

Код МРНТИ 52.13.31:55.09.43

А.Е. Игбаева, К.К. Елемесов, С.А. Бортебаев, *Д.Д. Басканбаева

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОРПУСОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ИЗ ФИБРОБЕТОНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОДНО-ПЕСЧАНОЙ СМЕСИ

Аннотация. Целью данной работы является определение износостойкости композитных материалов. При соответствии физико-химических свойств композиционных материалов металлическим аналогам дает существенное преимущество по себестоимости, трудоемкости изготовления и ремонтных работах. В машиностроении одним из путей совершенствования конструкции является переход от стальных и чугунных корпусов к корпусам из легких сплавов (алюминиевых, магниевых), неметаллических или композиционных материалов, что особенно важно в изготовлении корпусных деталей центробежных насосов малой мощности. В таких корпусах толщина стенки, определяемая технологическими возможностями литья, больше толщины стенки, необходимой из условия прочности.

Ключевые слова: центробежный насос, корпус, фибробетон, агрессивные среды, износ трением, пескоструйный аппарат.

Су-құм қоспасының әсерінен фибробетоннан жасалған ортадан тепкіш сорғы корпустарының жұмысын зерттеу

Аңдатпа. Бұл жұмыстың мақсаты композиттік материалдардың тозуға төзімділігін анықтау болып табылады. Композициялық материалдардың физика-химиялық қасиеттері металл аналогтарына сәйкес келсе, ол өзіндік құны, өндіріс және жөндеу жұмыстарының күрделілігі бойынша айтарлықтай артықшылық береді. Машина жасауда құрылымды жетілдірудің бір жолы болат пен шойын корпустарынан жеңіл корытпалардан (алюминий, магний), металл емес немесе композициялық материалдардан жасалған корпустарға көшу болып табылады, бұл әсіресе төмен қуатты орталықтан тепкіш сорғылардың корпус бөлшектерін өндіруде маңызды. Мұндай корпустарда құюдың технологиялық мүмкіндіктерімен анықталатын қабырға қалыңдығы беріктік жағдайынан қажетті қабырға қалыңдығынан үлкен болады.

Түйінді сөздер: орталықтан тепкіш сорғы, корпус, фибробетон, агрессивті орта, үйкеліс тозуы, құм ағынды құрылғы.

Investigation of the operation of centrifugal pump housings made of fiber concrete under the influence of a water-sand mixture

Abstract. The purpose of this work is to determine the wear resistance of composite materials. When the physicochemical properties of composite materials correspond to metal analogues, it gives a significant advantage in terms of cost, complexity of manufacturing and repair work. In mechanical engineering, one of the ways to improve the design is the transition from steel and cast-iron housings to housings made of light alloys (aluminum, magnesium), non-metallic or composite materials, which is especially important in the manufacture of housing parts of low-power centrifugal pumps. In such cases, the wall thickness determined by the technological capabilities of casting is greater than the wall thickness required from the strength condition.

Key words: centrifugal pump, composite materials, housing, mechanical engineering fiber concrete, aggressive media, friction wear, sandblasting machine, physico-chemical properties, improvements.

Введение

В горно-металлургической и нефтедобывающей промышленности широко используются динамические лопастные насосы¹ [1-3]. Они получили широкое распространение среди насосных агрегатов с рабочими колесами центробежного типа, так как создают достаточно большой напор при любых заданных скоростях подачи жидкости и габаритах насоса, но обладают при этом большим КПД и надежностью.

Анализ работы насосного оборудования, используемого для перекачки гидросмеси с мелкими твердыми абразивными включениями, показывает, что наиболее быстро изнашиваются щелевые уплотнения, расположенные со стороны входа в рабочее колесо, рабочие поверхности лопастей и их входные участки. При работе на гидросмесях с крупными твердыми включениями наиболее интенсивному изнашиванию подвергаются входные участки лопастей при практическом отсутствии изнашивания остальных участков рабочего колеса и уплотнений. Износ входных элементов лопасти сказывается на ухудшении всасывающей способности и снижении напора² [4, 5].

