

МРНТИ 55.35.99

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ И РАЗДВИЖНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХКАМЕРНЫХ СИЛЬФОННЫХ ПНЕВМОБАЛЛОНОВ

Аннотация. На предприятиях горно-металлургического комплекса существует проблема пуска оборудования с тяжелым ротором. При эксплуатации оборудования с большой инерционной массой наиболее неблагоприятными режимами являются пусковые режимы. Во время пуска такого вида оборудования наблюдается кратное превышение нагрузок на пусковые устройства, что приводит к снижению их ресурса, выходу из строя электродвигателя, повышенным эксплуатационным затратам. В данной статье представлены результаты исследований силовых и раздвижных параметров трехкамерных сильфонных пневмобаллонов. Построены графики зависимости расхода воздуха от давления в рабочем пневмобаллоне и времени раздвижки от давления, по которым могут быть выбраны параметры цеховой пневмомагистрали для обеспечения работоспособности пусковых устройств на базе трехкамерных сильфонных пневмобаллонов.

Ключевые слова: пусковое устройство, пневмобаллон, реечный, сильфон, трехкамерный, пусковой ток.

Үш камералы сильфонды пневмобаллондардың күштік және жылжымалы параметрлерін зерттеу

Аннотация. Тау-кен металлургия кешенінің кәсіпорындарында ауыр роторлы жабдықты іске қосу мәселесі түнді болып табылады. Үлкен инерциялық массасы бар жабдықты пайдалану кезінде іске қосу режимдері ең қолайсыз режимдер болып табылады. Жабдықтың бұл түрін іске қосу кезінде іске қосу құрылғыларына жүктемелердің бірнеше есе артуы байқалады, бұл олардың ресурсының төмендеуіне, электр қозғалтқышының істен шығуына, электр энергиясының пайдалану шығындарының жоғарылауына және т. б. алып келеді. Осы мақалада көмекші үш камералы сильфонды пневмобаллондардың күштік және жылжымалы параметрлерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Үш камералы сильфонды пневмобаллондар базасында іске қосу құрылғыларының жұмыс қабілеттілігін қамтамасыз ету үшін цех пневмомагистралінің параметрлері таңдалуы мүмкін жұмыс пневмобаллонындағы қысымға және қысымды жылжыту уақытына байланысты кестелер жасалды.

Түйінді сөздер: іске қосу құрылғысы, пневмобаллон, рейкалық, сильфон, үш камералы, іске қосу тогы.

Study of power and sliding parameters of three-chamber bellows pneumatic cylinders

Abstract. At the enterprises of the mining and metallurgical complex, there is a problem of starting equipment with a heavy rotor. When operating equipment with a large inertial mass, the most unfavorable modes are the starting modes. During the start-up of this type of equipment, there is a multiple excess of loads on the starting devices, which leads to a failure of the electric motor, increased operating costs for electricity, etc. This article presents the results of studies of the power and sliding parameters of three-chamber bellows pneumatic cylinders. Graphs have been constructed of the dependence of air flow on the pressure in the working pneumatic cylinder and the expansion time on the pressure, according to which the parameters of the workshop pneumatic line can be selected to ensure the operability of starting devices based on three-chamber bellows pneumatic cylinders.

Key words: starting device, pneumatic cylinder, rack, bellows, three-chamber, starting current.

Введение

Проблемы пуска технологических машин с тяжелым ротором известны – это и большие пусковые токи, которые приводят к выходу из строя электродвигателя, и перегрузки элементов привода и повышенный износ опорных узлов из-за необходимости преодоления сил трения покоя в момент пуска, при длительных остановках и т.д. [1, 2].

Для решения этой проблемы на кафедре ТМиТ SU с 2000-х годов ведутся работы в этом направлении. Были разработаны варианты пуско-вспомогательных приводов на базе сильфонных и клиновых пневмокамер, которые подтвердили свою эффективность при испытаниях на специально разработанных стендах. Пусковые токи удалось снизить на 30% и 40% соответственно, но в конструктивном отношении они были достаточно сложны [3-5].

