

Код МРНТИ 30.17.51

М.Е. Исаметова, \*Г.С. Абилезова, Р.К. Карпеков, Д.Е. Ткаченко

Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧЕГО КОЛЕСА НА НАПОРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

**Аннотация.** В статье приведены результаты экспериментального исследования влияния числа лопаток на напорно-энергетические характеристики многоступенчатого центробежного насоса. Испытывался вертикальный погружной многоступенчатый центробежный насос, в котором варьировались рабочие колеса с различным количеством лопастей. Колеса были изготовлены с помощью новейшей технологии быстрого прототипирования посредством SLA печати на высокопрочной полимерной смоле. В результате экспериментов было выявлено доминирующее влияние частоты и скорости вращения на производительность центробежного насоса. Проведенные исследования позволили сделать вывод, что количество лопастей не оказывает существенного влияния на производительность центробежного насоса.

**Ключевые слова:** центробежный насос, эксперимент, стереолитография (SLA), мощность, напор, эффективность.

### Орталықтан тепкіш доңғалақ құрылымының көп сатылы сорғының қысым сипаттамаларына әсерін зерттеу

**Андатпа.** Мақалада көп сатылы центрифугалық сорғының қысым-энергетикалық тартқыштарына пышақтары санының әсерін эксперименттік зерттеу нәтижелері келтірілген. Тік көп сатылы орталықтан тепкіш сорғы сыналды, онда жұмыс дөңгелектері әртүрлі мөлшерде өзгерді. Доңғалақтар жоғары беріктігі бар полимерлі SLA көмегімен басып шығару арқылы жылдам прототиптеудің соңғы технологиясымен жасалды. Тәжірибелер нәтижесінде жылдамдықтың центрифугалық сорғының жұмысына басым әсері анықталды. Сондай-ақ, сорғының барлық өнімділігі, әдетте, пышақтар санының өзгеруіне емес, айналу жылдамдығының өзгеруіне сезімтал екендігі анықталды. Жүргізілген зерттеулер пышақтардың саны центрифугалық сорғының жұмысына айтарлықтай әсер етпейді деген қорытындыға келді.

**Түйінді сөздер:** орталықтан тепкіш сорғы, эксперимент, стереолитография (SLA), қуат, қысым, тиімділік.

### Study of the influence of the design of a centrifugal wheel on the pressure characteristics of a multistage pump

**Abstract.** The article presents the results of an experimental study of the influence of the number of blades on the pressure-energy characteristics of a multistage centrifugal pump. A vertical submersible multistage centrifugal pump was tested, in which impellers with a different number of blades were varied. The wheels were manufactured using the latest rapid prototyping technology through SLA printing on high strength polymer resin. As a result of the experiments, the dominant influence of the speed on the performance of the centrifugal pump was revealed. The conducted research allowed to conclude that the number of blades does not have a significant impact on the performance of a centrifugal pump.

**Key words:** centrifugal pump, experiment, stereolithography (SLA), power, pressure, efficiency, wheels, rapid prototyping technology, parameters, strength.

### Введение

Разработка месторождений полезных ископаемых в горной промышленности зачастую сопровождается откачкой больших объемов жидких сред. Известен факт, что при откачке больших объемов жидкости из скважин погружные центробежные насосы наиболее экономичны и менее трудоемки при их обслуживании в сравнении с насосами других типов. Для повышения производительности центробежного насоса в целях экономии энергии необходимы инновации. В нескольких литературных источниках отмечается, что производительность центробежного насоса зависит от некоторых конструктивных параметров, т. е. рабочего колеса, направляющего аппарата, которые влияют на характеристики потока жидкости внутри машины.

