

Код МРНТИ 55.35.99

Б.С. Бейсенов, *Е.Е. Сарыбаев, К.К. Елемесов, Р.З. Тагауова
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЕЧНОГО ПУСКОВОГО УСТРОЙСТВА НА БАЗЕ СИЛЬФОННЫХ БАЛЛОНОВ НА ПУСКОВЫЕ ТОКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН С ТЯЖЕЛЫМ РОТОРОМ

Аннотация. На предприятиях горно-металлургического комплекса эксплуатируется значительное количество технологических машин с тяжелым ротором, например, такие как рудоразмольные шаровые мельницы. Из-за их большой инерционной массы наиболее неблагоприятными режимами в эксплуатации являются пусковые режимы, во время которых наблюдается многократное превышение нагрузок на пусковые устройства, а это снижает их ресурс и приводит к частым отказам. В данной статье представлены результаты исследования влияния реечного пускового устройства на пусковые токи машин с тяжелым ротором. Получены графики зависимости пускового тока от точки установки конечного выключателя на траектории раздвижки при различных давлениях в полости сильфонного баллона. Даны рекомендации по эффективному использованию.

Ключевые слова: реечное устройство, сильфонный баллон, трехкамерный, сильфон, пусковой ток, вспомогательный привод.

Ауыр роторлы технологиялық машиналардың іске қосу токтарына сильфонды баллондарға негізделген рейкалы іске қосу құрылғысының әсерін зерттеу

Андатпа. Тау-кен металлургия кешенінің кәсіпорындарында ауыр роторлы технологиялық машиналар, мысалы, руда ұнтақтайтын шар диірмендері сияқты айтарлықтай көп мөлшерде жұмыс істейді. Олардың үлкен инерциялық массасына байланысты жұмыстағы ең қолайсыз режимдер іске қосу режимдері болып табылады, олардың барысында іске қосу құрылғыларында жүктемелердің бірнеше есе артық болуы, бұл олардың ресурсын азайтады және жиі істен шығуға әкеледі. Бұл мақалада ауыр роторы бар машиналардың іске қосу токтарына тірек пен тістегеріштің іске қосу құрылғысының әсерін зерттеу нәтижелері берілген. Сильфонды цилиндр қуысындағы әртүрлі қысымда сырғымалы траекториядағы шекті қосқышты орнату нүктесіне іске қосу тоғының тәуелділігінің графиктері алынған. Тіімді пайдалану бойынша ұсыныстар.

Түйінді сөздер: рейкалы құрылғы, сильфонды баллон, 3 камералы, сильфон, іске қосу тогы, қосалқы жетек.

Study of the effect of a rack and pinion starter based on bellows cylinders on the starting currents of heavy-duty rotor machines

Abstract. At the enterprises of the mining and metallurgical complex, a significant number of technological machines with a heavy rotor are operated, for example, such as ore grinding ball mills. Due to their large inertial mass, the most unfavorable modes in operation are starting modes, during which there is a multiple excess of loads on starting devices, and this reduces their resource and leads to frequent failures. This article presents the results of a study of the influence of a rack and pinion starting device on the starting currents of machines with a heavy rotor. Graphs of the dependence of the starting current on the installation point of the limit switch on the sliding trajectory at various pressures in the cavity of the bellows cylinder are obtained. Recommendations for effective use.

Key words: rack and pinion, bellows cylinder, 3-chamber, bellows, impuls current, auxiliary drive.

Введение

По имеющимся данным, на предприятиях горно-металлургического комплекса имеет место быть проблема, связанная с пуском оборудования с тяжелым ротором. Технологические машины с тяжелым ротором широко используются во всех этапах переработки руд черных и цветных металлов, а роль роторов могут выполнять и барабаны мельниц и корпуса трубчатых печей, и конвейерные системы большой протяженности. При этом к ним предъявляются требования обеспечения высокой производительности и безотказность в работе [1].

Из-за большой инерционной массы так называемых роторов вышеприведенного оборудования, пусковые режимы являются наиболее неблагоприятными этапами при эксплуатации оборудования, во время которых наблюдается многократное превышение нагрузок на пусковые устройства, что в свою очередь приводит к повышению пусковых токов, снижает их ресурс и приводит к частым отказам.