В настоящее время разработана версия пускового устройства, основанная на использовании реечного механизма, для которой в 2022 году был получен инновационный патент [6]. Однако для успешной реализации данного проекта потребовались сильфонные пневмобаллоны с максимальной амплитудой раздвижки. Доступные двухкамерные сильфонные пневмобаллоны обеспечивали максимальный ход в диапазоне 100-110 мм, чего было явно недостаточно. В результате был осуществлен переход к использованию трехкамерных сильфонных пневмобаллонов диаметром 300 мм, информация о которых практически отсутствовала в доступных источниках [7, 8].

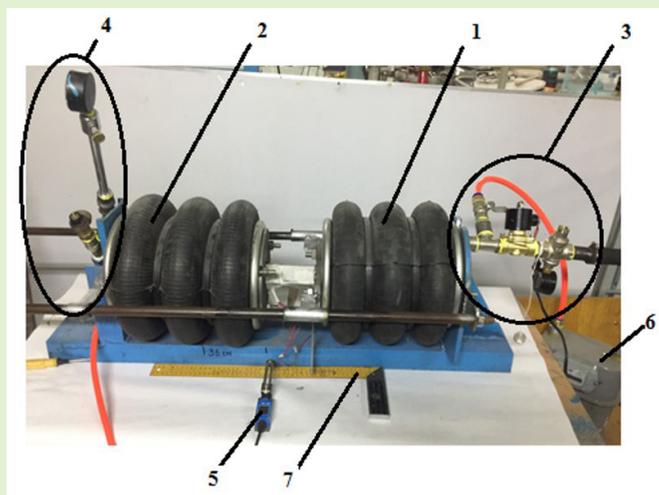
Методология

Вопреки распространенному мнению, что исследования следует начинать с определения или подтверждения силовых параметров, было принято решение учесть результаты исследований, утверждающие, что максимальное силовое воздействие сильфонного пневмобаллона достигается при использовании максимального полезного объема. Исследования были построены на первом этапе с определения раздвижных и объемных параметров с последующим учетом полученных данных.

Для изучения раздвижных и объемных (расходных) характеристик был разработан стенд, представленный на рисунке 1.

В основу методики исследования свойств трехкамерных сильфонных пневмобаллонов положен принцип создания сопротивления раздвижке с использованием аналогичного баллона, наддуваемого контролируемым избыточным давлением. Для наддува рабочего сильфонного пневмобаллона была разработана система подачи рабочего давления 3 (рис. 1). В системе подачи рабочего давления (рис. 2) перед электроклапаном 2 установлен редуктор давления 1 с манометром 3. Для определения объема воздуха, используемого для наддува баллона, после электроклапана предусмотрен отвод с шаровым краном 4, соединенный с газовым счетчиком 5. Таким образом, появилась возможность контролировать давление и объем воздуха, использованного при наддуве под определенным давлением.

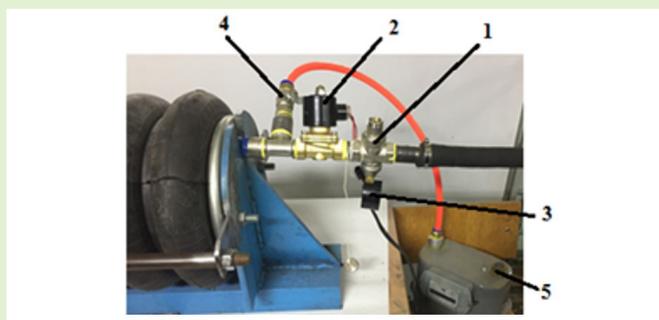
Для поддержания давления в системе имитации сопротивления раздвижки (рис. 3) использовали предохранительный клапан 1, настроенный на определенное давление.