Оценка гидроабразивного износа деталей грунтового насоса позволяет наметить существенные пути его снижения за счет изменения конструкции насоса и создания

автоматизированной системы оценки состояния величины износа, то есть непрерывного постоянного диагностирования. Одним из существенных явлений, влияющих на износ деталей грунтовых насосов, считается кавитация.

Методика испытаний

Вопросами применения композитного материала из фибробетона в качестве конструкционных материалов для изготовления корпусных деталей занимаются ученые из Satbayev University. Предложенный авторами состав фибробетона, защищенный патентом РК, позволил изготовить корпуса центробежных насосов с высокими механическими свойствами и конструктивными размерами [6]. Были исследованы физико-механические свойства и отработана технология отливки корпусных деталей. Проведены испытания на действующем оборудовании в лабораторных условиях.

Эксплуатация насосного оборудования в условиях горно-металлургических предприятий предъявляет особые требования к деталям насосов из-за высокой агрессивности перекачиваемых жидкостей. Следовательно, исследования, связанные с определением износостойкости деталей насосного оборудования, являются актуальными.

Были рассмотрены два вида испытаний: истирание трением и ударное истирание с использованием смеси песка с водой. Использовались три соотношения воды

¹Тулинов А.Б., Иванов В.А., Гончаров А.Б. Прогрессивные технологии и материалы для восстановления горного оборудования. // Сборник научных трудов семинара «Современные технологии в горном машиностроении» [электронный ресурс]. – М.: МГТУ. – 2012. – 445 с.

²ASTM C779/C779M-12 Стандартный метод испытания на стойкость к истиранию горизонтальных бетонных поверхностей. – 2012. – 6 с.

и песка (1:2; 9:25 и 7:25); два угла направления удара (45° и 90°); корпус центробежного насоса из чугуна и фибробетона, армированный стальным волокном. Результаты испытаний показали, что абразивное действие и основное сопротивление варьировались в зависимости от двух методов испытаний. Средняя скорость истирания бетона при ударе была примерно в 8-10 раз больше, чем при трении. В целом, потери на истирание



Рис. 1. Корпус центробежного насоса из фибробетона и процесс взвешивания.

Сурет 1. Фибробетоннан жасалған орталықтан тепкіш сорғы корпусы және өлшеу процесі.

Figure 1. The housing of the centrifugal pump made of fibroconcrete and the weighing process.

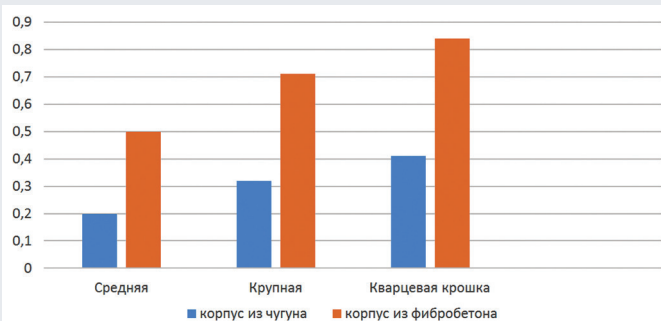


Рис. 2. Потеря массы корпуса насоса после испытания при давлении воздуха 0,45 МПа.

Сурет 2. 0,45 МПа ауа қысымында сынаудан кейін сорғы корпусының массалық жоғалуы.

Figure 2. Mass loss of the pump housing after testing at an air pressure of 0,45 MPa.

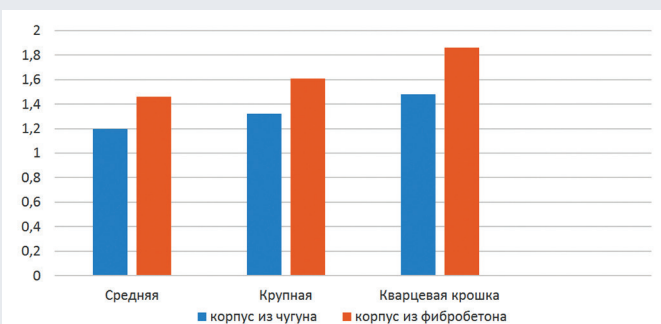


Рис. 3. Потеря массы корпуса насоса после испытания при давлении воздуха 0,55 МПа.

Сурет 3. 0,55 МПа ауа қысымында сынаудан кейін сорғы корпусының массалық жоғалуы.

