

at the facility UVNK-8P [Primenenie vysokotemperaturnoj obrabotki rasplava pri monokristal'nom lit'e lopatok turbin na ustanovke UVNK-8P]. Moscow, Aviacionnaya promyshlennost'. 1989. Prilozhenie № 2. pp. 30 – 34.

5. Eremin E.N., Zherebtsov S.N., Radchenko V.G. *Improving the quality of the cast metal at electroslag remelting heat-resistant nickel alloys* [Povyshenie kachestva litogo metalla pri ehlektroshlakovom pereplave zharoprochnyh nikelevyh splavov]. Moscow, Izvestiya Vuzov. Chernaya metallurgiya. 2003, no 8. pp. 15-18.

6. Kolotuhin E.H.V. *Improving the technology of smelting and improving the quality of high-temperature alloys on the basis of study of their electrical resistivity: dis. cand. tehn. sciences* [Sovershenstvovanie tekhnologii vyplavki i povyshenie kachestva zharoprochnyh splavov na osnove issledovaniya ih udel'nogo ehlektrosoprotivleniya: dis. kand. tekhn. Nauk]. Sverdlovsk, 1990. 150 p.

7. Baryshev E.E., Tyagunov A.G., Stepanova N.N. *Impact melt structure on the properties of heat-resistant nickel alloys in the solid state* [Vliyaniye struktury rasplava na svoystva zharoprochnyh nikelevyh splavov v tverdom sostoyanii]. UrO RAN, Ekaterinburg, 2010. 198 p.

Жеребцов Сергей Николаевич (Россия, г. Нижний Новгород) – кандидат технических наук, доцент, доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: s.n.zherebtzov@mail.ru).

Чернышов Евгений Александрович (Россия, г. Нижний Новгород) – доктор технических наук, профессор, профессор Нижегородского государственного технического университета

им. Р.Е. Алексеева (г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24).

Александров Александр Александрович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: omsk-aaa@rambler.ru).

Гурдин Виктор Иванович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор, профессор ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).

Zherebtsov Sergey Nikolaevich (Russian Federation, Nizhny Novgorod) – candidate of technical sciences, the associate professor, the associate professor of the Nizhny Novgorod state technical university of R. E. Alekseeva (Nizhny Novgorod, Minin St., 24, e-mail: s.n.zherebtzov@mail.ru).

Chernyshov Evgeny Aleksandrovich (Russian Federation, Nizhny Novgorod) – doctor of technical sciences, professor, professor of the Nizhny Novgorod state technical university of R. E. Alekseev (Nizhny Novgorod, Minin St., 24).

Alexandrov Alexander Aleksandrovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, the associate professor, professor The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: omsk-aaa@rambler.ru).

Gurdin Victor Ivanovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor, professor The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira Ave., 5).

УДК 621.879.48

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОПАНИЯ ГРУНТОВ РОТОРНО-ДИСКОВЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ПОД ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Р.А. Кабашев¹, С.Дж. Тургумбаев²

¹Казахская автомобильно-дорожная академия им.Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан;

²Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызстан.

Аннотация. В результате проведенных экспериментальных исследований получены закономерности влияния гидростатического давления на процесс копания грунтов ножами роторно-дискового рабочего органа. Установлено, что для связных грунтов сопротивление копанию грунта ножами роторно-дискового рабочего органа увеличивается с ростом значения гидростатического давления (глубины погружения рабочего органа). Приведена конструкция стенда физического моделирования для изучения процесса копания грунтов ножами роторно-дискового рабочего органа под гидростатическим давлением. Глубина погружения рабочего органа в жидкую среду моделировалась созданием соответствующего гидростатического давления в герметичном корпусе стенда. На основе тензометрических записей получены значения касательной составляющей усилий копания грунтов и значения тягового сопротивления копания траншеи под гидростатическим давлением.

Ключевые слова: рабочий орган, роторный диск, режущий нож, гидростатическое давление, копание грунта.