В данной статье обсуждаются результаты исследования по использованию пневматического реечного пускового устройства для уменьшения воздействия пусковых токов на основной электропривод роторного оборудования.

Основным традиционным элементом электропривода такого рода машин является мощный высоковольтный

синхронный или асинхронный электродвигатель с электромагнитным возбуждением. В условиях достаточно частых пусков возникает задача обеспечения плавного безударного пуска мощных приводных электродвигателей с высоким моментом инерции и высоким моментом сопротивления подключенного к валу механизма [2, 3].

Если используется прямой пуск синхронного электродвигателя, то возникают сильные механические вибрации, которые разрушают венцы, шестерни и подшипники механических приводов. В процессе прямого пуска электродвигателя на обмотки двигателя действуют электродинамические усилия, величина которых пропорциональна квадрату тока. При этом пусковой ток двигателя может в 5-7 раз превышать номинальный, соответственно в 25-49 раз возрастать электродинамические усилия, действующие на обмотки. Электродинамические усилия приводят к механическим перемещениям обмотки в пазовой и лобовых частях, которые разрушают изоляцию электродвигателя [4]. Прямой пуск электродвигателя также отрицательно сказывается на питающей сети и коммутационной аппаратуре питающей подстанции. Негативные последствия частых прямых пусков электродвигателей барабанных мельниц приводят к выходу из строя электродвигателей и элементов механических передач, что сопровождается простоями технологического оборудования и приводит к убыткам [5-8].

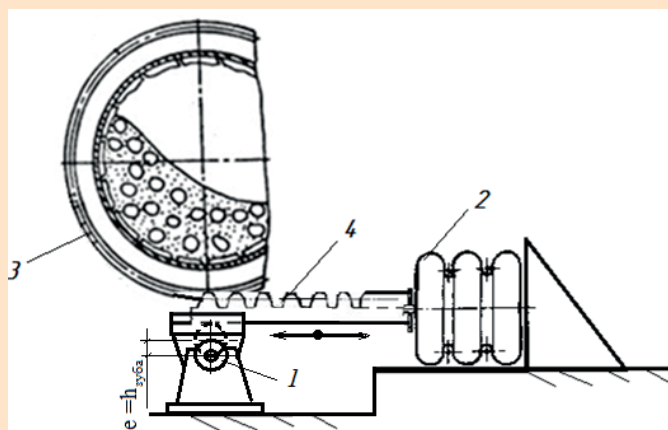
Плавный безударный пуск приводного высоковольтного электродвигателя может быть выполнен как за счет частотного регулирования момента и скорости с помощью полупроводникового высоковольтного преобразователя частоты, так и различного рода вспомогательными пусковыми устройствами.

На кафедре «Технологические машины и транспорт» в СУ были разработаны концептуальные варианты пуско-вспомогательных приводов для машин с тяжелым ротором, а на решения, заложенные в них, получены инновационные патенты РК [9-11].

Методы исследования (Модель)

Для исследования влияния вспомогательного привода на пусковые токи роторного оборудования использовалась аппаратура для регистрации токовых характеристик на определенных режимах наддува сальфона, используемого в качестве импульсного толкателя с фиксацией точки пуска главного электропривода.

В рамках этой статьи мы обратили внимание на последнюю разработку – пусковое устройство с реечным механизмом и трехкамерным сальфонным баллоном в качестве приводного устройства (толкающего). В отличие от ранее рассмотренных вариантов реечный вариант может быть пока использован только для пуска. Кинематическая схема устройства приведена на рис. 1.



1 – эксцентриковый подъемник; 2 – 3-х камерный сальфонный баллон;
3 – зубчатый венец; 4 – рейка.

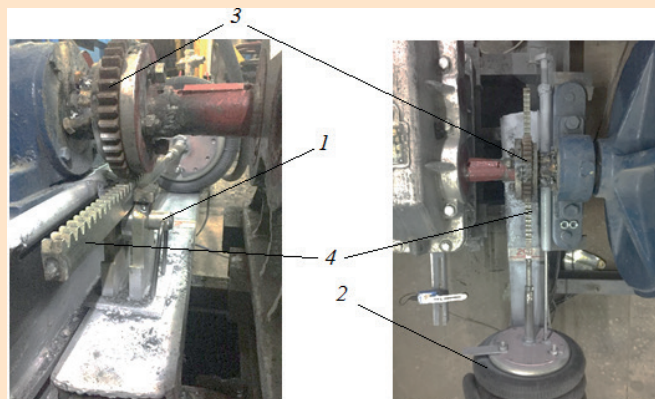
Рис. 1. Кинематическая схема реечного пускового устройства.

