

## РАЗДЕЛ I.

### ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

---

7. Turemnov I.S., Ignatiev A.A. Raschet raspredeleniya napryazheniy v gruntach s lineynim zakonom izmneniya plotnosti po glubine ot dinamicheskoy poverhnostnoy nagruzki / Stroitelnie I dorozhnie mashiny. M. – 2013. № 1. С. 40.

8. Mikheyev V.V., Saveliev S.V. Buriy G.G. Device for continuous compaction control. Invention patent №2500855 МПК 02D3/026 (2006.01) E01C19/23 (2006.01) E01C23/07 (2006.01).

9. Turemnov I.S., Morev A.S. Razrabotka sistemy nepreryvnogo kontrolya uplotneniy grunta dlya vibratsionnykh katkov / Modernizatsiya I nauchnie issledovaniya v transportnom komplekse. 2014. Т. 1. С. 205-207.

10. Turemnov I.S., Chabutkin E.K., Okulov R.D. Intellektualnye katki – ntellektualnoe uplotnenie –/ Stroitelnie I dorozhnie mashiny. M. – 2008. № 8. С. 2-8.

*Михеев Виталий Викторович (Омск, Россия) – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Комплексная защита информации» ФГБОУ ВПО «ОмГТУ» (644055,*

*г. Омск, пр. Мира, 11 к.8, e-mail: vvm125@mail.ru)*

*Савельев Сергей Валерьевич (Омск, Россия) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно – технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: saveliev\_sergval@mail.ru)*

*Vitaly V. Mikheyev (Omsk, Russian Federation) – Ph. D. Physical and Mathematical Sciences, Ass. Professor, Department of Complex Information Protection, Omsk State Technical University (644055, Prospect Mira, 11/8, Omsk, Russian Federation, e-mail: vvm125@mail.ru)*

*Serguey V. Saveliev (Omsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Operation and Maintenance of Transportation and Technological Machines and Complexes, Siberian State Automobile and Highway Academy “SibADI (644080, Prospect Mira, 5, Omsk, Russian Federation, e-mail: saveliev\_sergval@mail.ru)*

УДК 621.879.48

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА КОПАНИЯ ГРУНТОВ МОДЕРНИЗИРОВАННЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ ПОД ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ

*С.Дж.Тургумбаев<sup>1</sup>, Р.А.Кабашев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, г. Бишкек*

*<sup>2</sup>Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б. Гончарова, Казахстан, г. Алматы*

**Аннотация.** В результате проведенных на стенде экспериментальных исследований по копанью связных грунтов под гидростатическим давлением модернизированными плоскими отвалами, имеющими продольные зазоры вблизи режущей кромки, установлено существенное снижение сопротивления копанью по сравнению с копаньем в тех же условиях традиционными плоскими отвалами. Указано, что такое снижение сопротивления копанью грунтов происходит за счет проникания водной среды через продольный зазор на переднюю грань отвала, которая существенно уменьшает коэффициент трения между передней гранью отвала и грунтовым пластом. Экспериментальные исследования проведены на стенде физического моделирования для изучения процесса копания грунтов плоскими отвалами под гидростатическим давлением. Глубина погружения рабочего органа в водную среду моделировалась созданием соответствующего гидростатического давления в герметичном корпусе стенда.

**Ключевые слова:** плоский отвал, продольный зазор, режущая кромка, гидростатическое давление, копанье грунта.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во многих странах широкое распространение получает освоение

шельфовой зоны океанов, дна озер, водохранилищ, водных бассейнов. Ведутся исследования по разработке устройств, позволяющих

вести земляные работы (планировка, отрывка котлованов, прокладка трубопроводов и кабелей) на дне водоемов [1,2]. Возрастает объем строительства в связи с ростом добычи полезных ископаемых со дна морей и океанов, сооружением крупных портов, проведением дноуглубительных работ, сооружением плантаций для выращивания морских организмов и т.п. [3,4]. Практическая глубина разработки грунтов достигает 100 м и более. Сложным процессом в технологической цепи производства этих работ является копание грунтов в подводной среде [5,6]. Энергоемкость копания грунтов с ростом глубины разработки возрастает за счет влияния гидростатического давления жидкой среды на процесс копания [7]