Figure 3. Mass loss of the pump housing after testing at an air pressure of 0,55 MPa.

при ударе фибробетонной поверхности под прямым углом были выше, чем при ударе под углом 45°. Стальные волокна действовали как щиты, предотвращая истирание бетонного материала за волокнами, тем самым повышая стойкость к истиранию.

Точность измерений определяется стабильностью режимов, повторяемостью измерений, стабильностью условий испытаний и погрешностью средств и методов измерения. Для получения относительно стабильных результатов приведем основные правила, которые легли в основу проведения испытаний.

1. Параметры насоса соответствовали параметрам стенда.

2. Перед испытаниями были измерены постоянные величины (диаметры трубопроводов в местах отбора давления, состояние манометров и т. д.), рассчитаны постоянные коэффициенты и предельные погрешности результатов испытаний, которые не должны превышать допустимых.

3. Перед испытанием элементы стенда были проверены на герметичность.

4. Щитовая или автоматическая запись показаний приборов при одном измерении производилась только в установившемся режиме.

5. Снятие характеристик насоса в отдельных режимах производилось через равные промежутки времени, при этом последовательность записи показаний приборов осталась одинаковой.

6. Снятие насоса с испытательной установки производилось после обработки результатов испытаний.

Пескоструйное устройство является эффективным инструментом, который может быть полезен во многих случаях. С помощью такого устройства небольших размеров и небольшой массы можно очистить различные поверхности от загрязнений и старых покрытий, удалить с металлоконструкций чешуйки и очаги коррозии. Мастера сами изготавливают пескоструйные машины из очень удобных металлических баллонов, баллонов с газом или больших огнетушителей. Их металл хорошо поддается сварке, поддерживает давление и служит неограниченное время.

Основные конструктивные элементы, составляющие пескоструйные аппараты:

- пистолет, оснащенный воздушной насадкой и спусковым крючком;
- насадка, которой абразивная смесь подается в зону обработки (для повышения износостойкости внутренняя часть такой насадки покрыта карбидом бора);
- всасывающий клапан, обеспечивающий подачу абразивного материала из бункера;
- шланг, через который в систему подается абразив.

Поскольку приборы, которыми проводятся пескоструйные работы, работают на смесях, состоящих не только из песка, но и из воды, то они требуют подключения:

- компрессора, способствующего стабильной подаче воздуха под оптимальным давлением;
- к источнику водоснабжения;
- специального контейнера для материала (песка), который непрерывно подает абразивный материал.

Таблица 1

Потеря массы корпуса центробежного насоса после испытания

Кесте 1

Сынақтан кейін орталықтан тепкіш сорғы корпусының салмағын жоғалту

Table 1

Mass loss of the centrifugal pump housing after the test

Давление воздуха, МПа	Фракции кварцевого песка					
	Средняя (0,1-0,4 мм)		Крупная (0,5-1,0 мм)		Кварцевая крошка (свыше 1 мм)	
	Корпус из чугуна	Корпус из фибробетона	Корпус из чугуна	Корпус из фибробетона	Корпус из чугуна	Корпус из фибробетона
0,45	0,2%	0,5%	1,2%	1,46%	1,8%	1,97%
0,55	0,32%	0,71%	1,32%	1,61%	1,92%	2,24%
0,7	0,41%	0,84%	1,48%	1,86%	2,08%	2,42%

Рекомендуется использовать газовый баллон с пропаном или фреоном. Обе емкости имеют оптимальную устойчивость к механическим факторам и могут выдерживать значительное давление.

Для подключения пескоструйного устройства к системе водоснабжения можно использовать обычные шланги, так как они не подвержены значительному внутреннему давлению. Расход воды из такого источника должен составлять от 50 л до 120 л в час, что достаточно для эффективного и беспыльного проведения процесса обработки.

Принцип работы такого аппарата очень прост:

- к рабочей емкости присоединяются две трубы: верхняя труба – для подключения к компрессору и создания избыточного давления внутри цилиндра; нижняя труба – для подачи песка, в нее вставляется кран для регулирования интенсивности потока;

- воздушный поток от компрессора разделен на две части: одна проходит в верхний кран цилиндра для усиления давления внутри, другая присоединяется к нижней трубе для создания воздушно-песчаной смеси;

- из нижней насадки под давлением в распылитель или насадку поступает смесь песка и воздуха.