Введение

При строительстве подземных сооружений получает распространение прогрессивный способ «стена в грунте», сущность которого заключается в разработке глубоких траншей под слоем глинистого раствора [1, 2]. Освоение дна морей и океанов, проведение дноуглубительных работ, прокладывание на дне водоемов трубопроводов и линий связи, сооружение платформ для выращивания морских организмов на большой глубине требует разработки грунтов под слоем водной среды [3]. Глубина погружения рабочих органов в этом случае примерно соизмерима с глубиной практической разработки траншеи при строительстве способом «стена в грунте» (20-50 м и более), а процесс резания и копания грунтов происходит под воздействием гидростатического давления, создающегося за счет глубины погружения рабочих органов в среду воды или глинистого раствора [4, 5]. Для разработки траншеи в тяжело разрабатываемых грунтах применяют рабочее оборудование роторно-дискового типа, обеспечивающее минимизацию тягового усилия за счет передачи энергии непосредственно к рабочим органам [6].

Вместе с тем процесс взаимодействия рабочего органа экскаваторов роторно-дискового типа с грунтом при наличии жидкой среды изучен недостаточно. Гидростатическое давление жидкой среды, которое становится доминирующим фактором, влияющим на процесс копания, с ростом глубины разработки траншеи, влияет на энергоемкость копания грунтов [7]. В связи с этим исследование эффективности роторно-дисковых рабочих органов землеройных машин, работающих под гидростатическим давлением, является актуальной задачей.

Стенд для экспериментального исследования

Для выявления основных закономерностей копания грунтов под гидростатическим давлением были проведены экспериментальные исследования с роторно-дисковыми рабочими органами на специальном стенде физического моделирования (рис. 1 и 2), выполненного на уровне изобретения [8]. Стенд включает герметичный корпус 1, заполненный жидкостью (водой) под гидростатическим давлением, размещенный в нем роторный

диск 5 с режущими ножами 4. Роторный диск 5 и барабан 3 своими подшипниковыми опорами и валами установлены между собой и соединены упругой муфтой. Один конец приводного каната 6 закреплен и намотан на барабан 3, другой конец каната 6 закреплен к корпусу 1 через кольцевое тензосвязное 8 (рис. 2). Роторный диск 5 посредством тензостойки 12 и траверсы 13 соединен с направляющими штоками 10 приводного гидроцилиндра 9. На поверхности тензостойки 12 наклеены тензодатчики 14, с помощью которых измеряется тяговое сопротивление. Барабан 3 со своим валом и подшипниковой опорой также через стойки соединен с траверсой 13. Грунт 2 подготавливается в грунтовом контейнере 7 вне герметичного корпуса 1. Подготовленный грунт 2 с требуемой прочностью, оцениваемой ударником ДорНИИ, помещается в герметичный корпус 1 и закрывается крышкой люка 17. Далее, жидкость (вода) через трубопровод 15 заливается в герметичный корпус 1, после заполнения вентиль закрывается. От источника давления в герметичном корпусе 1 создается необходимое гидростатическое давление. Гидростатическое давление в герметичном корпусе моделирует глубину погружения рабочего органа землеройных машин в глинистый раствор (водную среду) траншеи. С помощью гидравлического насоса и распределительных систем приводятся в движение направляющие штоки 10 от приводного гидроцилиндра 9. Происходит продольное перемещение траверсы 13, роторного диска 5 и барабана 3 со скоростью v (рис. 2). При этом за счет натяжения приводного каната 6 происходит вращение барабана 3 и роторного диска 5 с встроенными режущими ножами 4 с угловой скоростью ω . Таким образом, за счет одновременного поступательного и вращательного движения режущих ножей 4 происходит процесс копания грунта роторно-дисковым рабочим органом под гидростатическим давлением. Особенностью стенда является обеспечение вращательного движения роторно-дискового рабочего органа без применения специального двигателя внутри герметичного корпуса. Параметры герметичного корпуса были приняты из условий исключения влияния боковых стенок камеры на исследуемый процесс.

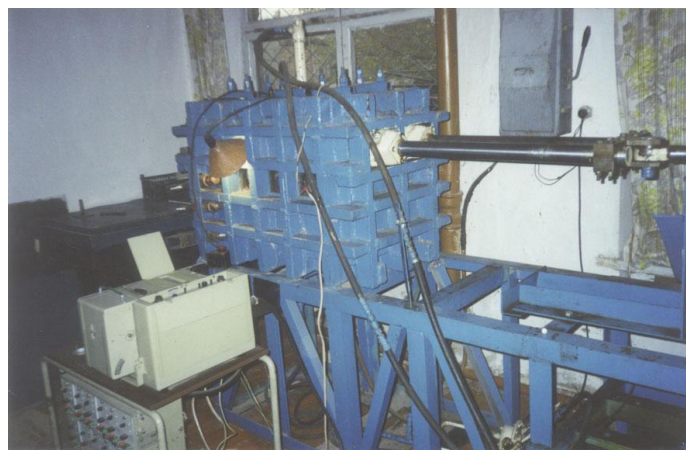


Рис. 1. Стенд для исследования процесса копания грунтов под гидростатическим давлением