1 – рабочий сифонный пневмобаллон; 2 – пневмобаллон для имитации силового сопротивления; 3 – система подачи рабочего давления; 4 – система обеспечения параметров сопротивления (давления); 5 – конечный выключатель; 6 – газовый счетчик; 7 – линейка.

Рис. 1. Общий вид стенда для исследования возможностей пневмобаллонного вспомогательного привода.

Сурет 1. Пневмобаллонды қосалқы жетек мүмкіндіктерін зерттеуге арналған стендтің жалпы түрі.
Figure 1. General view of the stand for studying the capabilities of a pneumatic bellows auxiliary drive.



1 – регулятор давления; 2 – электромагнитный клапан; 3 – манометр; 4 – отвод с шаровым клапаном; 5 – газовый счетчик.

Рис. 2. Общий вид системы подачи рабочего давления.
Сурет 2. Жұмыс қысымын беру жүйесінің жалпы түрі.
Figure 2. General view of the working pressure supply system.

Для автоматической отсечки подачи воздуха по мере достижения максимального хода раздвижки на рабочем столе стенда предусмотрен конечный выключатель, управляющий работой клапана подачи воздуха. При этом засекали время цикла наддува. Методика исследований включала следующие этапы:

- на первом этапе настраивалось давление в рабочем сифонном пневмобаллоне на уровне 0,1 МПа, при этом фиксировался максимальный ход раздвижки с установкой в этом положении конечного выключателя;



1 – предохранительный клапан; 2 – рукав для поддержания давления сопротивления; 3 – манометр.

Рис. 3. Общий вид системы обеспечения параметров сопротивления (давления).

Сурет 3. Кедергі (қысым) параметрлерін қамтамасыз ету жүйесінің жалпы түрі.

Figure 3. General view of the system for providing resistance (pressure) parameters.

- посредством шарового крана опорожнялся рабочий (исследуемый) пневмобаллон, а при подаче в баллон для имитации сопротивления раздвижки давления в 0,05 МПа последний возвращал рабочий в исходное состояние. После этого шаровый клапан должен был быть закрыт, а показания газового счетчика зарегистрированы;

- кнопкой «пуск» открывался электроклапан в системе подачи рабочего давления, и начинался отсчет цикла раздвижки до достижения максимального хода, при этом электроклапан отключал подачу избыточного давления. Время раздвижки фиксировалось. Плавным открыванием шарового клапана опорожнялся рабочий пневмобаллон через газовый счетчик, и также фиксировались показания;

- настраивая давление в системе подачи в рабочий пневмобаллон с шагом 0,05 Мпа, начиная с 0,15 МПа фиксировали время раздвижки и объем выхлопа. Каждый цикл повторяли три раза;

- на втором этапе поднимали давление в системе имитации сопротивления перемещению на 0,05 МПа до 0,1 МПа, и повторяли циклы наддува рабочего пневмобаллона, но уже с 0,15 МПа. Все данные фиксировали в рабочем журнале.

Удалось провести серию опытов с наддувом рабочего пневмобаллона до 0,5 МПа, а в баллоне для имитации сопротивления до 0,1 МПа. По результатам экспериментов построили графики зависимости расхода воздуха от давления в рабочем пневмобаллоне $V(p)$ (рис. 4) и времени раздвижки от давления $t(p)$ (рис. 5).

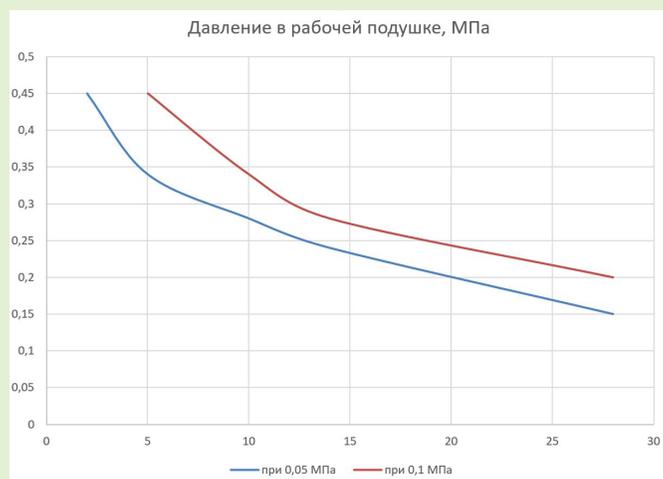


Рис. 4. График зависимости времени хода раздвижки от рабочего давления и давления в системе имитации сопротивления.