Рассмотрим технологическую карту для испытания корпуса центробежного насоса из фибробетона на износостойкость.

1. Для испытания использована сухая абразивная смесь и оборудование, обеспечивающее подачу материала под высоким давлением.

2. В качестве рабочего материала использован просеянный сухой песок, размеры ячеек сит составляют 1-1,2 мм.

3. Под давлением, создаваемым компрессорной установкой, воздух подается в пескоструйную установку, где он смешивается с абразивным материалом в резервуаре.

4. Воздух, смешанный с абразивным материалом, под давлением поступает в сопло устройства и подается на обрабатываемую поверхность.

5. Под действием абразивного материала происходит увеличение диаметра отверстия в насадке аппарата,

через которое этот материал передается на обрабатываемую поверхность.

6. Испытание проводится на трех разных зонах корпуса из фибробетона продолжительностью 10 мин.

7. По окончании испытания с обрабатываемой поверхности удаляются остатки песка и пыли, для чего используется воздух, подаваемый под высоким давлением.

Пескоструйный способ предполагает воздействие водно-песчаной смеси на поверхность корпуса центробежного насоса, создавая необходимый эффект истирания. Таким образом, после каждого испытания была определена масса корпуса (рис. 1) [7].

Обсуждение результатов

Согласно наблюдениям и проведенным исследованиям, износ трением в основном связан с абразивным эффектом, возникающим в результате воздействия смеси воды и песка. Таким образом, фибробетон с со стальной фиброй показал повышенную устойчивость к истиранию.

В целом, для фибробетона, подвергнутого воздействию песчаного потока, абразивное воздействие включало в себя в основном молекулы воды и гидравлическое давление, удар твердых частиц, предельное истирание, вызванное предельными эффектами и разрывом. Также были использованы трение, вызванное потоком песка, транспортируемого водой, и основное сопротивление прочности на сдвиг и поверхностной жесткости.

При испытании пескоструйным методом на устойчивость к истиранию, корпуса из фибробетона показали незначительный износ и, следовательно, меньшую потерю массы. В табл. 1 и на рис. 2-4 показаны потери массы корпуса центробежного насоса после испытания на износостойкость материала корпуса в разных режимах³ [5, 7].

Заключение

Результаты исследований показывают, что фибробетон с металлической фиброй способен эффективно противостоять гидроударам. Установлено, что на потери ударов существенно влияет угол воздействия струи. На потери массы корпуса в этом исследовании повлиял

³Елемесов К.К., Сладковский А.В., Басканбаева Д.Д., Бортебаев С.А., Утянов А.Н., Игбаева А.Е. Фибробетонная смесь. / Патент на полезную модель №6103 от 28.05.2021 г.

размер песка и давление воздуха. Экспериментально доказано, что, чем больше давление потока, тем больше потеря массы³ [5-7]. Так, с увеличением давления с 0,45 МПа до 0,7 МПа потеря массы увеличивается на 5%. На износ материала значительное влияние оказывает крупность песка, т. е. более крупные фракции изнашивают материал сильнее, чем мелкие.

Данные исследования и проведенные ранее механические испытания подтвердили целесообразность изготовления корпусов центробежного насоса из композитных материалов и дают основание полагать, что они будут востребованы в машиностроении для изготовления корпусных деталей. Их применение позволит значительно снизить материальные расходы на изготовление корпусных деталей насосного оборудования и упростить их производство.

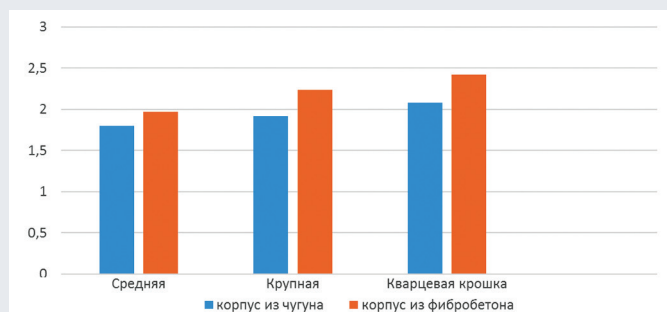


Рис. 4. Потеря массы корпуса насоса после испытания при давлении воздуха 0,7 МПа.