### Литературный обзор

Многие исследователи внесли значительный вклад в изучение механизмов потока внутри центробежных рабочих колес. В [1] представлены результаты исследований по определению влияния количества лопаток на кинематику потока в центробежном колесе одноступенчатого насоса. Показано, что колеса с количеством лопастей 5 и 9 имеют более высокое трение потока внутри каналов, а наиболее оптимальным является колесо с 7 лопастями. В [2] рассматривалось взаимное влияние количества лопастей колеса (5, 6, 7) и количества лопастей диффузора (8, 9, 10). В результате исследований, основанных на численном моделировании,

было установлено, что корпус 7 + 8 имеет минимальное колебание колеса, что, в свою очередь, влияет на величину КПД и прочность вала в целом.

Подход к выбору колеса по прочностным параметрам использовался в [3], но он был основан только на изменениях скорости вращения вала ротора, а не на влиянии пульсации потока и прочности центробежного колеса, которая зависит от выбора количества лопаток. Авторы работы [4] привели результаты исследования влияния собственных частот колебаний центробежного колеса на прочность вала, вызванную разницей в количестве лопастей колеса и диффузора. Работа [5] посвящена расчету прочности дисков и лопастей на основе использования модифицированного метода последовательных приближений в смещенных полиномах Чебышева.

Во всех этих работах недостаточно внимания уделялось изучению влияния количества лопастей на напорно-энергетические характеристики насоса. Все это говорит о том, что целесообразно провести экспериментальные исследования для определения оптимального количества лопаток, удовлетворяющих максимуму энергоэффективности насоса.

### Методы исследования

Исследованная физическая конструкция представляет собой многоступенчатый центробежный насос, который включает в себя 4 рабочих колеса и 4 направляющих аппарата. На рис. 1 приведена конструкция многоступенчатого насоса. По автоматизированным

расчетам в модуле PUMP построены уточненные модели рабочих колес с параметрами  $\beta_1 = 28^\circ$ ,  $\beta_2 = 30^\circ$ , угол охвата лопасти  $\theta = 70^\circ$ , количество лопастей – 6, 7, 8. Количество лопаток варьировались для определения влияния их числа на напорные и энергетические характеристики ступеней насоса. Для изучения влияния количества лопастей на производительность центробежного насоса использовалась новейшая технология быстрого прототипирования Rapid prototyping, используя которую конструктор может быстро физически воспроизвести компьютерную модель любой сложности<sup>1</sup> [6]. При создании прототипа центробежного колеса, близкого к реальной модели, основным фактором был выбор технологии 3D-печати по параметру шероховатости. При выборе технологии SLA, работающей с жидким фотополимером (стереолитография), были приняты во внимание данные автора<sup>2</sup>. В соответствии с технологией изготовления и требованиями, предъявляемыми к деталям ступени центробежного погружного насоса, для внутренних поверхностей конструктивных

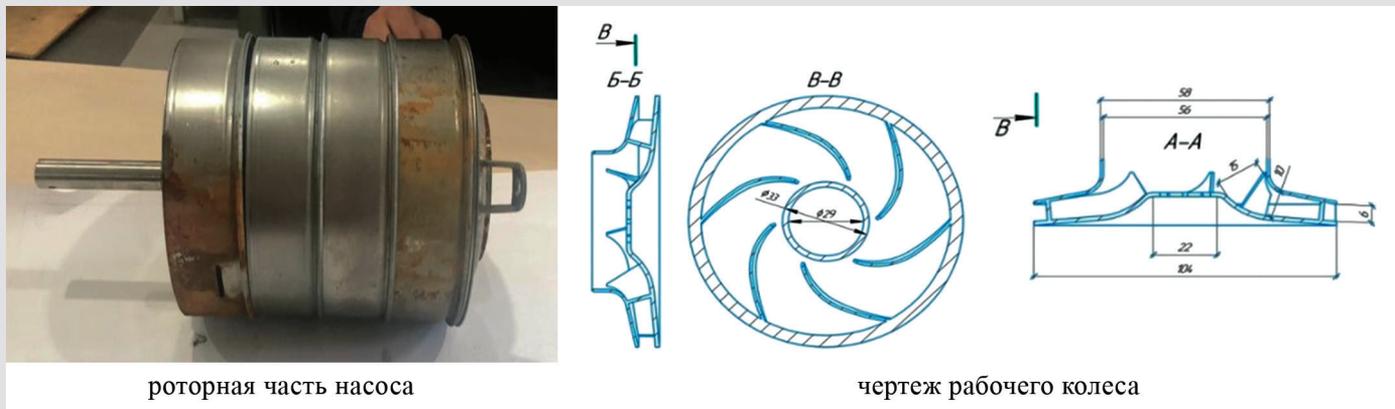
элементов допустима абсолютная шероховатость до 0,3 мкм. На рис. 2 приведены образцы испытуемых колес, напечатанных технологией SLA.