Сурет 1. Рейкалы іске қосу қондырғысының кинематикалық сұлбасы.

Figure 1. Kinematic diagram of the rack and pinion launcher.

Схема реализована на базе лабораторной мельницы МБ0,7х1 (рис. 2). Устройство установлено между выходным валом редуктора и осью барабана, для этого на полумуфте, установленной на шейке оси барабана, закреплен зубчатый венец. Само пусковое устройство собрано на раме в виде отрезка швеллера №12: в правой части к раме приварена упорная стенка, на которой закреплен 3-х камерный сальфонный баллон Ø300 мм (максимальный

ход раздвижки 290 мм); на передней стенке сальфона закреплена штанга с рейкой ($m = 4$ мм); для введения рейки в зацепление с венцом под зубчатым венцом установлено эксцентриковое подъемное устройство с механизмом фиксации опорного ролика в одном из положений.



1 – эксцентриковый подъемник; 2 – 3-х камерный сальфонный баллон;
3 – зубчатый венец; 4 – рейка.

Рис. 2. Общий вид реечного пускового устройства.
Сурет 2. Рейкалы іске қосу қондырғысының жалпы көрінісі.

Figure 2. General view of the rack launcher.

Для управления работой устройства собрана электрическая схема, предусматривающая автоматический пуск главного привода по мере раздвижки баллона: параллельно траектории раздвижки сальфона установлен конечный выключатель, а на торце баллона флажок. Регулировка параметрами наддува сальфона осуществляется с помощью пневмоблока, в состав которого введены: электропневмоклапан, редуктор и клапан для сброса давления из сальфона при перезапусках (рис. 3). Возврат сальфона в исходное положение при открытом клапане сброса давления осуществляется с помощью пневматического упора.



Рис. 3. Пневмоблок сальфона.
Сурет 3. Сальфонның пневматикалық блогі.
Figure 3. Pneumatic Bellows Block.

Для замера пусковых токов использовали регистратор электрических параметров РПМ-416, а съем токовых параметров осуществляли измерительным трансформатором тока ИПТ-01. Архивирование данных выполнялось на сменную карту памяти (SD/MMC) с последующим анализом при помощи программного обеспечения RPM-416 Data Analysis.

В программу стендовых испытаний включили два этапа: на первом – исследовали влияние точки размещения конечного выключателя на величину пускового тока, на втором – зависимость его от давления в системе.

Результаты

Для реализации экспериментов по первому этапу на панели управления импульсного толкателя предусмотрели возможность смещения конечного выключателя с шагом 24 мм от середины хода раздвижки. Серию экспериментов провели при давлении 0,3 МПа. Было установлено, что максимальное снижение пускового тока происходило при установке конечного выключателя во второй половине хода раздвижки – между 145 и 290 мм.

Второй этап испытаний провели, варьируя давлением с шагом 0,1 МПа и ходом раздвижки.

Итоговый график, построенный по результатам испытаний, представлен на рис. 4.

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

- наиболее оптимальным ходом раздвижки сильфона для обеспечения максимального снижения пускового тока можно считать середину интервала между максимальным и средним ходами раздвижки;

- максимальные пусковые токи наблюдались на точках пуска, соответствующих середине хода раздвижки, при этом токи практически не зависели от давления.

Обсуждение результатов

По полученным данным можно судить о следующем:

- снижение пусковых токов в интервале после середины хода раздвижки может быть объяснено влиянием инерционных составляющих при раскрутке тяжелого ротора;

- предложенная пусковая система показала свою эффективность и простоту в конструктивном отношении, а значит, может быть интересной с точки зрения внедрения в практику;

- единственным недостатком этого метода является то, что он проводился на лабораторной модели;

- для повышения эффективности системы пуска нужно повышать давление в пневмосистеме – чем больше, тем лучше (но давление в цеховых пневмомагистралях обычно не превышает 0,3...0,35 МПа, да и сильфонные баллоны рассчитаны так на 0,8 МПа.);