Запись тангенциальной составляющей усилий копания грунтов роторно-дисковым рабочим органом производилась от датчиков, установленных на кольцевом тензозвене 8, а запись тяговых усилий копания – от датчиков 14, установленных на тензостойке 12 (рис. 3). Значения тангенциальной составляющей усилия копания грунта определялись расчетным путем из данных, записанных с

кольцевого тензозвена 8. Физические модели рабочих органов изготовлены в масштабе 1:10 по отношению к натурному образцу рабочего органа (рис. 4). Режущая часть ножей выполнена с затупленной передней кромкой с углом заострения 25° и задним углом 7° . Наружный диаметр роторного диска с режущими ножами составлял 250 мм, диаметр барабана – 100 мм.

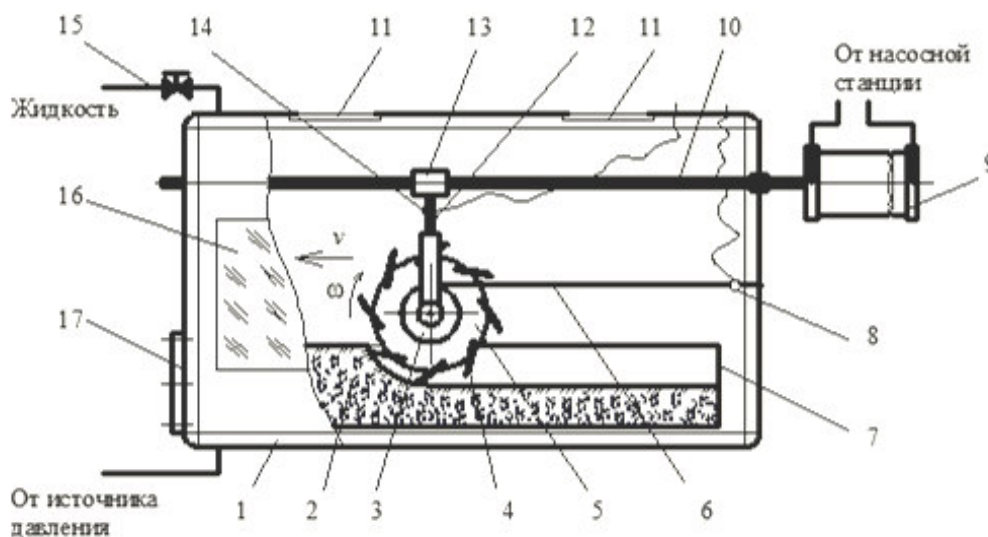


Рис. 2. Схема копания грунта роторно-дисковым рабочим органом: 1 – герметичный корпус; 2 – грунт; 3 – барабан; 4 – режущий нож; 5 – роторный диск; 6 – приводной канат; 7 – грунтовый контейнер; 8 – кольцевое тензозвено; 9 – приводной гидроцилиндр; 10 – направляющий шток; 11 – верхний иллюминатор; 12 – тензостойка; 13 – траверса; 14 – тензодатчик; 15 – трубопровод; 16 – боковой иллюминатор; 17 – крышка люка грунтового контейнера

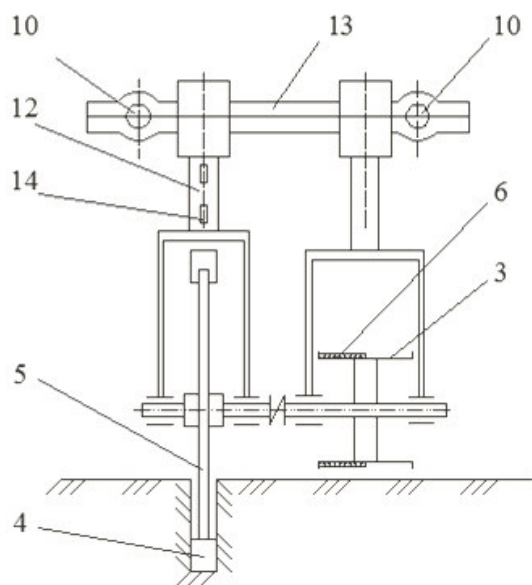


Рис. 3. Схема наклейки датчиков тягового сопротивления: 3 – барабан; 4 – режущий нож; 5 – диск; 6 – приводной канат; 10 – направляющий шток; 12 – тензостойка; 13 – траверса; 14 – тензодатчик