Сурет 4. 0,7 МПа ауа қысымында сынаудан кейін сорғы корпусының массалық жоғалуы.

Figure 4. Mass loss of the pump housing after testing at an air pressure of 0,7 MPa.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Елемесов К.К., Бортебаев С.А., Сыдыкбекова С.Т., Утянов А.Н. Использование композиционных материалов для изготовления корпусов насосов. // Вестник КазНУ им. К.И. Сатпаева. – Алматы, 2018. – №6(130) – С. 181-185 (на русском языке)
2. Abid S.R., Shamkhi M.S., Mahdi N.S., Daek Y.H. Гидроабразивная стойкость инженерных цементирующих композитов с волокнами PP и PVA. // Строительство и строительные материалы. – 2018. – №187. – С. 168-177 (на английском языке)
3. Ruo S., Abate S.Y., Kim H.K. Износостойкость бетона сверхвысокой производительности, содержащего более крупный заполнитель. // Строительство и строительные материалы. – 2018. – №165. – С. 11-16 (на английском языке)
4. Abid S.R., Hilo A., Ayooob N.S., Daek Y.H. Подводное истирание самоуплотняющегося бетона, армированного стальным волокном. // Тематические исследования в области строительных материалов. – 2019. – №114. – С. 1-17 (на английском языке)
5. Krupnik L., Yelemessov K., Vortebayev S., Baskanbayeva D. Изучение фибробетона для литья корпусных деталей насосов. // Восточно-европейский журнал корпоративных технологий. – 2018. – №6/12(96). – С. 22-27 (на английском языке)
6. Басканбаева Д., Крупник Л., Елемесов К., Бортебаев С., Игбаева А. Обоснование рациональных параметров изготовления корпусов насосов из фибробетона. // Научный вестник Национального горного университета. – 2020. – №5(179). – С. 68-74 (на русском языке)
7. Yelemessov K., Krupnik L., Weisenov B., Baskanbayeva D., Vortebayev S., Igbayeva A. Полимербетон и фибробетон как эффективные материалы для изготовления корпусов редукторов и насосов. // Веб-конференция E3S: II Международная конференция «Очерки горной науки и практики». – 2020. – Т. 168. – С. 00018 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Елемесов Қ.К., Бортебаев С.А., Сыдыкбекова С.Т., Утянов А.Н. Сорғы корпустарын жасау үшін композициялық материалдарды пайдалану. // Қ.И. Сатпаев атындағы ҚазҰТЗУ Жаршысы. – Алматы, 2018. – №6(130). – Б. 181-185 (орыс тілінде)
2. Abid S.R., Shamkhi M.S., Mahdi N.S., Daek Y.H. PP және PVA талшықтары бар инженерлік цементтеу композиттерінің гидроабразиялық төзімділігі. // Құрылыс және құрылыс материалдары. – 2018. – №187. – Б. 168-177 (ағылшын тілінде)
3. Ruo S., Abate S.Y., Kim H.K. Үлкен агрегаты бар ультра жоғары өнімділіктегі бетонның тозуға төзімділігі. // Құрылыс және құрылыс материалдары. – 2018. – №165. – Б. 11-16 (ағылшын тілінде)
4. Abid S.R., Hilo A., Ayooob N.S., Daek Y.H. Болат талшықпен күшейтілген өздігінен тығыздалған бетонның су астындағы абразиясы. // Құрылыс материалдары саласындағы тақырыптық зерттеулер. – 2019. – №114. – Б. 1-17 (ағылшын тілінде)
5. Krupnik L., Yelemessov K., Vortebayev S., Baskanbayeva D. Сорғылардың корпусық бөлшектерін құюға арналған фибробетонды зерттеу. // Шығыс-еуропалық корпоративті технологиялар журналы. – 2018. – №6/12(96). – Б. 22-27 (ағылшын тілінде)