Сурет 4. Кедергіні имитациялау жүйесіндегі жұмыс қысымы мен қысымнан жылжыту барысының уақыт кестесі.

Figure 4. Graph of the dependence of the sliding stroke time on the operating pressure and pressure in the resistance simulation system.



Рис. 5. График зависимости расхода воздуха от давления в рабочем сильфоне и давления в сильфоне для имитации сопротивления.

Сурет 5. Кедергіні имитациялау үшін жұмыс сильфонындағы қысымға және сильфондағы қысымға ауа шығысының тәуелділік кестесі.

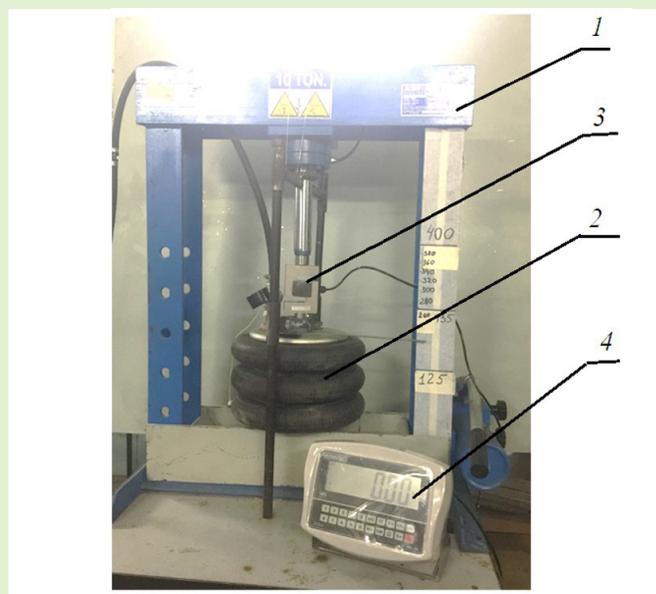
Figure 5. Graph of air flow versus pressure in the working bellows and pressure in the bellows to simulate resistance.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований были получены расходные (по воздуху) и раздвижные характеристики. В дальнейшем, по этим графикам можно будет определить, какими параметрами должна обладать цеховая пневмомагистраль для обеспечения работоспособности реечного пускового устройства. При необходимости может быть задействована рампа с баллонами для сжатого воздуха [9].

Принимая во внимание данные, полученные в процессе исследования параметров раздвижки, и то, что сильфонный пневмобаллон развивает максимальное толкающее усилие при использовании его максимального полезного объема, была разработана методика установления зависимости между толкающим усилием и избыточным давлением с использованием ручного гидравлического пресса на 100 кН.

Для проверки идеи был разработан стенд на базе десяти-тонного гидравлического пресса (рис. 6).



*1 – гидравлический десяти-тонный пресс;
2 – тороидальный трехкамерный баллон;
3 – тензодатчик; 4 – Индикатор WI-19.*

Рис. 6. Стенд для исследования силовых и раздвижных параметров тороидального 3-х камерного баллона.

Сурет 6. Тороидальды 3 камералық баллонның күштік және жылжымалы параметрлерін зерттеуге арналған стенд.

Figure 6. Stand for studying the power and expansion parameters of a toroidal 3-chamber cylinder.