прочности грунта, оцениваемой ударником ДорНИИ 1, 3 и 4 удара, угле резания 40 градусов, скорости копания 4 см/с глубиной траншеи 60 мм, шириной траншеи 20 мм. Гидростатическое давление варьировалось в пределах от 0 до 1,0 МПа.



Рис. 4. Роторно-дисковый рабочий орган, установленный в герметичном корпусе

Результаты экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились на суглинистом грунте при

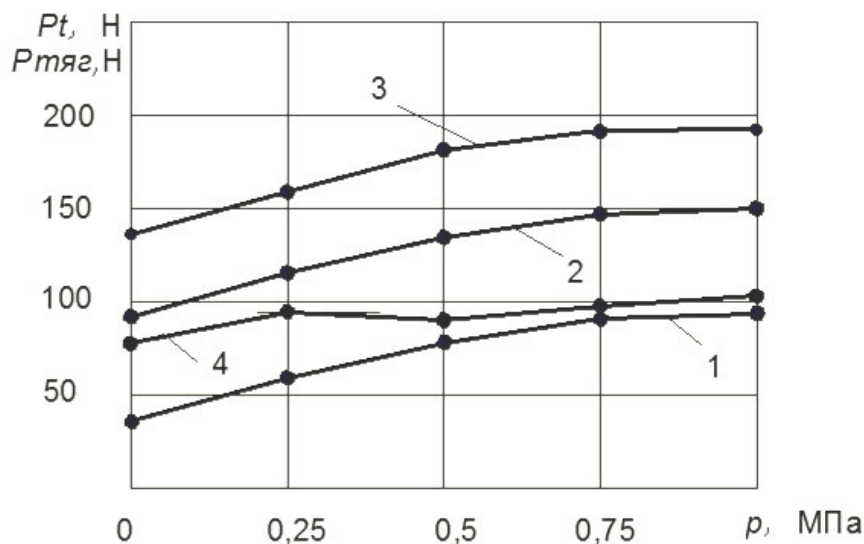


Рис. 5. Экспериментальная зависимость тангенциальной составляющей усилия копания P_t и тягового усилия копания $P_{тяги}$ от гидростатического давления (ширина копания траншеи $b = 20$ мм):

1 – для прочности грунта $C = 1$; 2 – для прочности грунта $C = 3$; 3 – для прочности грунта $C = 4$;
4 – экспериментальная зависимость тягового сопротивления от гидростатического давления при копании траншеи

На рисунке 5 представлены результаты экспериментальных исследований копания грунтов роторно-дисковыми рабочими органами под гидростатическим давлением. Установлено, что с увеличением гидростатического давления, сопротивление копанию грунтов увеличивается. Так, при прочности грунта $C = 3$ удара ударником ДорНИИ, ширине копания траншеи $b = 20$ мм и гидростатическом давлении $p = 0,5$ МПа усилие копания на один нож роторно-дискового рабочего органа достигает до 134 Н. При возрастании гидростатического давления до 1 МПа (глубина погружения в водную среду примерно на 100 м) усилие копания увеличилось до 150 Н. Это означает, что при указанных условиях усилие копания при гидростатическом давлении 1 МПа возросло в 1,6 раза по сравнению с отсутствием гидростатического давления (вблизи поверхности водной среды). Для сравнения: усилие копания грунта при этих же условиях, но при отсутствии гидростатического давления ($p=0$) составляло 92 Н (линия 2 рис. 5). А при «сухом» резании (при обычных условиях копания, т.е. при копании грунтов без водной среды) усилие копания составляло 108 Н.