6. Басқанбаева Д., Крупник Л., Елемесов Қ., Бортебаев С., Игбаева А. Талшықты фибробетоннан сорғы корпустарын жасаудың рационалды параметрлерін негіздеу. Ұлттық тау-кен университетінің Ғылыми хабаршысы. – 2020. – №5(179). – Б. 68-74 (орыс тілінде)
7. Yelemessov K., Krupnik L., Beisenov B., Baskanbayeva D., Bortebayev S., Igbayeva A. Полимербетон және фибробетон редукторлар мен сорғылардың корпусын жасау үшін тиімді материалдар ретінде. E3S веб-конференциясы: «Тау-кен ғылымы мен практикасы туралы очерктер» II Халықаралық конференциясы. – 2020. – Т. 168. – Б. 00018 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Yelemessov K.K., Bortebayev S.A., Sydykbekova S.T., Utyanov A.N. Ispol'zovanie kompozitsionnykh materialov dlya izgotovleniya korpusov nasosov [The use of composite materials for the manufacture of pump housings]. // Vestnik KazNITU im. K.I.Satpayeva = Bulletin of KazNITU named after K.I. Satpayev. – Almaty, 2018. – №6(130). – P. 181-185 (in Russian)
2. Abid S.R., Shamkhi M.S., Mahdi N.S., Daek Y.H. Hydro-abrasive resistance of engineered cementitious composites with PP and PVA fibers. // Construction and Building Materials. – 2018. – №187. – P. 168-177 (in English)
3. Pyo S., Abate S.Y., Kim H.K. Abrasion resistance of ultra high performance concrete incorporating coarser aggregate. // Construction and Building Materials. – 2018. – P. 11-16 (in English)
4. Abid S.R., Hilo A., Ayoob N.S., Daek Y.H. Underwater abrasion of steel fiberreinforced self-compacting concrete. Case Studies in Construction Materials. – 2019. – №114. – P. 1-17 (in English)
5. Krupnik L., Yelemessov K., Bortebayev S., Baskanbayeva D. Studying fiber-reinforced concrete for casting housing parts of pumps. // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2018. – №6/12(96). – P. 22-27 (in English)
6. Baskanbayeva D., Krupnik L., Yelemessov K., Bortebayev S., Igbayeva A. Obosnovanie racional'nykh parametrov izgotovleniya korpusov nasosov iz fibrobetona [Justification of rational parameters for manufacturing pump housings made of fibroconcrete]. // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu = Scientific Bulletin of the National Mining University. – 2020. – №5(179). – P. 68-74 (in Russian)
7. Yelemessov K., Krupnik L., Beisenov B., Baskanbayeva D., Bortebayev S., Igbayeva A. Polymer concrete and fibre concrete as efficient materials for manufacture of gear cases and pumps. // E3S Web of Conferences: II International Conference «Essays of Mining Science and Practice». – 2020. – Vol. 168. – P. 00018 (in English)

Сведения об авторах

Игбаева А.Е., магистр техн. наук, докторант кафедры «Технологические машины и транспорт» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), a.igbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-4825-454X>

Елемесов К.К., канд. техн. наук, доцент, директор института Энергетики и машиностроения Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), k.yelemessov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

Бортебаев С.А., канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Технологические машины и транспорт» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), s.bortebayev@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-8761-3429>

Басқанбаева Д.Дж., PhD, заместитель директора института Энергетики и машиностроения Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), d.baskanbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>

Авторлар туралы мәліметтер:

Игбаева А.Е., техника ғылымдарының магистрі, Satbayev University, «Технологиялық машиналар мен транспорт» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Елемесов К.К., техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Satbayev University, Энергетика және машина жасау институтының директоры (Алматы қ., Қазақстан)

Бортебаев С.А., техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Басқанбаева Д.Дж., PhD, Satbayev University, Энергетика және машина жасау институтының директор орынбасары (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Igbayeva A.E., Master of Technical Sciences, Doctoral Student at the Department of Technological Machines and Transport of the Institute of Power Engineering and Mechanical Engineering of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Yelemessov K.K., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director at the Institute of Power Engineering and Mechanical Engineering of Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Bortebayev S.A., Candidate of Technical Sciences, Head at the Department of Technological Machines and Transport of the Institute of Power Engineering and Mechanical Engineering of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Baskanbayeva D.Dz., PhD, Deputy Director at the Institute of Power Engineering and Mechanical Engineering of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)