation model for power fluid cooling system of hydraulic excavators // *Gornyy Zhurnal*, 2021, (12), pp. 64-69. DOI: 10.17580/gzh.2021.12.12.
- Keropyan A.M., Kuziev D.A. & Krivenko A.E. Process Research of Wheel-Rail Mining Machines Traction. Proceedings of the 5th international conference on industrial engineering (ICIE 2019), 2020, pp. 703-709. DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1-75.
- Kuziev D.A., Zotov V.V., Sazankova E.S. & Muminov R.O. Performability of electro-hydro-mechanical rotary head of drill rig in open pit mining: a case-study. *Eurasian Mining*, 2022, (37), pp. 76-80. DOI: 10.17580/em.2022.01.16.
- Sheshko E.E. & Galkin V.I. Substantiation of parameters and efficiency of sandwich belt high angle conveyors for deep open pit mines. *Eurasian Mining*, 2022, (1), 64-67. DOI: 10.17580/em.2022.01.13.
- Perekutnev V.E., Zotov V.V. Modeling drive wheels of hoisting machines with rubber cables. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2020;(6):105-114. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-105-114.
- Perekutnev V.E., Zotov V.V. Comparative assessment of rubber steel cables for vertical mine hoists. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2020;(7):85-93. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-85-93.
- Dmitrieva V.V., Sobyanyan A.A., Sizin P.E. Modeling soft start of belt conveyor induction motor. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2022;(6):77-92. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-6-0-77.
- Kuziev D.A., Pyatova I.Y., Klement'eva I.N., Pikhtorinsky D. Algorithm for the determination of maximum feed drive power of drilling rigs in open pit mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2019, (1), pp. 128-133. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-128-133.
- Gerike B., Drozdenko Y., Kuzin E. et al. Formation of Comprehensive Service System of Belt Conveyor Gearboxes. *E3S Web of Conferences*, 2018, 41, 03011. DOI: 10.1051/E3SCONF/20184103011.

**For citation**

Belyaev A.M., Belyaeva T.S., Petsyk A.A. & Frolova A.Yu. Modeling of a direct current drive for mine hoisting and conveying equipment. *Ugol'*, 2024, (2), pp. 52-57. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-52-57.

**Paper info**

Received January 9, 2024

Revised January 15, 2024

Accepted January 26, 2024