Решение таких задач связано с созданием высокоэффективных средств механизации на основе улучшения процессов взаимодействия с грунтом рабочих органов под гидростатическим давлением. Использование традиционных рабочих органов землеройных машин ограничено возрастанием энергоемкости копания связных грунтов по мере роста глубины погружения (гидростатического давления). В связи с этим актуальной задачей становятся исследования, позволяющие снизить вредное воздействие гидростатического давления водной среды на процесс копания грунтов в подводной среде.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

Для исследования процесса копания грунтов по выявлению возможностей снижения энергоемкости копания отвалными рабочими органами землеройных машин под гидростатическим давлением проведены экспериментальные исследования на стенде физического моделирования (рисунки 1 и 2), выполненного на уровне изобретения [8]. Стенд позволяет моделировать глубину погружения рабочих органов землеройных машин и грунта в воду, глинистый раствор и другие жидкие среды.

Стенд состоит из двух основных блоков: рабочей камеры с механизмом привода и блока давления.

Рабочая камера состоит из герметического корпуса 1, внутри которого находится исследуемый рабочий орган 2, закрепляемый на продольной направляющей 7 посредством Г-образного тензозвена 5, позволяющего определять касательную и нормальную составляющие сопротивления копанию грунтов. Продольная направляющая 7 вместе с рабочим органом 2 перемещается с помощью винтовой передачи

17, приводимой в действие от электродвигателя постоянного тока 15 через клиноременную передачу 16. Скорость резания изменяется за счет изменения входного напряжения электродвигателя. В корпусе имеются боковой иллюминатор 6 для наблюдения, фото- и кино съемки процесса копания грунта, люк 8 для установки грунтового контейнера 10 и рабочего органа 2, верхние иллюминаторы 4 для освещения рабочей камеры, а также пробка 9 для слива жидкости из камеры. В камере установлены манометр 12 и датчик давления 11.

Блок давления состоит из рамы 19 с направляющими 20, вертикального цилиндра 23 с поршнем и штоком, соединенным с грузовой платформой 21, на которой находятся тарированные грузы. Грузовая платформа поднимается в верхнее положение лебедкой 18. Для разделения жидкости, наполняющей рабочую камеру и масла, наполняющего вертикальный цилиндр, в трубопроводе 14 установлена разделительная диафрагма 13. Блок давления снабжен системой подпитки жидкости, состоящей из емкости 24 и обратных клапанов 22.

Параметры рабочей камеры были приняты из условий исключения влияния боковых стенок камеры на исследуемый процесс. Из гидродинамики и аэродинамики известно, что соотношение размера сечений модели рабочего органа к сечению камер должно составлять не более  $1/20$ . В данной камере с сечением 70x80 см возможно проведение экспериментов с физическими моделями рабочих органов с сечением в плоскости перпендикулярной направлению движения до 180 см<sup>2</sup>.

Пуск стенда в работу осуществляется следующим образом. Грузовая платформа устанавливается в верхнем положении и в рабочую камеру заливается жидкость (вода, глинистый раствор). Грузовая платформа под действием силы тяжести тарированных грузов через шток давит на поршень вертикального цилиндра, создавая тем самым гидростатическое давление в нем, которое передается через диафрагму и трубопровод в рабочую камеру, моделируя погружение рабочего органа. При этом в рабочей камере поддерживается стабильное гидростатическое давление жидкости и осуществляется процесс копания грунта. После окончания опыта, поднимая грузовую платформу, снимают гидростатическое давление в рабочей камере и сливают жидкость для подготовки грунта и рабочего органа к последующему опыту.

Основное достоинство данного стенда состоит в том, что его конструкция обеспечива-