Исследование трех колес проводилось при трех различных скоростях вращения в диапазоне от 1450 об./мин до 2850 об./мин. Одна за другой модели рабочего колеса были протестированы для изучения их рабочих характеристик. Подача центробежного насоса измерялась расходомером, погрешность которого составляет  $\pm 0,3\%$  от измеренного значения. Модельный напор насоса был получен с помощью манометра с точностью  $\pm 0,1\%$  от измеренного значения. Экспериментальная испытательная установка (рис. 3) позволяет точно измерять массовый расход.

#### Измерительная техника и обработка данных

В лаборатории КазННТУ им. К.И. Сатпаева была собрана установка стенда, приведенная на рис. 3.

Данные измерений передаются на компьютер через встроенные адаптеры измерительных приборов и обрабатываются в приложении Excel. Эксперимен-



роторная часть насоса

чертеж рабочего колеса

**Рис. 1. Конструкция насоса.**  
**Сурет 1. Сорғының конструкциясы.**  
**Figure 1. Pump design.**



колесо с 6 лопатками

колесо с 7 лопатками

колесо с 8 лопатками

**Рис. 2. Модели колес насоса, напечатанного технологией SLA.**  
**Сурет 2. SLA технологиясымен басылған сорғы доңғалақтарының модельдері.**  
**Figure 2. Models of pump wheels printed with SLA technology.**

<sup>1</sup>Ramesh S. A text book of rapid prototyping. – Parvana Bhavan: ANE Books, 2015. – 1st Edition.

<sup>2</sup>Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 218 с.

ты были сосредоточены на исследовании трех рабочих параметров насоса: напор насоса ( $H$ ), гидравлическая мощность ( $P_{гид}$ ) и КПД ( $\eta$ ) – при различном количестве лопастей и режимах работы насоса. В центробежных насосах эти параметры обычно определяются уравнениями (1)-(3).

$$H = P/\gamma = (P_H - P_B)/\rho g, \quad (1)$$

где  $\gamma = \rho g$ ;

$P_H$  – давление нагнетания на выходе насоса, Н/м<sup>2</sup>;  
 $P_B$  – давление всасывания на входе насоса, Н/м<sup>2</sup>;  
 $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  – сила тяжести.

Гидравлическая мощность насоса определяется по формуле:

$$P_{гид} = \rho g H Q, \quad (2)$$

где  $Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с.

Соответственно КПД насоса определяется как:

$$\eta = P_{гид}/P_{вал}, \quad (3)$$

где  $P_{вал}$  – мощность, передаваемая валу насоса  $W$ .

### Результаты

На рис. 4 показано соотношение напора и производительности центробежного насоса при различном количестве лопаток и при трех различных скоростях вращения, т. е. 1450 об./мин, 2050 об./мин и 2850 об./мин.

На рис. 5 приведена зависимость мощности от производительности центробежного насоса при различных скоростях потока и трех различных скоростях вращения, как объяснялось ранее. На экспериментальном графике очевидна линейная зависимость мощности насоса от подачи, что согласуется с теоретическим описанием этой зависимости.