Для замера раздвижного усилия баллона на торец штока гидроцилиндра через переходную шпильку установлен тензодатчик 3, который своей опорной пятой входит в шайбу, приваренную к кронштейну, закрепленному на верхней крышке баллона. Для исключения отклонения баллона от вертикали при раздвижке изготовлена поддерживающая система, состоящая из двух направляющих и двух кронштейнов, установленных на шток гидроцилиндра и верхнюю крышку баллона. В нижней части направляющие установлены в отверстия в столе.

Для оценки параметров раздвижки на правую стойку пресса наклеена лента бумажного скотча с нанесенными рабочими отметками (рисками), соответствующими положению баллона: в сжатом состоянии (125 мм), середине хода раздвижки (175 мм), исходной точке отсчета раздвижек (200 мм) и грациям хода раздвижки с интервалом

20 мм, максимальной высоте баллона (400 мм) в надутом положении.

Учитывая результаты предварительных исследований пневмоподпора для барабанных мельниц [10], работы были разделены на два этапа. На первом этапе исследований с пневмоподпором был определен ход раздвижки, при котором баллон генерирует максимальное усилие раздвижки. На втором этапе было исследовано влияние хода раздвижки на снижение пусковых токов.

Для построения графика зависимости между рабочим давлением в полости тороидального пневмобаллона и его толкающим усилием от хода раздвижки последний был размещен в рабочем пространстве пресса, как показано на рис. 6.

При первом шаге в баллон подали сжатый воздух под давлением 0,1 МПа. Под давлением сильфон раздвинулся, затем, подкачивая плунжерной парой пресса его рабочим штоком, поджали сильфон до размера 200 мм и сняли показания с динамометра. Последовательно повышая давление в полости сильфона с шагом 0,1 МПа и фиксируя усилие раздвижки, построили график $F(H)$ (рис. 7) – раздвижное усилие от хода раздвижки. Эти же эксперименты повторили для ходов раздвижки 220 мм, 240 мм, 260 мм, 280 мм, 300 мм, 320 мм, 340 мм, 360 мм и 380 мм.

Заключение

Таким образом, была достигнута возможность контроля толкающего усилия по давлению и определения хода раздвижки, при котором достигается максимальное толкающее усилие.

Анализ графика демонстрирует, что при увеличении хода раздвижки свыше 280 мм наблюдается значительное снижение усилия раздвижки и, соответственно, толкающего импульса при всех уровнях давления.

Следовательно, имеется возможность контролировать толкающее усилие на основе давления и устанавливать оптимальный ход раздвижки для достижения максималь-

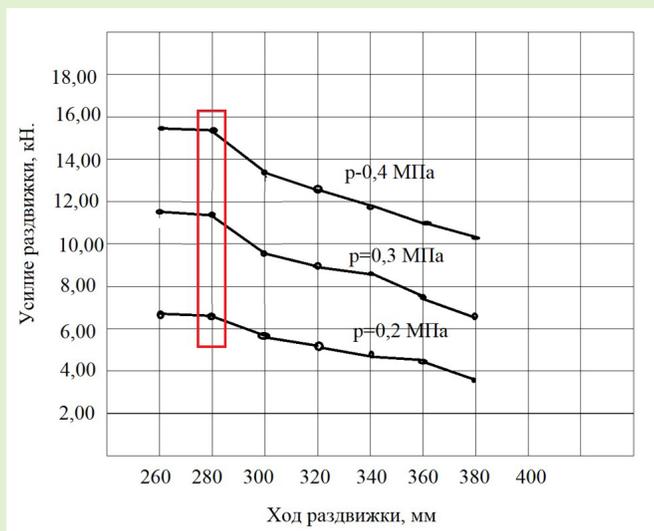


Рис. 7. График зависимости усилия раздвижки от хода раздвижки.

Сурет 7. Жылжыту күшінің жылжыту барысына тәуелділік кестесі.

Figure 7. Graph of the dependence of the sliding force on the sliding stroke.