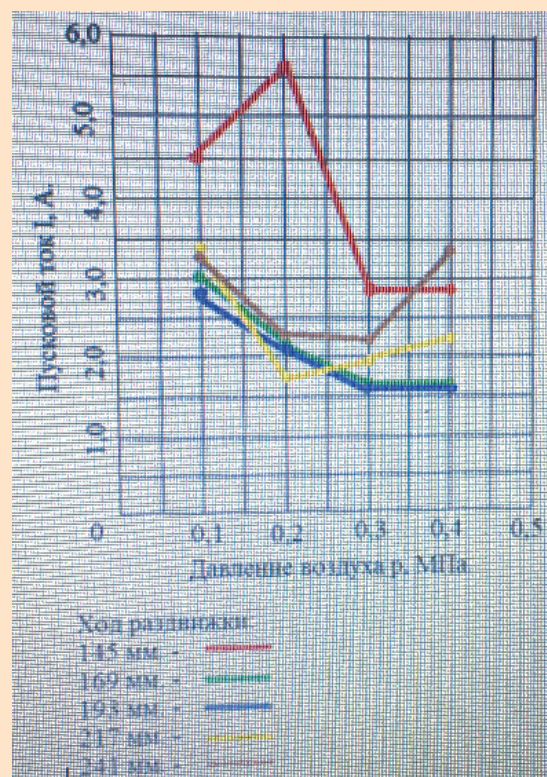


Рис. 4. График зависимости пускового тока от давления в сильфонах и хода раздвижки.

Сурет 4. Сильфондағы қысым мен керілу арақашықтығының іске қосу тоғына тәуелділік графигі.

Figure 4. Graph of starting current versus bellows pressure and sliding stroke.

- увеличивать диаметр сильфонов (но и здесь есть предел 500 мм);

- повышать давление за счет применения компримированного воздуха из баллонов; увеличивать диаметр венцовой шестерни на моторной полумуфте.

Заключение

Внедрение подобного рода устройств в практику конструирования таких родов роторных приводов позволит существенно повысить надежность технологического оборудования с тяжелым ротором при незначительных затратах на изготовление и эксплуатацию.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке МВОН РК по гранту BR18574141 «Комплексная многоцелевая программа по повышению энергоэффективности и ресурсосбережению в энергетике и машиностроении для промышленности Казахстана».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еренков О.Ю., Богачев А.П. Оборудование механических процессов в химической технологии: учеб. пособие. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеанск. гос. ун-та. – 2014. С. 29-37 (на русском языке)
2. Хайруллаев Д.Х., Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е. Разработка и исследование параметров пневмобаллонного привода с прерывистым (пошаговым) циклом движения в качестве

вспомогательного привода барабанных мельниц. // Труды Междун. научн.-практ. конф. «Сатпаевские чтения – 2021». – Т. 1. – С. 1230-1233 (на русском языке)