На рис. 6 показана эффективность центробежного насоса при различных скоростях потока при трех различных скоростях вращения. На диграмме очевиден разрыв значений эффективности на разных уровнях скоростей вала, чего не скажешь о влиянии числа лопаток.

### Обсуждение результатов

Использование рабочего колеса с семью лопастями способствует увеличению небольшого зазора напорного насоса, по сравнению с рабочим колесом с шестью и восьмью лопастями. С точки зрения тенденции, этот вывод подтверждает экспериментальное и численное исследование, приведенное в работе [7]. Было обнаружено, что частота вращения оказывает значительное влияние на повышение мощности насоса. Мощность насоса быстро увеличивается за счет переключения частоты вращения с низкого (1450 об./мин) на высокий уровень (2850 об./мин). Мощность центробежного насоса с семью лопастями может быть увеличена до 35 Вт при частоте вращения 2850 об./мин. При изменении числа лопастей мощность насоса немного увеличивается при большем их количестве.

В настоящем исследовании эффективность центробежного насоса с семью лопастями может быть увеличена до 24,99% для частоты вращения 2850 об./мин. Напротив, эффективность значительно снижается при переходе на частоту вращения 1450 об./мин. Это хорошо согласуется с исследованиями [8, 9]. Изменение числа лопаток практически не сказывается



Рис. 3. Испытательный стенд насосного оборудования.

Сурет 3. Сорғы жабдығының сынақ стенді.

Figure 3. Test stand for pumping equipment.

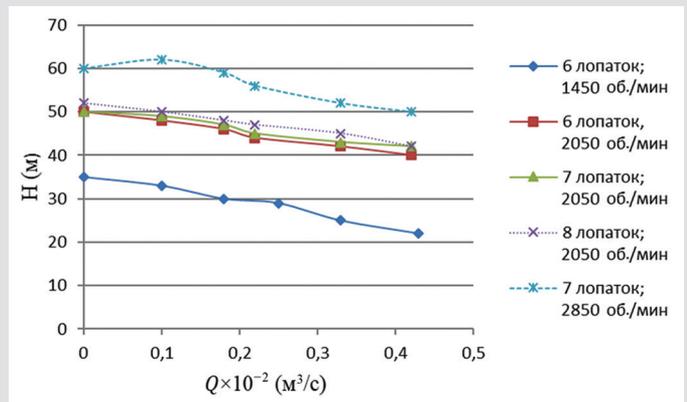


Рис. 4. Экспериментальный график зависимости напора и подачи насоса.

Сурет 4. Сорғының қысымы мен берілуінің эксперименттік графигі;

Figure 4. Experimental graph of the dependence of pressure and pump flow.

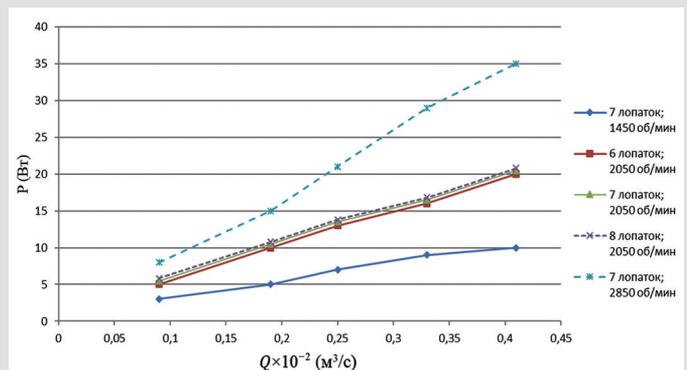
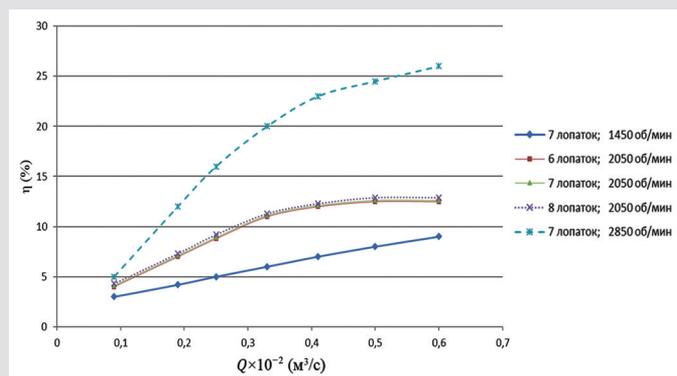


Рис. 5. Мощность насоса.