ного толкающего усилия. Нет необходимости устанавливать момент пуска в точке перелома, поскольку толкающее усилие может увеличиться на 10% при уменьшении хода раздвижки на 20 мм.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке МВОН РК по гранту ИРН AP22684027 «Разработка и исследование инновационной технологии и техники для повышения энергоэффективности технологических машин с тяжелым ротором на пусковых режимах».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Альтшуллер М.И. Опыт по разработке и внедрению систем плавного пуска высоковольтных электродвигателей переменного тока: ООО «Экспозиция нефть газ», Республика Татарстан, 2009, С. 32-36 (на русском языке)
2. Alfred R. Высокоэффективная пневматическая приводная система, использующая полуоборотные приводы лопастного типа. // Электроника и энергетика. 2021. Т. 34. №3. С. 415-433 (на английском языке)
3. Крупник Л.А. Тихоходный привод на базе пневмобаллонов. / Л.А. Крупник, К.К. Елемесов, Б.С. Бейсенов, Е.Е. Сарыбаев. // Горный журнал Казахстана. 2018. №10. С. 40-43 (на русском языке)
4. Krupnik L. Использование пневматических сильфонов для тихоходных приводных механизмов. / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // Международный журнал научных и инженерных исследований. 2018. Т. 9. Вып. 11. С. 1106-1112 (на английском языке)
5. 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)
6. Привод поворота барабана мельницы: Инновационный патент РК №35704; заявл.09.03.2021; опублик. 10.06.2022. Бюл. №23. 4 с. (на русском языке)
7. Пневмодвигатель с фрикционно-обгонной муфтой: Инновационный патент РК №34086; заявл. 20.06.2018; опублик. 27.12.2019. Бюлл. №52. 4 с. (на русском языке)

8. Храповой привод: Инновационный патент РК №31421; заявл. 13.03.2015; опубл. 15.08.2016. Бюлл. №9. 5 с. (на русском языке)
9. 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)
10. Krupnik L. Использование пневматических сильфонов для тихоходных приводных механизмов / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // Международный журнал научных и инженерных исследований. 2018. Т. 9. Вып. 11. С. 1106-1112 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Альтишллер М.И. Жогары вольтты айнымалы ток қозғалтқыштары үшін жұмсақ іске қосу жүйесін әзірлеу және енгізу тәжірибесі: ООО «Экспозиция нефть газ», Татарстан Республикасы, 2009, Б. 32-36 (орыс тілінде)
2. Alfred R. Қалақ түріндегі жартылай айналымды жетектерді пайдаланатын тиімділігі жогары пневматикалық жетек жүйесі. // Электроника және энергетика. 2021. Т.34. №3. Б. 415-433 (ағылшын тілінде)
3. Крупник Л.А. Пневмобаллондар базасындағы тыныш жүретін жетек. / Л.А. Крупник, К.К. Елемесов, Б.С. Бейсенов, Е.Е. Сарыбаев. // Қазақстанның тау-кен журналы. 2018. №10. Б. 40-43 (орыс тілінде)
4. Krupnik L. Баяу жүрісті жетекті механизмдер үшін пневматикалық сильфондарды пайдалану. / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // Халықаралық ғылыми және инженерлік зерттеулер журналы. 2018. Т. 9. Шығ. 11. Б. 1106-1112 (ағылшын тілінде)
5. 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)
6. Диірмен барабанының бұрылу жетегі: ҚР инновациялық патенті № 35704; өтін. 09.03.2021; жариял. 10.06.2022. Бюлл. №23. 4 б. (орыс тілінде)
7. Фрикциялық-басып озу муфтасы бар пневматикалық қозғалтқыш: ҚР инновациялық патенті №34086; өтін. 20.06.2018; жариял. 27.12.2019. Бюлл. №52. 4 б. (орыс тілінде)
8. Қырылдақты жетек: ҚР инновациялық патенті №31421; өтін. 13.03.2015; жариял. 15.08.2016. Бюлл. №9. 5 б. (орыс тілінде)
9. 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)
10. Krupnik L. Баяу жүрісті жетекті механизмдер үшін пневматикалық сильфондарды пайдалану. / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // Халықаралық ғылыми және инженерлік зерттеулер журналы. 2018. Т. 9. Шығ. 11. Б. 1106-1112 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Altshuller M.I. Opyt po razrabotke i vnedreniju sistem plavnogo puska vysokovol'tnyh jelektrovdigatelej peremennogo toka. // ООО «Jekspozicija Neft' Gaz», Respublika Tatarstan 2009, P. 32-36 [Altshuller M.I. Experience in the development and implementation of soft start systems for high-voltage AC motors. // LLC «Exposition Oil Gas», Republic of Tatarstan, 2009, P. 32-36 (in Russian)]
2. 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)
3. Krupnik L.A. Tihohodnyj privod na baze pnevmoballonov. / Krupnik L.A., Yelemesov K.K., Beisenov B.S., Sarybaev E.E. // Gornyj zhurnal Kazahstana. 2018. №10. P. 40-43 [Krupnik L.A. Low-speed drive based on pneumatic cylinders. / Krupnik L.A., Yelemesov K.K., Beisenov B.S., Sarybaev E.E. // Mining Journal of Kazakhstan. 2018. №10. P. 40-43] (in Russian)
4. Krupnik L. Use of air bellows for low-speed drive mechanisms. / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2018. Vol. 9 (11). P. 1106-1112 (in English)
5. Hajrullaev D.H., Bejsenov B.S., Sarybaev E.E. Razrabotka i issledovanie parametrov pnevmoballonogo privoda s preryvistym (poshagovym) ciklom dvizhenija v kachestve