3. Крупник Л.А., Елемесов К.К., Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е. Тихоходный привод на базе пневмобаллонов. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2018. – №10. – С. 40-43 (на русском языке)
4. Alfred Rufer. Высокоэффективная пневматическая приводная система, использующая полуоборотные приводы лопастного типа. // Электроника и энергетика. – 2021. – Т. 34. – №3. – С. 415-433 (на английском языке)
5. Łukasz Magdziak, Ireneusz Malujda, Dominik Wilczyński, Dominik Wojtkowiak. Концепция улучшения позиционирования пневмопривода в качестве привода манипулятора. // XXI Международная словацко-польская конференция «Машинное моделирование 2016». // Процесс инжиниринга. – 2017. – №177. – С. 331-338 (на английском языке)
6. Ristivojevic M., Lazovic T., Vencl A. Исследование несущей способности боковых поверхностей зубьев цилиндрических зубчатых колес. // Механика и машинная теория. – 2013. – Т. 59. – С. 125-137 (на английском языке)
7. Burian Yu.A., Silkov M.V. Динамика системы виброизоляции с резинокордной пневматической пружиной с демпфирующим дросселем. Обновление в области науки и техники в области механики. – 2017. – J. Phys.: Conf. Ser. 858 012007. – С. 421-432 (на английском языке)
8. Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. Использование пневматических сильфонов для тихоходных приводных механизмов. // Международный журнал научных и инженерных исследований. – 2018. – Т. 9. – Вып. 11. – С. 1106-1112 (на английском языке)
9. Пневмодвигатель с фрикционно-обгонной муфтой: Инновационный патент РК №34086; заявл. 20.06.2018; опубл. 27.12.2019; бюлл. №52. – С. 4 (на русском языке)
10. Пневматический привод возвратно-поступательного действия: Инновационный патент РК №32347; заявл. 18.12.2015; опубл. 31.08.2017; бюлл. №16. – С. 4 (на русском языке)
11. Храповой привод: Инновационный патент РК №31421; заявл. 13.03.2015; опубл. 15.08.2016; бюлл. №9. – С. 5 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Еренков О. Ю., Богачев А. П. Химиялық технологиядағы механикалық процестерді жабдықтау. // Оқу құралы. – Хабаровск: Тынық мұхиты мемлекеттік университетінің баспасы. – 2014. – Б. 29-37 (орыс тілінде)
2. Хайруллаев Д.Х., Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е. Барабан диірмендерінің қосалқы жетегі ретінде үзік (қадамдық) қозғалыс циклі бар пневмобаллон жетегінің параметрлерін әзірлеу және зерттеу. // «Сәтбаев оқулары – 2021» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының еңбектері. – Т. 1. – Б. 1230-1233 (орыс тілінде)
3. Крупник Л.А., Елемесов К.К., Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е. Пневмобаллондар базасындағы тыныш жүретін жетек. // Қазақстанның тау-кен журналы. – 2018. – №10. – Б. 40-43 (орыс тілінде)
4. Alfred Rufer. Қалақ түріндегі жартылай айналымды жетектерді пайдаланатын тиімділігі жоғары пневматикалық жетек жүйесі. // Электроника және энергетика. – 2021. – Т.34. – №3. – Б. 415-433 (ағылшын тілінде)
5. Łukasz Magdziak, Ireneusz Malujda, Dominik Wilczyński, Dominik Wojtkowiak. Манипулятор жетегі ретінде пневматикалық жетекті позициялауды жақсарту тұжырымдамасы. // «Машиналық модельдеу 2016» XXI халықаралық словак-поляк конференциясы. // Инженеринг үрдісі. – 2017. – №177. – Б. 331-338 (ағылшын тілінде)
6. Ristivojevic M., Lazovic T., Vencl A. Цилиндрлі тісті доңғалақтар тістерінің бүйір беттерінің көтергіш қабілетін зерттеу. // Механика және машиналық теория. – 2013. – Т. 59. – Б. 125-137 (ағылшын тілінде)
7. Burian Yu.A., Silkov M.V. Демпфирлейтін дросселі резеңке кордты пневматикалық серіппесі бар діріл оқшаулау жүйесінің динамикасы. // Механика саласындағы ғылым мен техника саласындағы жаңарту. – 2017. – J. Phys.: Conf. Ser. 858 012007. – Б. 421-432 (ағылшын тілінде)
8. Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. Баяу жүрісті жетекті механизмдер үшін пневматикалық сильфондарды пайдалану. // Халықаралық ғылыми және инженерлік зерттеулер журналы. – 2018. – Т. 9. – Шығ. 11. – Б. 1106-1112 (ағылшын тілінде)
9. Фрикциялық-басып озу муфтасы бар пневматикалық қозғалтқыш: ҚР инновациялық патенті №34086; өтін. 20.06.2018; жариял. 27.12.2019; бюлл. №52. – Б. 4 (орыс тілінде)
10. Ілгермелі-қайтарымды әсерлі пневматикалық жетек: ҚР инновациялық патенті РК №32347; өтін. 18.12.2015; жариял. 31.08.2017; бюлл. №16. – Б. 4 (орыс тілінде)
11. Қырылдақты жетек: ҚР инновациялық патенті №31421; өтін. 13.03.2015; жариял. 15.08.2016; бюлл. №9. – Б. 5 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Erenkov O. Ju., Bogachev A.P. Oborudovanie mehanicheskikh processov v himicheskoy tehnologii [Equipment of mechanical processes in chemical technology]. // Uchebnoe posobie [Textbook]. –