Сурет 5. Сорғы қуаты.

Figure 5. Pump power.



**Рис. 6. Диаграмма КПД насоса.**  
**Сурет 6. Сорғының тиімділік диаграммасы.**  
**Figure 6. Pump efficiency diagram.**

на производительности насоса. Это означает, что эффективность центробежного насоса нечувствительна к изменению числа лопастей.

#### Закключение

В настоящем исследовании экспериментально исследовалось влияние скорости вращения и количества лопастей на внутренний поток и характеристики центробежного насоса. Можно сделать вывод, что производительность центробежного насоса, как правило, более чувствительна к изменению скорости вращения, а не к изменению количества лопастей. Скорость потока при работе насоса играет важную роль в производительности центробежного насоса. Использование рабочего колеса с различным количеством лопастей не оказывает существенного влияния на ее производительность.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Stel H., Sirino T., Ponce F.J., Chiva S., Morales R.E.M. Численное исследование течения в многоступенчатом электропогружном насосе. // Журнал нефтяной науки и техники. – 2015. – №136. – С. 41-54 (на английском языке)
2. Liu H. Влияние числа лопастей на характеристики центробежных насосов. // Китайский журнал машиностроения. – 2010. – №23(06). – С. 742 (на английском языке)
3. Korkmaz E., Gölcü M., Kurbanoglu S. Влияние угла нагнетания лопастей, количества лопастей и длины лопастей делителя на производительность глубинного насоса. // Журнал прикладной гидромеханики. – 2017. – №10(2). – С. 529-540 (на английском языке)
4. Bai Yu., Kong F., Xia B., Liu Yu. Эффект согласования числа лопастей рабочего колеса и диффузора в высокоскоростном спасательном насосе. // Достижения в области машиностроения. – 2017. – №9(5). – С. 168781401770359 (на английском языке)
5. Пухлий В.А. К расчету дисков центробежных насосов гидротехнических сооружений и АЭС. // Теория механизмов и машин. – 2015. – №13. – С. 41-50 (на русском языке)
6. Yan Y., Li S., Zhang R., Lin F., Wu R., Lu Q. и др. Технология быстрого прототипирования и производства: принцип, репрезентативная техника, приложения и тенденции развития. // Наука и технологии Цинхуа. – 2009. – №14(S1). – С. 1-12 (на английском языке)
7. Isametova M., Nussipali R., Karaivanov D., Abilikhair Z., Isametov A. Расчетно-экспериментальное исследование композиционного материала для изготовления рабочих колес центробежных насосов. // Журнал прикладной и вычислительной механики. – 2022. – №8(4). – С. 2383-4536 (на английском языке)
8. Rakibuzzaman R., Suh S.H., Kim K.W., Kim H.H., Cho M.T., Yoon I.S. Исследование характеристик производительности многоступенчатого центробежного насоса для системы привода с регулируемой скоростью. // Procedia Engineering. – 2015. – Вып. 105. – С. 270-275 (на английском языке)
9. Shao C., Li C., Zhou J. Экспериментальное исследование структур потока и внешних характеристик центробежного насоса, который транспортирует газожидкостные двухфазные смеси. // Международный журнал тепла и потока жидкости. – 2018. – Т. 71. – С. 460-469 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Shao C., Li C., Zhou J. Көп сатылы электржабдықтау сорғысындағы ағымды сандық зерттеу. // Мұнай ғылымы мен техникасы журналы. – 2015. – №136. – Б. 41-54 (ағылшын тілінде)
2. Liu H. Пышақтар санының орталықтан тепкіш сорғылардың сипаттамаларына әсері. // Қытай машина жасау журналы. – 2010. – №23(06). – Б. 742 (ағылшын тілінде)