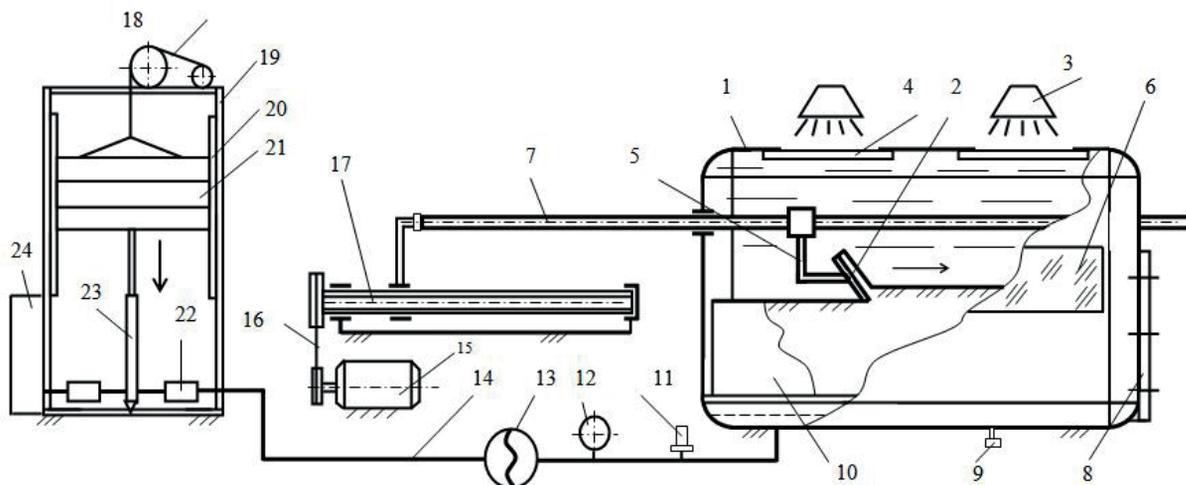


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд для исследования процесса копания грунтов под гидростатическим давлением: 1-корпус рабочей камеры; 2-рабочий орган (плоский отвал); 3-лампа освещения; 4-верхний иллюминатор; 5-тензозвено; 6-боковой иллюминатор; 7-продольная направляющая; 8-крышка люка; 9-пробка для слива; 10-грунтовой контейнер; 11-датчик давления; 12- манометр; 13-диафрагма для отделения масла от водной среды; 14-трубопровод; 15-электродвигатель; 16-ременная передача; 17-винтовая передача; 18-грузовая лебедка; 19-рама блока давления; 20-направляющая; 21-грузовая платформа; 22-обратный клапан; 23- вертикальный цилиндр; 24-емкость для масла

ет стабильное гидростатическое давление в рабочей камере, не зависящее от утечек жидкости из корпуса камеры, чем достигается высокая точность измерений при исследовании процесса подводного копания грунтов путем моделирования глубины расположения рабочего органа под водой.

В качестве рабочих органов для сравнительных экспериментов приняты плоские отвалы: традиционный (рис. 3) и модернизированный (рис. 4). Отвалы обеих рабочих органов имели одинаковые размеры по ширине (по 100 мм) и длине (тоже по 100 мм). Отличием модернизированного рабочего органа от традиционного является наличие продольного зазора вблизи режущей кромки. Для этого в модернизированном рабочем органе режущая кромка отвала прикреплена к передней части отвала с продольным зазором (около 1 мм) между ними. Такие конструкции модернизированных рабочих органов обеспечивают передачу гидростатического давления непосредственно на контактную поверхность между грунтовой стружкой и передней гранью отвала путем поступления водной среды через продольный зазор на переднюю грань отвала. Водная среда, кроме того, перемещаясь с движущимся грунтовым пластом вверх по отвалу образует водяную прослойку между передней гранью отвала и грунтовым пластом, существенно уменьшая, тем самым, коэффициент трения между ними.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования проводились на связном суглинистом грунте, не обладающем фильтрационными свойствами. Глубина проникания воды в суглинистый грунт за время проведения экспериментов была незначительной и не превышала 1,2 мм.

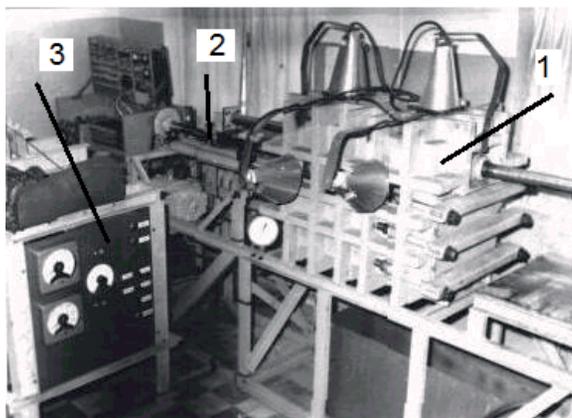


Рисунок 2 – Фото экспериментального стенда для исследования процесса копания грунтов под гидростатическим давлением: 1 – рабочая камера; 2 – привод; 3 – блок давления

На рис. 5 представлены результаты экспериментальных исследований. Линии 1 и 2 отражают зависимости сопротивления копа-

нию грунта плоскими отвалами традиционного типа, линии 3 и 4 – зависимости сопротивления копанию грунта модернизированными плоскими отвалами.