- Khabarovsk: Izd-vo Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta = Publishing House of the Pacific State University. – 2014. – P. 29-37 (in Russian)
2. Hajrullaev D.H., Beisenov B.S., Sarybaev E.E. Razrabotka i issledovanie parametrov pnevmoballonogo privoda s preryvistym (poshagovym) ciklom dvizheniya v kachestve vspomogatel'nogo privoda barabannyh mel'nic [Development and research of parameters of a pneumatic cylinder drive with an intermittent (step-by-step) cycle of movement as an auxiliary drive of drum mills]. // Trudy Mezhdun. nauchn.-prakt. konf. «Satpayevskie chteniya – 2021» = Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. «Satpayev readings – 2021». – Vol. 1. – P. 1230-1233 (in Russian)
 3. Krupnik L.A., Yelemesov K.K., Beisenov B.S., Sarybaev E.E. Tihohodnyj privod na baze pnevmoballonov [Low-speed drive based on pneumatic cylinders]. // Gornyj zhurnal Kazakhstana = Mining Journal of Kazakhstan. – Almaty, 2018. – №10. – P. 40-43 (in Russian)
 4. Alfred Rufer. A high efficiency pneumatic drive system using vane-type semi-rotary actuators. // Electronics and Energetics. – 2021. – Vol. 34. – №3. – P. 415-433 (in English)
 5. Łukasz Magdziak, Ireneusz Malujda, Dominik Wilczyński, Dominik Wojtkowiak. Concept of improving positioning of pneumatic drive as drive of manipulator. // XXI International Slovak-Polish Conference «Machine Modeling and Simulations 2016». // Procedia Engineering. – 2017. – №177 – P. 331-338 (in English)
 6. Ristivojevic M., Lazovic T., Vencl A. Studying the load carrying capacity of spur gear tooth flanks. // Mechanizm and machine Teory. – 2013. – Vol. 59. – P. 125-137 (in English)
 7. Burian Yu.A., Silkov M.V. Dynamics of vibration isolation system with rubber-cord pneumatic spring with damping throttle. Mechanical Science and Technology Update. – 2017. – J. Phys.: Conf. Ser. 858 012007. – P. 421-432 (in English)
 8. Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. Use of air bellows for low-speed drive mechanisms. // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2018. – Vol. 9(11). – P. 1106-1112 (in English)
 9. Pnevmodvigatel' s frikcionno-obgonnoj muftoj [Pneumatic motor with friction-overrunning clutch]: Innovacionnyj patent RK №34086 [Innovative patent of the Republic of Kazakhstan №34086]; statement 20.06.2018; published 27.12.2019, bulletin №52. – P. 4 (in Russian)
 10. Pnevmaticheskij privod vozvratno-postupatel'nogo dejstvija [Pneumatic reciprocating drive]: Innovacionnyj patent RK №32347 [Innovative patent of the Republic of Kazakhstan №32347]; statement 18.12.2015; published 31.08.2017, bulletin №16. – P.4 (in Russian)
 11. Hrapovoj privod [Ratchet drive]: Innovacionnyj patent RK №31421 [Innovative patent of the Republic of Kazakhstan №31421]; statement 13.03.2015; published 15.08.2016, bulletin №9. – P. 5 (in Russian)

Сведения об авторах:

Бейсенов Б.С., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и транспорт», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), b.beisenov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-6501-6746>

Сарыбаев Е.Е., докторант ОП «Цифровая инженерия машин и оборудования», старший преподаватель кафедры «Технологические машины и транспорт», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), sarybaev.erjan@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6665-4558>

Елемесов К.К., к.т.н., ассоциированный профессор, директор институт Энергетики и машиностроения Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), k.yelemessov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

Тагауова Р.З., преподаватель кафедры «Технологические машины и транспорт», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), r.tagauova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-4887-2994>

Авторлар туралы мәліметтер:

Бейсенов Б.С., т.ғ.к., «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Сарыбаев Е.Е., «Машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы» ОБ докторанты, «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасының аға оқытушысы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Елемесов К.К., т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Энергетика және машинажасау институтының директоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Тагауова Р.З., «Технологиялық машиналар және көлік» кафедрасының оқытушысы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Beisenov B.S., Ph.D., Associate Professor of the Department of Technological Machines and Transport, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Sarybaev E.E., doctoral student of the EP «Digital Engineering of Machines and Equipment», Senior Lecturer of the Department of «Technological Machines and Transport» Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Elemesov K.K., PhD, Associate Professor, Director of the Institute of Energy and Mechanical Engineering of Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Tagauova R.Z., Lecturer of the Department of «Technological Machines and Transport», Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)