3. Korkmaz E., Gölcü M., Kurbanoglu C. *Пышақтардың айдау бұрышының, пышақтардың саны мен бөлгіш пышақтардың ұзындығының терең сорғының жұмысына әсері.* // Қолданбалы гидромеханика журналы. – 2017. – №10(2). – Б. 529-540 (ағылшын тілінде)
4. Bai Yu., Kong F., Xia B., Liu Yu. *Жоғары жылдамдықты құтқару сорғысындағы доңғалақ пышақтары мен диффузордың санын сәйкестендірудің әсері.* // Машина жасау саласындағы жетістіктер. – 2017. – №9(5). – Б. 168781401770359 (ағылшын тілінде)
5. Пухлий В.А. *Гидротехникалық құрылыстар мен АЭС орталықтан тепкіш сорғыларының дискілерін есептеуге.* // Механизмдер мен машиналар теориясы. – 2015. – №13. – Б. 41-50 (орыс тілінде)
6. Yan Y., Li S., Zhang R., Lin F., Wu R., Lu Q. *және т. б. Жылдам прототиптеу және өндіріс технологиясы: принцип, өкілдік техника, қосымшалар және даму тенденциялары.* // Цинхуа ғылымы мен технологиясы. – 2009. – №14(S1). – Б. 1-12(ағылшын тілінде)
7. Isametova M., Nussipali R., Karaivanov D., Abilikhair Z., Isametov A. *Орталықтан тепкіш сорғылардың жұмыс дөңгелектерін жасауға арналған композициялық материалды есептеу-эксперименттік зерттеу.* // Қолданбалы және есептеу механикасы журналы, – 2022. – №8 (4). – С. 2383-4536 (ағылшын тілінде)
8. Rakibuzzaman R., Suh S.H., Kim K.W., Kim H.H., Cho M.T., Yoon I.S. *Реттелетін жылдамдықты жетек жүйесіне арналған көп сатылы центрифугалық сорғының өнімділік сипаттамаларын зерттеу.* // Procedia Engineering. – 2015. – Шығ. 105. – Б. 270-275 (ағылшын тілінде)
9. Shao C., Li C., Zhou J. *Газды сұйық екі фазалы қоспаларды тасымалдайтын центрифугалық сорғының ағын құрылымдары мен сыртқы сипаттамаларын эксперименттік зерттеу.* // Жылу мен сұйықтық ағынының халықаралық журналы. – 2018. – Т. 71. – Б. 460-469 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Stel H., Sirino T., Ponce F.J., Chiva S., Morales R.E.M. *Numerical investigation of the flow in a multistage electric submersible pump.* // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2015. – №136. – P. 41-54 (in English)
2. Liu H. *Effects of Blade Number on Characteristics of Centrifugal Pumps.* // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2017. – №10(2). – P. 529-540 (in English)
3. Korkmaz E., Gölcü M., Kurbanoglu C. *Effects of blade discharge angle, blade number and splitter blade length on deep well pump performance.* // Journal of Applied Fluid Mechanics. – 2017. – №10(2). – P. 529-540 (in English)
4. Bai Yu., Kong F., Xia B., Liu Yu. *Effect of blade number matching of impeller and diffuser in high-speed rescue pump.* // Advances in Mechanical Engineering. – 2017. – №9(5). – P. 168781401770359 (in English)
5. Pukhliy V.A. *K raschetu diskov centrobezhnykh nasosov gidrotexnicheskikh sooruzhenij i AE'S. [To calculation of disks of centrifugal pumps of hydraulic engineering constructions and the atomic power station].* // Teoriya mexanizmov i mashin = Theory of mechanisms and machines. – 2015. – №13. – P. 41-50 (in Russian)
6. Yan Y., Li S., Zhang R., Lin F., Wu R., Lu Q. *et. al. Rapid prototyping and manufacturing technology: principle, representative technics, applications, and development trends.* // Tsinghua Science and Technology. – 2009. – №14(S1). – P. 1-12 (in English)
7. Isametova M., Nussipali R., Karaivanov D., Abilikhair Z., Isametov A. *Computational and experimental study of the composite material for the centrifugal pump impellers.* // Manufacturing journal of applied and computational mechanics. – 2022. – №8(4). – P. 2383-4536 (in English)
8. Rakibuzzaman R., Suh S.H., Kim K.W., Kim H.H., Cho M.T., Yoon I.S. *A study on multistage centrifugal pump performance characteristics for variable speed drive system.* // Procedia Engineering. – 2015. – Вып. 105. – P. 270-275 (in English)
9. Shao C., Li C., Zhou J. *Experimental investigation of flow patterns and external performance of a centrifugal pump that transports gas-liquid two-phase mixtures.* // International Journal of Heat and Fluid Flow. – 2018. – Т. 71. – P. 460-469 (in English)