В результате проведенных экспериментов с плоскими отвалами традиционного типа установлено качественное отличие физической картины процесса копания связного грунта под гидростатическим давлением от обычного «сухого» резания. Гидростатическое давление, воздействуя на грунт, создает дополнительную пригрузку в зоне его разрушения плоским отвалом и на его передней грани образовывалась в основном сливная стружка, которая плотно прижималась к передней грани отвала и скользила по нему. При «сухом» резании отделенная стружка поднималась, касаясь небольшой площадки в зоне режущей кромки отвала, и падала вниз. Исследованиями установлено, что гидростатическое давление существенно влияет на сопротивление грунта копанию. Так, при угле резания  $45^\circ$ , характерном для рабочих органов многих землеройных машин, гидростатическом давлении 1,0 МПа, касательная составляющая сопротивления копанию возросла в 3,4 раза по сравнению с «сухим» копанием (линии 1 и 2, рис. 5). Глубина резания при этом составляла 1,5 см, прочность грунта по числу ударов плотномера ДорНИИ  $C = 4$ , скорость копания 2,0 см/с. Увеличение касательной составляющей сопротивления копанию связного грунта от гидростатического давления происходит за счет дополнительной пригрузки в зоне разрушения грунта и на поверхности подъема отвала, которая увеличивает силу трения грунта о переднюю грань отвала и о грунт по поверхностям скольжения.

Результаты экспериментальных исследований с модернизированными плоскими отвалами показали (рис. 5), что касательная составляющая сопротивления копанию грунта под гидростатическим давлением существенно снижается по сравнению с копанием грунтов традиционными плоскими отвалами. При гидростатическом давлении 1,0 МПа, глубине копания  $h=2$  см, прочности грунта по числу ударов плотномера ДорНИИ  $C = 4$ , скорости копания 2,0 см/с и угла резания  $45^\circ$ , сопротивление копанию грунта для модернизированного отвала составляло  $F=1,43$  кН (линия 4), для традиционного отвала –  $F=3,12$  кН (линия 1). Уменьшение касательной составляющей сопротивления копанию грунта составляло в 2,1 раза. Уменьшение сопротивления копанию грунтов с модернизированными плоскими

отвалами по сравнению традиционными плоскими отвалами происходит за счет поступления водной среды через продольный зазор на переднюю грань отвала, где между грунтовым пластом и передней гранью плоского отвала образуется водяная прослойка, которая существенно уменьшает коэффициент трения между ними.

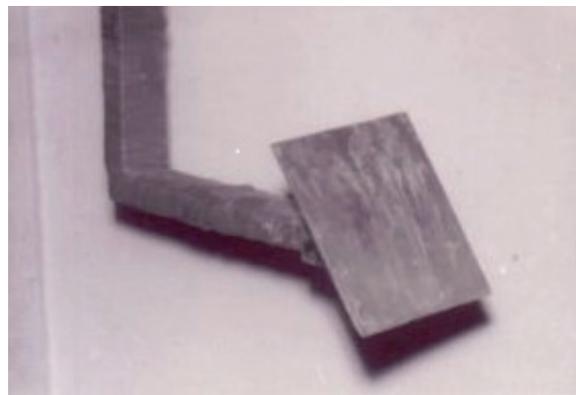


Рисунок 3 – Традиционный плоский отвал



Рисунок 4 – Модернизированный плоский отвал

Как показали экспериментальные исследования с модернизированными плоскими отвалами, с увеличением гидростатического давления (глубины погружения рабочего органа в водную среду) повышаются значения сопротивления копанию грунта (линии 3 и 4, рис. 5). При гидростатическом давлении 0,25 МПа, глубине копания  $h=2,5$  см сопротивление копанию грунта составляло  $F=1,12$  кН (линия 3, рис. 5), а при гидростатическом давлении 1,0 МПа, той же глубине копания –  $F=1,35$  кН (линия 4, рис. 5). Рост сопротивления копанию грунта составлял около 20 процентов. Такие пропорции роста сопротивления копанию грунта сохранились для других глубин копания. Например, при глубине копания  $h=1,0$  см сопротивление копанию грунта для гидростатического давления 0,25 МПа составляло

$F=0,61$  кН, для гидростатического давления 1,0 МПа –  $F=0,73$  кН.