Интенсивность роста усилия копания грунтов ножами роторно-дискового рабочего органа от гидростатического давления сохраняется и для грунтов различной несущей способности, оцениваемой числом ударника ДорНИИ (линии 1 и 3 рис. 5). Касательная составляющая усилия копания P_t для грунтов с числом ударника $C = 1$ при гидростатическом давлении 0 МПа (вблизи поверхности водной среды) составляла 35 Н, при гидростатическом давлении 0,5 МПа – 78 Н, а при гидростатическом давлении 1,0 МПа усилие копания возросло до 94 Н (линия 1 рис. 5). При числе ударов $C = 4$ касательная составляющая усилия копания грунта P_t также возросла с ростом гидростатического давления. Как видно на рисунке 5 (линия 3), при гидростатическом давлении 0,25 МПа усилие копания составляло 156 Н, при гидростатическом давлении 0,5 МПа – 178 Н, а при гидростатическом давлении 0,75 МПа – 195 Н.

Вышеприведенные экспериментальные результаты показывают, что для связных (суглинистых, глинистых) грунтов усилие копания возрастает с увеличением гидростатического давления, которое связано с увеличением силы трения в поверхности скольжения перед режущими ножами и силы

трения между движущейся стружкой и передней гранью ножа роторно-дискового рабочего органа.

Опыты, проведенные с несвязными (песчаными) грунтами показали, что влияние гидростатического давления на усилие копания грунтов отсутствует.

Как видно из рисунка 5, гидростатическое давление водной среды мало влияет на тяговое усилие рабочего органа. Для одинаковых условий копания (ширина копания траншеи $b = 20$ мм, угол резания $\alpha = 40^\circ$, прочность грунта, оцениваемая числом ударов ударником ДорНИИ $C = 3$, глубина копания траншеи $H = 60$ мм) тяговое сопротивление копанию грунтов роторно-дисковым рабочим органом составило $P_{\text{тяг}} = 78$ Н, 90 Н и 103 Н для значений гидростатического давления соответственно $p = 0$ МПа, 0,5 МПа и 1,0 МПа. Рост тягового сопротивления при копании траншей составил всего 32 % при увеличении глубины копания под водой до 100 м.

Выводы

1. Экспериментальными исследованиями установлено влияние гидростатического давления на процесс копания связных грунтов ножами роторно-дискового рабочего органа. При копании траншей роторно-дисковыми рабочими органами, оснащенными режущими ножами, тангенциальная составляющая усилия копания возрастает с увеличением гидростатического давления для различных значений прочности грунта.

2. При копании траншеи в грунте влияние гидростатического давления на тяговое сопротивление незначительное.

Библиографический список

1. Вильман, Ю.А. Технология строительных процессов и взведения зданий. Современные и прогрессивные методы / Ю.А. Вильман – М.: Издательство АСВ, 2014. – 336 с.
2. Кадыров, А.С. Определение сил сопротивления движению рабочего инструмента фрезерной землеройной машины в глинистом растворе / А.С. Кадыров, А.С. Нурмаганбетов // Строительные и дорожные машины. – 2012. – № 2. – С. 47-52.
3. Добрецов, В.Б. Мировой океан и континентальные водоемы: минеральные ресурсы, освоение, экология / В.Б. Добрецов, В.А. Роголев, Д.С. Опришко. – СПб.: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы. – 2007. – 796 с.
4. Small Scale Dredging. – Boston: Lincolnshire, UK, 2014. – 21 p.

5. Beindorff R. Calculations on Forces and Velocities of a Submarine Narrow Trench in Sandy Soil / R.Beindorff, S.Miedema, L.Baalen // *Terra et Aqua*. – 2012. – No 126, – P. 13-24.

6. Setiwan R. Parametric Analysis on Off-shore Dredging Process using Cutter Suction Dredgers / R.Setiwan // *ACEAN Engineering Journal*. – 2015. – Part A, Vol 6, No 1 – P. 37-46.

7. Недорезов, И.А. Влияние гидростатического давления на работу траншекопателей при строительстве способом «стена в грунте» / И.А. Недорезов, Д.И. Федоров, Ж.Ж. Тургумбаев // *Транспортное строительство*. – 1979. – № 7. – С. 47-48.