**Сведения об авторах:**

**Исаметова М.Е.**, PhD, ассоциированный профессор кафедры «Машиностроение» Satbayev University (г. Алматы Казахстан), [isametova69@mail.ru](mailto:isametova69@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4630-271X>

**Абилезова Г.С.**, магистр техн. наук, ассистент кафедры «Машиностроение» Satbayev University (г. Алматы Казахстан), [abilezova\\_gazel@mail.ru](mailto:abilezova_gazel@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1517-0577>

**Карпеков Р.К.**, старший преподаватель кафедры «Машиностроение», Satbayev University (г. Алматы Казахстан), [rashid\\_al\\_garun@mail.ru](mailto:rashid_al_garun@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7410-5823>

**Ткаченко Д.Е.**, магистр техн. наук, инженер кафедры «Машиностроение» Satbayev University (г. Алматы Казахстан), [ned-86@mail.ru](mailto:ned-86@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9148-3612>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Исаметова М.Е.**, PhD, Satbayev University, «Машина жасау» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Абилезова Г.С.**, техника ғылымдарының магистрі, Satbayev University, «Машина жасау» кафедрасының ассистенті (Алматы қ., Қазақстан)

**Карпеков Р.К.**, Satbayev University, «Машина жасау» кафедрасының аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан)

**Ткаченко Д.Е.**, техника ғылымдарының магистрі, Satbayev University, «Машина жасау» кафедрасының инженері (Алматы қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Isametova M.E.**, PhD., Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Abilezova G.S.**, Master of Technical Sciences, Assistant at the Department of Mechanical Engineering of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Karpekov R.K.**, Senior Lecturer at the Department of Mechanical Engineering of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Tkachenko D.E.**, Master of Technical Sciences, Engineer at the Department of Mechanical Engineering of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Источник финансирования исследований**

Исследования финансируются МОН РК: научный проект AP08857367 «Разработка инновационных технологий обеспечения улучшения показателей энергоэффективности и надежности центробежных насосов, производимых в Казахстане».

**ОТКРЫТА ПОДПИСКА****КАЗПОЧТА ЕВРАЗИЯ ПРЕСС ЭВРИКА-ПРЕСС****Подписной индекс 75807****Заявка на главной странице сайта MINMAG.KZ**

Следите за новостями!

[minmag.kz](http://minmag.kz)[@minmag.kz](https://www.instagram.com/minmag.kz)[+7 747 343 15 02](https://www.whatsapp.com/+77473431502)[post-dts@yandex.kz](mailto:post-dts@yandex.kz)

050026, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Карасай батыра, 146, оф. 401