Из графиков (рис.5) видно, что при копании грунтов под гидростатическим давлением модернизированными плоскими отвалами сопротивление копанию грунтов больше чем при «сухом» резании. При глубине копания  $h=1,0$  см и  $h=2,0$  см сопротивления копанию грунтов модернизированными плоскими отвалами под гидростатическим давлением 1,0 МПа составляли соответственно 0,48 кН и 1,21 кН (линия 4). В аналогичных условиях копания, но при «сухом» резании (линия 2), сопротивления копанию грунтов составляли 0,32 кН и 0,83 кН соответственно для глубин копания  $h=1,0$  см и  $h=2,0$  см. Это объясняется влиянием дополнительной пригрузки от гидростатического давления, действующей в зоне разрушения грунта и увеличивающей силу трения грунта по отвалу и по поверхности скольжения грунта.

Эффективность модернизированного плоского отвала была установлена и для малых значений прочности грунта. При прочности грунта  $C = 1$  удар, глубине резания 0,7 см, угле резания  $60^\circ$ , скорости копания 3,6 см/с и гидростатическом давлении 0,5 МПа, сопротивление копанию (касательная составляющая) составляла 140 Н. Для этих же условий копания, но при  $C = 3$  удара, сопротивление копанию было равно 470 Н.

Была оценена нормальная (вертикальная) составляющая сопротивления копанию грунтов модернизированным плоским отвалом. Так, при копании грунтов под гидростатическим давлением 0,5 МПа ( $C = 3$  удара, глубина резания  $h = 1,5$  см, угол резания  $60^\circ$ , скорость резания 4,4 см/с), значение касательной составляющей было равно 780 Н, а нормальной составляющей сопротивления копанию – 66 Н.

ледует отметить, что во всех экспериментах с модернизированными плоским отвалами, нормальная составляющая сопротивления копанию под гидростатическим давлением направлена вниз. При копании грунтов отвалами традиционного типа под гидростатическим давлением направление вертикальной составляющей сопротивления копанию изменялось от направления «вниз» на направление «вверх» за счет влияния силы трения, возникающей между отвалом и поднимаемой грунтовой стружкой. При попадании водной среды на контактную поверхность между передней поверхностью отвала и грунтовой стружкой, что имеет место при копании с модернизированным рабочим органом, происходит вырав-

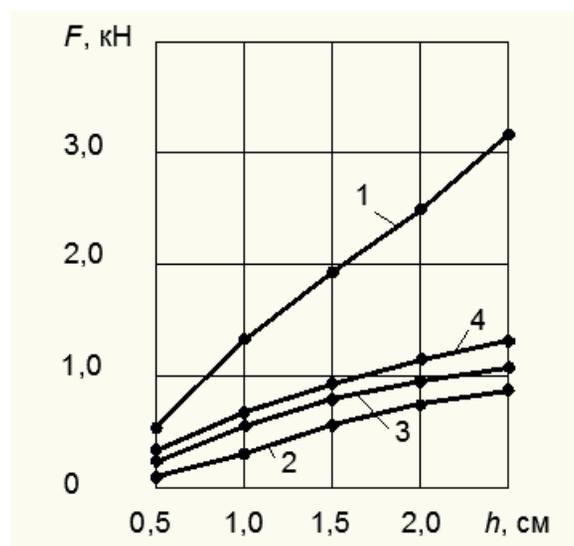


Рисунок 5 – Зависимости изменения касательной составляющей  $F$  сопротивления копанию грунта от глубины копания  $h$ : линии 1 и 2 – копание отвалом традиционного типа соответственно при гидростатическом давлении  $p=1,0$  МПа и «сухом» резании; линии 3 и 4 – копание с модернизированным отвалом соответственно при гидростатическом давлении  $p=0,25$  МПа и  $p=1,0$  МПа (прочность грунта  $C = 4$ , угол резания  $45^\circ$ , скорость копания 2,0 см/с)

нивание гидростатического давления в зоне контактной поверхности, и вследствие этого, снижается сила трения.