- vspomogatel'nogo privoda barabannyh mel'nic. // Trudy Mezhdun. nauchn.-prakt. konf. «Satpayevskie chtenija – 2021», – T. 1. – S. 1230-1233 [Hajrullaev D.H., Beisenov B.S., Sarybaev E.E. 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. // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Satpayev readings – 2021», Vol. 1. – P. 1230-1233] (in Russian)*
6. *Privod povorota barabana melnicy: Innovacionnyj patent RK №35704; zayavl.09.03.2021; opubl. 10.06.2022. Byul. №23. 4 s. [Mill drum rotation drive: Innovative patent of the Republic of Kazakhstan No. 35704; statement 03.09.2021; published 06.10.2022. Bulletin No.23. 4 p.] (in Russian)*
 7. *Pnevmodvigatel's frikcionno-obgonnoj muftoj: Innovacionnyj patent RK №34086; zayavl. 20.06.2018; opubl. 27.12.2019. Byull. №52. 4 s. [Pneumatic motor with friction-overrunning clutch: Innovative patent of the Republic of Kazakhstan №34086; statement 20.06.2018; published 27.12.2019. Bulletin №52. 4 p.] (in Russian)*
 8. *Hrapovoj privod: Innovacionnyj patent RK №31421; zayavl. 13.03.2015; opubl. 15.08.2016. Byull. №9. 5 s. [Ratchet drive: Innovative patent of the Republic of Kazakhstan №31421; statement 13.03.2015; published 15.08.2016. Bulletin №9. 5 p.] (in Russian)*
 9. *Lukasz 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)*
 10. *Krupnik L. Use of air bellows for low-speed drive mechanisms. / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2018. Vol. 9 (11). P. 1106-1112 (in English)*

Сведения об авторах:

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

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

Бортебаев С.А., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), s.bortebayev@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-8761-3429>

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

Авторлар туралы мәліметтер:

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

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

Бортебаев С.А., т.ғ.к., «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

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

Information about the authors:

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

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

Bortebayev S.A., Ph.D., Associate Professor of the Department of Technological Machines and equipment, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Sarybayev Ye. Ye., postdoctoral student of the EP «Digital Engineering of Machines and Equipment», Senior Lecturer of the Department of «Technological Machines and equipment», Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)