8. Авторское свидетельство 1700159 (СССР), МПК Е 02 F 3/92. Стенд для подводного резания грунтов / Д.Д. Тургумбаев, И.А. Недорезов, Н.Р. Нурманбетов, К. Исаков; Бишкекский политехнический институт (SU); № 4717351/03; заявл. 11.06.1989; опубл. 23.12.1991. Бюл. № 47. 3 с.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESS OF DIGGING SOIL ROTARY-DISK WORKING BODIES UNDER HYDROSTATIC PRESSURE

R. A. Kabashev, S.Zh.Turgumbaev

Abstract. As a result of experimental studies the obtained regularities of influence of hydrostatic pressure on the process of soil digging knives of a rotary disk of the working body. It is found that for cohesive soils, the resistance to digging of the soil by the knives of a rotary disk of the working body increases with increasing values of the hydrostatic pressure (the depth of immersion of the working body). The design of stand of physical modeling to study the process of soil digging knives of a rotary disk of the working body under hydrostatic pressure. The depth of immersion of the working body in a liquid was simulated by the creation of a corresponding hydrostatic pressure in the hermetic housing of the stand. Based on strain records obtained values of the tangential component of the effort of digging the soil and values of traction resistance of digging trenches under hydrostatic pressure.

Keywords: working body, a rotary disc cutting blade, hydrostatic pressure, digging soil.

References

1. Vil'man U.A. *Technologia stroitel'nyh prosesov i vzvedeniya zdaniy. Sovremennyye i progressivnyye metody* [Technology of building processes and cocking buildings. Modern and advanced methods]. Moscow, 2014. 336 p.

2. Kadyrov A.S. Opreделение sil soprotivleniya dvizheniu rabocheho instrumenta frezernozi zemleroinoi mashiny v glinistom rastvore [Determination of the resistance forces to the movement of the working tool milling digging machine in the mud]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2012, no 2. pp. 47-52.

3. Dobretsov V.B. *Mirovoi ocean i kontinental'nye vodoemy: mineral'nye resursy, osvoenie, ekologiya* [World ocean and continental reservoirs: mineral resources, development, ecology]. St. Petersburg: International Academy of Sciences of ecology, safety of man and nature, 2007. 796 p.

4. Small Scale Dredging. – Boston: Lincolnshire, UK, 2014. – 21 p.

5. Beindorff R. Calculations on Forces and Velocities of a Submarine Narrow Trench in Sandy Soil. *Terra et Aqua*. – 2012, no 126, pp. 13-24.

6. Setiwan R. Parametric Analysis on Off-shore Dredging Process using Cutter Suction Dredgers. *ACEAN Engineering Journal*. – 2015. – Part A, Vol 6, no 1, pp. 37-46.

7. Nedorezov I.A. Vlianie gidrostaticheskogo davleniya na rabotu transheekopatelei pri stroitel'stve sposobom «stena v grunte» [The Influence of hydrostatic pressure on the operation of trenchers in the construction method «Wall in the ground»]. *Transportnoe stroitel'stvo*, 1979, no 7. pp. 47-48.

8. Turgumbaev D.D., Nedorezov I.A., Nurmanbetov N.P., Isakov K. *Stend dlia podvodnogo rezaniya gruntov* [The installation for underwater cutting of soils] Patent USSR, no. 4717351/03, 1991.

Кабашев Рахимжан Абылкасымович (Алматы, Казахстан) – доктор технических наук, профессор, ректор Казахской автомобильно-дорожной академии им. Л.Б. Гончарова (050061, г. Алматы, пр. Райымбек, 417 а, e-mail: kazadi@kazadi.kz).

Тургумбаев Санжарбек Дженишбекович (Бишкек, Кыргызстан) – старший научный сотрудник НИИ физико-технических проблем при КГТУ им. И.Раззакова (720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова, 66, e-mail: sanjar2000@mail.ru).

Kabashev Rakhimzhan Abylkasymovich (Almaty, Kazakhstan) – doctor of technical Sciences, Professor, rector of the Kazakh automobile and highway Academy named after L.B.Goncharov (050061, Almaty, Raiymbek ave., 417 а, e-mail: kazadi@kazadi.kz).

Turgumbaev Sanzharbek Jenishbekovich (Bishkek, Kyrgyzstan) – Senior Researcher, Research Institute of Physical and Technical Problems under the KSTU named after I.Razzakov (720044, Bishkek, Ch.Aitmatov ave., 66, e-mail: sanjar2000@mail.ru).