**Вывод:** в результате экспериментальных исследований копания грунтов под гидростатическим давлением модернизированными плоскими отвалами подтвержден факт снижения энергоемкости копания связных грунтов путем обеспечения возможности проникания водной среды в контактирующую поверхность между передней гранью отвала и грунтовым пластом.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Добрецов, В.Б. Мировой океан и континентальные водоемы: минеральные ресурсы, освоение, экология / В.Б.Добрецов, В.А. Погаев, Д.С. Опышко. – СПб. : Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2007. – 796 с.
2. 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.
3. Small Scale Dredging. – Boston: Lincolnshire, UK, 2014. – 21 p.

4. Вильман, Ю.А. Технология строительных процессов и взведения зданий. Современные и прогрессивные методы / Ю.А.Вильман – М. : АСВ, 2014. – 336 с.

5. Шепель, Т.В. Устройство для исследования кинематики и динамики глубоководного грунторазрабатывающего оборудования / Т.В.Шепель, А.В.Сычев // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014: материалы междунар. конф., 27 – 28 мар. 2014 г. – Днепропетровск : НГУ, 2014. – С. 225 – 233.

6. 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.

7. Недорезов, И.А. Моделирование разрушения грунтов под гидростатическим давлением / И.А.Недорезов, Ж.Ж.Тургумбаев – Бишкек: Кыргызстан, 2000. – 153 с.

8. А. с. 655783 (СССР), МПК Е 02 F 3/92. Стенд для подводного резания грунтов / Недорезов И.А., Баловнев В.И., Ермилов А.Б., Тургумбаев Д.Д., Малоян Э.А.; Московский автомобильно-дорожный институт и Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства (СУ); № 2510106/29-03; заявл. 19.07.1977; опубл. 05.04.1979. Бюл. № 13. 3 с.

## **THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESS OF SOIL DIGGING BY MODERNIZED WORKING BLADES UNDER HYDROSTATIC PRESSURE**

*S.Zh.Turgumbaev, R. A. Kabashev*

**Abstract.** *As a result of the stand experimental studies on the digging of cohesive soils under hydrostatic pressure by the modern flat blade having a longitudinal gap near the cutting edge, a significant reduction of resistance to digging in comparison with digging in the same conditions the conventional flat blade was found. Provided that such reduction of the soil digging resistance is due to the penetration of the water through the longitudinal gap at the front face of the blade, which substantially reduces the coefficient of friction between the front face of the blade and a soil layer. The experimental studies conducted on the stand of physical modeling for study the process of digging the soil under hydrostatic pressure. The depth of immersion of the working body in the water was simulated by creation of a corresponding hydrostatic pressure in the hermetic chamber of the stand.*

**Keywords:** *flat blade, longitudinal gap, cutting edge, hydrostatic pressure, soil digging.*

### **REFERENCES**

1. Dobretsov V.B. Mirovoi ocean i kontinentalnye vodoemy: mineralnye resursy, osvoenie, ekologiya [The world ocean and continental reservoirs: mineral resources, development, ecology]. SPb.: International Academy of Sciences of ecology, safety of man and nature, 2007. – 796 p.

2. 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, pp. 37-46.

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

4. Vielman J.A. Tekhnologiya stroitelnyh protsessov i vzvedeniya zdaniy [Technology of building processes and cocking buildings. Modern and progressive methods]. M.: Publishing house ASV, 2014. – 336 p.

5. Shepel T.V. Ustroistvo dlia issledovaniya

kinematiki i dinamiki glubokovodnogo gruntorazrabatyvaushhego oborudovaniya [A device for investigation of kinematics and dynamics of deep-sea gruntoobrabatyvayushchaja equipment]. Contemporary innovation technique of the engineering personnel training for the mining and transport industry 2014: proceedings of the international. Conf. 27 – 28 Mar. 2014 – Dnepropetrovsk: NMU, 2014. – pp. 225 – 233.

6. Kadyrov A.S. Opredelenie sil soprotivleniya dvizheniu rabocheho instrumenta frezernoio mashiny v glinistom rastvore [Determination of the resistance to movement of the working milling machinery in clay open tools in solution]. Building and road machines. – 2012, no 2, pp. 47-52.

7. Nedorezov I.A., Turgumbaev J.J. Modelirovanie razrusheniya gruntov pod gidrostatcheskim davleniem [Modeling of the destruction of the soil

